

Az elektrofációs-analízis jelenlegi helyzete I. Külföldi eredmények

ELEK ISTVÁN*

Az utóbbi évek egyik legaktuálisabb témája a szelvényértelmezésben az elektrofációs-analízis. Célunk bemutatni, hogy mi az elektrofációs-analízis és miért szükséges vele foglalkoznunk. Vázolni fogjuk a világ élvonalába tartozó cégek által kifejlesztett eljárásokat, amelyek (többek között) az elektrofációs-analízis révén szeretnék növelni az olajkutatás hatékonyságát.

Egy következő cikkben az SZKFI Geofizikai Főosztályán folyó elektrofációs-analízis jelenlegi állapotát szeretnénk bemutatni.

За последнее время электрофациальный анализ является одним из наиболее актуальных вопросов при интерпретации разрезов. Нашей целью является изложение сути электрофациального анализа и причин его необходимости. В работе нами описаны методы, разработанные фирмами, находящимися на передовой линии науки, которые стремятся повысить эффективность разведки нефти за счет применения различных методов, и в том числе электрофациального анализа.

Recently the electrofacies analysis is a current topic of the well log interpretation. The aim of this paper is to introduce what the electrofacies analysis is and why we need to deal with it. We outline the techniques which were developed at famous companies (Schlumberger, Dresser) to enhance the efficiency of the oil reserche by means of the electrofacies analysis.

In a next paper we would like to introduce the electrofacies analysis at the Hungarian Hydrocarbon Institute in the Geophysical Department.

Bevezetés

Az elektrofációs-analízis az utóbbi években egy meglehetősen felkapott téma a karotázsértelmezéssel foglalkozó geofizikusok körében. Ennek oka véleményünk szerint az, hogy a szénhidrogén-kutatás körülményeinek egyre nehezebbé, összetettebbé válása szinte kikényszerítette a geofizika és a geológia egymáshoz közeledését, hiszen ma már olyan tárolók után kutatunk, amelyek „klasszikus” módszerekkel nem találhatók meg. E két terület egymáshoz közeledése, fogalmaik egymás számára „emészthetővé” tétele a komplex földtani kutatás alapvető érdeke. Ebben nyújthat segítséget az elektrofációs-analízis.

I. A fációs és az elektrofációs fogalma

„A fációs a kőzetek és a beléjük zárt ősmaradványok olyan tulajdonságainak összessége, amelyek az egykori keletkezési környezetet tükrözik. Litofációs néven foglaljuk össze a kőzetten, biofációs néven a kövült flórákon, faunákon észlelhető környezeti bélyegek együttesét. A formációk kiterjedését külső környezeti tényezők határozzák meg, tehát a formációk a fáciessel szorosan összefüggnek. Mégis a fációs nem rétegtani egység. Bármely formáción belül nagyon sokféle fációs lehet, és ugyanakkor előfordulhat, hogy több formáció azonos fációsú”.

(Báldi Tamás: „A történeti földtan alapjai”, Tankönyvkiadó, 1979.)

* Magyar Szénhidrogénipari Kutató-Fejlesztő Intézet (SZKFI) Százhalombatta. Pf. 32. 2443

„Az elektrofációsok a karotázsszelvények ‚válaszainak’ olyan sorozatai, amelyek jellemeznék egy üledéket, és lehetővé teszik, hogy egyik üledéket a másiktól megkülönböztessük.” (O. Serra, 1980.)

Amint látható a két definíció jelentős mértékben eltér egymástól, tükrözve azt a különbséget, amely a geológiai és geofizikai vizsgálati módszerek között fennáll. A probléma alapvetően abban keresendő, hogy a karotázsszelvények (bizonyos szabályok szerinti) leképezései egy adott geológiai objektumnak. Ezek a leképezési szabályok ráadásul nem mindig kölcsönösek és egyértelműek, azaz pl. különböző geológiai objektumokhoz is tartozhatnak azonos szelvényválasz-sorozatok.

A továbbiakban hasonlítsuk össze a kétféle definíciót. A fációsdefinícióban megjelölt tulajdonság együttes magában foglalja például az adott üledék kémiai vagy ásványos összetételét, textúráját, szerkezetét, finom rétegzettségét, színét, a benne levő flórát és faunát stb. A felsorolt tulajdonságok egy része olyan, hogy rájuk vonatkozó megállapítások geofizikai módszerekkel nem tehetők. (pl. a flóra és fauna, szín stb.).

Az elektrofációs definíciója általánosabb, mint a fációsdefiníció, ezért érvényességi köre tágabb régiókra is kiterjed. Természetesen fennáll az a veszély, hogy a (geológiai) fációs és az elektrofációs közötti kapcsolat nem lesz mindig egyértelmű. El kell fogadnunk, hogy a fációsdefinícióban említett tulajdonságok közvetlenül nem kaphatók meg karotázsmérésekből, csak következtetni tudunk rájuk a mérések alapján. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy a karotázsszelvények egyszerre több fizikai paramétertől függnék, ráadásul eltérő mértékben. Ezért tisztázni kell, hogy a karotázsszelvények milyen mértékben érzékenyek arra a néhány tulajdonságra, amit fontosnak vélünk az elektrofációs-azonosítás szempontjából.

2. Karotázsszelvények érzékenysége

Először is mik azok a tulajdonságok, amelyek fontosak az elektrofációsok azonosításában? Alapvetően négy fációs jellemzőre tudunk következtetni a karotázs segítségével:

- ásványos összetétel
- textúra
- szerkezet
- folyadéktartalom

Az 1. ábra a különböző szelvényfélések érzékenységét mutatja az említett négy tulajdonságra.

Az előforduló szelvénynév-rövidítések magyarázata:

- LTD (Pe)* – lithodensity tool (fotoelektromos hatáskeresztmetszet mérőeszköz)
- EPT* – electromagnetic propagation tool (nagyfrekvenciás elektromágneses hullámok terjedési idejét és csillapodását mérőeszköz)
- TDT* – thermal neutron capture cross section (termikus neutron befogási hatáskeresztmetszet mérőeszköz)
- GST* – inelastic gamma ray spectrometry (gamma-spektrumot mérőeszköz; a DRESSER ezt carbon-oxigén módszernek hívja)
- NGS* – natural gamma-ray spectroscopy (természetes gamma-spektrum mérőeszköz)
- HDT* – high resolution dipmeter tool (nagyfelbontású rétegdőlés-mérőeszköz).

SZELVÉNYTIPUS	ÖSSZETÉTEL	TEXTURA	SZERKEZET	FOLYADÉK
ellenállás	*	****	***	****
term. pot. (PS)	**	***	***	****
term. gamma (TG)	****	*	*	*
neutr. por. (FIN)	*	***	*	****
sűrűség (DEL)	****	***	*	****
szónikus (ATL)	**	****	*	***
dőlésm. (DIPLOG)	**	***	****	*
lyukátmérő (DL)	****	****	*	*

A HAZAI MŰSZERPARKBAN ELŐ NEM FORDULÓ ESZKÖZÖK

LDT (Pe)	****	*	*	*
EPT (terjed. idő)	**	***	***	****
EPT (csillapítás)	**	*	*	****
TDT	**	***	*	****
GST	****	***	*	****
NGS	****	*	*	*
HDT	*	**	****	*

Geo 88/1-1

1. ábra. Különböző szelvényfajták érzékenysége az ásványos összetételre, textúrára, szerkezetre és a folyadéktartalomra

Рис. 1. Чувствительность различных типов разрезов к минеральному составу, текстуре, структуре и содержанию влаги

Fig. 1. Different logs respond in varying degrees to composition, texture, structure and fluid

Röviden tekintsük át ezeket a tulajdonságokat:

Összetétel: A kőzetek ásványos összetétele jelentős hatást gyakorol a természetes gamma, a sűrűség, a lithodensity, a spektrál gamma-mérésekre, de például az akusztikus szelvény vagy a neutron porozitás kevésbé érzékeny az összetétellel. A különböző, karotázsertelmezéssel foglalkozó cégek közölnek különféle módszereket a CHART-jaikban, amelyek segítségével az összetétel megbecsülhető. (pl. M–N plotok, MID-plotok.)

Textúra: A textúra magába foglalja a kőzet szemcseméretét, osztályozottságát, cementáltságát stb. A textúra igen fontos tényező a porozitás és a permeabilitás szempontjából. A textúrára az ellenállásmérő eszközök, a szónikus szelvény és a lyukátmérő eszköz a legérzékenyebbek. Érdekes momentum, hogy a természetes gamma- és a természetes potenciálszelvények nem a textúrára a legérzékenyebbek, mégis fontosak lehetnek, mivel viselkedésük a szemcseméret alakulásával kapcsolatos. Mindkét szelvény alkalmas arra, hogy a szemcseméret változásaira következtessünk belőlük. Vagy például megemlíthető a rétegdőlésmérő (különösen a HDT), amelyen szintén észrevehető a szemcseméret változásai, amik egyértelműen összefüggenek az üledékképződési folyamatokkal, ezért a textúra változásai egy-egy fácies azonosítása szempontjából fontosak.

Szerkezet: A szerkezet az adott üledék geometriájával, az egység vastagságával, a rétegződés szögével, stb. kapcsolatos. A legtöbb, a szerkezettel összefüggő információ a nagyfelbontású rétegdőlés mérőtől várható (HDT), (mivel mikroellenállás-mérőeszközökből van felépítve a műszer).

3. Az elektrofáciesek azonosítása

Mielőtt rátérnénk az azonosítás mikéntjére, szeretnénk válaszolni arra a kérdésre, hogy miért érdemes egyáltalán foglalkozni az elektrofáciesekkel, mivel egyrészt a nyers karotázsszelvényekben benne van minden, ami mélyfúrású geofizikai módszerekkel egyáltalán megtudható, másrészt pedig semmiféle manipulációval nem fog nőni a szelvényekből nyerhető információ mennyisége.

Az elektrofáciesek azonosítása nem más, mint egy tudatosan végrehajtott, meghatározott szabályok szerinti adatredukció egy adott cél érdekében. A cél nagyobb szedimentológiai, litosztratigráfiai egységek kijelölése, jellemzése. Az adatredukció részleteit később ismertetjük, egyelőre annyit bocsátunk előre, hogy célunk egy-egy nagyobb egységnek lehetőleg minél kevesebb adattal történő minőségi és mennyiségi jellemzése, egy-egy sztratigráfiai egység átlagos, vagy jellemző paramétereinek megadása.

A következő gyakorlati kérdések megoldásához nyújthat segítséget az elektrofácies-analízis:

- geológiai fáciesek azonosítása karotázsszelvények alapján
- geológiai szekvenciák meghatározása karotázsszelvények alapján
- tárolók zónákra bontása
- kutak közti korreláció

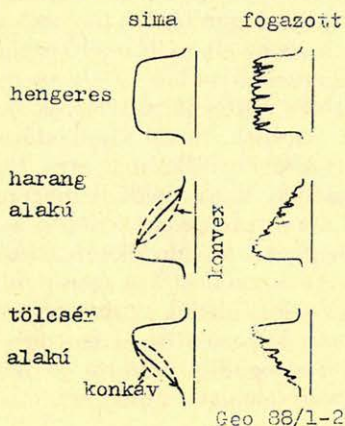
Alapvetően két útja lehetséges az elektrofáciesek azonosításának: kézzel és automatikusan. Ebben a részben bemutatjuk mindkét megoldást.

3.1. Elektrofáciesek azonosítása kézzel (szemmel)

Mint ismeretes a PS-és TG-szelvények menete, a görbék jelalakjai kapcsolatban vannak az üledék szemcseméretével, ami viszont összefügg az üledékképző-

déssel. A legalapvetőbb jelalakokat mutatja a következő rajz. Mindegyik alakzathoz rendelhető egy-egy üledékképződési környezet (2. ábra).

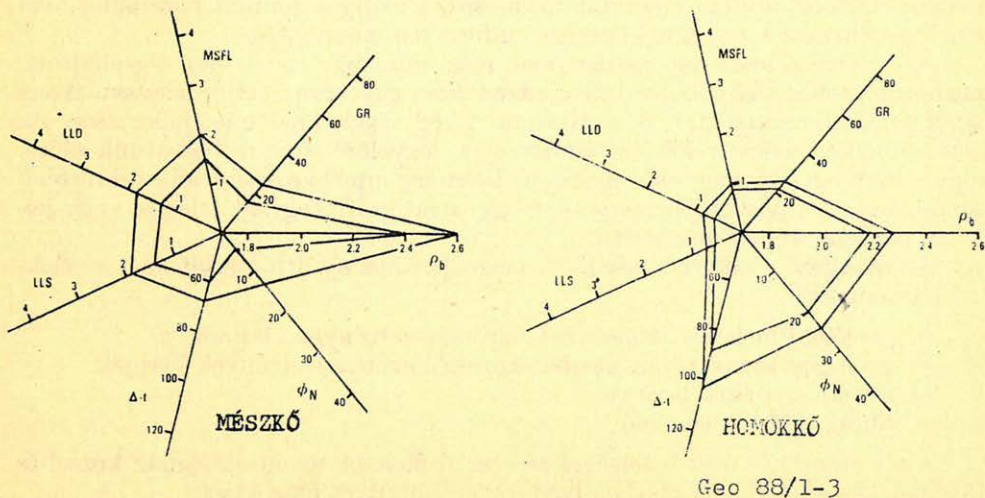
További osztályozási lehetőséget jelent az ún. pókháló diagramok használata. Ez a következőt jelenti: bontsuk fel rétegekre a szelvényeinket, majd helyettesítsük a rétegbeli szelvényértékeket egy-egy szelvényenkénti jellemző értékkel, amit ábrázolunk egy soktengelyű koordináta-rendszerben. Ily módon eléggé karakteres görbék kaphatók (3. ábra), amiknek a szemmel történő felismerése a kiváló alakfelismerő képességgel rendelkező szem számára nem túl nehéz fel-



2. ábra. Az elektrofaciesek jelalak alapján történő osztályozása

Рис. 2. Классификация электрофаций на основе формы сигналов

Fig. 2. Classification of electrofacies by shapes of log responses



3. ábra. Mész- és homokkő pókhálódiagramjai

Рис. 3. Диаграммы известняков и песчаников

Fig. 3. Spider diagrams for limestone and sandstone

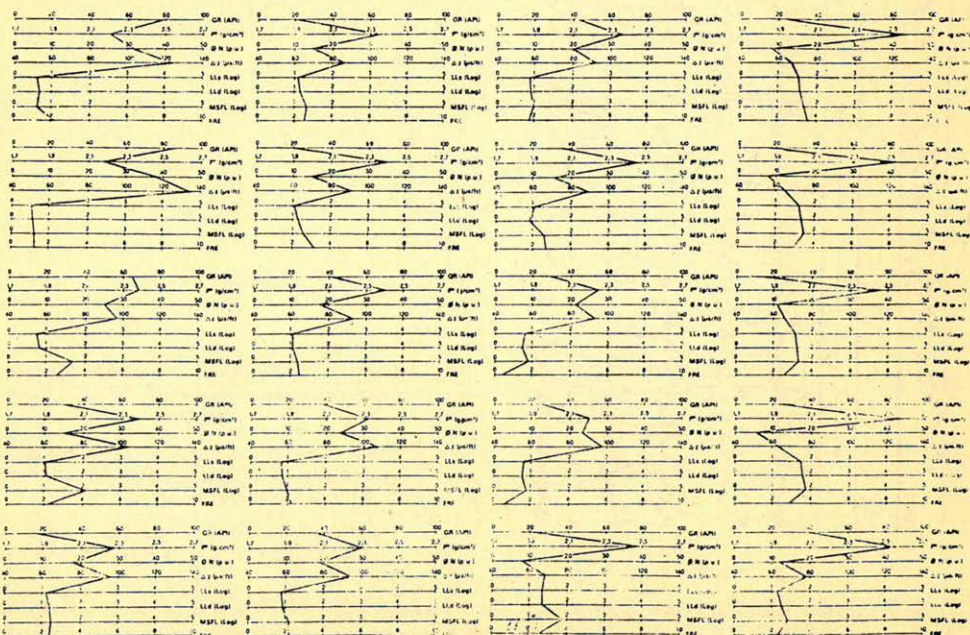
adat. Ha képesek vagyunk előre definiálni 'pókdiagram-etalonokat', akkor a rétegenként kapott ábrák és az etalonok egymáshoz hasonlításával elvégezhető egy-egy egység valamely előre megadott csoportba történő besorolása. Ha netán nem rendelkezünk ilyen etalonokkal, akkor is használhatók a diagramok, de csak 'relatív' jelleggel, azaz két hasonló pókdiagram láttán feltételezhető a két réteg hasonló jellege. Léteznek másféle ún. létradiagramok is a pókdiagramokhoz hasonló funkcióval (4. ábra).

A 3. és 4. ábrákon látható szelvénynevek a következő szelvényfeleségeket jelentik:

- GR — természetes gamma
- ρ_b — sűrűség
- Φ_N — neutron porozitás
- Δt — akusztikus terjedési idő
- LLs — sekély behatolású laterolog (logaritmikus)
- LLd — mély behatolású laterolog (logaritmikus)
- $MSFL$ — fókuszált mikroellenállás (logaritmikus)

Tekintetbe véve a HDT (nagy felbontású rétegdőlésmérő) értelmezésének eredményét is, (a GEODIP nevű program végzi) értékes információkat kaphatunk a textúrára, a rétegződésre, a réteg finomszerkezetére és szemcseméretére vonatkozóan (5. ábra).

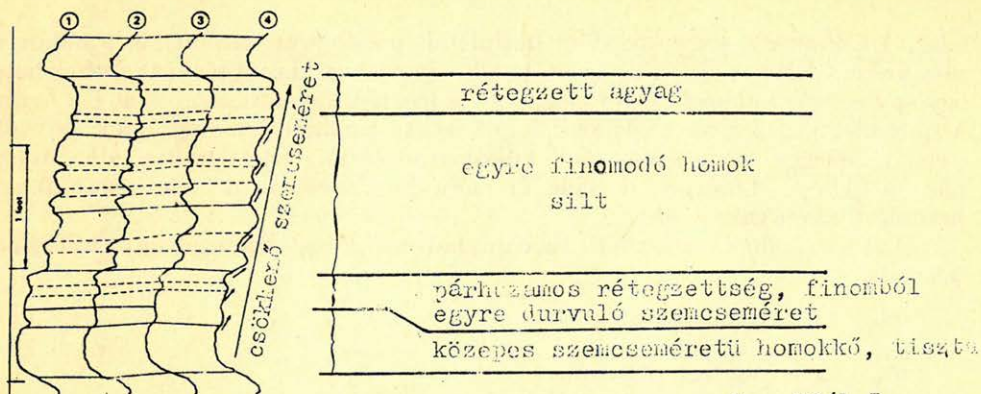
A 6. és 7. ábrán megfigyelhetjük, hogy a GEODIP eredmények mennyi fontos információt tartalmaznak az adott fácies textúrájáról (szemcseméret) és szerkezetéről (finom rétegzettség).



4. ábra. Különböző elektrofaciesek létradiagramjai

Рис. 4. Ступенчатые диаграммы различных электрофаций

Fig. 4. Ladder diagrams for different electrofacies

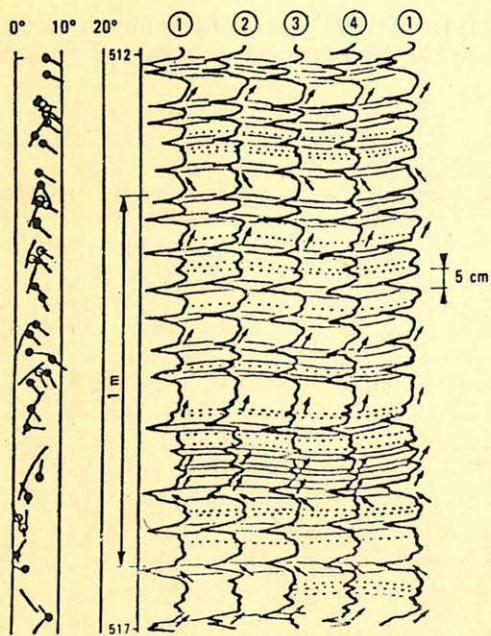


Geo 88/1-5

5. ábra. Közepesen osztályozott homok átmenete agyagba. A GEODIP által kapott korrelációt a folytonos vonalak mutatják

Рис. 5. Переход средне-сортированных песков в глины. Корреляция, полученная с помощью ГЕОДИП, показана сплошными линиями

Fig. 5. A GEODIP sequence of medium-grained sandstone to shale (correlations are shown as solid crosslines)



6. ábra. Egy finoman rétegzett agyag-homok sorozatra vonatkozó GEODIP-eredmény

Рис. 6. Результаты, полученные с помощью ГЕОДИП, для серии тонкослоистых глин и песков

Fig. 6. A GEODIP result for a series of thinly laminated shale and sand beds

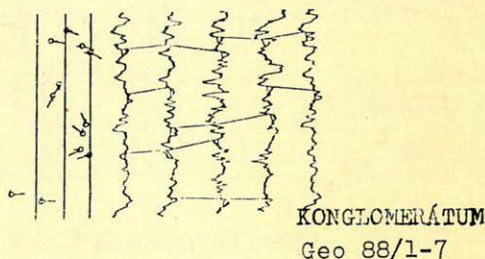
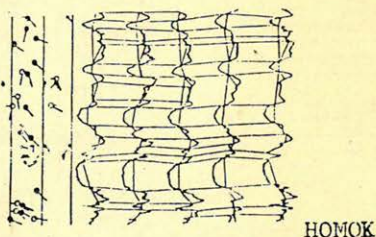
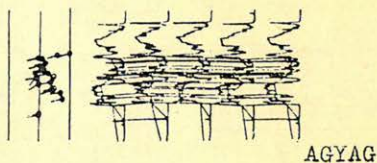
Geo 88/1-6

A 8. ábrán megfigyelhető egy kézi úton végrehajtott elektrofácies-azonosítás. A látható öt létradiagram a 4. ábra húszféle 'etalon' elektrofácieséből lett kiválasztva. Az első oszlopban (cluster number) az azonosított elektrofáciesnek a sorszáma látható, a második oszlop a magleírást mutatja, a harmadikban a nyers karotázsszelvények láthatók. A negyedik oszlop a GEODIP mikroellenállás görbéit mutatja.

7. ábra. HDT-görbék három különböző szemcseméretű öszletre

Рис. 7. Кривые НДТ для трех серий с различным гранулометрическим составом

Fig. 7. HDT response to three different grain size distribution

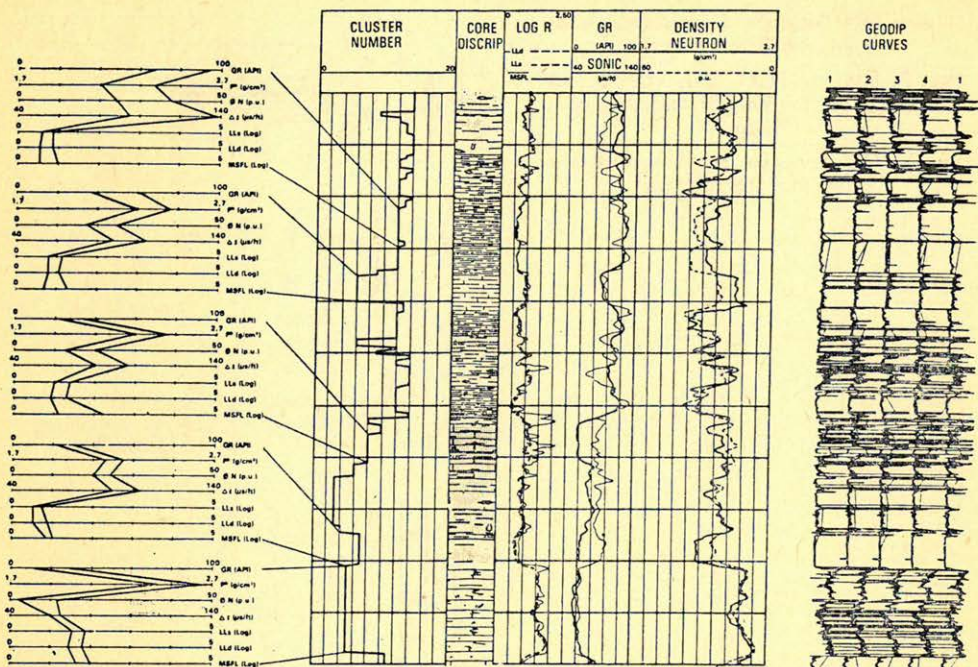


A 8. ábra jó példa az elektrofacies előnyeire. Egyrészt a példa mutatja, hogy az azonosítás a nyers szelvények alapján készült (kivéve a GEODIP eredményeit), másrészt az etalonokhoz hasonlítást szemmel végezték el, ami messzemenően lehetővé teszi az a priori ismeretek figyelembevételét.

3.2. Elektrofaciesek azonosítása automatikusan

Az interaktív elektrofacies azonosításának számtalan előnye ellenére akadnak hátrányai is. Mivel az ember közreműködése általában időigényes, ezért az interaktivitást tekinthetjük az elsőrendű futásidő növelő tényezőnek. Emiatt kifejlesztettek olyan eljárásokat, amelyek automatikusan képesek megoldani az elektrofacies-analízist, a rétegekre bontástól egészen az elektrofaciesek felismeréséig. Ebben a részben bemutatjuk ezeknek az automatáknak a működését.

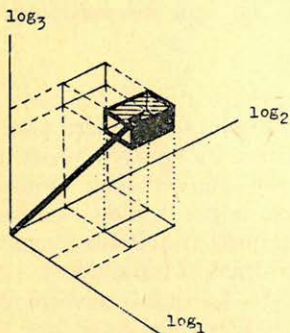
Tegyük fel, hogy rendelkezünk N darab különböző karotázsszelvényvel. Tekintsük az egy mélységponthoz tartozó különböző szelvényértékeket egy N elemű vektornak. (Ez tehát azt jelenti, hogy minden egyes mélységponthoz tartozik egy N elemű vektor. Mivel méterenként 5–10 adatot veszünk, és célunk nagyobb egységek jellemzése, ezért nem szükséges ennyire finom „felbontás”). Bontsuk rétegekre a szelvényeinket és jellemezzük őket az említett N elemű vektorokkal. Így annyi vektort kapunk, ahány réteg van. Ha „ábrázoljuk” a vektorokat az N -dimenziós térben, akkor egy-egy réteget egy helyvektorral jellemezzük. Ha képesek vagyunk előre definiálni helyvektorokat (és azoknak valamely sugárú környezetét), amelyek egy-egy ideális fáciesnek felelnek meg (etalon), akkor a feladat az, hogy eldöntsük, melyik etalonhoz hasonlít legjobban az adott réteget jellemző helyvektor (9. ábra).



8. ábra. Elektrofáciések korrelációja magokból kapott fáciessel

Рис. 8. Корреляция электрофаций и фаций, изученных на основе ядерного бурения

Fig. 8. Correlation of electrofacies with core facies



Geo 88/1-9

9. ábra

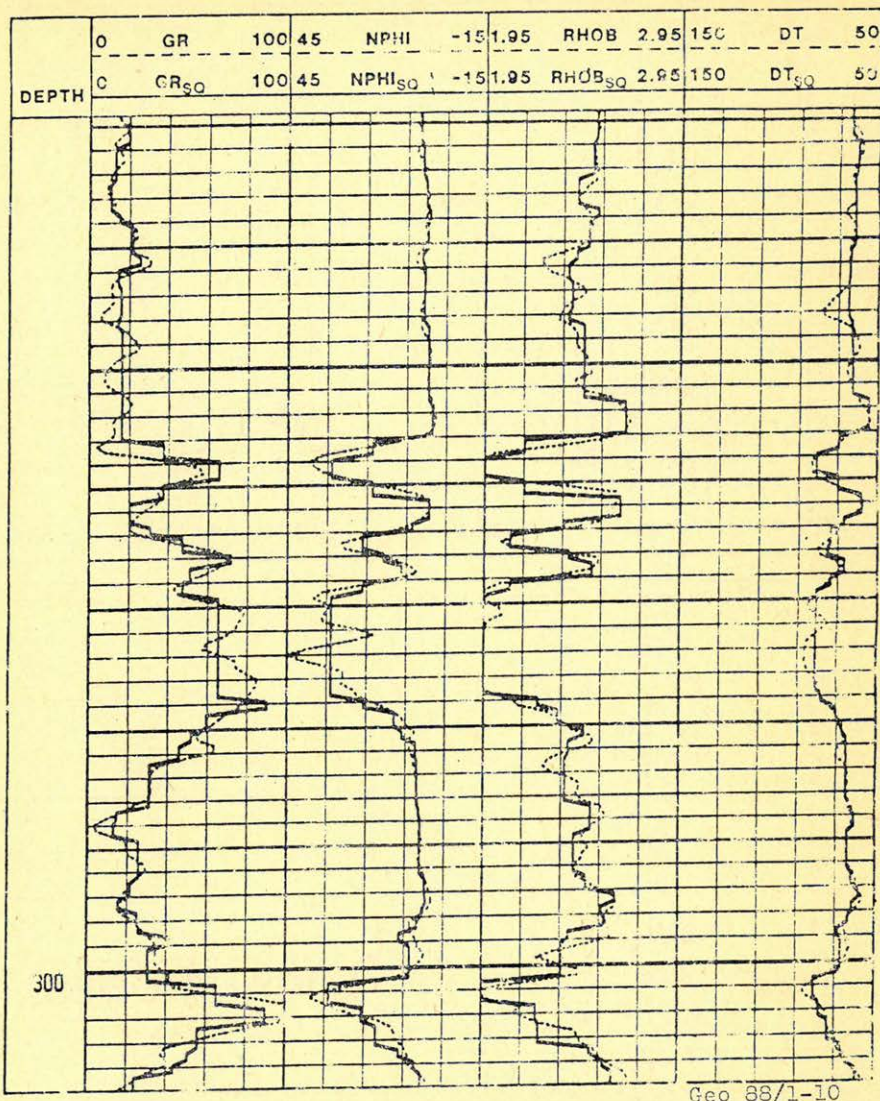
Рис. 9.

Fig. 9

A feladat tehát meg van fogalmazva. A megoldásra többféle lehetőség is kínálkozik. A főbb lépések a következők:

- a nyers karotázsszelvények hibáinak eltüntetése (hibás szelvényértékek kijavítása, lyukhatások kiszűrése stb. Ezzel itt nem foglalkozunk).
- a valamilyen módon normalizált szelvények rétegekre bontása valamilyen automatikus eljárással.

(A normalizálásra főkomponens analízist (PCA) használnak, amelynek révén sok kis réteget (vagy klasztert) kapnak. A 10. ábrán látható egy



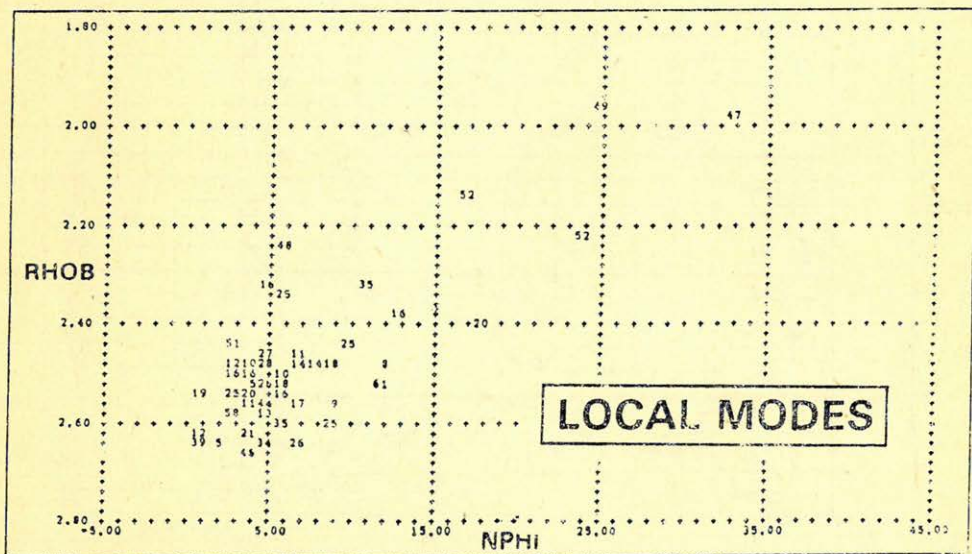
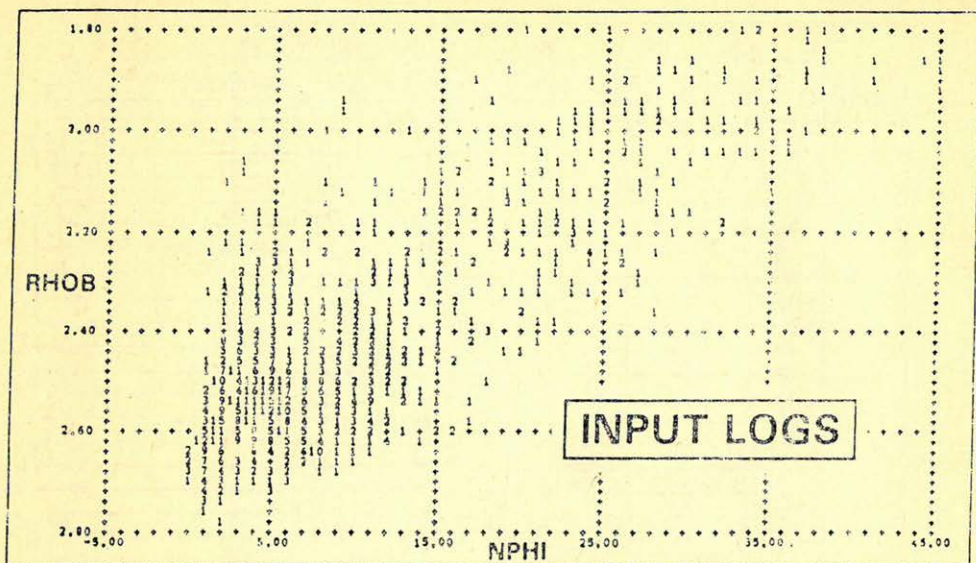
10. ábra. Rétegekre bontott szelvények és a nyers szelvények egymásra rajzolva. Szaggatott vonal: nyers szelvények. Folytonos vonal: rétegekre bontott szelvények

Рис. 10. Совмещение разрезов, разделенных на слои, с исходными разрезами: пунктирная линия – исходные разрезы, сплошная линия – разрезы, разделенные на слои

Fig. 10. Zoned logs superposed to raw logs dashed line: raw logs, solid line: zoned logs

rétegekre bontó eljárás eredménye. A 11. ábrán egy neutronsűrűség cross-plotot (NPHI – RHOB) láthatunk rétegre bontás előtt (INPUT LOGS) és után (LOCAL MODES).

Ezzel már nagymértékű adatesökkenés következett be, amit további adatredukció követ: a sok kis réteget jóval kevesebb számú réteggé vonják össze cluster-analízis segítségével (TERMINAL MODES). Ennek eredménye látható a 12. ábrán.



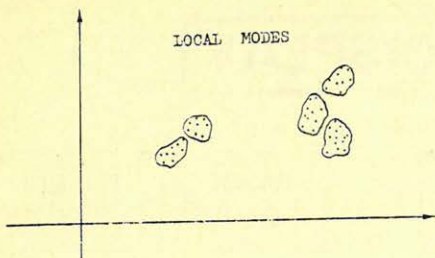
Geo 88/1-11

11. ábra. Neutron-sűrűség cross-plot (NPHI – RHO B) rétegekre bontás előtt (INPUT LOGS) és után (LOCAL MODES)

Рис. 11. Инверсия нейтронной плотности (NPHI – RHO B) перед разделением на слои (INPUT LOGS) и после деления на слои (LOCAL MODES)

Fig. 11. Neutron-Density cross-plot before (INPUT LOGS) and after (LOCAL MODES) zonation

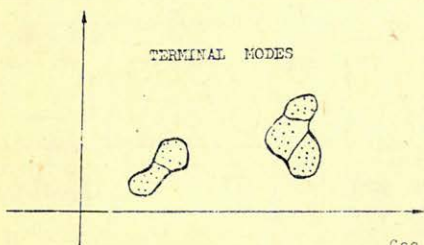
A rétegekre bontó eljárások, valamint a csoportosító eljárások részletes leírását mellőzni fogjuk, mivel bemutatásuk aránytalanul sok helyet foglalna el. Ezek a módszerek az eljárás technikai trükkjei közé tartoznak, és nem az elvileg lényeges momentumok közé – noha hibátlan működésük előfeltétele az eljárás használhatóságának. Egyébként is számos cikk foglalkozik ezzel a témával.



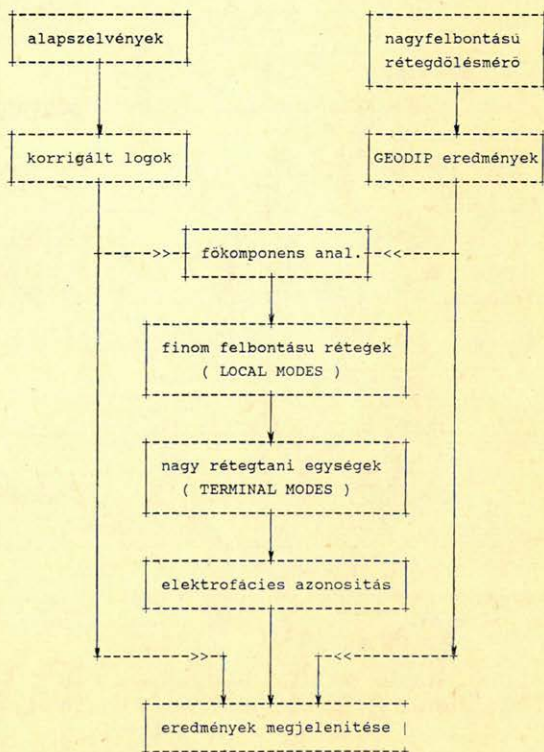
12. ábra. A rétegekre bontás (LOCAL MODES) és a clusteranalízis (TERMINAL MODES) eredményei

Рис. 12. Результаты разделения на слои (LOCAL MODES) и кластерного анализа (TERMINAL MODES)

Fig. 12. Result of zonation (LOCAL MODES) and cluster analysis (TERMINAL MODES)



Geo 88/1-12



13. ábra. A FACIOLOG-eljárás folyamat-ábrája

Рис. 13. Схема процесса метода «ФАЦИОЛОГ»

Fig. 13. FACIOLOG flow-chart

Geo 88/1-13

14. ábra. Az eredmények megjelenítése: egymás mellett láthatók a karotázsszelvények, a GEODIP eredmények és az elektrofaciás-analízis eredményei is

Рис. 14. Графическое изображение результатов: рядом друг с другом показаны разрезы геофизического каротажа, результаты ГЕОДИП и результаты электрофациального анализа

Fig. 14. Result display: well logs, GEODIP results and electrofacies analysis shown simultaneously

- elektrofaciások – faciások korrelációja az, amely az automatikus faciás-azonosítás legkritikusabb részének tűnik. (Véleményünk szerint interaktivitás nélkül ez nem is képzelhető el, mivel a faciások felismerése jóval több, mint egy „egyszerű” alakfelismerési probléma.) Egyrészt igen nagy mennyiségű és sokféle adatot igényel, másrészt nagyon alaposan értelmezett kulcskutatásokat, amelyek segítenek „belőni” a területre jellemző paramétereket, a várható litológiai összetételt stb., ugyanis ezek figyelembe vételével nagymértékben lecsökkenthető a felesleges keresések száma. (Ne felejtjük el, hogy az eljárás az összes lehetséges faciaskombinációt végignézi, ha csak nem segítünk neki azzal, hogy kizárjuk a lehetetlen eseteket. Ezeknek a száma pedig tekintélyes lehet.) Az elmondottak alapján tehát két alapvetően fontos tényező van az elektrofaciás-faciás-azonosításban: egy jól felépített adatbank és a célszerűen megadható korlátozó feltételek. (Számítástechnikai szempontból nem lényegtelen, hogy rendelkezünk olyan kereső algoritmussal, amely gyorsan képes mozogni az adott feltételek között.)

Az elektrofaciás-analízisnek a Schlumbergernél megvalósított változata a FACIOLOG-eljárás, amely működésének a változatát 13. ábra szemlélteti.

A 14. ábrán egy komplett elektrofaciás-analízis látható, amelyet FACIOLOG-programcsomaggal végeztek el.

IRODALOM

- [1] Serra, O. and Abbot, H. T.: The Contribution of Logging Data to Sedimentology and Stratigraphy; 1982, SPE 9270
- [2] Proc. Schlumberger Well Evaluation Conference, Algiers 1979
- [3] Vincent, P., Gartner, J. E. and Attali, G.: GEODIP: An approach to Detailed Dip Determination Using Correlation by Pattern Recognition; SPE 6823, 1977
- [4] Wolf, M. and Pelissier-Combesure, J.: FACIOLOG – automatic electrofacies determination; SPWAL 1982.
- [5] Serra, O.: Sedimentary environments from wireline logs; Schlumberger kiadvány, 1985.
- [6] Elek István: A főkomponens-analízis néhány mélyfúrású geofizikai alkalmazása (kutak közti korreláció, karotázsszelvények rétegekre bontása); Magyar Geofizika, 1986. 1. sz.
- [7] Bigelow, E.: Fundamentals of DILOG analysis; Dresser Atlas kiadvány, 1987.
- [8] Elek István: A főkomponens analízis alkalmazási lehetőségei az elektrofaciások azonosításában; SZKFI Műszaki Tudományos Közleményei, 1987. június, 2. sz.