

Karotázs görbék folyamatos feldolgozása agyagos homokkőtarolók mennyiségi értelmezésére

MINSZK-32 számítógépen

BARÁTH ISTVÁN – CZEGLÉDI ISTVÁN – MARKÓ LÁSZLÓ –
MÉSZÁROS FERENC – SZENDRŐ DÉNES*

Az OKGT Geofizikai Főosztályának irányításával az ELGI és OGIL szakemberei több évig dolgoztak a MINSZK – 32 típusú számítógépen a karotázs értelmező rendszer fejlesztésén. Ennek a fejlesztő munkának az eredményeit foglalja össze ez a dolgozat, egy dél-magyarországi lelőhely telepeire való alkalmazásán keresztül. A feldolgozás főbb mozzanatai a következők:

- a szelvények digitalizálása és visszarájzoltatással való ellenőrzése,
- a digitalizált szelvények mágnesszalagos adattárba való elhelyezése, fizikai értékekre konvertálva,
- a szelvények automatikus számítógépes mélységgyeztetése,
- porozitás és agyagtartalom meghatározása,
- víztelítettség-számítás többféle módszerrel,
- az eredmények megjelenítése plotteren és sornyomatón.

Под руководством главного отдела по геофизике Треста нефтяной и газовой промышленности, специалисты ЭЛГИ и ОГИЛ в течение нескольких лет проводили работы по разработке системы программ для интерпретации каротажных данных на ЭВМ Минск – 32. В настоящем докладе в сводном виде излагаются результаты этих работ, на примере использования системы применительно к залежам одного из месторождений Южной Венгрии. Основные этапы обработки заключаются в следующем:

- преобразование кривых в цифровой код и их проверка путем их повторного представления,
- архивация кодированных кривых на магнитной ленте, в физических величинах,
- автоматическое машинное согласование кривых по глубинам,
- определение пористости и глинистости,
- вычисление водонасыщенности различными методами,
- представление результатов при помощи плоттера и строкопечатающего устройства.

Under a contract of the Geophysical Department of the Hungarian Oil and Gas Trust, experts of the ELGI (Hungarian Geophysical Institute „Roland Eötvös”) and OGIL (Research Lab. of the Oil and Gas Industry) have worked for many years on the development of a well-log interpretation system on the MINSK – 32 computer. The lecture summarizes the results obtained through an actual example of application. Main steps of the computations are as follows:

- (i) Digitalization of the sections and replotting for cross-checking;
- (ii) Storing the digitized section on magnetic tape, after conversion into physical values;
- (iii) Automatic depth adjustment of the sections;
- (iv) Determination of porosity and shale content;
- (v) Estimation of water saturation using various methods;
- (vi) Presentation of the results on a plotter and on the line printer.

A MINSZK – 32 számítógépre több éves kutató-fejlesztő munkával kidolgozott karotázs-értelmező-rendszer kőolajipari felhasználása megindult egy Dél-Magyarországi terület feldolgozásával. A konkrét alkalmazás során kapott eredmények a számítógépes rendszer létjogosultságát bizonyítják.

A rendszer korszerű matematikai statisztikát felhasználó eljárásai könnyen biztosítják a területre jellemző konstansok paraméterként való felhasználását és a geofizikus értelmező szakmai tapasztalatának figyelembevételét. Az egysé-

ges mágnesszalagos adattári rendszer az eljárások egymásutáni csatlakozását segíti elő. Minden feldolgozó program azonos formátumú mágnesszalagról mágnesszalagra dolgozik, a mért szelvények és a számított görbék adatai kódszámaik megjelölésével könnyen elérhetőek. Az adatok memóriába való behozatala a memória szabad területének, a felhasználandó görbék számának és hosszának automatikus figyelembevételével mélységszakaszonként történik.

A geofizikai értelmezés digitalizálási pontonként folyik, de a litológia meghatározása után a további hasznos információ számítása csak a permeábilis helyeken folytatódik.

A programrendszer folyamatábrája az 1. ábrán látható, egyes lépéseinek bemutatására pedig a következőkben térünk ki.

1. ábra. A programrendszer folyamatábrája

1. pr.: Gray szalagok visszarájzolása; 2. pr.: Gray szalagok mágnesszalagra való felvitele; 3. pr.: Fizikai értékekre konvertálás, szabvány formában tárolás; 4. pr.: Mélységgyeztetés; 5. pr.: Görbék normalizálása; 6. pr.: Görbék litológiai meghatározása; 7. pr.: Porozitások és agyagtartalom számítása; 8. pr.: Víztelítettség, CH-telítettség meghatározása; 9. pr.: Eredmények nyomtatása; 10. pr.: Görbék összerendezése; 11. pr.: Eredmények rajzolása; *Jelölések:* A. Gray kódos lyukszalag; B. Goszt kódos paraméterszalag; C. Mágnesszalag; D. Program; E. Plotter; F. Sornyomtató.

Fig. 1. Flow-chart of the program system

Program No. 1. Control plotting of Gray-coded punched tapes; No. 2. Loading of the Gray-coded punched tapes on the magnetic tapes; No. 3. Conversion to physical values, storing in standard format; No. 4. Depth adjustment; No. 5. Normalization of the curves; No. 6. Determination of lithology; No. 7. Calculation of porosity and shale content; No. 8. Determination of water saturation and CH saturation; No. 9. Print-out; No. 10. Sorting of the curves; No. 11. Plotting of the results; *Symbols:* A Gray-coded punched tapes; B GOST-coded parameter tape. C Magnetic tape; D Program; E Plotter F Lineprinter.

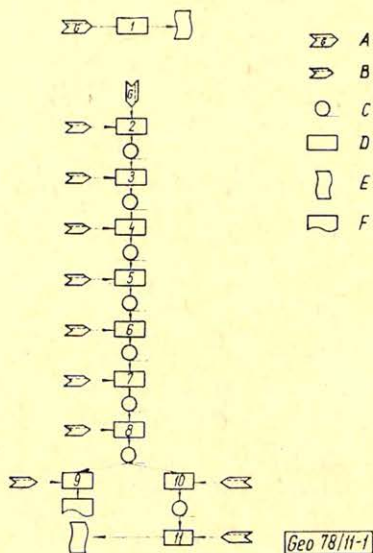


Рис 1. Блок-схема программного пакета

1. — Воспроизведение данных ГРЕЙ на плоттере CIL; 2. — Запись лент ГРЕЙ на магнитную ленту; 3. — Трансформация данных в физические величины и их хранение в стандартной форме; 4. — Привязка/данных по глубине; 5. Нормализация кривых; 6. — Определение литологии; 7. — Оценка пористости и глинистости; 8. — Оценка водо- и нефтенасыщенности; 9. — Печать результатов; 10. — Сборка кривых; 11. — Вычерчивание результатов
Обозначения: А — Перфолента в коде ГРЕЙ; В — Лента параметров в коде Гост; С — Магнитная лента D — Программа; E — Плоттер; F — Широкопечатающее устройство

1. program

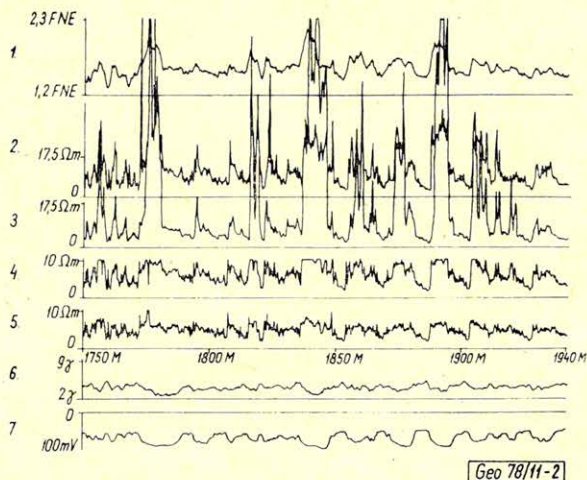
A digitalizált görbék GRAY-kódos lyukszalagjait ellenőrzés szempontjából a CIL-plotteren kirajzolja.

2. program

A GRAY-kódos lyukszalagok adatainak mágnesszalagra való felírását végzi el.

3. program

A GRAY-kódos értékek binárisra való átkonvertálását végzi, majd a fizikai értékek helyreállítása után szabványformátumúan tárolja a görbéket a szelvényadattárban.



2. ábra. Felhasznált szelvények

Fig. 2. Logs used

Рис 2. Использование диаграммы

Az adattárból plotteren kirajzolt, a feldolgozásnál felhasznált szelvények a 2. ábrán láthatók.

4. program

A karotázs-szelvények helyes mélységegyeztetése az értelmezés elengedhetetlen előfeltétele. Addig, amíg a hagyományos összerajzolásnál a szakember tapasztalata és a görbék vizuális szemlélete igen jó eredményt szolgáltat, számítógépes mélységegyeztetésre a szakirodalomban igen kevés utalás történik. Általában úgy esúsztatják egymás mellett a szelvényeket, hogy a keresztkorrelációs együttható maximális legyen. Ez a módszer azonban csak a szelvény egészéhez tartozó konstans esúszást küszöböli ki, holott a mélységtérések nagysága pontról pontra változhat, harmonikaszerű összetevőkből állhat.

A jelen programrendszerben felhasznált iterációs eljárás biztosítja, hogy egyszerre tetszőleges számú görbesereget figyelembe véve a mélységtérés matematikai megfogalmazást nyerjen.

A mélységtérést matematikai függvénnyel közelítve, a mélység helyes görbe korrigált értékeit a mért görbék sorbafejtése után, a legkisebb négyzetek módszerével számolja ki a program.

Mivel a pontról pontra változó nagyságú mélységtérést a program kiszámítja, így a keresztkorrelációs eljárásnál lényegesen gyorsabb, s mivel nemcsak lineáris eltolódást feltételez, a harmonikázásokat is kiküszöböli.

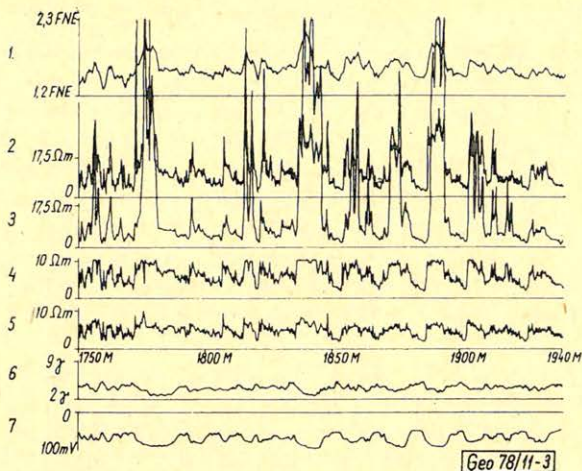
Mivel a matematikai eljárás a mélységpontok számát nem változtatja meg, előnye még az is, hogy az intervallumok szélein hiányos szakasz nem keletkezik.

Az eljárás alkalmazása nem teszi szükségessé valamely görbe kitüntetett szerepét, de lehetséges az is, hogy ha bizonyos számú szelvényt nem szükséges korrigálni, akkor ezek felhasználásával csak a fennmaradó szelvényeket egyeztetjük.

A mélységileg egyeztetett szelvények a 3. ábrán tekinthetők meg.

5. program

Az értelmezés során néhány karotázs görbe esetén a földtani viszonyokat az abszolút értékek helyett a relatív értékek jobban jellemzik, amelyek a görbék normalizálásával kaphatók meg.



3. ábra. Mélységileg egyeztetett szelvények

1. Neutron-gamma; 2. Mikrolaterolog; 3. Optimális laterolog; 4. Mikropotenciál
5. Mikrogradiens 6. Természetes-gamma; 7. Természetes potenciál

Fig. 3. Depth-adjusted logs

1. Neutron-gamma; 2. Microlaterolog; 3. Optimal laterolog; 4. Micropotential; 5. Microgradient; 6. Natural gamma; 7. Natural potential

Рис 3. Диаграммы, привязанные по глубине

1. — НГГ; 2. — Микробковой каротаж; 3. — Оптимальный боковой каротаж; 4. — Микропотенциал; 5. — Микроградиент; 6. — ГК; 7. — ПС

Jelen esetben a litológia és az agyagosság meghatározása érdekében szükség volt a PS és a természetes-gamma görbék tiszta homok és agyag szintjének kijelölésére s a görbe értékeinek a két szint közé normálására úgy, hogy a maximális érték egy legyen. A bázisvonalak tulajdonsága az, hogy a mélység függvényében nem konstans értékűek, így kijelölésük is csak szakaszokra való felosztás után történhet.

A szakaszhosszúság megadása a földtani viszonyok ismeretében paraméterként történik, utána a program automatikusan a görbét alulról és felülről burkoló poligonokat határoz meg, majd a görbe értékeit a kettő közé normalizálja. A normalizált görbék a 4. ábrán láthatók. Ugyanez a program végzi el a mikronormál és mikrogradiens görbék különbségének képzését, amely a litológia szempontjából lényeges.

4. ábra. Mikrokülönbség (3), normalizált természetes gamma (2), és normalizált természetes potenciál (1) szelvények

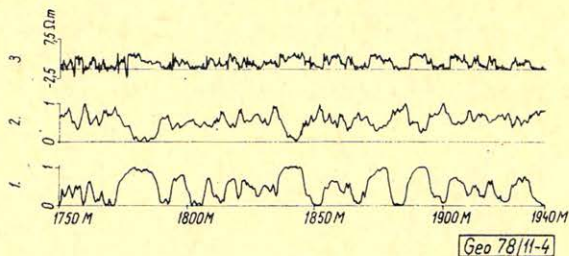


Fig. 4. Micro difference (3), normalized natural gamma (2) and normalized natural potential (1) logs

Рис. 4. Разница двух кривых микроградиента и микропотенциала (3), нормализованные диаграммы ГК (2) и ПС (1)

6. program

A mélységpontonként dolgozó litológiai program segítségével történik a permeábilis szakaszok, ezen belül pedig a gáz-, olaj- és víztároló zónák kijelölése.

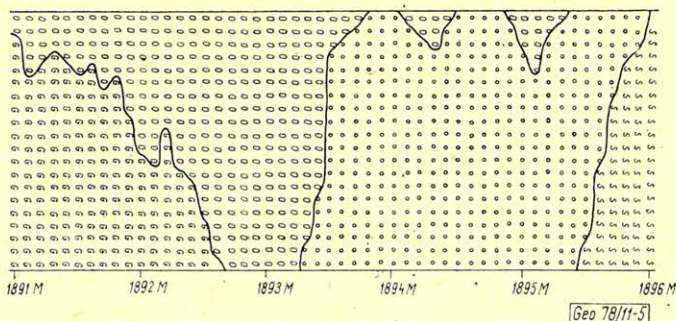
A litológiai meghatározás azon alapul, hogy a különböző rétegtípusok geofizikai paraméterei megadható tartományokkal jellemezhetőek. A klasszikus tárgyalás értelmében így, ha egy adott helyen a geofizikai paraméterek és a rétegtípust jellemző tartományok között egy egyértelmű megfeleltetés jön létre, akkor az adott rétegtípus tekinthető a kiértékelés eredményének. Amennyiben ez a kapcsolat nem jön létre, a klasszikus módszer nem szolgáltat eredményt. Az említett hiányosság kiküszöbölésére statisztikus módszer került kidolgozásra, amely a fúrólukban létrejövő bonyolult mérési körülmények okozta változások tárgyalását könnyíti meg.

A statisztikus eljárás a teljesen ki nem küszöbölhető zavaró effektusok hatását a mért értékhez rendelhető szórásban sűríti össze. A szórás becslésénél figyelembe vettük a műszer paramétereit, a mért geofizikai mennyiség esetleges statisztikus viselkedését és a mérés pontatlanságából származó hibát is.

A litológiai értelmezéshez szükséges a területre jellemző statisztikus litológiai mátrix, amelyben a karotázs görbékhez és a rétegtípusokhoz tartozó geofizikai paraméterek jellemző intervallumainak alsó és felső határai találhatóak. Ugyancsak itt szerepelnek az egyes rétegtípusok előfordulási valószínűségei is.

A statisztikus litológiai súlymátrix paraméterei az interpretátor szakmai tapasztalatát tükrözik, mivel a különböző karotázs görbékhez és a rétegtípusokhoz tartozó súlyfaktorok a geofizikai paraméterek mért értékeit szolgáltatják.

Feltételes valószínűséget alkalmazva a digitalizálási pontokban ismert mért értékek és szórások alapján kiszámoljuk, hogy a statisztikus litológiai mátrixban definiált várható értékektől milyen valószínűséggel származhatott a saját eredménye. A súlyfaktorok birtokában – figyelembe véve a geofizikai sajátosságokat – korrekciót hajtunk végre a valószínűségeken, majd meghatározzuk több karotázs görbe alapján az eredő valószínűségeket rétegtípusonként. A maximális



5. ábra. Litológiai valószínűségeloszlás. Egy darab jel 5% valószínűséget reprezentál
Jelölések: S márga; o vizes homokkő; O olajos homokkő; G gázos homokkő

Fig. 5. Lithological probability distribution. Each signal represents 5% probability
Symbols: S marl; o wet sandstone; O oily sandstone; G gaseous sandstone

Рис 5. Распределение литологической вероятности

Один сигнал представляет вероятность в 5%; S — мергель; o — водоносный песчаник; O — нефтеносный песчаник; G — газоносный песчаник

6. ábra. Felhasznált diagramok

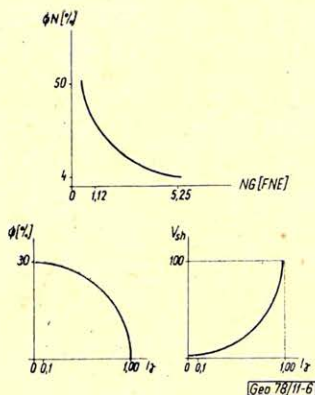
Felölések: NG – neutron gamma feltételes egységekben; Φ_N – neutron porozitás; Φ – porozitás; V_{sh} – agyagtartalom; I – relatív gamma

Fig. 6. Diagrams used

Symbols: NG neutron-gamma in arbitrary units; Φ_N neutron porosity; Φ porosity; V_{sh} shale content; I relative gamma

Рис. 6. Использование диаграммы

Обозначения: NG – НГК в условных единицах; Φ_N – нейтронная пористость; Φ – пористость; V_{sh} – глинистость; I – относительная гамма-активность



valószínűséghez tartozó rétegtípus a litológiai eredményt szolgáltatja, a valószínűség értéke pedig az eredmény megbízhatóságát tükrözi. A litológia-kód változása egyben a réteghatárok kijelölésére is alkalmazható.

A litológiai valószínűségeloszlás a mélység függvényében az 5. ábrán látható.

7. program

A mélyfúrás geofizikában sok esetben a mérési értékekből nem matematikai formulákkal számolnak ki egy újabb eredményt, hanem a területi viszonyokat tükröző diagramok alapján történik az értelmezés.

Először végzi el az interpolációs program, amelynél a változók összetartozó értékeit, azaz a függvények pontjait paraméterszalagon kell megadni. Ugyancsak paraméterrel vezérelhető az, hogy milyen litológiai kódoknál történjen ilyen számítás. Jelen feldolgozásnál a permeábilis rétegek esetén a normalizált természetes-gamma görbéből porozitás és agyagtartalom, míg a neutron-gamma szelvényből neutronporozitás kerül meghatározásra.

A felhasznált diagramok a 6. ábrán tekinthetők meg.

8. program

A szénhidrogén-tárolók kijelölése szempontjából szükséges a porozítások és az agyagtartalom meghatározása után a víztelítettség és szénhidrogén-telítettség számítása.

A korszerű mennyiségi értelmezés érdekében ez négyféle módon történik. A megbízhatóság fokozása érdekében nemcsak ezek átlagértéke, hanem a pontatlanságot jellemző szórás is meghatározásra kerül.

A felhasznált összefüggések:

a) Az algói területre kidolgozott képlet:

$$b) \quad S_{w1} = \left[\frac{5}{\left(1 + \frac{2}{3} V_{sh}\right) \cdot R_t} \right] \frac{1}{2 - \frac{4}{3} I_\gamma}$$

$$c) \quad S_{w2} = \left(\frac{R_0}{R_t} \right)^{1/n}$$

$$S_{w_3} = \left(\frac{R_{MLL}}{R_t} \cdot \frac{R_w}{R_{mf}} \right)^{0,76}$$

$$d) \frac{1}{S_{w_4}} = \left(\frac{V_{sh}^{(1-V_{sh}/2)}}{\sqrt{R_{sh}}} + \frac{\Phi^{m/2}}{\sqrt{R_w}} \right)^{2/n} \cdot R_t^{1/n}$$

- Ahol S_w – víztelítettség
 R_o – száz százaléig vízzel telített réteg ellenállása
 R_t – valódi ellenállás
 R_w – rétegvíz ellenállása
 R_{mf} – iszapfiltrátum ellenállása
 R_{MLL} – mikrolaterológból kapott ellenállás
 R_{sh} – agyag ellenállása
 V_{sh} – agyagtartalom
 $I\gamma$ – relatív természetes-gamma érték
 n, m – területre jellemző állandók.

9. program

A számított eredményeket digitalizálási pontonként a mélység függvényében mágnesszalagról táblázatos formába kinyomtatja. A nyomtatott formátum a 7. ábrán látható.

MÉLYSÉG	VSH	Φ	ΦN	SW1	SW2	SW3	SW4	SW	SD	LIT	VAL
[m]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1658 00	15	25	20	35	60	41	63	45	10	4	63
1657 90	14	25	21	31	52	37	57	40	8	4	54
1657 80	13	25	21	29	45	34	53	36	6	1	74
1657 70	12	26	22	26	39	31	49	32	5	1	78
1657 60	12	26	22	25	37	31	49	31	4	1	79
1657 50	11	26	22	21	30	26	41	26	3	1	79
1657 40	11	26	22	19	28	24	39	24	3	1	76
1657 30	12	26	21	17	25	22	36	21	3	1	74
1657 20	13	25	21	15	23	20	33	19	3	1	71
1657 10	13	25	21	14	22	19	32	18	3	1	71
1657 00	14	25	21	14	24	20	33	19	3	1	76

[Geo 78/H-7]

7. ábra. Eredmények táblázatos formában
 Jelölések: V_{sh} – agyagtartalom; Φ – porozitás; ΦN – neutronporozitás; SW1, SW2, SW3, SW4 különböző módon számított víztelítettségek; SW – az első három víztelítettség átlaga; SD – az átlagos víztelítettség szórása; LIT – litológiai kód VAL – litológiai valószínűség

Fig. 7. Results in tabulated form

Symbols: V_{sh} shale content; Φ porosity; ΦN neutron porosity;

SW1, SW2, SW3, SW4 – water saturation calculated by different methods; SW – average of the first three values of water saturation; SD – scatter of the average of water saturation; LIT – lithological code; VAL – lithological probability;

Рис. 7. Результаты в табличной форме

Обозначения: V_{sh} – глинистость; Φ – пористость; ΦN – нейтронная пористость; SW1, SW2 – SW3, SW4 водонасыщенность, рассчитанная различными способами; SW – средняя величина первых трех водонасыщений; LIT – литологический код; VAL – литологическая вероятность; SD – разброс средней водонасыщенности

10. program

A mágnesszalagon mélységszakaszonként tárolt szelvényeket görbék szerint a mélység függvényében összerendezi.

11. program

A mágnesszalagon szabvány formában tárolt mért- és eredmény görbéket paraméterszalaggal vezérelt formában CIL-plotteren kirajzolja.

Az eredménygörbék rajzait a 8. ábra tartalmazza.

	$(\varnothing - i\gamma)$		$(V_{sh} - i\gamma)$		FNE	Φ HOMOKKÖ
	$i\gamma$	0	$i\gamma$	V_{sh}		
1	0,0	30,0	0,0	0,0	5,25	4,0
2	0,1	29,6	0,1	2,5	4,7	5,2
3	0,2	28,9	0,2	4,5	3,75	8,5
4	0,3	28,0	0,3	7,0	2,9	13,0
5	0,4	26,9	0,4	10,0	2,1	21,7
6	0,5	25,6	0,5	14,5	1,8	26,0
7	0,6	24,0	0,6	20,0	1,55	30,5
8	0,7	21,4	0,7	28,5	1,35	35,0
9	0,8	17,4	0,8	42,0	1,25	40,0
10	0,9	10,6	0,9	62,0	1,2	45,0
11	1,0	0,0	1,0	100,0	1,12	50,0

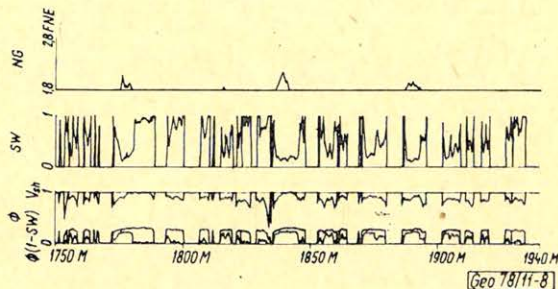
8. ábra. Eredmények CIL plotteren kirajzolva

NG – neutron gamma; S_w – víztelíttség; V_{sh} – agyagtartalom; $\Phi(1-S_w)$ – szénhidrogéntelíttség

Fig. 8. Results displayed on the CIL plotter

NG – neutron gamma; S_w – water saturation; V_{sh} – shale content; $\Phi(1-S_w)$ – hydrocarbon saturation

Рис. 8. Вычерчивание результатов на плоттере CIL



A programrendszer rutinszerűen működik, a területi feldolgozás során pedig lehetőség adódott a számítógépes értelmezés effektivitásának vizsgálatára a kézi interpretációval való összehasonlítás útján. A tapasztalat azt mutatja, hogy az eredmények a hagyományos értelmezéssel és a geológiai szolgálat által kapott eredményekkel összhangban hasznos információt szolgáltatnak a szénhidrogéntelemek kimutatására és a rezervoargeológiai értelmezésre.

IRODALOM

- [1] Balogh E., Burányi I., Kurali F., Soós G., Tóth L., dr. Zilahi S. L.: Jelentés a KER mágnesszalagos adattári rendszeréről. Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet jelentése, 1975.
- [2] Bessenyei I., Markó I.: Algyő-Maros telepek tároló rétegeinek átfogó mélyfúrás geofizikai értelmezése a rezervoargeológiai feldolgozáshoz. Kőolaj- és Földgázbányászati Ipari Kutató Laboratórium jelentése, 1976.
- [3] Czeglédi I.: A Karotázs Értelmezési Rendszer tervezete OKGT Geofizikai Főosztály, 1972.
- [4] Mészáros F.: Jelentés a természetes potenciál-görbe agyagalapvonalának gépi meghatározásáról. Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet jelentése 975.
- [5] Szendrő D.: Karotázs módszerek alapján történő litológiai tagolás. Matematika és számítástechnika a nyersanyag kutatásban II. kötet, 60 – 79 old. Magyarhoni Földtani Társulat, 1974.
- [6] Szendrő D.: Karotázs szelvények számítógépes mélységegyeztetése. Kiváló Ifjú Diplomás pályázat, 1976.