

# Karotázs szelvények interaktív mélységegyeztetése kiszámítógépen

KOVÁCS GYÖRGY\*

*A mélyfúrási geofizikai szelvényanyag feldolgozásának egyik legelső és legfontosabb lépése a szelvények mélységegyeztetése. Ez gyakran igen időigényes és fáradságos feladat.*

*Ez a cikk a digitális formában rendelkezésre álló szelvényeknek kis számítógépen (HP9845) való interaktív mélységegyeztetését mutatja be.*

*Одна из самых первых и важных стадий интерпретации данных ГИС — это корреляция по глубинам каротажных диаграмм. Часто это требует больших затрат времени и сил.*

*В статье показана интерактивная корреляция по глубинам представленных в цифровой форме каротажных диаграмм на мини ЭВМ (HP 9845).*

*The depth matching of the well logs is the first and one of the most important steps of the well log analysis. It is very often a time — consuming and tedious task.*

*The paper presents an interactive depth matching process of digitized well logs developed for desk — computer HP 9845.*

## 1. A mélységtérések keletkezése

A különböző karotázs szondákkal felvett szelvények között, még a leggonosabban betartott szelvényezési technológia esetén is mélységtérés keletkezhet

Ennek okai a következők lehetnek:

- a szonda szorulása okozta kábelnyúlás
- a szonda „megugrása”
- a kábelnek a terhelés és a hőmérséklet hatására bekövetkező hosszváltozása
- a kábel csúszása a mélységjeladó meghajtó szerkezetén
- az analóg felvételeknél a filmmeghajtás szabálytalanságai
- egyéb mechanikus, elektronikus és szubjektív hibák (pl. rossz mélységbeállítás stb.)

A fenti problémák összességében azt eredményezik, hogy fúrásban, különböző húzásokban felvett szelvények között a mélység függvényében változó mélységtérés keletkezik. Amennyiben ezt a mélységtérést a feldolgozás előtt nem sikerült kiküszöbölni, ez lényegesen ronthatja az értelmezés minőségét.

A hazai számítógépes értelmezési gyakorlatban a feldolgozókat pontonkénti adatokkal végzik, ahol a mintavételi távolság általában 0,2 m. Alapvető fontosságú, hogy a számításokhoz felhasznált szelvényértékek azonos mélységpontból származzanak.

## 2. A karotázs görbék mélységtérésének kiküszöbölése

A durva mélységtérések (rossz mélységbeállítás, több méteres elcsúszás stb.) azonnal és egyszerűen felfedhetők.

\* SZKFI. Százhalombatta

A finomabb mélységhibák (kábel nyúlás), mivel gyakran csak lokálisan jelentkeznek egy-egy szelvényen (elsősorban a lyukfalhoz szorított eszközök esetén), nehezebben deríthetők fel.

Az analóg rögzítési technika korában a mélységeltéréseket kézi összerajzolóval próbálták meg a szelvényanyagból kiküszöbölni. Ily módon azonban hatékonyan és egyszerűen csak a „shift” jellegű eltérések szüntethetők meg. A görbék „nyúlása”, „zsugorodása” a kézi összerajzolás útján nem javítható kellő pontossággal.

A digitális rögzítési technika általánossá válása szükségessé tette a szelvényeknek számítógéppel történő mélységegyeztetését, mivel nincs mód és értelme a szelvények kézi összerajzolásának.

A számítógépi mélységegyeztetés megvalósítására alapján két lehetőség kínálkozik. Az egyik egy félautomatikus (interaktív) eljárás, melynek során az operátor (értelmező) a számítógép display-én megjelenő karotázis görbéken maga jelöli ki a mélységileg összetartozó pontokat. A következőkben a számítógép valamilyen algoritmus segítségével mélységileg összerendezi a szelvényeket (mélységegyeztetési), visszarajzolja és tárolja az adattárban.

A másik lehetőség a teljesen automatikus mélységegyeztetés, melynek során a számítógép maga végzi el a görbék közötti mélységeltérés meghatározását is. Mivel ez ideig ezen feladat elvégzésére megbízható és hatékony eljárás nem ismeretes (leszámítva egy-két speciális esetet pl. rétegdőlés-meghatározás), az Intézetünkben megvalósított számítógépes értelmezési rendszerben (CLAS) az első megoldás alkalmazása mellett döntöttünk.

### 3. A CLAS-rendszerben megvalósított mélységegyeztető eljárás

Az eljárás szervei része a CLAS-rendszernek, abban egyetlen utasítással aktivizálható. Az *I. ábrán* az interaktív mélységegyeztetés folyamatábrája látható. Az algoritmus működése a következő.

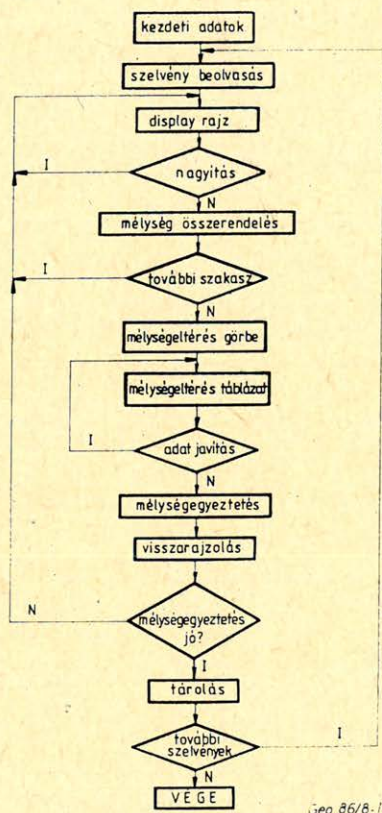
1. A megadott szelvényeket (alapszelvény, egyeztetni kívánt szelvény) a adattárból betölti a memóriába
2. A mélységegyeztetni kívánt mélységszakasz adatainak áttöltése a megfelelő tömbökbe (így nem csak egyszerre az egész szelvény, hanem egyes szakaszai külön is mélységegyeztethetők)
3. *1:200* mélységléptékben felrajzolja a display-re az alapszelvényt (alul) és az egyeztetni kívánt szelvényt (felül). A *2. ábrán* 2 ellenállás szelvény egyeztetése látható. Az alapszelvény egy mélybehatolású laterológ szelvény (BKMLD3), az egyeztetni kívánt szelvény pedig egy optimális laterológ (BKMOL6).

Egyszerre 36 m-nyi szelvény fér a képernyőre. Ebből az első 6 m átfedés az egymás után következő képek között. A szelvények y-irányú skálája lineáris, de tetszőleges y-irányú nagyítás kérhető.

4. A cursor segítségével jelölhető ki az egyes szelvényeken az összetartozó mélységpontok. Ezeket a *2. ábrán* szaggatott függőleges vonalak jelzik.
5. A kívánt számú összetartozó mélységpont kijelölése után az interpolált mélységeltérés-görbét kirajzoljuk. A *3. ábrán* látható a fenti két szelvénynek a *200 – 300* m közé eső szakaszainak mélységeltérés görbéje.

Az összetartozó mélységpontok táblázatos formában is kinyomtatásra kerülnek. Lehetőség van a téves adatok utólagos javítására.

6. A továbbiakban a program elvégzi a mélységegyeztetést. Interpolációval meghatározza minden egyes mélységpontban a mélységtérés mértékét. Az adott mélységhez tartozó szelvényértéket a mélységtérés alapján interpolációval számítja ki az eredeti szelvényértékből erre a célra 8. fokú Lagrange polinomot használ [2].



Geo 86/8-1

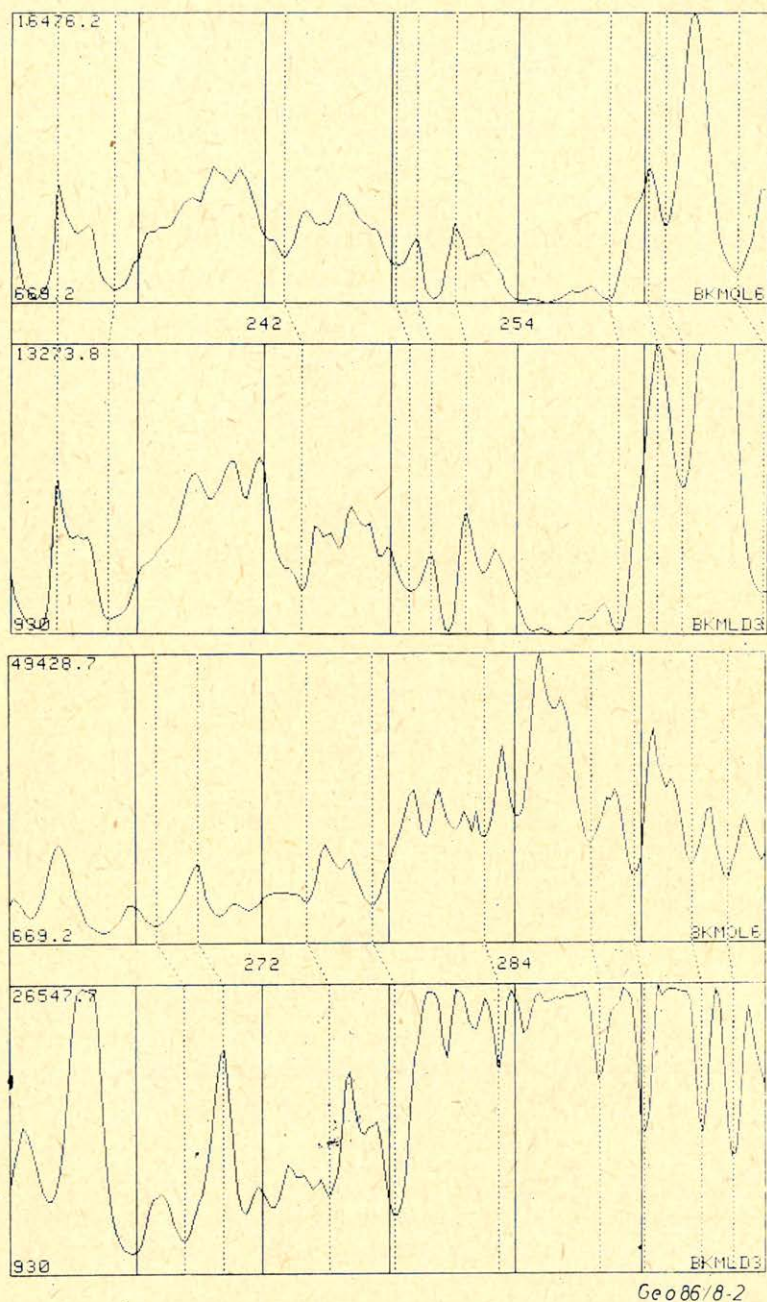
1. ábra. Az eljárás folyamat ábrája

Рис. 1. Схематическое изображение метода

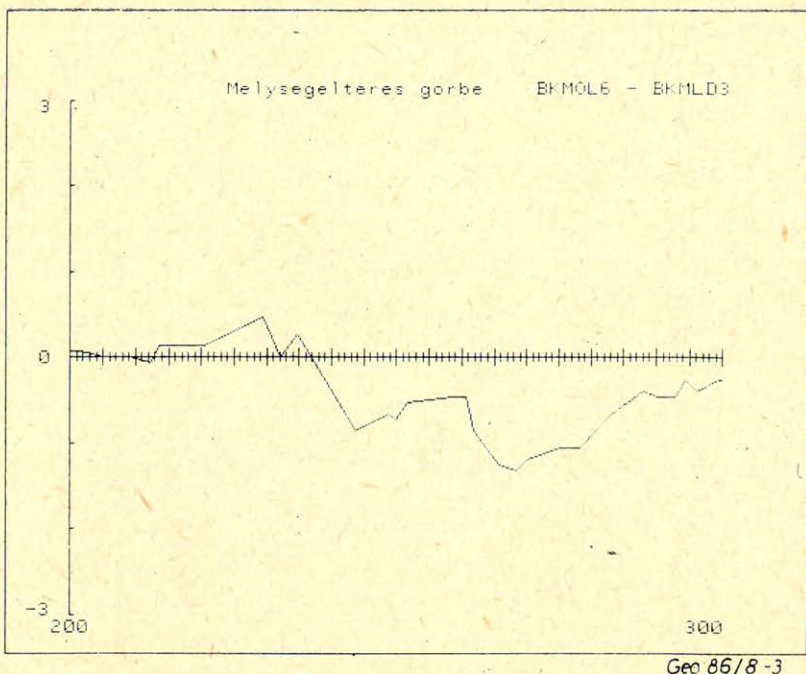
Fig. 1. The flow-chart of the process

7. A mélységegyeztetés végén felrajzolja az alapszelvényt és az egyeztetett szelvényt (4. ábra). Kiszámítja a görbék közötti korrelációs koefficiens értékét a mélységegyeztetés előtt és után. A jelen esetben a kezdeti korrelációs koefficiens  $C_v = 0,818$  volt ami az egyeztetés után  $C_k = 0,912$ -re növekedett.

Ezek ismeretében, valamint a rajz alapján az operátor dönti el, hogy megfelelő-e a mélységegyeztetés. Ha megfelelő, akkor a mélységegyeztetett szelvény a szelvényadatárban rögzítésre kerül. Amennyiben nem, akkor a nem megfelelő szakaszokon ismételni lehet a mélységegyeztetést.



2. ábra. Ellenállás szelvények mélységegyeztetése  
 Рис. 2. Согласование глубин диаграмм ЭК  
 Fig. 2. Depth-matching of the resistivity logs



Geo 86/8-3

3. ábra. Az ellenállás szelvények mélységeltérés görbéje  
 Рус. 3. Расхождение в глубине кривых диаграмм ЭЖ  
 Fig. 3. Depth difference curve of the resistivity logs

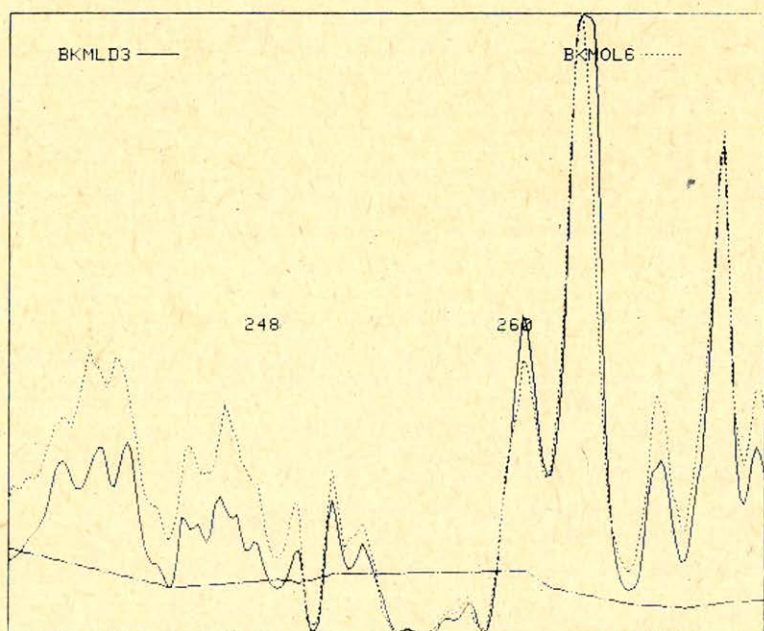
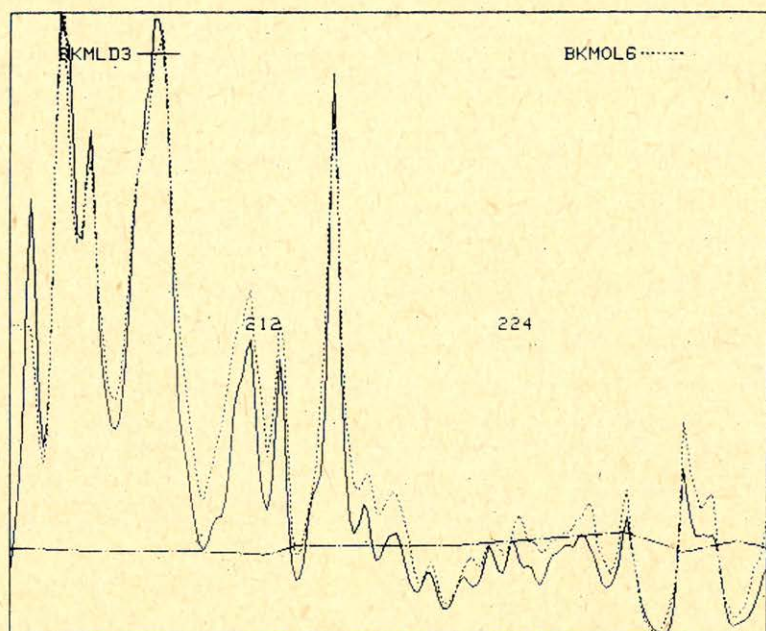
A kapott mélységeltérés görbe mágnes lemezen tárolható. Ez különösen előnyös az egy szerelvényben felvett görbék egyeztetése esetén. Ekkor ugyanis csak egy görbét kell mélységegyeztetni. A szerelvényben levő többi görbe ezzel az eltérés tömbbel korrigálható.

#### 4. Az eljárás használata során szerzett gyakorlati tapasztalatok

Ezt az eljárást minden olyan esetben alkalmaztuk a CLAS rendszerben ez ideig feldolgozott szelvényanyagon (kb. 130 kút, 3500 m szelvény), amikor a szelvények mélységeltérése miatt erre szükség volt.

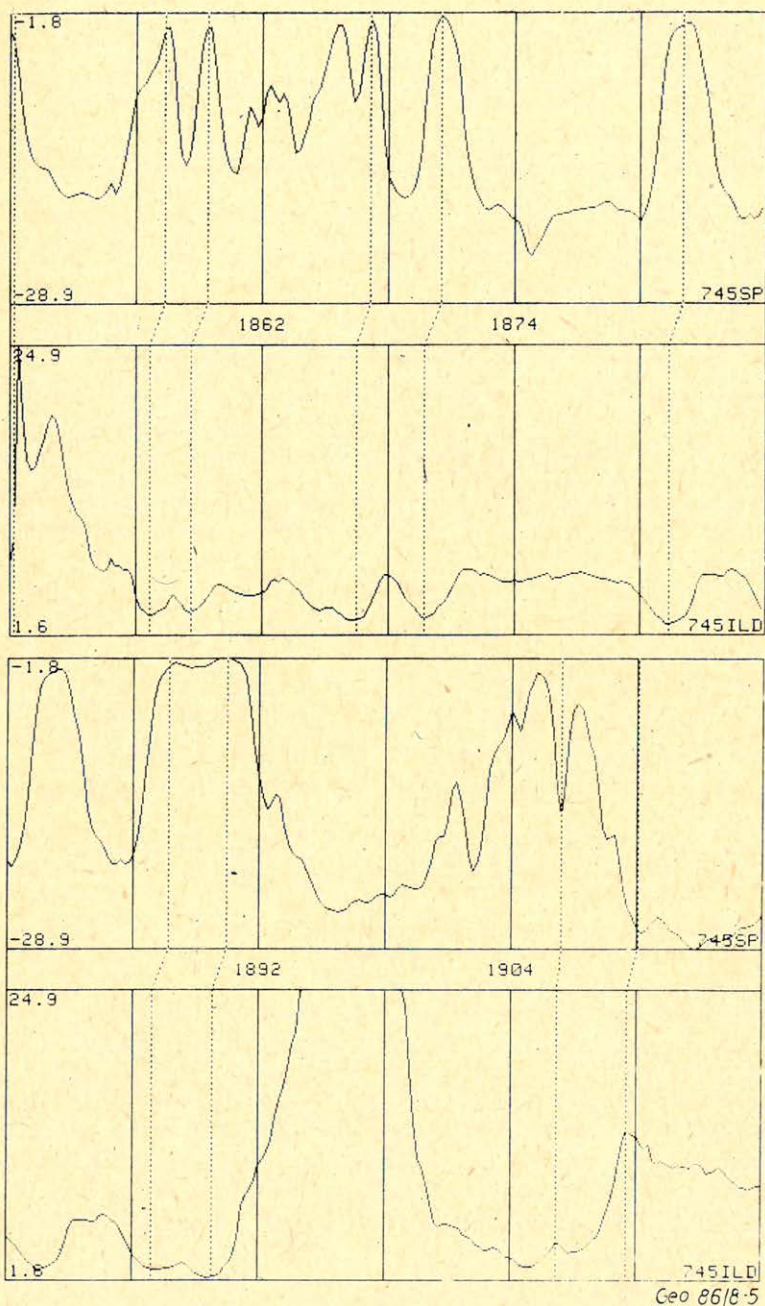
Az 5. ábra egy mélybehatolású indukciós szelvény (745 ILD) és egy SP szelvény mélységegyeztetését mutatja be. A 6. ábrán az egyeztetés során kapott mélységeltérés görbe látható. A 7. ábra a mélységegyeztetett szelvényeket ábrázolja. (Az alsó szaggatott vonal a 6. ábrán levő görbének mélységpontonként interpolált változata.) A korrelációs\_koefficiensek változása  $C_k = -0,465$ ,  $C_v = -0,510$

A program futásidő igénye a HP9845-ös gépen (BASIC nyelven), 500 m szelvényhosszúság esetén (egy agyagos homokkő tárolóban) kb. 20 perc. Ebből maga a számítási rész kb. 6 perc. A fennmaradó idő az, ami az operátornak szükséges a szelvényeken az összetartozó mélységpontok kijelöléséhez. Ez az idő függ a mélységeltérés mértékétől, a szelvények minőségétől, a mélység kijelölések gyakoriságától, az operátor gyakorlatosságától és a litológiától. (Komplex litológiájú tárolókban nehezebben ismerhetők fel az összetartozó különböző fizikai jellemzők.)



Geo 86/8-4

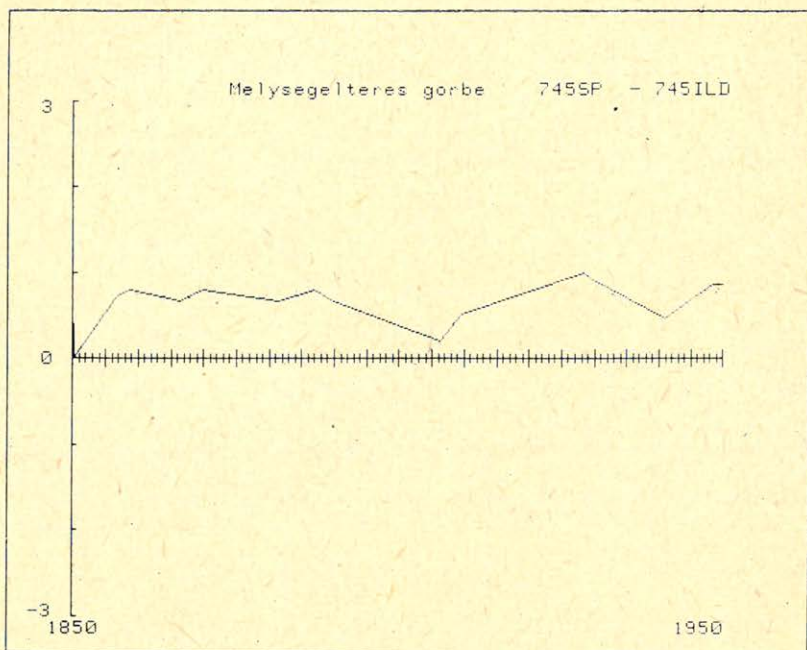
4. ábra. A mélységhelyes ellenállás szelvények  
 Рис. 4. Диаграммы ЭК согласующиеся по глубине  
 Fig. 4. Depth-matched resistivity logs



5. ábra. Mélybehatolású indukciós és SP szelvények mélységegyeztetése

Рис. 5. Сопластвующие по глубине диаграммы зоны проникновения ИК и ПС

Fig. 5. Depth-matching of deep-penetrating induction logs and SP logs



Geo 06/0-6

6. ábra. Az indukciós és SP szelvények mélységeltérés görbéje

Рис. 6. Расхождение по глубине кривых ИК и ПС

Fig. 6. Depth-difference curve of induction logs and SP logs

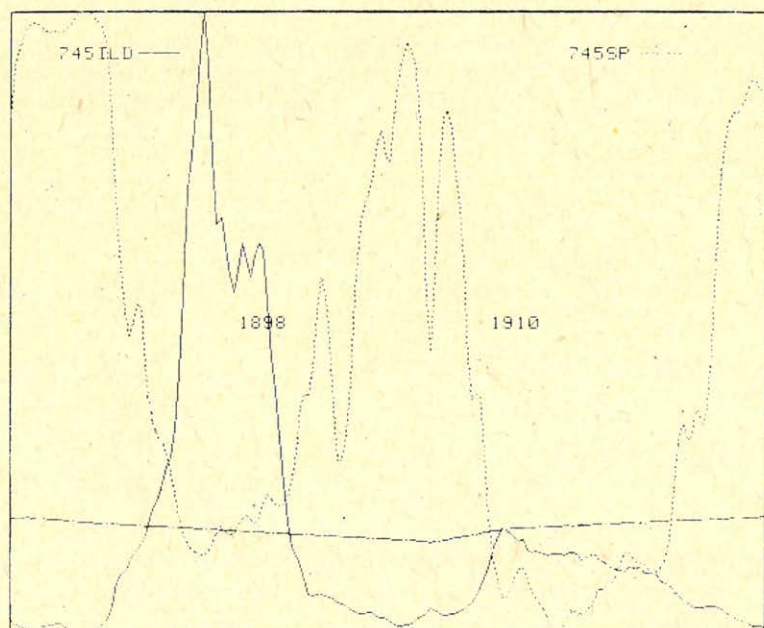
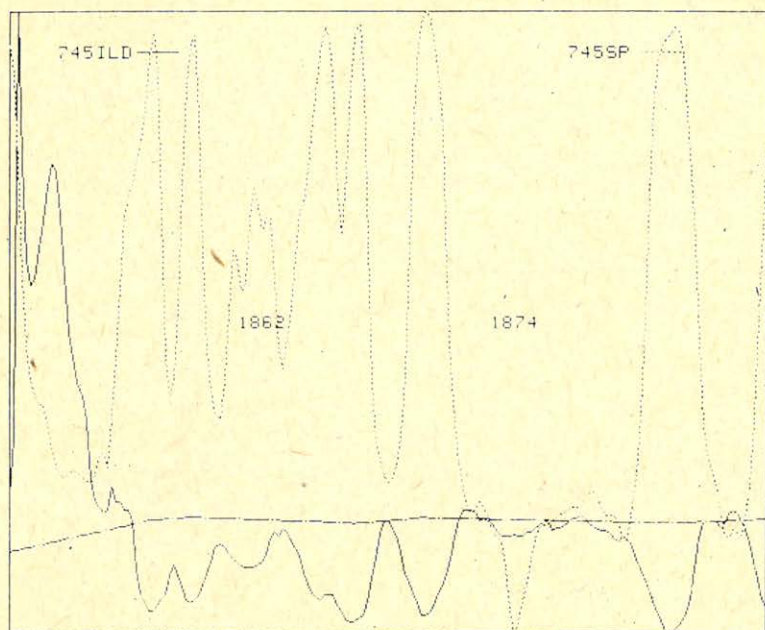
## 5. A mélységegyeztetés továbbfejlesztésének lehetőségei

A gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy az egész mélységegyeztetési eljárás legkritikusabb, egyben legidőigényesebb része az összetartozó mélységpontok kijelölése.

Az intézetünkben további kutatásokat végzünk a mélységegyeztetés automatikus változatának megvalósítására. A legnagyobb problémát a különféle fizikai tulajdonságokat (látszólagos fajlagos ellenállás, természetes gamma aktivitás, akusztikus terjedési idő stb.) mérő szelvények közötti hasonlóság, azonoság felismerésének gépi megvalósítása jelenti. Különösen nehéz feladat a bonyolult litológiájú tárolókban ha még ráadásul a szelvényeket egyéb hatások is torzítják (fúróluk hatás, környezeti hatás, hibás kalibráció stb.)

A külföldi szakirodalom alapján erre egyetlen megbízható módszer kínálkozik. A szelvényeket olyan kombinációba veszik fel, ahol az egyik szelvény egy állandó referenciát biztosít (pl. minden húzáskor regisztrálnak egy természetes gammaszelvényt. Schlumberger-, Gerhart-rendszerek). Ezen referencia szelvény segítségével már egyszerűen el lehet végezni a különböző húzásokban felvett szelvények teljesen automatikus mélységegyeztetését.





Geo 86/8-7

7. ábra. A mélység helyes indukciós és SP szelvények  
 Рус. 7. Соответствующие по глубине диаграммы ИК и ПС  
 Fig. 7. Depth-matched induction logs and SP logs

## 6. Összefoglalás:

A fentiekben leírt eljárás bármely karotázs értelmező rendszerbe beépíthető. Használatához csak egy grafikus display szükséges (amely egyébként is nélkülözhetetlen eleme egy színvonalas karotázs értelmező rendszernek).

Segítségével igen egyszerűen és megfelelő hatékonysággal megoldható a digitálisan rögzített és tárolt karotázs szelvények mélységösszerendelése.

Amennyiben a hazai szelvényezési gyakorlatban is meghonosodik a referencia felvétele, a fenti módszer viszonylag egyszerűen átalakítható egy teljesen automatikus mélységégyeztető eljárássá.

## IRODALOM

- [1] *Komáromi Imre*: Számítógépes Grafika (SZÁMOK, 1980)  
[2] *Anthony Ralston*: Bevezetés a numerikus analízisbe (MK, 1969)

## Függelék

Bemutatjuk a 8. fokú Lagrange interpolációnak a mélységegyeztetésben használt, könnyen programozható megvalósítását. (Kisebb fokszámú polinommal nem kaptunk az esetek többségében elfogadható eredményt a magasabb fokszámú polinomok alkalmazásának pedig futási idő korlátai is vannak.) Az eljárás természetesen tetszőleges fokszámú interpolációra kiterjeszhető.

*Legyenek:*

$RDG$  –  $1/DG$  ahol  $DG$  a mintavételi távolság

$IP$  – az adott mélységpont

$DEV$  – az  $IP$ -hez tartozó mélységtérés

$K\emptyset$  –  $INT [(IP + DEV) * RDG] * DG$

*Legyen továbbá:*

$$H_1 = RDG$$

$$H_i = H_{i-1} * RDG / i \quad (\text{ahol } i = 2 \dots 8)$$

$Y_i$  – az  $IP + DEV$ -nek megfelelő aktuális szelvény értékek

az  $IP + DEV$  környezetéből 4–4 pont szimmetrikusan ( $i = 1 \dots 9$ )

*Továbbá:*

$$B_1 = Y_1$$

$$B_i = \left[ \binom{i}{0} Y_i - \binom{i}{1} Y_{i-1} + \dots + \binom{i}{i} Y_1 \right] * H_{i-1}$$

valamint

$$T_1 = 1$$

$$T_2 = IP + DEV - (K \emptyset - 8/2 * DG)$$

$$T_i = T_{i-1} * [T_{i-1} - DG * (i-1)] \text{ ahol } i = 3 \dots 9$$

Ekkor az adott  $IP$  mélységhez tartozó interpolált szelvény érték:

$$SZE = \sum_{i=1}^9 B_i * T_i$$

Magától adódik a kérdés, hogy miért a fenti módszert választottuk, amikor a feladat visszavezethető lineáris egyenletrendszer megoldására.

Legyen:

$x_i$ : a mélységpontok halmaza

$$(x_i - x_{i-1} = DG)$$

$y_i$ : - az  $x_i$  pontban mint szelvényérték.

Ekkor pl. egy 8. fokú polinom a következő feltételeknek kell eleget tegyen:

$$a_0 + x_1 a_1 + \dots + x_1^8 a_8 = Y_1$$

$$a_0 + x_9 a_1 + \dots + x_9^8 a_8 = Y_9$$

Vagyis

$$X \cdot a = y$$

Az  $X$  mátrix és az  $y$  vektor elemei ismertek. A fenti egyenletrendszer megoldásával megkapjuk az  $a$  együttható vektort. Amiből a keresett  $\lambda$  pontban az interpolált érték:

$$Y = a_0 + a_1 x + \dots + a_8 x^8$$

Az  $X^{-1}$  mátrixot csak egyszer kell kiszámítani és csak a  $DG$  mintavételi távolságtól függ. Így minden egyes pontban az interpolációt visszavezettük az  $X^{-1}$  és az aktuális  $y$  vektor összeszorzására.

Amiért a választás mégis a kevésbé „elegáns” első megoldásra esett, az első sorban a gépidő takarékoság és a nagyobb pontosság.

Az alkalmazott számítógép számbázisú pontossága miatt (12 db értékes jegy), már az  $X$  mátrix inverzének kiszámításánál gondok adódtak. (Az  $X$  determinánsa  $10^{-70}$  nagyságrendű). A gyakorlat azt mutatta, hogy az utóbbi megoldás csak kb. 92% pontossággal képes megvalósítani az interpolációt.

Az első megoldás melletti másik érv, a gépidő takarékoság volt. Mivel minden egyes mélységpontban el kell végezni egy mátrix-vektor szorzást, valamint 2 vektor skalar szorzását, ez a változat kb. 50%-kal több gépidőt igényel, mint az első algoritmus. Előnye továbbá, hogy bármely gépre, könnyen, egyszerűen bármely nyelven megírható.