

Szintetikus szelvények vizsgálata

BALLA GYÖRGY*

A cikk foglalkozik a különböző módon előállítható szintetikus szelvények számításának folyamatával. Bemutatja a szintetikus szelvényeket, összehasonlítva a mért karotázis szelvényekkel.

Ismerteti a hiányos szelvényválasztékkal szelvényezett fúrásokban a porozitás számításának néhány lehetséges módját.

The purpose of this paper is to show the process of synthetic logs calculation from different sources. The synthetic logs are presented and compared with measured well logs.

Somme possible porosity calculations are presented in the case of insufficient well logs choice.

Статья занимается процессом вычисления синтетических кривых, создаваемых различными методами. Показывает синтетические кривые, сравнивая с измеренными каротажными кривыми.

Автор статьи изложит некоторые возможные методы расчета пористости в тех случаях, когда не хватает выбора каротажных кривых.

I. Bevezetés

Számos tapasztalat igazolja, hogy a jövő útja a CH-tárolók jobb megismerése érdekében: az **integrált értelmezés**. (I. ábra).

Az integrált értelmezés a szakterületekről rendelkezésre álló információk összességét feldolgozó, egyre magasabb szintű felhasználást jelent. Az értelmezői munkát végző vállalatoknál együttesen dolgoznak a különböző részterületek szakemberei. Az egész munkát a petrolfizikus fogja össze és irányítja.

A földtani kutatás területén dolgozó szakembereknek szoros kapcsolatban kell tehát állniuk egymással, de különösen igaz ez a szeizmikára és a karotázásra. Ennek a kapcsolatnak egyik lehetséges módja, ha a szeizmikus értelmezésekkor felhasználják a régebbi fúrások karotázis szelvényeit illetve azok kvantitatív interpretációját.

Ez az együttműködés azonban számos előnye mellett problémákat is felvet, mert:

1. A régi fúrásokban többnyire:

- *nincsenek (vagy csak rövid szakaszon vannak) akusztikus és sűrűség szelvények,*
- *hiányzik a fúrás teljes hosszára elvégzett kvantitatív karotázis interpretáció,*
- *néhány fúrásban műszaki okok miatt hiányos a szelvényválaszték.*

2. A porozitáskövető szelvényeken — még az újabb fúrásokban is — különösen a felső, lazább rétegekben — gyakoriak a kavarnásodás okozta mérési hibák.

Szükség van tehát olyan elméleti, vagy tapasztalati összefüggésekre, melyek segítségével számíthatunk olyan szelvényeket melyek alkalmazhatók:

- *a hiányos szelvényválaszték „pótlására”, és*
- *a mérési hibával terhelt szelvények szűrésére.*

II. Szintetikus szelvények

A bevezetőben vázolt probléma kezelésére, a szintetikus szelvények számítására alapvetően két út látszik alkalmasnak:

— *az egyik: a teoretikus szelvények számítása, melyek a kőzetmodell ismeretéből kiindulva szonda válaszgyenletek segítségével állíthatók elő,*

— *a másik: regressziós eljárással számított szintetikus szelvények, melyek közvetlenül a karotázis szelvényekből (vagy azok normált alakjaiból) és/vagy a kőzetmodellből számíthatók.*

Mielőtt rátérnénk ezen eljárások részletesebb taglalására, mindenképpen foglalkozni kell a kőzetmodell számítása során felmerülő problémákkal.

II.1. Egységes értelmezést nyújtó értelmező rendszer megteremtése különböző szelvényválasztékkal szelvényezett mezők esetén

A telepek művelése során újra és újra fel kell dolgozni a fúrásokban végzett méréseket, mégpedig a termelési tapasztalatokat is figyelembe véve. E feldolgozás során igénykelt merül fel, hogy az eredmények mind a szelvényválasztéktól, mint a szelvények minőségétől függetlenül egységesek legyenek, s hogy a meghatározott paramétereknek ne csak a száma, hanem lehetőleg megbízhatósága is hasonló legyen. Ezen feltételek ki-elégítésére a következő lehetőségeink vannak:

1. *A korszerűbb szelvényválaszték segítségével regressziós módszerrel szintetikus szelvények készítése, azaz a szelvény választék „bővítése”.*
2. *Az ún. szabályozó egyenletek alkalmazása a tároló paraméterek meghatározásában.*
3. *Többváltozós regressziós összefüggések készítése a laboratóriumban feldolgozott fúrómagok és a mélyfúrású geofizikai szelvények között.*

II.2. Texturális tulajdonságokkal kapcsolatos tárolóparaméterek

A kőzeteknek két alapvető tulajdonságuk van: — *az ásványi összetétel, és*

* Geofizikai Kutató Vállalat Mélyfúrású Kutatási Igazgatóság, Szolnok.

— a textúra.

Minden más paraméter: a sűrűség, a porozitás, a permeabilitás, a maradék víztelítettség csak e két alapvető jellemzőből leszarmaztatott másod- vagy harmadrendű tulajdonságok.

A textúra magában foglalja a kőzetek alkotóinak (ásványi szemcsék, kristályok, cementanyag, a pórusok, pórustartalom) geometriai megjelenési formáit, méretét elrendeződését, osztályozottságát, és érintkezési felületük alakját. Ebből látható, hogy a kőzetek alapvető petrofizikai tulajdonságai döntően a textúrától függenek. Ezek a texturális tulajdonságok azonban közvetlenül nem számszerűsíthetők, kvalitatívok. Számszerűsíteni csak ezen tulajdonságokból eredő jellemzőket tudjuk.

A texturális tulajdonságoktól függő tároló paraméterek:

- a tortuozitás
- a fajlagos felület
- a permeabilitás
- a redukálhatatlan víztelítettség
- a porozítások (totális-, effektív-, elsődleges-, másodlagos)

II.3. Szabályozó egyenletek közvetlen felhasználása az interpretációban

Ezen egyenletek többnyire a kőzetek texturális tulajdonságaival hozhatók kapcsolatba. A kőzet-

textúra egy ülepedési cikluson belül elsősorban az ülepedés zavartalanságától, vagy „zavartalanságától” függ. Felmerült az a kérdés, hogy ezek a szabályozó egyenletek zavartalan ülepedési ciklust figyelembe véve nem lehetnek-e alkalmasak önállóan is tároló paraméterek meghatározására?

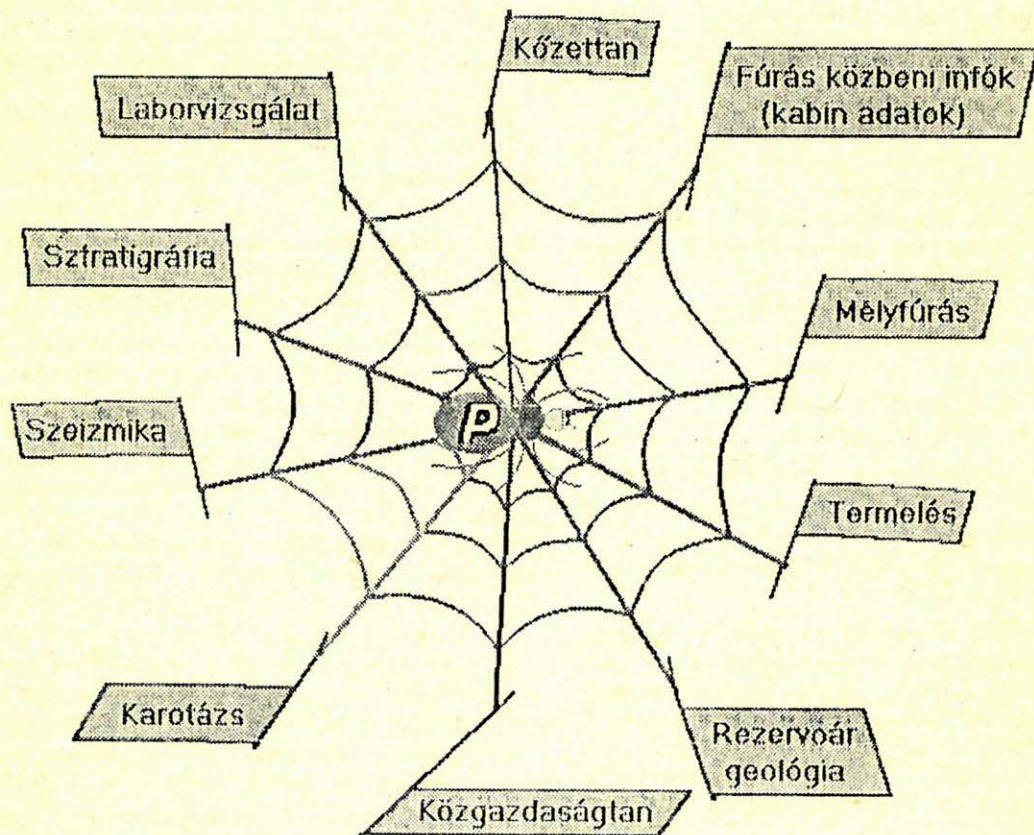
A továbbiakban egy ilyen korlátozó egyenletről beszélnék bővebben

$$FI = FIMX * (1.0 - BFICY * VSH)$$

ahol:

- FIMX a tiszta kőzetek porozitás szelvénye
- VSH a shale agyagtartalom
- BFICY a kompaktiótól függő „állandó”

A tapasztalat azt mutatja, hogy az üledékes kőzetek elsődleges porozitása a földtani kortól, a mélységtől, és a szennyezettségtől függ. A tiszta kőzetek porozitás szelvényét (FIMXL) tehát egy adott földtani korra a normál tömörödési trend figyelembevételével elő lehet állítani pusztán a mélység függvényeként. Az eltérő ülepedés ezt a trendet megzavarhatja, így a mélység-porozitás trend medencénként más és más lehet. Szintén zavaró lehet a gátolt kompaktiójú tömörödés,



Geo-91/5-1

1. ábra. Integrált értelmezés

Fig. 1. Integrated interpretation

Рис. 1. Комплексная интерпретация

mely a túlnyomásos zónákban jelentkezik, s ahol a porozitás nagyobb, mint a normál tömörödési trend szerint lenne.

Eddigi vizsgálatok szerint a normál tömörödési trend három szakaszra osztható. A pliocén korú kőzetekben a porozitás-mélység trend meredeksége jóval kisebb mint a felsőpannon korú kőzetekben, a felsőpannonban pedig kisebb mint az alsóban. A normál trend(ek) meghatározására első közelítésben megfelelő a lineáris összefüggések alkalmazása.

$$FIMXL_{pl} = 0.425 - MER1 * ME$$

$$FIMXL_{fp} = FIMXL_{pl}(ME1) - MER2 * (ME - ME1)$$

$$FIMXL_{ap} = FIMXL_{fp}(ME2) - MER3 * (ME - ME2)$$

ahol:

ME	= a mélység
FIMXL _{pl}	= maximális porozitás a pliocén és annál fiatalabb kőzetekben
FIMXL _{fp}	= maximális porozitás a felsőpannon korú kőzetekben
FIMXL _{ap}	= maximális porozitás az alsópannon korú kőzetekben
FIMXL _{pl} (ME1)	= maximális porozitás a pliocén-felsőpannon határon
FIMXL _{fp} (ME2)	= maximális porozitás az alsópannon-felsőpannon határon
ME1, ME2	= a korhatárok mélységei
MER1, MER2, MER3	= az adott földtani korban a normál tömörödés meredeksége

A szabályozó egyenletben szereplő BFICP a következő módon számítható:

$$BFICP = 1/BCPL$$

$$BCPL = \left[\frac{BMMNL}{2} \right]^{1/2}$$

$$BMMNL = 1.0 - Lg(FIMXL)$$

A shale agyagtartalom meghatározására mind a hiányos, mind a korszerűbb szelvényválaszték esetén alkalmasak az SP és a TG szelvények. Ritkán, kizárólag szénhidrogén tartalmú rétegekre az érintetlen zóna elektromos fajlagos ellenállás szelvénye (RT) is jó agyagindikátornak bizonyult.

II.4. Magadatok alkalmazása az interpretációban

Az egységes értelmezési eljárás egyik lehetséges útja, a rendelkezésre álló magvizsgálatok alapján, a magadatokból és a karotázs szelvényekből regressziós analízis készítése (2. ábra). Ennek során a magokon mért porozitás értékeket kapcsolatba hoztuk a mélyfúrás geofizikai szelvényekkel, illetve az azokból számított paraméterekkel. Így olyan összefüggéseket kaptunk, melyek

alapján szűkebb szelvényválaszték (SP, TG, ROL, NG) esetén is az összes szelvényt felhasználva számítható a porozitás.

Előnye ennek az eljárásnak, hogy az egyes kőzetfizikai paraméterek számításakor az összes rendelkezésre álló szelvényt figyelembe veszi, így az egyes szelvények mérési hibájából eredő pontatlanság súlya csökken.

II.5. Az interpretációs modell alkalmazásából levonható tapasztalatok

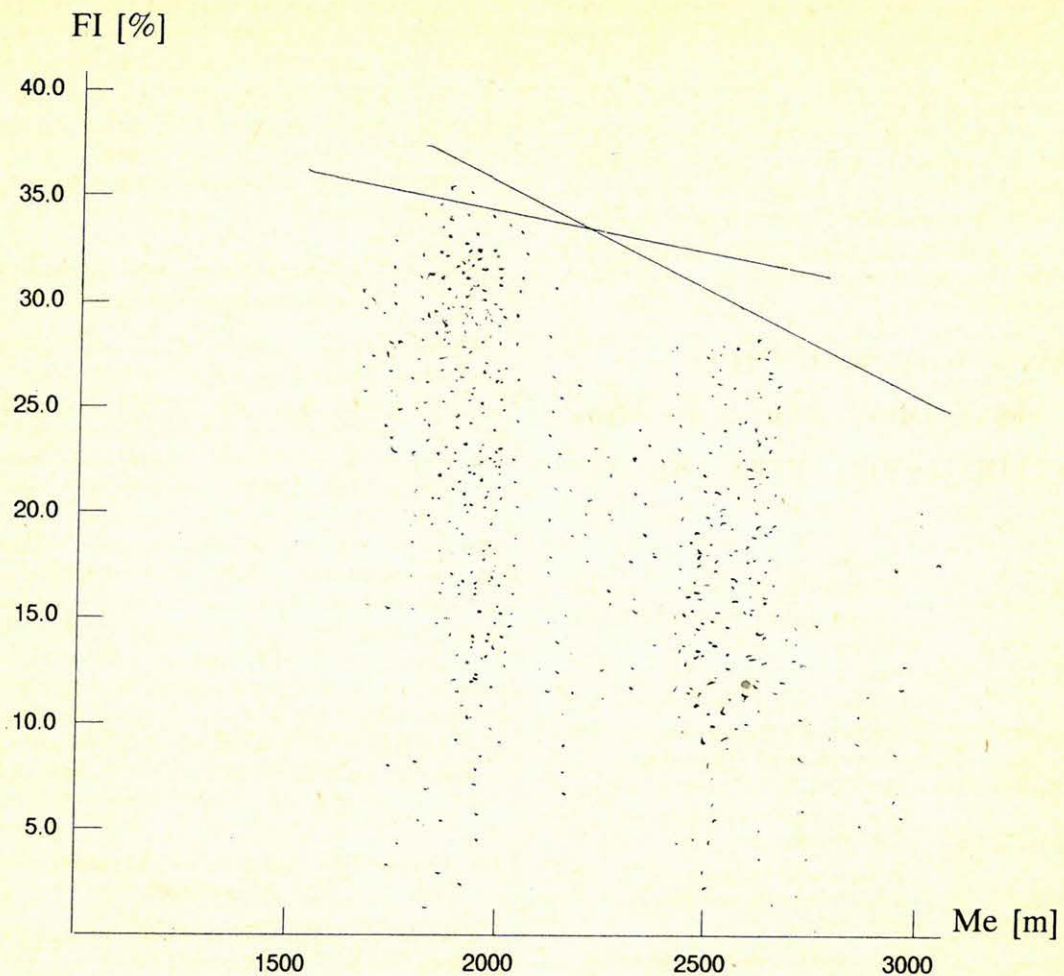
Megállapítható, hogy az eddig feldolgozott közel száz fúrás pannoniai rétegsorának kvantitatív interpretációja során nyert tapasztalat azt mutatja, hogy az eredmények megbízhatóak, s nem függenek jelentősen a szelvényválasztéktól. Így ez a módszer fontos kiegészítője lehet a korszerű szelvényválasztékre alapozott determinisztikus vagy statisztikus feldolgozási eljárásoknak, különös tekintettel régi fúrások esetében, vagy ha a szelvényezés a tervezett szelvényválasztékkal technikai okokból nem hajtható végre. Megállapítható az is, hogy ezen interpretációs módszerhez szükséges input szelvények jóval kevésbé érzékenyek lyukhatásokra, mint akár a sűrűség, akár az akusztikus szelvényezési eljárások. Ezáltal ez a módszer ellenőrzésre is jól felhasználható, mely különösen fontos a felszínhez közeli laza rétegek esetén.

II.6. Regressziós analízissel készített szintetikus szelvények

A korszerű számítógépes feldolgozási programok (CLASS, SAND, CRA, OPTIMA, ELAN stb.) az SP TG DL RT szelvényeken kívül minimálisan két porozításkövető szelvény megléte esetén alkalmazhatóak. Ezért a hiányos szelvényválasztékkal szelvényezett fúrások ezen eljárásokkal közvetlenül nem értelmezhetőek. Azonban ha a területen létezik néhány (legalább egy) fúrás, melyet etalonként tekinthetünk, akkor lehetőség van a szelvények között regressziós kapcsolat keresésére, s ezen kapcsolat ismeretében a csak szűk szelvényválasztékkal szelvényezett fúrásokban „mintegy kibővíteni a szelvényválasztékot”. Lehetőség van regressziós kapcsolat keresésére a szelvények és a kőzetmodell között is.

Az etalon fúrásban a következő feltételeknek kell teljesülniük:

- a fúrás rétegsora jól korrelálható legyen,
- a rétegsor jellemezze a területet,
- legyen meg benne a mai — hazai szelvényezési lehetőségek nyújtotta — teljes szelvényválaszték,
- mérjék meg benne azokat a szelvényeket is, amelyek a terület többi, régebben mért, nem komplett szelvényezetttségű fúrásában találhatóak,
- a szelvények legyenek jó minőségűek, alkalmasak a kvantitatív karotázs interpretációra,
- a terület litológiája (pl. homokkő, aleurit, agyag, márga, mészmárga), legyen megtalálható az etalon fúrásban,
- tartalmazzon különböző szénhidrogéntelítettségű, szennyezettségű, porozitású, és permeabilitású zónákat.



Geo-91/5-2

2. ábra. Magporozitások a mélység függvényében az Algyő mezőben

Fig. 2. Core porosity versus depth in ALGYŐ field

Рис. 2. Пористости кернов месторождения Альдэ в зависимости от глубины

Ezen feltételek teljesülése esetén, az etalon fúrásra készített kvantitatív karotázs interpretációval meghatározott mátrix- és agyag-jellemzők ismeretében számszerűsíthető a karotázs szelvények közötti kapcsolat.

Alapvetően két típusú eljárást készítettünk el, a számítás folyamatát a 4. és 5. ábrán láthatjuk.

A mért porozitáskövető szelvényeket (CN, DEN, AC), illetve a teoretikus porozitáskövető szelvényeket (ATTHR, DETH, FINTH) nem kötelező használni a számításkor, az értelmező mérnök döntésétől (lehetőségétől) függ, hogy ezeket a szelvényeket alkalmazza-e a számítás menetében.

Az első lépcsőben számított porozitáskövető szelvények közül (ACST1, DENST1, CNST1)

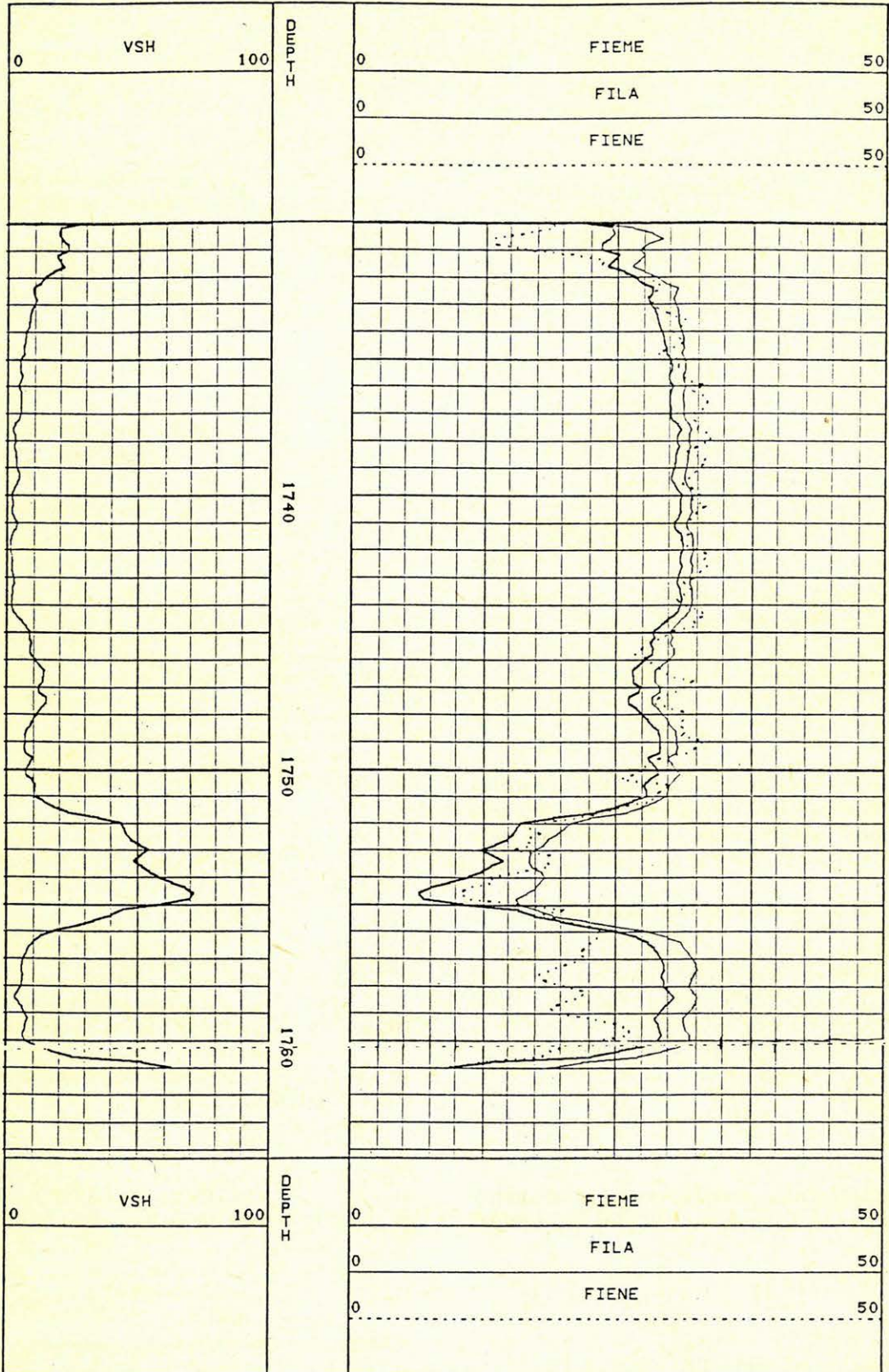
a második lépcsőben mindig csak kettőt használunk, pl. ACST számításához DENST1-et és CNST1-et, DENST számításához ACST1-et és CNST1-et stb.

Gyakorlati példák sorozata mutatja, hogy a mélyfúrési geofizika adatai a legtöbb esetben a Gausstól eltérő elosztást mutatnak. Ezen felül gyakran előfordulnak olyan adatok is amelyek az adatok zömétől „távol esnek”. Ezek az ún. kieső pontok a hagyományos statisztikával kapott eredményeket jelentősen torzítják.

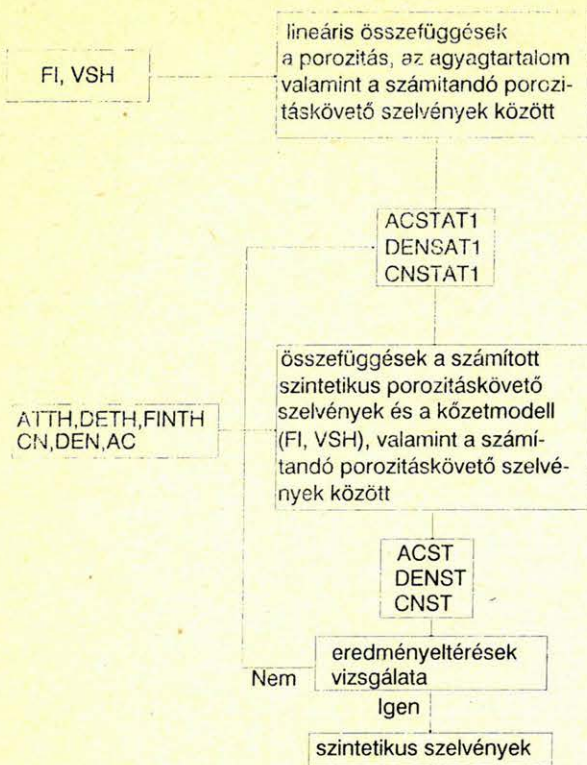
Ezért a regressziós összefüggések számításakor olyan robusztus és rezidens algoritmust kívántunk alkalmazni, amely az adatok széles tartományát nagy hatásfokkal kezelni tudja, és a kieső pontokra érzéketlen. Ezeket a követelményeket kielégíti a

3. ábra. Porozitás számítása az Algyő—804-es fúrásban. FIENE a neutron szelvényből, FILA kőzet labor eredmények alapján készült regressziós összefüggéssel, FIEME a normál tömörödési trend alapján, számított porozitás
Fig. 3. Calculated porosity in Algyő—804 well. FIENE from neutron log, FILA from core analysis by regression [calculation, FIEME based on normal compaction trend]

Рис. 3. Расчет пористости в скважине Альдэ—804, FIENE из нейтронной кривой, FILA на основе лабораторных результатов регрессионной зависимости, FIEME на основе тенденции нормального уплотнения, расчетная пористость

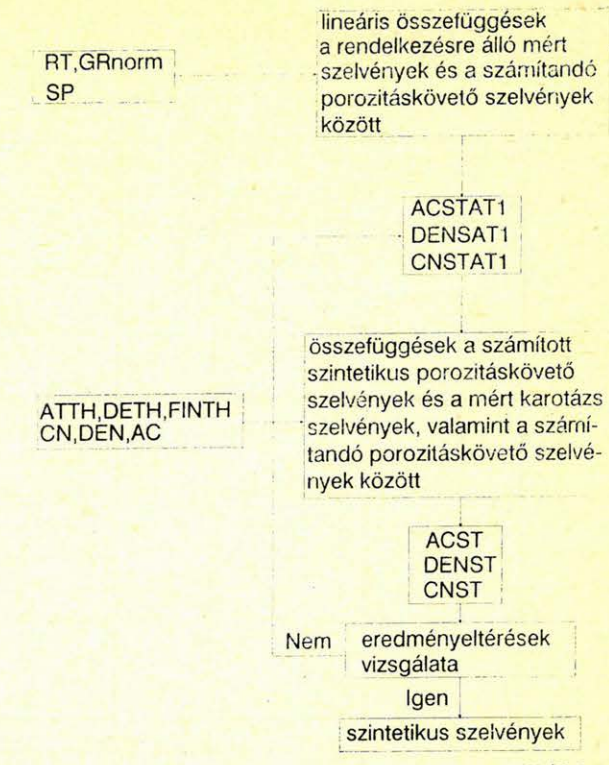


Geo-91/5-3



4. ábra. Porozitáskövető szelvények számításának folyamata regressziós összefüggések alapján, a kőzetmodellből kiindulva

Fig. 4. The process of porosity logs calculation based on regression relations starting from rock model
 Puc. 4. Процесс вычисления последовательных кривых пористости исходя из модели породы на основе регрессионных связей



5. ábra. Porozitáskövető szelvények számításának folyamata regressziós összefüggések alapján, közvetlenül a mért karotázs szelvényekből kiindulva

Fig. 5. The process of porosity logs calculation based on regression relations starting from measured well logs
 Puc. 5. Процесс вычисления последовательных кривых пористости непосредственно исходя из каротажных кривых на основе регрессионных связей

Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékén kidolgozott leggyakoribb érték szerinti algoritmus, ezért ezt az algoritmust alkalmaztuk összefüggéseink számításakor.

II.7. Teoretikus szelvények

A teoretikus akusztikus terjedési idő szelvényeket (ATTH) a kőzetmodell alapján számítottuk, a Wyllie (ATTHW) és a Raymer—Hunt (ATTHRH) egyenletek alkalmazásával. A teoretikus sűrűség (DETH) és a teoretikus neutron porozitás szelvényeket (FINTH) szintén a kőzetmodell alapján számítottuk.

A számítás során felhasznált válasz egyenletek a következők:

$$\begin{aligned}
 \text{FINTH} = & \text{FI} - \frac{\text{FI} * (1.0 - \text{SX0}) * \text{FINF} - \text{B}}{\text{FINMF}} \\
 & - \text{BEX} * (2.0 * \text{FI}^2 * \text{FINF} + 0.4 * \text{FI}) * \\
 & * (1.0 - \text{FINF}) + \text{VSH} * \text{FINSH} + \text{VMA(I)} * \\
 & * \text{FIMA(I)}
 \end{aligned}$$

ahol:

- FI = porozitás szelvény
- VSH = shale agyag relatív térfogat
- VMA(I) = az I-edik mátrixkomponens relatív térfogata
- SX0 = kispert zóna víztelítettsége
- FINSH = az agyag neutronporozitás indexe
- FINMA(I) = az I-edik mátrixkomponens neutron porozitás indexe
- BEX = a mátrix hatását figyelembe vevő korrekció
- FINF = a fluidum neutron porozitás indexe
- BEX = (DEMAX/2,65)**2
- FINF = (1,0 - SX0)*B + SX0*FINF

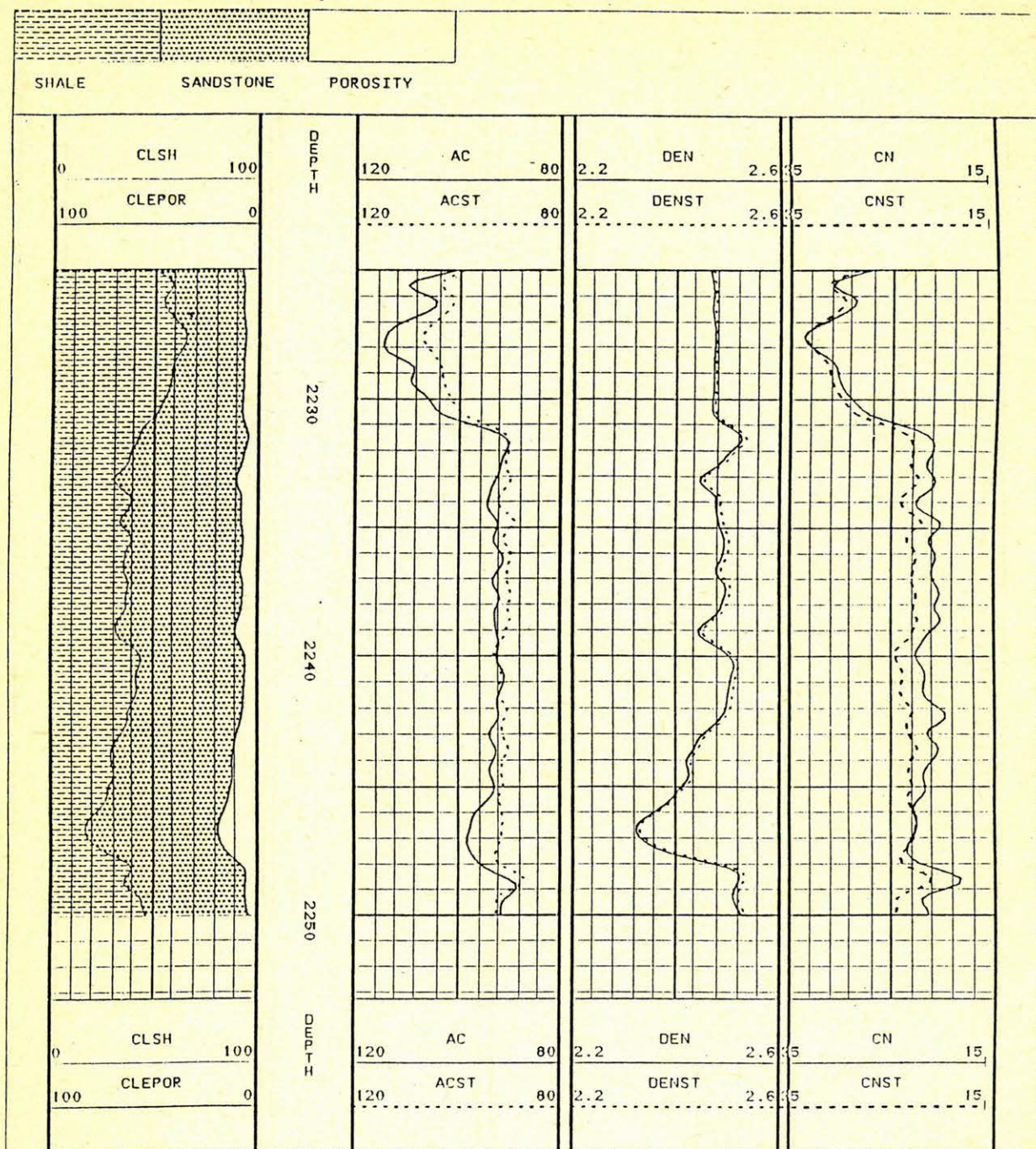
ahol:

- B = 2,2*DECH, ha DECH 0,275
- B = DECH + 0,3, ha DECH 0,275

ahol:

- B = a szénhidrogén neutron porozitás indexe
- DECH = a szénhidrogén sűrűsége

Meg kell jegyeznünk, hogy az agyag neutron porozitás indexét a kompaktációt figyelembe véve szelvényként kezeltük, valamint mivel a kőzetek mátrixa a neogénben döntően kvarcból épül fel,



Geo-91/5-6

6. ábra. Mért és a regressziós összefüggések alapján számított porozitáskövető szelvények az Algyő-993-as fúrásban
 Fig. 6. Measured porosity logs and calculated porosity logs based on regression relations in Algyő-993 well
 Рис. 6. Расчетные последовательные кривые пористости в скважине Альдэ-993 на основе измеренных регрессионных связей

és a minimális szelvényválaszték nem tette lehetővé több mátrixkomponens számítását, ezért a mátrixot egykomponensűnek, kvarcnak tételeztük fel.

A térfogatsűrűség válaszfüggvénye a szénhidrogén hatás figyelembevételével

$$DETH = FI * [DEMF - 1.07 * (1.0 - SX0)] *$$

$$*SCHRDE * [AL * DEMF - BE] + VSH *$$

$$* DESH + VMA(I) * DEMA(I)$$

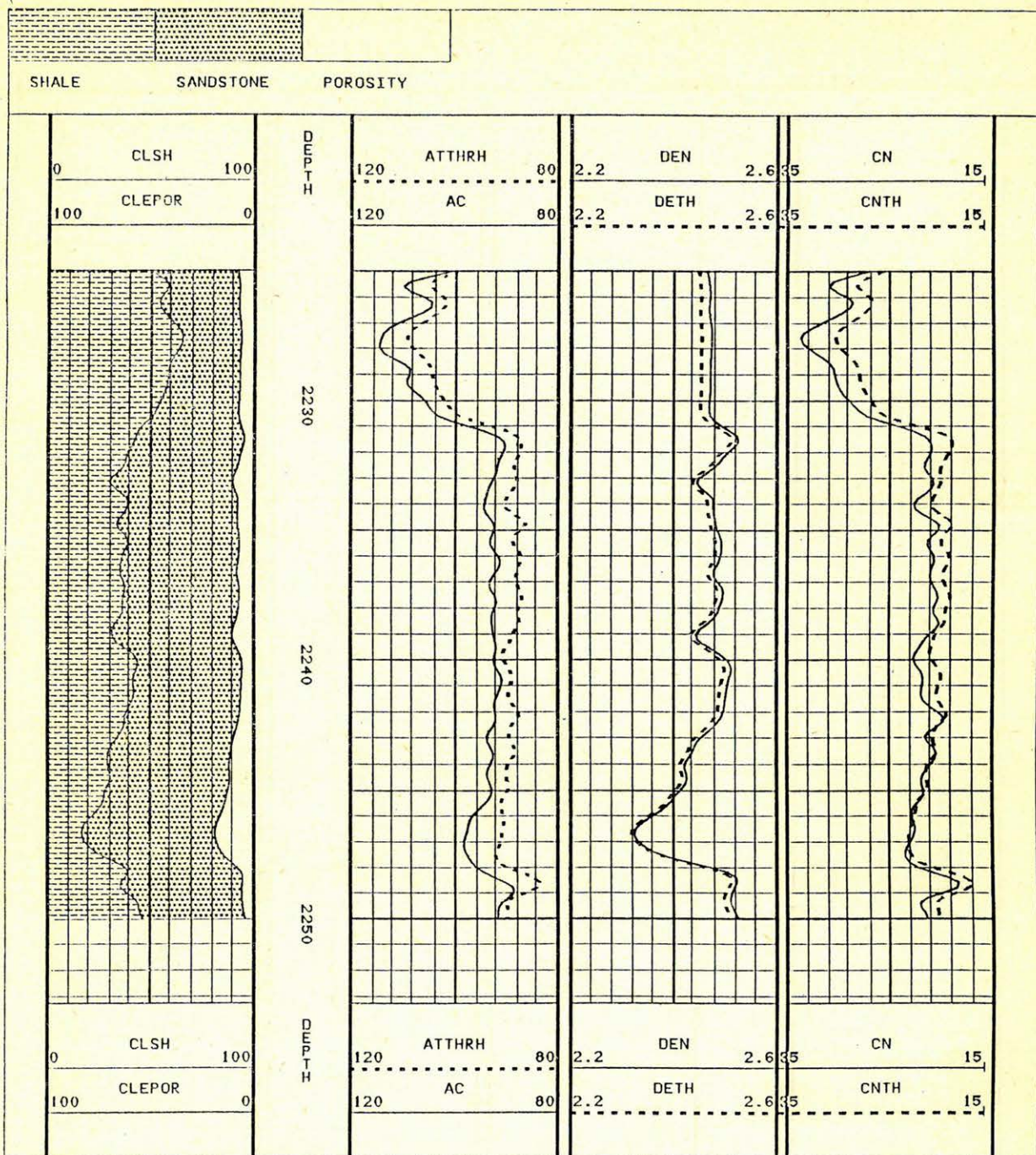
ahol:

DETH = a térfogatsűrűség elméleti értéke

DESH = a shale agyag sűrűsége

DEMA(I) = az I-edik mátrixkomponens sűrűsége

SCHRDE = szénhidrogén korrekciós faktor



Geo-91/5-7

7. ábra. Mért és teoretikus porozitáskövető szelvények az Algyő—993-as fúrásban

Fig. 7. Measured and theoretical porosity logs in Algyő—993 well

Рис. 7. Измеренные и теоретические последовательные кривые пористости в скважине Альдэ—993

$$AL = 1.11 - 0.15 * PMF$$

$$BE = 1.24 * DECH, \text{ ha } DECH < 0.275$$

$$BE = 1.11 * DECH + 0.3, \text{ ha } DECH > 0.275$$

Az előzőekben ismertetett okok miatt számításainkban kvare mátrixszal dolgoztunk, és az agyagsűrűség szelvény figyelembe vette a kompaktációs hatásokat.

Az akusztikus terjedési idő szelvény elméleti válaszfüggvényei

a) Wyllie-formula

$$ATTHW = (1.0/BCPL) * \{FI * [SX0 * ATMF + (1.0 - SX0) * ATCH] + VSH * ATSH\} + VMA(I) * ATMA(I)$$

ahol:
 ATSH = shale agyag akusztikus terjedési ideje
 ATMF = iszapfiltrátum akusztikus terjedési ideje
 ATMA(I) = az I-edik mátrixkomponens akusztikus terjedési ideje

$$ATCH = 1.11 * (DECH - 0.05) * ATOIL + (0.95 - DECH) * ATGAS$$

ahol:
 ATOIL = olaj akusztikus terjedési ideje
 ATGAS = gáz akusztikus terjedési ideje

b) Raimer—Hunt formula

$$\frac{1.0}{ATTH} = \frac{VF}{ATF} + \frac{VMAS_{BALF}}{ATMAS}$$

ahol:
 VF = 1.0 - VMAS
 VMAS = VMA(I) + VDSH
 VMA = VMA(I)
 VDSH = VSH * (1.0 - FISHL)
 ATF = a pórusterben lévő folyadék akusztikus terjedési ideje
 FISHL = FIMXL/BCPL

$$ATF = \frac{[VF - (FI * SXO)] * ATMF + FI * (1.0 - SXO) * ATCH}{VF}$$

ahol:

ATMF = iszapfiltrátum akusztikus terjedési ideje

ATCH = szénhidrogén akusztikus terjedési idő

$$ATMAS = \frac{ATMA(I) * VMA(I) + ATDSH * VDSH}{VMAS}$$

$$ATDSH = \frac{ATSH * VSH - ATF * VSH * FISHL}{VDSH}$$

Következtetések

1. Az ismertett algoritmusokkal számított szintetikus szelvények és a mért szelvények korrelációs együtthatóinak vizsgálata alapján megállapítható, hogy a számított szelvények megbízhatósága jó.

2. Jobb korreláció mutatható ki a számított és a mért szelvények között, ha az algoritmus legalább egy mért porozitáskövető szelvényt is felhasznál.

3. A szintetikus szelvények felhasználhatók a mérési hibával terhelt szelvények szűrésére.

4. A szintetikus szelvények alkalmazhatók a szeizmikus értelmezésben.

5. A szintetikus szelvények és a mért szelvények összehasonlítása jó kiegészítője lehet a cross-plot technikának a szelvények hitelesítésében.

6. A szintetikus és a mért szelvények eltérése utalhat értelmezési problémákra, így az ismeretett módszerek a kvantitatív interpretáció ellenőrzésében is szerepet játszhatnak.

IRODALOM

1. Csókás I. (1988) A nagyalföldi homok tároló kőzetek texturális és strukturális tulajdonságainak hatása a Kőolajkutató Vállalatnál használt fúróluk-szelvényekre (Részjelentés. NME. Miskolc, 1988).
2. Ferenczy L. (1988) A leggyakoribb érték elve szerinti algoritmus alapján működő kvantitatív szelvényértelmezési rendszer és gyakorlati alkalmazása. (Jelentés. NME. Miskolc, 1988).
3. Kiss B. és társai (1990) A mélyfúrás geofizikai információk számítógépes feldolgozásának fejlesztése. (MGE. Budapest, 1990).
4. Balla Gy. (1989) Üledékes kőzetek texturális tulajdonságainak felhasználása a kvantitatív karotázs interpretációban. (Pályázati dolgozat. Szolnok, 1989)