

MAGYAR

# Geofizika



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA  
BUDAPEST, 1974. XV. ÉVFOLYAM, 5—6. SZÁM

**TARTALOMJEGYZÉK**

<i>Kardeván Péter:</i> Az exponenciális valószínűség-eloszlás illeszkedése az empirikus gyakoriság-görbéhez .....	147
<i>Bodri Bertalan—Gerber Pál:</i> Karsztvízszint-mérési adatok feldolgozásának előzetes eredményei és az eredmények bányavízvédelmi vonatkozásai .....	153
<i>Csapó Géza:</i> A külső körülmények hatása a graviméteres mérések pontosságára .....	160
<i>Sz. Pintér Anna—Stomfai Róbert:</i> Kísérlet a Bouguer-anomáliatérképet mélységtérképpé transzformáló helyi mátrix kiszámítására .....	169
<i>Zsellér Péter:</i> A sebességmeghatározási eljárásokkal kapcsolatos problémák vizsgálata ...	175
<i>Brummer Antal—Gayer Ferenc—Holló Lajos:</i> Schlumberger rendszerű vertikális szondázások vízzel borított területen .....	180
<i>Salamon Batur:</i> Mélységmérés és információközlés a karottázs-kábelen .....	183
<i>Szilágyi Endre:</i> A mélyfúrás geofizika részvétele a gáz—olaj határon történő vízelárasztás tervezésében és ellenőrzésében .....	189
<i>Barlai Zoltán:</i> A finom közetzemcsék és a márgacsíkok által okozott hatások a szénhidrogéntároló neogén homokkövek karottázs-kiértékelésében Magyarországon.....	204
Lapszemle, Könyvszemle .....	236
<b>EGYESÜLETI HÍREK</b> .....	<b>145, 233</b>

# Egyesületi hírek

## Dr. Renner János 85 éves

Egyesületünk, az MTA és a társegyesületek f. év július 8-án üdvözlöttek **dr. Renner János**-t, Kossuth-díjas c. egyetemi tanárt, a műszaki tudományok doktorát, az Eötvös-émlékérem tulajdonosát, Egyesületünk alapító-tiszteleti tagját, társelnökünket, a hazai geofizikai tudományosság kimagasló alakját 85. életévének betöltése alkalmából.



Az ünnepeltet Egyesületünk és a *MTA X. osztálya* nevében *dr. Tárczy Hornoch Antal* akadémikus üdvözölte a következő szavak kíséretében:

„Mélyen tisztelt Igazgató Úr!  
Nagyrabecsült és kedves Barátunk!

Az a nagy megtiszteltetés jutott osztályrészemül, hogy a Magyar Geofizikusok Egyesülete nevében köszöntsem dr. Renner János tiszteleti tagunkat és társelnökünket, Egyesületünk Eötvös Loránd emlékérmének és a Kossuth-díjnak tulajdonosát 85. születésnapja alkalmából.

Feladatom tulajdonképpen könnyű, hisz Renner János kimagasló munkásságát mindnyájan jól ismerjük és igen nagyra értékeljük.

Ki kell mégis ez alkalommal is emelnünk, hogy Renner János, nagyrabecsült barátunk, még Eötvös Loránd tanítványai és közvetlen munkatársai közé tartozott, s így szinte természetes, hogy geofizikai kutatásainak legnagyobb részét a gravitációra vonatkozó kutatások teszik ki. Ezekkel foglalkozott mint Eötvös munkatársa, mint középiskolai tanár és igazgató, majd mint az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet igazgatója, s később, mint a budapesti Tudományegyetem c. tanára. A gravitáció volt a tárgya a tömegvonzás és a tehetetlenség arányosságára végzett kísérleteinek, amelyekkel a mérések pontosságát egy nagyságrenddel fokoznia sikerült és ugyancsak a gravitációra vonatkozott a függővonalelhajlások szabatosabb kiszámítására megadott módszere is, amellyel a tudományok akadémiai doktori fokozatát is elnyerte. Nagy megtiszteltetést jelentett mindannyiunk számára az is, hogy a szocialista országok planetáris geofizikai együttműködési bizottságában a gravitációs állandó meghatározásának a munkacsoportját egész a legutóbbi időig Renner János vezette.

Renner János vitathatatlanul a magyar geofizika megalapítói és nagyjai közé tartozik. Nagy öröm ezért is, hogy 85. születésnapját együtt ünnepelhetjük.

Átadom ez alkalommal a Magyar Tudományos Akadémiának Renner János szülővárosában, Sopronban működő Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete jókívánságait is, amellyel Ünnepeltünk állandó kapcsolatban áll.

Külön megbízásom még, hogy Renner Jánost, szeretett és nagyrabecsült kollégánkat a Magyar Tudományos Akadémia Geofizikai Bizottságának a nevében is köszöntsem, amelynek megalkulásától kezdve igen aktív és nagyeredményű tagja volt.

Szívből kívánjuk, hogy Renner János, méltán ünnepelt kartársunk még sokáig dolgozhassék a magyar geofizikai tudomány és gyakorlat érdekében és hasznára!”

Ugyancsak üdvözölte az ünnepeltet *Szigeti György akadémikus az MTA III. osztálya és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat* képviselőjében az alábbi szavakkal:

„Engedtetessék meg, hogy az Eötvös Loránd Fizikai Társulat nevében és saját nevemben is kifejezzem őszinte jókívánságaimat Renner János professzornak.

Renner professzor Társulatunknak alapítása óta tagja, és pedig igen aktív tagja volt. Előadásaival, felszólalásaival eredményesen vitte előre a magyar fizikai tudomány fejlődését. Ő volt az első, aki az Eötvös Loránd Fiz. Ts. érdemét megkapta. Oktató munkájáról, világszerte ismert kísérletei eredményeiről nem kívánok itt újra szólni, hiszen erről az előttem szólók már részletesen beszámoltak. Renner Jánost, Eötvös Loránd személyes munkatársát mindig fizikusnak tartottuk, akkor is, ha ma a geofizikát külön tudománynak kell számítanunk.

Reméljük, hogy ő is még sok-sok évig fizikusnak fogja érezni magát, és időnként Társulatunk munkájában nagy örömeinkre és mindannyiunk hasznára hosszú éveket részt fog venni. Ehhez jó erőt és egészséget kívánok.”

Majd *dr. Szalay Tibor* köszöntése következett:

#### RENNER JÁNOS 85 éves

A *Magyarhoni Földtani Társulat* nevében üdvözlöm RENNER JÁNOS-t az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet Kossuth-díjas nyugalmazott igazgatóját 85. születésnapja alkalmából. A nagy tudós számos kitüntetéssel elismert életműve a tudományos kutatáson felül a fizikai tudományok tanításával, összefoglaló ismertetésével tűnik ki. Személyében a kiváló kutatót, de egyben nemzedékek tanítóját tiszteljük, aki fáradhatatlan munkabírással, de a szűkebb értelemben vett földtant is hasznos és értékes adatokkal gazdagította.

A gravitációs alaphálózat feldolgozása, Magyarország izosztatikuss és Bouguer-anomália térképének megszerkesztése a földtani kutatás számára alapvető adatokat nyújt. Egy példával óhajtom megvilágítani ezt az összefüggést.

RENNER igazgató egyik igen érdekes ábrájára, a Bouguer-anomália térkép I. és II. rendű alapállomások adataiból szerkesztett izogammákat ábrázoló térképre hivatkozom. Az ország déli részén az izogammák Battonyától a dél-baranyai hegységekig nyugat – kelet irányú szerkezetet mutatnak. E szerkezet mélyben elrejtett hegységvonulatot jelöl, mely dél felé a dél-bánáti észak – déli csapású mészko vonulathoz csatlakozik, majd tovább a Balkán-hegységtől délre a Fekete-tenger déli partvonulatáig követhető. E kapcsolat közvetlenül és paleontológiailag is igazolt, és arra mutat, hogy a dél-baranyai hegyeket egy kelet felől érkező tengerelnyomulás teremtette meg. Így ez az összefüggés egy sokáig rejtve maradt kérdést old meg. Azt nevezetesen, hogy a Mecsek és a Villány hegységek nyugat felé nem folytatódnak. Ott végződnek, ahol a Bouguer anomáliák nyugat felé zárt kört jelölnek RENNER igazgató térképén.

A geofizikai és geológiai tudományok terén további sikeres működéséhez jó egészséget, munkakedvet és még sok esztendőt kívánva a 125 esztendőes Magyarhoni Földtani Társulat nevében tisztelettel köszöntjük.”

# Az exponenciális valószínűség-eloszlás illesztése az empirikus gyakoriság-görbékhez

KARDEVÁN PÉTER

*A dolgozat azzal a kérdéssel foglalkozik, hogyan lehet az empirikus gyakorisági értékeket, melyeket egy folytonos valószínűségi változó  $\tau$  hibával megmért értékeinek alapján határozzunk meg, az elméleti valószínűség-értékekkel közelíteni abban az esetben, amikor a valószínűségi változó exponenciális eloszlást követ. Ekkor egy  $\exp\left(\alpha \frac{\tau}{2}\right)$  alakú korrekciós tag lép fel, mely általában nem hanyagolható el.*

*Статья говорит о том, как можно с определенной на основе измеренных данных ошибкой эмпирическую относительную частоту случайной величины вероятностей показательного распределения приблизить с теоретическими величинами. В этом случае существует  $\exp(\alpha\tau/2)$  поправка, которой нельзя забросить.*

*The problem is dealt with, how the empirical frequency values — determined basing on the values of a continuous probability variable measured with an error  $\pm\tau/2$  — can be approximated by theoretical probability values in the case, when the probability variable follows an exponential distribution.*

*In that case a correction term of the form  $\exp\left(\alpha \frac{\tau}{2}\right)$  appears which can not be neglected in general.*

## 1. Bevezetés

A dolgozatban tárgyalt probléma a városi talajnyugalanság-mérések feldolgozásakor kapott empirikus gyakoriság-görbéknek elméleti valószínűség-eloszlással való közelítése során merült fel. A  $t$  valószínűségi változó e konkrét problémánál a talajjelmozdulás időbeli függvényén található egymást követő lokális szélső értékek bekövetkezési időkülönbségeit jelenti. A tapasztalat szerint exponenciális eloszlással közelíthető e valószínűségi változó megmért értékeiből meghatározott gyakoriság-eloszlás.

1. A fenti módon értelmezett valószínűségi változó megmért értékeit  $t_k^*$ -gal jelöltük, s a mérés pontossága  $\pm\tau/2$  sec.

A dolgozatban megtartottuk a  $t$  valószínűségi változó konkrét fizikai jelentését, hogy a későbbiek során a kapott eredmények közvetlenül alkalmazhatók legyenek a talajnyugalanság további statisztikai vizsgálatánál.

A közölt eredmények, ill. észrevételek azonban akkor is érvényesek, ha  $t$  fizikai jelentése más.

2. Az exponenciális eloszlás eredendően folytonos eloszlás, mert a valószínűségi változó — mely jelen esetben a lokális szélsőértékek alapján megállapított időkülönbség (periódus) — szóba jöhető értékeinek halmaza a pozitív valós számokból álló halmaz. A valóságban természetesen nem fordulnak elő tetszőlegesen nagy periódusok.

Legyen  $t$  a periódus, folytonos valószínűségi változó, melyről feltesszük, hogy exponenciális eloszlású, pontosabban:

$$P(t < T) = e^{-\alpha T}, \quad (1)$$

ahol  $\alpha$  az átlagperiódus reciproka és  $T$  egy tetszőlegesen rögzített periódusérték.

Végezzünk  $N$  számú mérést  $t$  értékeire vonatkozólag, s legyen  $T_m$  az a legnagyobb periódus, melyre teljesül, hogy

$$N(1 - e^{-\alpha T}) \ll 1.$$

Ha  $N$  elég nagy, akkor a  $t \in \mathfrak{I}$  folytonos valószínűségi mezőnek a  $\mathfrak{I} = (0, T_m)$  intervallumot tekinthetjük, azaz annak valószínűsége, hogy  $t > T_m$  periódusérték előfordul  $N$  mérés során, nagy biztonsággal zérónak tekinthető. Itt jegyezzük meg, hogy ha  $t$  az (1) eloszlást követi, akkor  $N$  mérés során várhatóan az a periódusérték lesz a legnagyobb, melyre

$$N(1 - e^{-\alpha T^*}) \approx 1.$$

A statisztikus ingadozás következtében természetesen különböző  $N$  darabból álló mérésorozatok esetén  $T_m$ -től különbözhetnek az előforduló legnagyobb periódusok.

Az exponenciális eloszlás folytonos jellegéből következik, hogy annak valószínűsége, hogy a  $t$  valószínűségi változó értéke éppen  $T_0$  – bár nem lehetetlen esemény – mégis zéró. Véges valószínűsége annak van, hogy a  $t$  valószínűségi változó valamely  $(T_k, T_{k+1})$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  intervallumba esik.

Az eredetileg folytonos  $\mathfrak{I}$  valószínűségi mezőt a  $T_k$  osztópontokkal  $n$  számú intervallumra bonthatjuk és ily módon diszkrét valószínűségi mezővé alakíthatjuk, ha a mező elemeit úgy értelmezzük, hogy a  $t$  valószínűségi változó értéke valamelyik  $(T_k, T_{k+1})$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  intervallumba esik. Jelöljük ezeket az eseményeket  $\mathfrak{I}_k$ -val. A  $\mathfrak{I}_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  diszkrét mező tekinthető a  $\mathfrak{I}$  mező kontrakciójának; teljesülni kell tehát, hogy a  $\mathfrak{I}$  mező egy expozíciója során bekövetkezett esemény maga után vonja a  $\{\mathfrak{I}_k\}$  mező valamely eseményének bekövetkezését és megfordítva.

Tehát

$$\bigcup_{k=1}^n \mathfrak{I}_k = \mathfrak{I}.$$

Ha méréseket végzünk, hogy a  $t$  valószínűségi változó értékeit megállapítsuk és meghatározzuk az empirikus gyakorisággörbét, tulajdonképpen a fentiekben részletezett módon diszkrétvé alakított mező elemeit exponáljuk minden egyes mérés alkalmával.

A mérések során kapott  $t_k^*$  periódusértékeknek meg kell feleltetni a  $\mathfrak{I}_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  eseményeket, ha az empirikus gyakoriságértékeket az elméleti eloszlással össze kívánjuk hasonlítani.

Végezzünk  $N$  mérést, melyek során a  $t_k^*$  periódus  $K$ -szor fordul elő. Ekkor a  $t_k^*$  periódusérték előfordulásának empirikus gyakoriságértéke  $K/N$ , míg a megfelelő elméleti valószínűség:

$$P(T_k < t^* < T_{k+1}) = \int_{T_k}^{T_{k+1}} \alpha e^{-\alpha t} dt, \quad (2)$$

ha minden esetben

$$t_k^* \in (T_k, T_{k+1}).$$

Az intervallum-skatulyarendszer  $T_k$  osztópontjait csak abban az esetben választhatnánk meg tetszőlegesen, ha a  $t_k$  periódusértékek  $\tau$  kimérési hibája

sokkal kisebb a  $(T_{k+1} - T_k) = \Delta T$ ,  $k = 1, 2 \dots n$  intervallum-szélességnél. Nem szabad figyelmen kívül hagynunk azonban, hogy a kimérési hibák eleve meghatároznak egy  $\{(T_k, T_{k+1})\}$  intervallum-rendszert. Ha a periódusok kimérési hibája  $\tau$ , akkor:

$$t_k = k \cdot \tau, \quad (k = 1, 2, \dots, n), \quad (3)$$

tehát a  $t_k$  értékek diszkrét értéksorozatot alkotnak. Tegyük fel, hogy a kimérés során olyan hibákat követünk csak el, hogy ha a valódi  $t$  periódusérték egy  $(T_k, T_{k+1})$  intervallumba esik, akkor a helyette kimért  $t_k^*$  periódusérték is eleme a  $(T_k, T_{k+1})$  intervallumnak. Ha feltesszük tehát, hogy a kimérés során lényegileg csak kerekítési hibákat követünk el, akkor feltételezhetjük, hogy valahányszor  $t_k^*$  értéket mérünk ki, a tényleges periódusértékek a  $\left(t_k^* - \frac{\tau}{2}, t_k^* + \frac{\tau}{2}\right)$  intervallumba esnek.

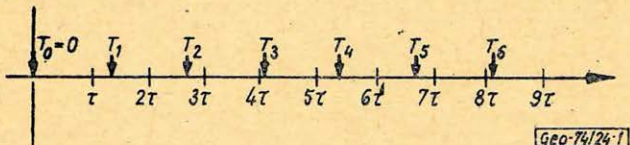
(3)-t felhasználva a fentiekben tárgyalt kimérési hibák a

$$(T_k, T_{k+1}) = \left( (2k-1) \frac{\tau}{2}, (2k+1) \frac{\tau}{2} \right), \quad (4)$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

intervallumokat határozzák meg.

Anélkül, hogy a részletekbe belemennénk, az 1. ábrán illusztráljuk, hogy a gyakoriságértékek milyen torzításához vezet, ha az ekvidisztáns intervallum-rendszer  $T_k$  osztópontjait tetszőlegesen választjuk és  $T_{k+1} - T_k = \Delta T$   $\tau$ -val összemérhető nagyságú. Az 1. ábrán a  $(T_2, T_3)$ , ill.  $(T_5, T_6)$  intervallumokba eső periódusok gyakoriságértékei pusztán amiatt is nagyobbak lesznek, mert ezekbe nem csak egy, hanem két  $t_k^* = k\tau$  periódusérték is belesik.



1. ábra.  $T_k$ -k egy tetszőleges ekvidisztáns intervallumrendszer osztópontjai,  $t_k^* = k\tau$  - k a kimért periódusok. (Magyarázatot lásd a szövegben)

Рис. 1.  $T_k$  - точки деления в любой системе эквидистантных интервалов;  $t_k^* = k\tau$  - замеренные периоды. (Объяснение см. в тексте)

Fig. 1.  $T_k$ -s denote the division points of an equidistant interval-systems,  $t_k^* = k\tau$  are the periodes measured

Az empirikus gyakoriságértékkel tehát (2), (3) és (4) alapján a

$$P \left( (2k-1) \frac{\tau}{2} < t < (2k+1) \frac{\tau}{2} \right) = \int_{(2k-1) \frac{\tau}{2}}^{(2k+1) \frac{\tau}{2}} \alpha e^{-\alpha t} dt = 2e^{-\alpha k\tau} \operatorname{sh} \left( \alpha \frac{\tau}{2} \right) \quad (5)$$

elméleti valószínűség-értékeket kell összehasonlítani.

3. A fenti (5) képlet azonban csak akkor érvényes szigorúan, ha olyan kísérleti berendezéssel mérjük ki a periódusokat, mely tetszőlegesen kis periódusértékeket is ki tud mérni. Célunk azonban olyan gyakoriságértékek közelítése elméleti valószínűségértékekkel, melyeket  $\tau$  hibával kimért periódusértékek alapján határoztunk meg.

Tekintsük a (4) intervallumrendszer legelső intervallumát, melyet  $k=1$  helyettesítéssel kapunk:

$$(T_1, T_2) = \left( \tau/2, \frac{3\tau}{2} \right).$$

(2) szerint a legkisebb kimért periódusérték  $\tau$ .

A tárgyalt értelmezés szerint mindazok a tényleges periódusértékek, melyek helyett a kimérési hiba folytán  $\tau$  értéket mértünk ki, a  $\left( \frac{\tau}{2}, \frac{3\tau}{2} \right)$  intervallumba esnek.

$\frac{\tau}{2}$ -nél kisebb periódusokat egyáltalán nem tudunk kimérni. Így annak valószínűsége, hogy  $\frac{\tau}{2}$ -nél kisebb periódust mérünk ki, zéró.

Számítsuk ki annak valószínűség-sűrűségét, hogy a  $t$  valószínűségi változó értéke, melyről feltételezzük, hogy (1) eloszlású, éppen  $T$  legyen, feltéve, hogy csak  $\frac{\tau}{2}$ -nél nagyobb értékű lehet. Ha tetszőlegesen kis periódusokat is ki tudnánk mérni, akkor annak valószínűség-sűrűsége, hogy a  $t$  értéke éppen  $T$  legyen:

$$\varphi(T) = \alpha e^{-\alpha T}.$$

Annak a valószínűség-sűrűsége, hogy egy periódus értéke éppen  $T$  legyen, feltéve, hogy  $T > \frac{\tau}{2}$ , a következő feltételes valószínűség:

$$\begin{aligned} P\left(t = T/t > \frac{\tau}{2}\right) &= \frac{p(t = T)}{P\left(t > \frac{\tau}{2}\right)} = \frac{\varphi(T)}{1 - \int_0^{\tau/2} \varphi(t) dt} = \\ &= \frac{\alpha e^{-\alpha T}}{1 - \int_0^{\tau/2} \alpha e^{-\alpha t} dt} = \alpha e^{-\alpha(T-\tau/2)} = \varphi(T) e^{\alpha\tau/2}. \end{aligned}$$

A  $\pm\tau/2$  pontossággal kimért periódusértékekhez tehát a

$$\varphi(T, \tau/2) = \begin{cases} 0 & \text{ha } T \leq \tau/2 \\ \alpha e^{-\alpha(T-\tau/2)} & \text{ha } T > \tau/2 \end{cases}$$

valószínűség-sűrűséget rendelhetjük.

Ekkor:

$$P_k \left( t_k^* - \frac{\tau}{2} < t \leq t_k^* + \frac{\tau}{2} \right) = \int_{t_k^* - \tau/2}^{t_k^* + \tau/2} \alpha e^{-\alpha(t-\tau/2)} dt = 2e^{-\alpha t_k^*} \operatorname{sh} \left( \alpha \frac{\tau}{2} \right) e^{\alpha \tau/2}, \quad (6)$$

ahol  $t_k^*$ -k a kimért periódusértékek a (2) képlettel állíthatók elő. Ha a  $t_k^*$  periódusértékek kimérési hibáját figyelembe vesszük, a (6) képletet alkalmazhatjuk, mely (5)-től csak az  $\exp(\alpha\tau/2)$  korrekciós taggal különbözik. Minél kisebb  $\tau/2$ ,  $\exp(\alpha\tau/2)$  annál inkább 1-hez közeledik. Egy bizonyos kimérési pontosság esetén tehát (5) és (6) képletek nem különböznek lényegesen egymástól.

$\tau/2$  sec-ban megadott értéke függ a digitalizálási távolság  $mm$ -ben megadott értékétől, és a papírtovábbítási sebességtől. Minél kisebb az előbbi és minél nagyobb az utóbbi, annál kisebb hibát követünk el, ha (6) helyett az (5) képletet alkalmazzuk.

A talajnyugtalanság-regisztrátumok kiértékelésekor például a digitalizálási távolság  $0,25 \text{ mm}$ , a papírtovábbítás sebessége  $\approx 30 \text{ mm/sec}$  volt. Ebben az esetben  $\alpha$  értékétől függően  $\exp(\alpha\tau/2) = 1,07 \div 1,08$  nem elhanyagolható korrekciót jelent az elméletileg várható darabszámok kiszámításánál.

4. A  $\Delta T$  skatulyaszélességet úgy kell választanunk, hogy egyrészt elég keskeny legyen ahhoz, hogy részletes képet kapjunk egy viszonylag szélesebb intervallumba eső periódusok eloszlásáról, másrészt ne legyen túl keskeny sem, azaz minden intervallumba elég sok periódusérték essen. Ha a kimérési pontosság nagy, akkor az utóbbi feltétel nem feltétlenül teljesül, ha a mérések  $N$  száma korlátozott. Így célszerű szélesebb intervallumokat választani. Mint-hogy azonban megfontolásaink szerint az intervallumrendszert a figyelembe vett kimérési hibák (4) szerint határozzák meg, a skatulya szélessége is csak

$$\Delta T = m\tau \quad \text{lehet } (m = 1, 2 \dots).$$

(2) alapján

$$t_{k+m}^* = t_k^* + m\tau.$$

Ha a skatulya szélességét  $\tau$ -ról  $m\tau$ -ra növeljük, akkor az  $t$ -dik  $m\tau$  szélességű intervallumba eső periódusok előfordulásának valószínűsége:

$$\begin{aligned} P_l \left( t_k^* - \tau/2 < t \leq t_{k+(m-1)}^* + \frac{\tau}{2} \right) &= \int_{t_k^* - \tau/2}^{t_k^* + (m-1)\tau/2} \alpha e^{-\alpha(t-\tau/2)} dt = \\ &= e^{-\alpha t_k^*} e^{\alpha \tau/2} (e^{\alpha \tau/2} - e^{-\alpha(2m-1)\tau/2}) = e^{-\alpha t_k^*} e^{\alpha \tau/2} (e^{m\alpha \tau/2} - e^{-m\alpha \tau/2}) = \\ &= e^{-\alpha t_k^*} e^{\alpha \tau/2} 2\operatorname{sh} \left( m\alpha \frac{\tau}{2} \right), \end{aligned}$$

ahol  $t_l' = t_k^* + (m-1)\tau/2$  az  $l$ -dik intervallum felezőpontjához tartozó periódusérték,  $ml = k$ .

5. Végezetül megemlítjük még, hogy a talajnyugtalanság-regisztrátumok feldolgozása során a talajelmozdulás időbeli függvényén az egymást követő lokális maximum- és minimumhelyek bekövetkezési időkülönbségeit mértük ki

elsődlegesen. Ezek a  $\xi_k$  számértékek tekinthetők a  $\xi$  folytonos valószínűségi változó megmért értékeinek, melyek a tapasztalat szerint exponenciális eloszlást követnek. Ezeket az időközöket célszerű a szokásos periódus-fogalomnak megfelelően félperiódusoknak tekinteni. Ily módon a  $t$  periódus, mely szintén valószínűségi változó, a  $\xi$  folytonos valószínűségi változó függvénye. A függvénykapcsolatot a

$$t = 2\xi, \text{ ill. } t_k^* = 2\xi_k \quad (7)$$

egyenletek határozzák meg.

Megmutatjuk, hogy a  $\xi$  valószínűségi változóra érvényes (6) valószínűség ugyanazt az értéket szolgáltatja, mint a  $t$  valószínűségi változóra.

Tegyük fel tehát, hogy a  $\xi_k$  értékekre vonatkozólag a (6) képlet érvényes. Ekkor  $\alpha$  a  $\xi_k$  értékek átlagának reciproka [1]. Ha (7) alapján bevezetjük a  $t$  valószínűségi változót, akkor új  $\alpha'$  paramétert kell bevezetnünk az

$$\alpha' = \frac{\alpha}{2} \quad (8)$$

egyenletnek megfelelően, továbbá

$$\tau' = 2\tau. \quad (9)$$

A (6) képletben azonban  $\alpha\xi_k$ , ill.  $\alpha\tau/2$  szorzatok fordulnak elő, s (7), (8), ill. (9) alapján:

$$\alpha \xi_k = 2\alpha' \cdot \frac{t_k^*}{2} = \alpha' t_k^*, \quad (10)$$

$$\alpha \tau/2 = 2\alpha' \cdot \frac{\tau'}{2} \cdot \frac{1}{2} = \alpha' \frac{\tau'}{2}. \quad (11)$$

(10) és (11) egyenlőségek állításunkat bizonyítják. A fenti tétel  $t=v\xi$  alakú transzformáció esetén is igaz, ahol  $v$  tetszőleges pozitív valós szám. Ha tehát az elméleti darabszámokat a  $t_k^*$  értékek alapján számítjuk ki, a (6) képletet alkalmazhatjuk,  $\alpha$  jelentése ekkor az átlagperiódus reciproka.

#### IRODALOM

- [1] Kardeván, P.: 1970. Az exponenciális eloszlás alkalmazása az altalaj rezonancia-frekvenciáinak megkeresésére. Magyar Geofizika XII. évf. 2-3. sz.

# Karsztvízszint-mérési adatok feldolgozásának előzetes eredményei és az eredmények bányavízvédelmi vonatkozásai

BODRI BERTALAN - GERBER PÁL

*Az előadás ismerteti a kéreg térfogati deformációit indikáló kútbeli vízszintregisztrátumok feldolgozási eredményeit. Az eddigi vizsgálatok alapján valószínű, hogy a lunisolaris dilatáció és a kéreg más okok által előidézett térfogatváltozásainak szeparálása bányavízvédelmi szempontból hasznos információt adhat. A vízszintmérés-adatok feldolgozása lehetővé teszi továbbá a mért színtingadozást kialakító vízmennyiség térfogatának meghatározását.*

*В работе приводятся некоторые результаты обработки кривых записи уровня карстовых вод, характеризующих объемные деформации земной коры. На основании этих результатов делается вывод, что разделение деформаций приливного и неприливного характера на регистрациях такого типа может дать полезную информацию с точки зрения защиты шахт от наводнений, кроме того, анализ приливной составляющей этих деформаций позволяет определять объем карстовых вод.*

*Results of processing of water-level records taken in wells indicating deformations of the crust are dealt with. Basing on the results of studies made as yet we can state with probability that the separation of lunisolar dilatation and of volume changes caused by other factors in the crust may give useful informations from the point of view of protection of mines as regards water-inrush-danger. Further on, processing of water-level data provides a possibility of determination of the volume of water mass bringing about the level variations measured.*

A Tatabányai Szénbányászati Tröszt Hidrológiai Osztálya 1964 óta több mérési pontban folyamatosan végez karsztvízszint-regisztrálást. Ez idő alatt nagy mennyiségű mérési adat gyűlt össze s az eddigi vizsgálatok alapján valószínű, hogy ezen adatok feldolgozása fontos geofizikai problémák sikeres megoldásával segíthetné a bányavízvédelem hatékonyabb kidolgozását.

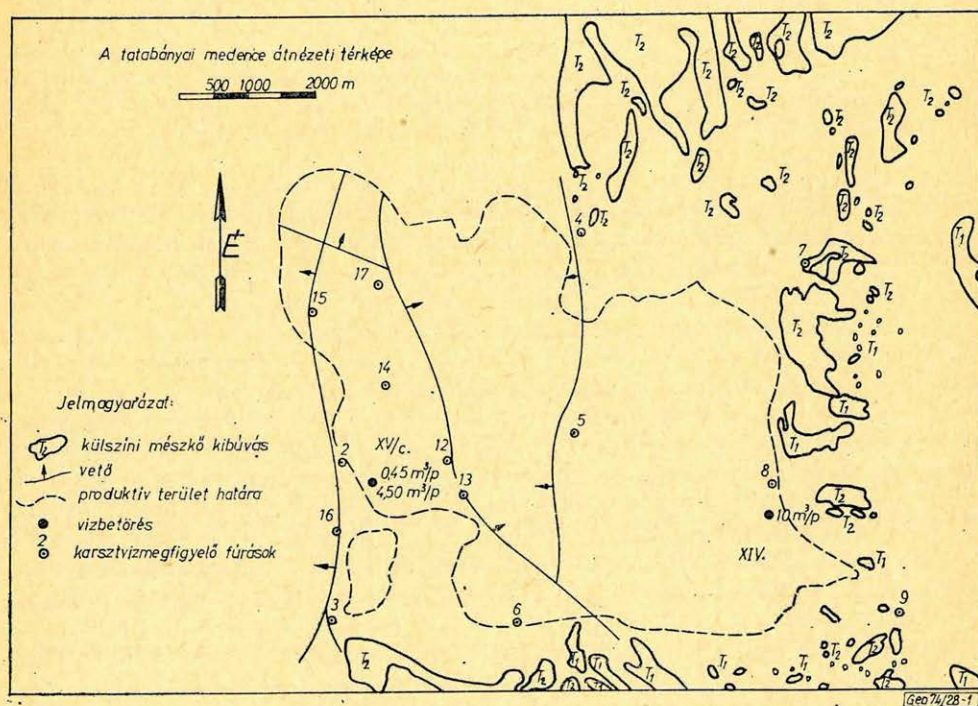
Jelen cikkben ismertetett vizsgálat célja a földkéreg térfogati deformációi és a bányabeli vízbetörések közötti kapcsolat lehetséges kimutatása, és a regisztrált vízszintváltozást kialakító víztérfogat meghatározása.

Röviden az árapálykeltő erők által okozott térfogati deformáció jelenségéről. Ismeretes, hogy a Föld, mint egész, deformálódik a Hold és a Nap együttes gravitációs hatása alatt. E deformációk egymásutáni összenyomódás és tágulás, térfogatesökkenés és -növekedés formájában jelentkeznek. Dagály idején a földkéreg kis mértékben felemelkedik, kitágul, apály időszakában összenyomódik. Következésképpen a felszín alatti vizek szintváltozásai a folyadék összenyomhatatlansága miatt jól indikálják a környező réteg relatív térfogatváltozásait. Kutakban, fúrólukokban régóta megfigyelt jelenség a vízszint periodikus ingadozása, hasonló színtingadozás tapasztalható olajkutakban és a földkéregben előforduló egyéb folyékony vagy viszkózus anyagok, pl. vulkáni láva esetében is.

A földárapály gyakorlatilag az egyetlen olyan jelenség, ahol pontosan ismerjük a Föld deformációit okozó erőt és azt bármely időpontra kiszámíthatjuk. Az árapály eredetű térfogati deformáció miatt egy adott fúrólukban regisztrált vízszíntingadozás görbéjének természetesen árapály jellegűnek kell lennie.

Áttérve a bányabeli vízbetörések problémájára megjegyezzük, hogy fizikailag helyénvaló feltételezni, hogy a vízbetörés helyének környezetében előzményként bizonyos nem árapály jellegű deformációk keletkeznek, amely deformációk méretei e fészekben felhalmozódott potenciális energia nagyságától függenek. Világos, hogy a vízbetörés előtt megnövekvő térfogati deformációk a vízbetörés helyétől bizonyos távolságra is jelentkeznek s így a mérési pontban a vízszintregisztráló műszer a reguláris luniszoláris árapályhullámokon kívül ezeket a vízszintmozgás formájában megjelenő deformációkat is érzékeli.

A Tatabányán regisztrált vízszint-változásokból az 1966. május 4-től szeptember elejéig terjedő kb. 4 hónapos adatsort dolgoztunk fel. Röviden ismertetjük a mérés helyét és módját. A tatabányai medence nyugati részén egy kisebb sasbérc található, amelyet mindkét oldalról kb. 150–200 m elvetési magasságú vető zár le. A nyugati határvetőnek erősen töredezett zónájában mélyült az a fúrás, amelynek vízszintingadozását vizsgáltuk. Kedvező helye miatt vízszintmegfigyelő fúrássá alakítottuk ki és a 12. sz. vízmelegfigyelő fúrás sorszámot kapta (1. ábra). A fúrás rétegsorát, valamint kivitelezésének módját a 2. ábra mutatja. A karsztvíz hőmérséklete a jelzett helyen szórványos mérések alapján 14–15 °C között változhat, de a hőmérséklet rendszeres változásairól nincsenek adataink.



1. ábra. A vízmelegfigyelő fúrások és a feldolgozott vízszintmérés-adatak idején előfordult vízbetörések helye a tatabányai medence átnézeti térképén

Рис. 1. План района с указанием точек регистрации уровня воды и мест наводнений

Fig. 1. Spots of water level observation wells and those of water inrushes occurred during the observations processed, on the map of the coal mine field

A víz uralkodóan *CaMg* hidrokarbonát tartalmú, viszonylag kemény, kb. 20 nk víz, amelynek oldott só tartalma 500–1000 mg/l között van.

A felsorolt jellemzők – amint a vizsgálatból kiderült – a mérési eredményeket lényegében nem befolyásolják.

A műszer *HWK Alpina D 10* típusú óraszerkezetes úszós regisztráló, a papír mozgási sebessége 12 mm/nap. A vízszint változásainak rögzítése 1 : 10 arányú lépték szerint történik.

A 3. és 4. ábrák kb. egy-egy hónap időtartamra vonatkozó vízszint-regisztrátumot mutatnak. A 3. ábrán bemutatott mérési sorozat ideje alatt a mérési pont környezetében semmilyen vízbetörés nem fordult elő, ellentétben a 4. ábrán bemutatott esettel, ahol a vízbetörés adatait az ábrán jeleztük.

A karsztvízszint igen érzékenyen reagál a légnyomásváltozásokra, ezért a regisztrátumok analízise előtt a légnyomásváltozások hatását a mérési adatokból ki kell szűrni. Jelen vizsgálatban a vízszint-ingadozás görbéinek légnyomásváltozások által okozott driftjét Pertzev [ $X'_0$ ] ordinátakombinációs módszerével szűrtük ki. Az 5. ábra az egyik regisztrátumot mutatja a légnyomásváltozások hatásának kiszűrése után. Összehasonlítással ugyanazon ábrán bemutatjuk a térfogati dilatáció ugyanazon időtartamra vonatkozó elméleti értékeinek görbéjét. A térfogati dilatáció elméleti értékeit az árapálykeltő potenciál Doodson-féle sorfejtése módszerével számítottuk. Az 5. ábra két görbéjének vizuális összehasonlítása után is nyilvánvaló, hogy a mért vízszintmozgás főként árapály jellegű.

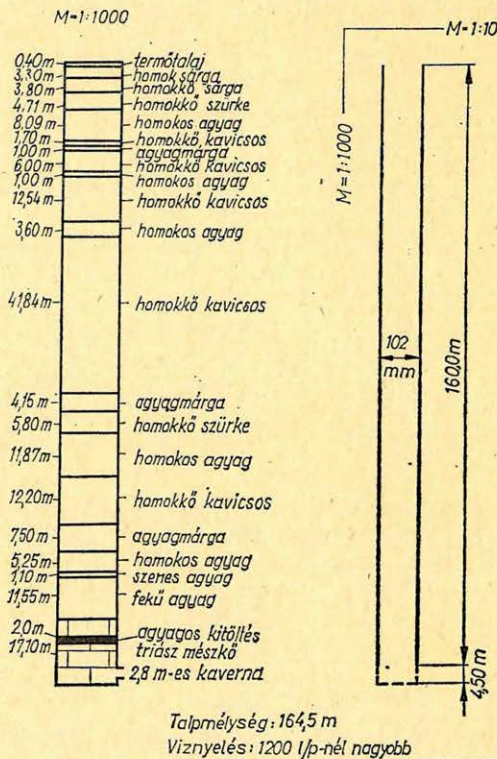
A 4. ábrán látható, hogy a mért vízszintmozgás görbéjén egyszerű vizuális vizsgálattal a vízbetöréssel kapcsolatban semmiféle változást nem tudunk kimutatni. A számunkra legértékesebb információt tartalmazó vízbetörések előtti deformációkat természetesen könnyebben ki tudjuk mutatni, ha a mért víz-

12.sz.Síkvölgy-gyümölcsösi karsztvízmegfigyelő fúrás

x--1756,864

y--2929,163

z++179,550



2. ábra. A fúrás rétegsora, amelyben a regisztrált vízszintingadozást vizsgáltuk

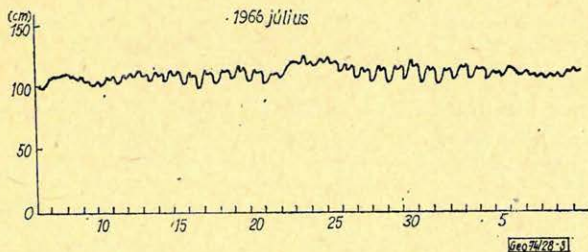
Рис. 2. Разрез одной из скважин, в которых проводилась регистрация уровня воды

Fig. 2. Layer configuration of the well of which water level oscillations have been taken

szintingadozásból a tisztán árapály-eredetű komponenst kiszűrjük. Az árapály-összetevő kiszűrése többféleképpen elvégezhető, vizsgálatunkban mi az egyik legegyszerűbb módszert, Pertzev „49-órás” ordináta-kombinációs módszerét alkalmaztuk, amely módszer részletes ismertetése és vizsgálata megtalálható Pertzev és Ivanova (1967) munkáiban. E módszer lényege röviden a következő. Ha a regisztrált görbe tisztán árapály jellegű, akkor teljesülnie kell a következő feltételnek:

$$y_{t+14} + y_{t+25} - y_{t+49} - y_t \approx 0, \quad (1)$$

ahol  $y_t$  a mért óránkénti ordinátaértékek,  $t$  – idő.



3. ábra. 1966. július hónapban mért vízszintingadozás. A regisztrátumon jelzett időtartam alatt vízbetörés nem fordult elő

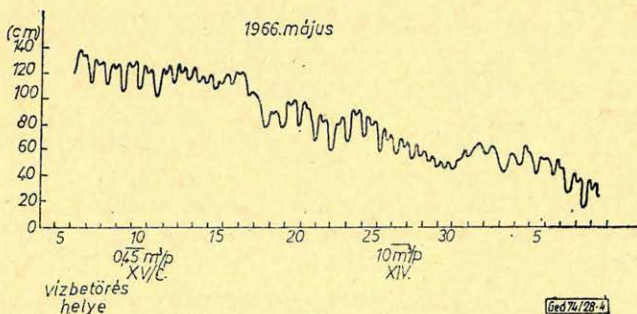
Рис. 3. Кривая записи уровня воды в мае 1966 г. За указанный промежуток времени не произошло наводнения

Fig. 3. Water level oscillations of 1966 July. During the registration interval no water inrush occurred

A  $t+49$  óra időpontra az (1) kifejezés alapján számított  $y_{t+49}$  ordináta-értékek természetesen akkor adják meg a vízszintmagasság közelítő értékeit, ha maguk a kiindulási ordináták zavaró hatásoktól mentesek.

Világos, hogy a regisztrátumokból leolvasott és az (1) kifejezés alapján számított óránkénti ordinátaértékek közötti  $\Delta$  különbségek szükségszerűen jellemzik a nem árapály eredetű vízszintmozgást okozó deformációkat, így a vízbetörések előtt kialakuló deformációkat is.

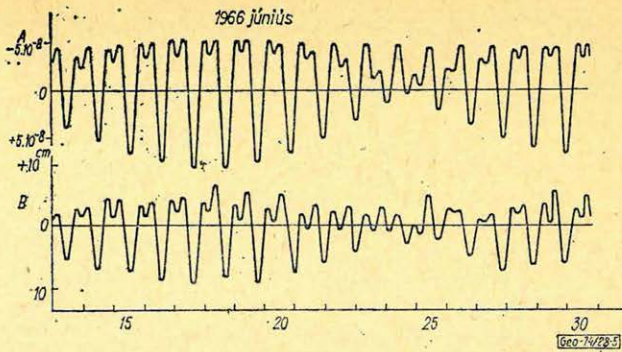
A 6. és 7. ábrák a kéreg nem árapály jellegű deformációit jellemző  $\Delta^2$ -értékeket mutatják az idő függvényében. Az ábrákon a vízbetörések adatait is megadtuk. Az ábrákról leolvasható, hogy a  $\Delta^2$  függvény görbéje általában



4. ábra. Vízszintregisztrátum vízbetörések előfordulásának időszakában

Рис. 4. Образец кривой записи уровня воды во время наводнения в шахте

Fig. 4. Water level record of an interval, during which water inrushes were experienced



5. ábra. A: A luniszoláris térfogati dilatáció Doodson-féle sorfejtéssel Tatabányára számított elméleti értékeinek görbéje 1966 júniusában

B: A regisztrált vízszintmozgás ugyanazon időszakban a légnyomásváltozások hatásának kiszűrése után

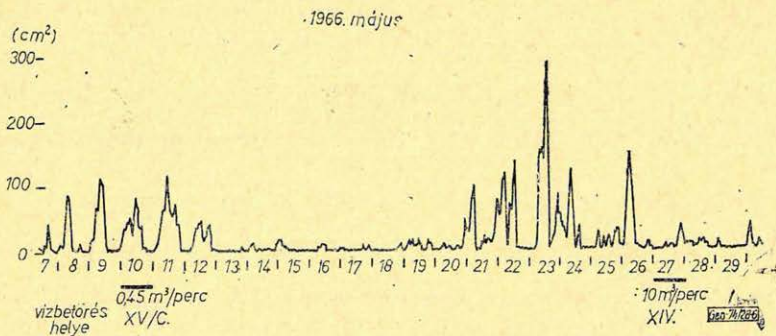
Рис. 5. А: Теоретические значения объемной дилатации, рассчитанные для г. Татабаныя для июня 1966 г. с помощью разложения приливного потенциала по методу Дудсона

Б: Изменение уровня воды за тот же интервал времени после исключения дрефта

Fig. 5. A: Graph of theoretical values of lunisolar volume dilatation calculated by means of Doodson - expansion for June 1966

B: Water level movement as recorded in the same interval after elimination of the influence of atmospheric pressure changes

nullához közel halad, vagyis olyan időszakokban, amikor jelentős vízbetörések nem fordulnak elő, a tisztán árapály jellegű és a valójában mért deformációk közötti eltérések jelentéktelenek,  $\Delta^2$  értékei a számítás hibahatára alatt maradnak. A vízbetörések idején viszont, vagy még inkább azokat megelőzően  $\Delta^2$  értéke erősen megnő, sokszor egy nagyságrenddel is nagyobb, mint egyéb időszakokban. Sajnos, az eddig feldolgozott adatsor rövidege nem teszi lehetővé az eredmények statisztikus analizését, amire természetesen szükség lenne a bányabeli vízbetörések esetleges előrejelzésére alkalmas fentebb ismertetett módszer megbízhatóságának további vizsgálata céljából. Megjegyezzük, hogy a Szovjetunióban (Ohocimszkaja, 1967) és Japánban a földrengések előrejelzé-



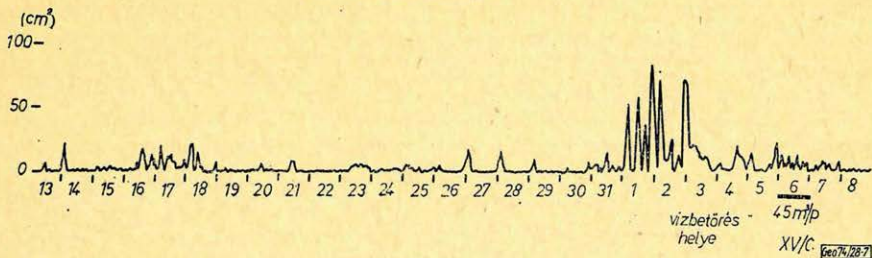
6. ábra. A kéreg nem árapály eredetű térfogati deformációt jellemző  $\Delta^2$  számított értékei 1966. május hónapban

Рис. 6. Значения  $\Delta^2$ , характеризующие неприливные объемные деформации коры в мае 1966 г.

Fig. 6. Calculated values of  $\Delta^2$  characterising deformations of the crust due to non-tidal effects in May 1966

sének problémájával kapcsolatban ugyanezen módszerrel ( $\Delta^2$  értékeit számítva) analizálták a kéreg dőléseit jelző horizontális ingamérések adatait, de a vizsgálatok újabb eredményeiről egyelőre nincs tudomásunk.

1966. augusztus-szeptember



7. ábra. A kéreg nem árapály eredetű térfogati deformációt jellemző  $\Delta^2$  értékek 1966. augusztus – szeptemberben

Рис. 7. Значения  $\Delta^2$  в августе – сентябре 1966 г.

Fig. 7. Values of  $\Delta^2$  characterising deformations of crust due to non-tidal effects in August – September 1966

Mindenesetre az eddigi vizsgálat eredményei azt mutatják, hogy a vízszint-regisztrátumokon jól kimutathatók a vízbetörések előzményeként létrejövő térfogati deformációk. Természetesen az ismertetett „ $\Delta^2$ -módszer” megbízhatóságának kérdése további vizsgálatokat igényel, amelyek során a Magyarországon már meglévő nagy mennyiségű vízszint-regisztrátumokból kívánatos a lehetőségek szerint minél többet feldolgozni. Feltétlenül szükséges lenne megvizsgálni az elméletileg számított térfogati dilatáció görbéinek alkalmazhatóságát a mért és a számított vízszintmagasságok közötti különbség képzéséhez. További vizsgálatokat igényel a vízbetörések erőssége és helye, és a vízszint-regisztrátumokból kimutatható nem árapály eredetű deformációk közötti kapcsolat megállapítása.

A vízszintmérés-adatok feldolgozása rendkívül fontosnak bizonyulhat a fúrólukban mért szintingadozást kialakító vízmennyiség térfogata meghatározásának szempontjából is. Mint azt már az előbbieken is említettük, a fúrólukban mért vízszintmozgást a folyadéknak a kéreg térfogati deformációi által okozott  $\frac{\Delta V}{V}$  relatív térfogatváltozásai okozzák, ahol  $\Delta V$  a folyadékkal kitöltött térfogat megváltozása, és  $V$  az árapály-mozgásban résztvevő víz-térfogat.

Az árapálykeltő potenciál Doodson-féle sorfejtése alapján a fő árapály-hullámokra kiszámítható a dilatáció (relatív térfogatváltozás)  $\left(\frac{\Delta V}{V}\right)$  elm. értéke. A fő árapályhullámok amplitúdóját pedig igen pontosan megtudhatjuk a vízszintmozgás görbéinek harmonikus analízise után. A víz által kitöltött térfogat megváltozása,  $\Delta V$  kifejezhető a következő egyszerű összefüggéssel:

$$\Delta V = \xi S,$$

ahol  $\xi$  – valamelyik fő árapályhullám amplitúdója és  $S$  a fúróluk béléscsővének keresztmetszete.

Az alábbi egyszerű összefüggésből

$$\frac{\xi S}{V} = \left( \frac{\Delta V}{V} \right) \text{ elm.} \quad (2)$$

megkaphatjuk az ismeretlen  $V$  térfogatértéket.

Az 1. táblázat néhány fő árapályhullám amplitúdóit és fázisait adja meg, amely amplitúdókat és fázisértékeket a vízszintmozgás görbéinek Fourier-analízise után kaptuk. A harmonikus analízist három hónapos mérési sorozatra hónaponként külön-külön végeztük el. A táblázatban az 1., 2., 3. hónap elnevezés 1966. május, június és július hónapokat jelenti. A táblázat adatai egyértelműen mutatják, hogy a regisztrált vízszintmozgás főként árapály jellegű, a vízszintmozgás kielégíti a direkt árapály-effektusokra Melchior (1965) által megállapított összes kritériumot. A 2. táblázat az  $M_2$  árapályhullámnak a regisztrátumokból meghatározott amplitúdói és a dilatáció ugyanerre a hullámra vonatkozó elméleti értéke ismeretében számított víztérfogatértékeket mutatja. A 2. táblázat adatai alapján látható, hogy az egyes mérési sorozatokból külön-külön számított térfogatértékek egymáshoz igen közeliek.

1. táblázat – таблица – Table

Árapályhullámok jelölése	Mérési sorozat					
	1.		2.		3.	
	A (cm)	$\varphi$	A (cm)	$\varphi$	A (cm)	$\varphi$
$K_1$	2,68	248°	3,06	245°	2,62	253°
$O_1$	1,82	181°	2,50	193°	2,30	189°
$Q_1$	2,45	180°	1,03	189°	0,71	201°
$M_2$	2,11	199°	2,34	188°	2,07	219°
$S_2$	1,11	180°	1,01	182°	0,62	196°
$N_2$	0,21	194°	0,87	198°	0,62	176°

2. táblázat – таблица – Table

Mérési sorozat	$M_2$ -hullám amplitúdója (cm)	Víztérfogat ( $m^3$ )
1.	2,11	$3,29 \cdot 10^4$
2.	2,34	$3,65 \cdot 10^4$
3.	2,07	$3,25 \cdot 10^4$

Tovább vizsgáljuk a megcsapolások és a különböző irányokban és távolságokban mért vízszintváltozások közötti összefüggéseket, amelyek a fentiekkel kiegészítve nagymértékben segíthetik a bányavízvédelem, valamint a vízgazdálkodás feladatainak megoldását.

#### IRODALOM

- [1] Doodson A. T.: The harmonic development of the tide generating potential, Proc. R. Soc., (A) 100.  
 [2] Melchior, P.: The Earth Tides, Pergamon Press, 1965.  
 [3] Ohocimszkaja, M. V.: Zemnie prilivi i vnutrenneje strojenje Zemli, AN SZSZSZR, 1967.  
 [4] Pertzev, B. P., Ivanova, M. V.: Zemnie prilivi i vnutrenneje stroenije Zemli, AN SZSZSZR, 1967.

# A külső körülmények hatása a graviméteres mérések pontosságára

C S A P Ó G É Z A

*A graviméteres mérések pontosságát a műszer sajátosságai határozzák meg, azonban az eredményeket nagymértékben befolyásolják a mérések alatt uralkodó külső körülmények hatásai.*

*Ezek közül legjelentősebbek a hőmérsékletváltozások, vibrációs jelenségek, talajvízszint-ingadozások és a műszerszállítás hatásai.*

*A dolgozatban a Sharpe graviméterek néhány vizsgálati eredményét közöljük és rámutatunk a tárgyalt hatások csökkentésének módjára.*

*Точность гравиметрических данных определяется, в основном, свойствами аппаратуры, однако, на результаты сильно влияют внешние факторы, имеющие место в процессе наблюдений.*

*Основными из этих факторов являются: изменения температуры, вибрационные явления, колебания уровня грунтовых вод и эффекты транспортировки аппаратуры.*

*В настоящей работе излагаются некоторые результаты исследования гравиметров типа Шарп и рассматриваются возможности уменьшения этих эффектов.*

*The accuracy of gravimetric measurements is determined by the characteristics of the instrument used, but in addition results are significantly influenced by environmental conditions being present during the measurements.*

*Most important of these are temperature variations, ground water level oscillations as well as effects of instrument transportation.*

*The paper contains some research results concerning Sharpe gravimeters and points to possibilities of reducing the effects under consideration.*

A graviméteres mérések eredményeinek pontosságát befolyásoló tényezőket két csoportba sorolhatjuk: az első csoportba a műszerek szerkezeti sajátosságaiból, a másodikba az észlelések alatt uralkodó külső körülményekből származó hatások tartoznak.

E két csoport hatásainak ismeretében meg lehet találni azt az optimális mérési módszert és az adatok feldolgozásának olyan célszerű formáját, amely a pontosságot kedvezően befolyásolja.

A graviméteres méréseket általánosságban a következő tényezők befolyásolják:

$$m \Delta g = f(t, C, B, H, Z, \alpha, v, \alpha_v, a, \omega, V_t, E),$$

ahol:  $E = f(M, R, Q, q)$ .

Az összefüggésekben szereplő betűk jelentése:

- $t$  — a drift, az árapály, a  $g$  értékének regionális, vagy szekuláris változása (ez utóbbi ismételt méréseknél jelentős)
- $C$  — a környezet hőmérséklete, ill. hőmérsékletváltozásai
- $B$  — barometrikus hatások
- $H, Z$  — a földi mágneses tér összetevőinek hatása
- $\alpha$  — a graviméter lengőrendszerének dőlése
- $v, \alpha_v$  — a szél erő és szélirány
- $a, \omega$  — a természetes, vagy mesterséges rezgések amplitúdója és frekvenciája
- $V_t$  — a talajvízszint ingadozásai

- E* – egyéb hatások; feltételezhető, hogy léteznek eddig fel nem ismert, a méréseket befolyásoló további hatások is
- M* – a számlálóberendezések felbontóképessége és e berendezések mechanikus hibái
- R* – a mérőskála tulajdonságaiból adódó hatások
- Q* – termosztátos műszereknél a termosztát hatásai
- q* – nem termosztátos műszereknél a hőátadó képesség és a hőkompenzátor sajátosságai.

Két pont között végzett  $\Delta g$  mérések pontosságát az határozza meg, hogy a felsorolt tényezők hogyan változnak a mérések során, ezeket a hatásokat mennyire sikerül kiküszöbölni, vagy számítással korrekcióba venni. Hangsúlyozzuk, hogy terepi  $\Delta g$  mérésekről van szó, nem pedig laboratóriumi körülmények közötti  $\Delta g$  regisztrálásról. A zavaró hatások a kétféle mérésnél ugyanis csak részben egyeznek, kiküszöbölésük, illetve korrekcióba vételük is másként lehetséges.

Magyarországon jelenleg mind geofizikai, mind geodéziai célú graviméteres mérésekhez asztatizált kvarcrendszerű Sharpe, valamint Worden műszereket használnak. Ezeknél a gravimétereknél a  $H$ , illetve  $Z$  földi mágneses hatások nem játszanak szerepet; a mérési technológia helyes megválasztásával  $v$  és  $\alpha$ , hatása kiküszöbölhető, geofizikai méréseknél a  $g$  lassú változásaitól eltekinthetünk. A talajvízszint ingadozásait nem tudjuk figyelembe venni, bár az ebből származó hatások igen komoly hibaforrásai a graviméteres méréseknek.

Ebben az esetben írhatjuk:

$$m\Delta g = f(t, C, B, M, R, a, \omega, \alpha, Q, q).$$

Jelen dolgozatban a vibráció ( $a, \omega$ ), a hőmérsékletváltozások ( $C, q$ ) és a műszer dőlésének ( $\alpha$ ) a graviméterek műszerleolvasásaira gyakorolt hatásával foglalkozunk.

Tapasztalati tény, hogy a terepi graviméterméréseket a földrengések, munkagépek és gépkocsik mozgása, városi forgalom nagymértékben zavarják, vagy lehetetlenné teszik. Ezek a zavaró tényezők azonban a mérés szüneteltetésével minimumra csökkenthetők, mert a graviméter látómezejében elhelyezkedő mérőindex rendellenes viselkedését az észlelő azonnal észreveszi. Felmerül a kérdés, hogy milyen hatásokat okoznak a szemmel nem észlelhető mikroszeizmikus jelenségek, vagy az együtt és egyidőben alkalmazott geofizikai kutató módszerek munkaeszközei (áramfejlesztők, különböző generátorok, fűróberendezések stb.)?

A kérdés vizsgálatára az *I. ábrán* látható mérőfelszereléssel *mesterséges rezgéseket* állítottunk elő és vizsgáltuk azoknak a graviméter-leolvasásokra gyakorolt hatását.

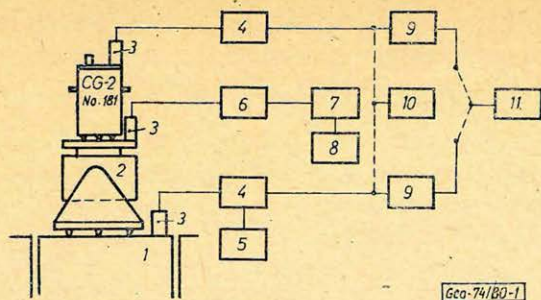
A rezgékeltés iránya szerint három kísérletet végeztünk:

$V$  komponens vizsgálata: itt a rezgékeltés iránya merőleges az inga karját és az inga forgástengelyét tartalmazó vízszintes síkra;

$H_1$  komponens vizsgálata: a rezgékeltés iránya itt arra a függőleges síkra merőleges, amelyik tartalmazza az inga karját és párhuzamos az inga forgási tengelyével;

$H_2$  komponens vizsgálata: itt a rezgékeltés iránya a  $H_1$  komponens síkjában merőleges a  $H_1$  rezgékeltési irányra.

A mérések során  $100 \mu V$  érték felett meg  $0,1 \text{ cms}^{-2}$  rezgés gyorsulási szintnek, amely értéket állandónak tekintettünk a kísérlet alatt. A műszerleolvasá-



Gco-74/80-1

1. ábra. A No. 181-G graviméter vibrációs kísérletéhez használt mérőberendezés elvi sémája

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1 alappont             | 7 szinuszgenerátor     |
| 2 vibrációs állvány    | 8 diff. frekvenciamérő |
| 3 rezgésérzékelő       | 9 mérőerősítő          |
| 4 előerősítő           | 10 szintiró            |
| 5 tápegység            | 11 oszcilloszkóp       |
| 6 teljesítmény-erősítő |                        |

Рис. 1. Схема установки, применявшейся для испытания гравиметра № 181 - G на виброустойчивость

- |                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1 - опорный пункт                    | 7 - генератор синусоидального тока |
| 2 - стэнд вибрации                   | 8 - измеритель частот              |
| 3 - чувствительный элемент колебаний | 9 - измерительный усилитель        |
| 4 - предварительный усилитель        | 10 - графоастроитель               |
| 5 - источник тока                    | 11 - осциллоскоп                   |
| 6 - усилитель мощности               |                                    |

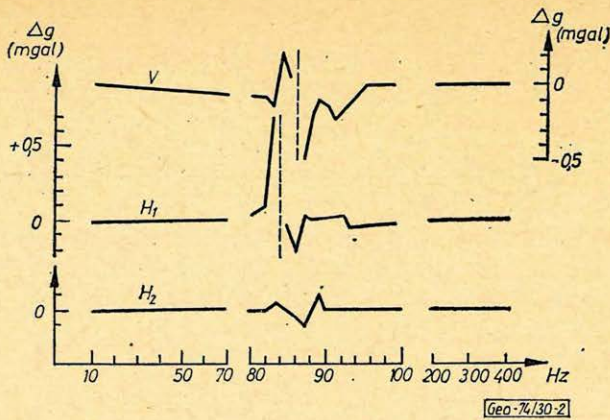
Fig. 1. Block diagram of measuring equipment used with the vibrating experiments concerning gravimeter No 181 - G

- |                            |                                |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1 base point               | 7 sinusgenerator               |
| 2 vibrating platform       | 8 differential frequency meter |
| 3 vibration sensor         | 9 measuring amplifier          |
| 4 preamplifier             | 10 levelregistration           |
| 5 feeding unit             | 11 oscilloscope                |
| 6 performance-preamplifier |                                |

sokat 10–400 Hz frekvenciatartományban végeztük. A mérési eredményeket a 2. ábrán ábrázoltuk.

A 20 Hz alatti frekvenciatartományban olyan jelenségeket észleltünk, mint a földrengéseknél, vagyis a mérőindex a frekvencia ütemében lengett. A 20–80, valamint a 90–110 Hz közötti intervallumban több tized *mgalt* kitevő leolvásáskülönbségek adódtak a nyugalmi helyzethez képest. Ez a tartomány azért veszélyes, mert a változásokat az észlelő nem veheti észre a szál zavartalannak látszó működése miatt! 80–90 Hz között a változások igen nagyok, a szál állandó mozgásban volt, 86 Hz körül önfrekvenciára utaló jelenségek mutatkoztak: az index kivastagodott, a leolvasás lehetetlenné vált. 110 Hz feletti tartományban semmilyen változást nem tapasztaltunk a nyugalmi helyzethez viszonyítva.

A következő kísérletnél a rezgésyorsulási szint fokozatos növelésével mértük a különböző frekvenciákhoz tartozó „terhelés- $\Delta g$ ” görbéket. A  $V$  komponensre vonatkozó eredmények a 3. ábrán láthatók. Ezeknél a kísérleteknél 100  $\mu V$  felett meg 1  $cms^{-2}$  rezgésyorsulási szintnek. Azt tapasztaltuk, hogy a különböző frekvenciákhoz tartozó görbéknél 100–700  $\mu V$  között néhány század *mgal* változástól egy *mgalt* (!) is meghaladó eltérések regisztrálhatók zavartalannak látszó indexműködés mellett.



2. ábra. A No. 181 - G graviméter vibrációs vizsgálatának eredménygörbéi

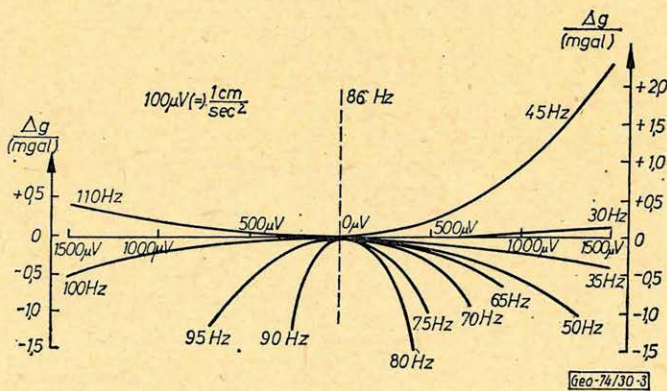
V vertikális komponens  
 $H_1$  és  $H_2$  horizontális komponensek  
 - - - graviméter önfrekvenciájának helye  
 $\Delta g$  látszólagos  $\Delta g$  változás a terhelés függvényében

Рис. 2. Результаты испытания гравиметра № 181 - G на виброустойчивость

V - вертикальная составляющая  
 $H_1$  и  $H_2$  - горизонтальные составляющие место собственной частоты гравиметра  
 $\Delta g$  - кажущиеся изменения  $\Delta g$  в функции от нагрузки

Fig. 2. Registration results of vibration investigations of the gravimeter 181 - G

V vertical components  
 $H_1$  and  $H_2$  horizontal components  
 - - - place of eigenfrequency of the gravimeter  
 $\Delta g$  apparent  $\Delta g$  variation depending on load



3. ábra. A No. 181 - G graviméter „terhelés -  $\Delta g$ ” görbéi

- - - rezonanciafrekvencia  
 $\Delta g$  látszólagos  $\Delta g$  változás a terhelés függvényében

Рис. 3. Кривые „ $\Delta g$  нагрузки” гравиметра № 181 - G

- - - резонансная частота  
 $\Delta g$  - кажущиеся изменения  $\Delta g$  в функции от нагрузки

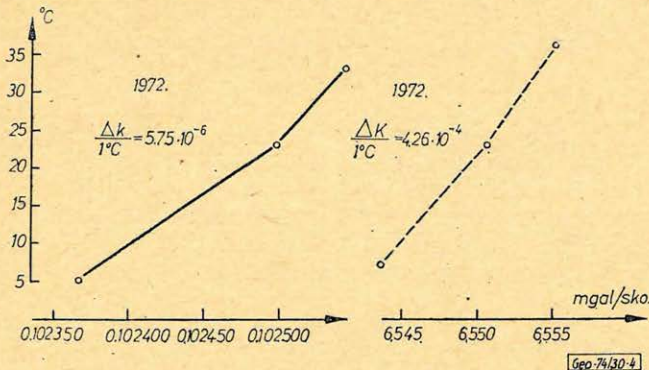
Fig. 3. Load -  $\Delta g$  - curves of gravimeter No 181 - G

- - - resonance frequency  
 $\Delta g$  apparent  $\Delta g$  variation depending on load

Az említett vizsgálatokat térbeli rezgéskeltéssel folytatjuk és megvizsgáljuk a kisfrekvenciás (0,1–20 Hz) rezgések tartományát. A laboratóriumi vizsgálatokon kívül terepi méréseket is végzünk a mesterséges rezgéskeltőknek a graviméter-leolvasásokra tett hatásának kimutatása érdekében.

A külső tényezők közül a *hőmérsékletváltozásoknak* a graviméter-leolvasásokra gyakorolt hatása az egyik legjelentősebb jelenség, kiküszöbölése igen sok nehézséggel jár.

A hőmérsékletváltozások statikusak és dinamikusak lehetnek. Statikusnak nevezzük akkor, amikor feltételezhető, hogy a graviméter teljes tömege átveszi a megváltozott hőmérsékletet, s a változások kellően lassúak ahhoz,



4. ábra. A No. 181 – G graviméter műszerállandóinak értéke a hőmérséklet függvényében (laboratóriumi meghatározás)

————— kis csavar állandó  
 - - - - - nagy (geodéziai) csavar állandó

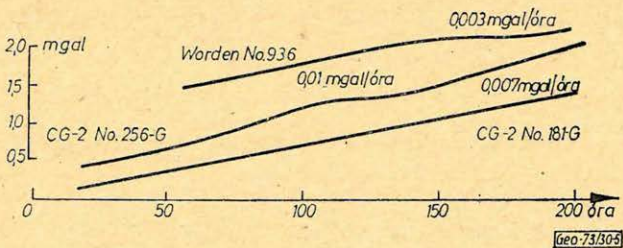
Рис. 4. Зависимость величин постоянных гравиметра № 181 – G от температуры (лабораторные определения)

————— постоянная малого винта  
 - - - - - постоянная большого (геодезического) винта

Fig. 4. Values of instrumental constants of gravimeter No 181 – G depending on the temperature (laboratory measurement)

————— constant of small screw  
 - - - - - constant of big (geodetic) screw

$T_{\text{labor}} = 25^{\circ}\text{C}$   
 1972.



5. ábra. Driftgörbék laboratóriumi meghatározása (feldolgozás Perceev-módszerrel)

Рис. 5. Определение кривых дрейфа в лабораторных условиях (обработка данных по методу Перцева)

Fig. 5. Laboratory determination of drift-curves (computed by the Perceev-method)

hogy a műszer hőkompenzáló berendezése kifejthesse hatását. Dinamikus változásoknál a hőkompenzátor hatástalan, a graviméter különböző szerkezeti egységei nem egyformán veszik át a hőmérsékletet, ezáltal olyan geometriai torzulások keletkeznek, amelyeknek hatása a műszerleolvasási értékekre nem vehető számításba.

Állandó hőmérséklet mellett meghatározhatók a graviméterek műszer-állandói laboratóriumban, s a különböző hőmérsékleten végzett meghatározások felvilágosítást adnak a hőmérsékletváltozások várható hatásairól.

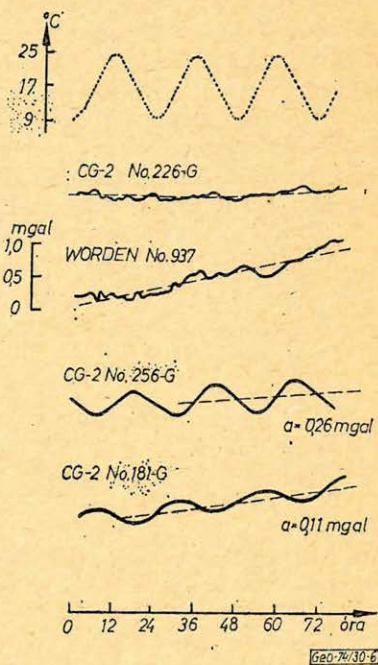
Ebből a célból hőkamrában három különböző hőmérsékleten végeztünk laboratóriumi műszerállandó meghatározást a dőlés módszerével (4. ábra).

Az eredmények azt mutatják, hogy a Sharpe CG-2 No. 181-G műszer állandójának változásából származó hatások meghaladják az e műszertípussal elérhető pontosságot.

A további vizsgálatokhoz meghatároztuk néhány graviméter laboratóriumi driftjét. A drift ismerete elősegíti a helyes mérési módszer kiválasztását, tájékoztat a terepi pontokon egyszeri méréssel meghatározott  $\Delta g$  várható megbízhatóságáról.

Tapasztalati tény, hogy gravitációs „mikrohálózatok” mérése esetén  $0,05 \text{ mgal/óra}$  értékű drift még jó zárási érték esetén is  $0,1-0,2 \text{ mgal } \Delta g$  különbséget okoz ugyanazon pontokon egy közel  $0 \text{ mgal/óra}$  értékű drifttel jellemezhető mérési sorozatból kapott eredményekhez viszonyítva. Ilyen esetekben éppen a részletes mérés által nyerhető többletinformációkat veszíthetjük el, illetve hamis képet kaphatunk a terület gravitációs viszonyairól. Az 5. ábra a driftmeghatározások eredményét mutatja.

Az eredmények magyarázatánál előrebocsátjuk, hogy a graviméterek driftje a tapasztalatok szerint a kvarrendszer „öregeedésével” általában csökken, az egyes műszerek driftgörbéjéből pedig nem szabad általánosításokat levonni az adott műszertípusra. Érdekes összehasonlítani a két termosztát nélküli Sharpe graviméter (No. 181-G és No. 256-G) és a termosztátos Worden No. 936 műszer járásgörbéjét. Előbbieket 1965-ben, utóbbit 1973-ban gyártották. Látható, hogy a Worden driftje lényegesen kisebb a másik két műszerénél, ami a termosztátberendezés jó minőségére utal. A No. 937 Worden termosztát-hibás volt a kísérletek idején.



6. ábra: Statikus hőmérsékletváltozások hatása a graviméterek leolvasási értékeire

..... hőmérséklet görbéje  
 ————— műszerleolvasási értékek görbéje mgal-ban  
 - - - - - műszerjárás görbéje

Рис. 6. Влияние статических изменений температуры на показания гравиметров

..... кривая температуры  
 ————— кривая величин, отчитанных с гравиметра в мгл  
 - - - - - кривая дрейфа прибора

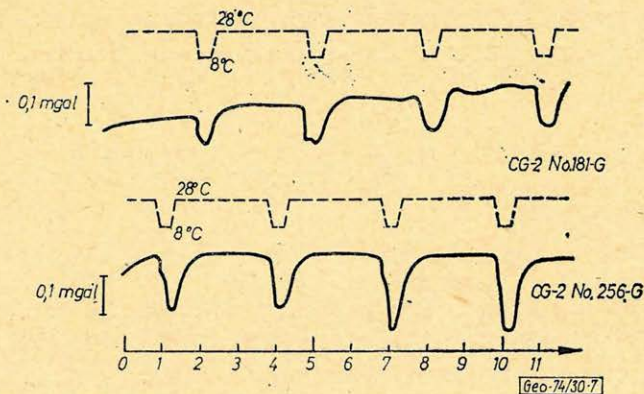
Fig. 6. Influence of static temperature variations on the readings of gravimeters

..... temperature curve  
 ————— curve of instrumental readings in mgal  
 - - - - - drift curve

Következő kísérletünk a statikus hőmérsékletváltozások hatásának kimutatására szolgált (6. ábra). A hőkamra hőmérsékletét automatikus vezérléssel változtattuk szinuszoidális görbe szerint úgy, hogy a  $17^{\circ}\text{C}$ -os alapszint mellett  $8^{\circ}\text{C}$ -os amplitúdójú,  $24$  órás periódusú hőmérsékletváltozásokat hoztunk létre. A mérési eredményekből fontos megállapításokat lehet tenni. A műszerek rövidperiódusú driftjét nem változtatja az, hogy egyenletes hőmérséklet helyett egyenletesen változó hőmérsékleten regisztráltuk a járásgörbéket. A két termosztát-nélküli Sharpe műszer  $a=0,11$ , illetve  $a=0,23$  mgal amplitúdóval és mintegy hétórás fázistolással követi a hőmérsékletváltozásokat. Hőmérsékleti kompenzátoruk ellentétes értelemben működik. Nagyobb pontosságú mérésekhez nyilván a hőmérsékletváltozások hatására kevésbé érzékeny  $181-G$  műszert használhatjuk, a két műszer együttes alkalmazása esetén a mérési eredmények szórni fognak ugyan, de az eredmények középértékében a hőmérsékleti hatások jobban kompenzálódnak, mint két azonos előjelű hőkompenzátorral ellátott Sharpe műszer alkalmazása esetén. A  $226-G$  műszert utólag látták el termosztát-berendezéssel.

Ennél a graviméternél a hőmérsékletváltozások hatása minimális. A gyári-termosztátos Worden  $No\ 936$ -os műszer, bár a regisztrátum sok zavaró értéket tartalmaz, szintén nem mutat domináns jelleget.

A következő kísérlettel a dinamikus hőmérsékletváltozásoknak a műszerleolvasási értékekre gyakorolt hatását vizsgáltuk. Ez a jelenség nagyon veszélyes hibaforrása a graviméteres méréseknek, mert a műszer különböző szerkezeti egységei különböző mértékben melegszenek át, s olyan geometriai torzulások lépnek fel, melyeknek hatását nem lehet figyelembe venni. A dinamikus hőmérsékletváltozások jelentősen megnövelik a műszer rövidperiódusú járását (7. ábra), vagy olyan mértékben torzítják, hogy a változásokat nem lehet kor-



7. ábra. Dinamikus hőmérsékletváltozások hatása a graviméterek leolvasási értékeire  
 - - - hőmérsékleti görbék  
 \_\_\_\_\_ műszerleolvasási értékek görbéje mgal-ban

Рис. 7. Влияние динамических изменений температуры на показания гравиметров  
 ..... кривые температуры  
 \_\_\_\_\_ кривая величин, отсчитанных с гравиметра, в мгл

Fig. 7. Influence of dynamical temperature changes on the readings of gravimeters  
 - - - temperature curves  
 \_\_\_\_\_ curve of instrumental readings in mgl

rekcióba venni. A műszerleolvasásokban a mérési pontosságot nagyságrenddel meghaladó változások lehetségesek.

Jelen ismereteink birtokában nem ismerünk olyan egzakt eljárást, amelynek segítségével a hőmérsékletváltozások hatásait utólag korrekcióba lehetne venni. Célunk ezért az, hogy ezeket a hatásokat minimálisra csökkentsük. Ennek két megoldása lehet. Az egyik megoldás az, hogy a műszereket gépkocsiban szállítjuk és a méréseket is a gépkocsiból végezzük, a graviméterek éjszakai tárolását a nappali középhőmérséklethez közeli hőmérsékletű helyiségben biztosítjuk. Mérés közben regisztráljuk a gépkocsiban uralkodó hőmérsékletet, s a mérések során igyekszünk azt állandó értéken tartani. Ezzel a látszólag egyszerű eljárással igen jó eredményeket lehet elérni, amit bizonyít hitelesítő alapvonalunkon végzett évenkénti észlelési eredményeink jó egyezése (1. táblázat). Ezt az eljárást geofizikai méréseknél csak bázisméréseknél, vagy kitüntetett fontosságú gravitációs szelvények esetében alkalmazhatjuk, mert nagymértékben növeli a mérések időszükségletét, erdős, hegyes terepen pedig kiépített úthálózat hiánya miatt a gépkocsival való közlekedés sokszor lehetetlen. Lényegesen hatásosabb eljárás gyári termosztáttal ellátott Worden graviméterek beszerzése, vagy már meglévő Sharpe graviméterek termosztáttal való ellátása. Ennek elvi akadályai nincsenek, az elektrotechnikai elemek mai fejlett színvonalán az a veszély sem fenyeget, hogy elveszítjük a könnyű kezelhetőség (hordozhatóság) nagy előnyét. A Geofizikai Intézetben megkezdtük a birtokunkban levő Sharpe graviméterekhez szükséges termosztátberendezések tervezési munkáit.

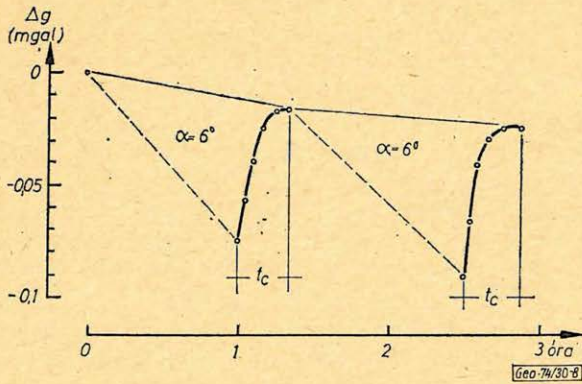
1. táblázat — таблица 1. — Table 1.

Mérési eredmények a magyarországi gravitációs hitelesítő alapvonalon  
Таблица 1. Результаты наблюдений, проведенных по опорному эталонному  
гравиметрическому профилю Венгрии  
Results of calibration measurements made on the Hungarian gravity base line

pont	CG-2 No. 181-G					
	1969	1971	1972	1973	1974	m $\overline{\Delta g}$
	$\Delta g$ (mgal)					
A	62.170	.139	.169	.198	.161	0.010
B	28.465	.468	.467	.508	.493	0.009
C	18.605	.618	.608	.605	.594	0.004
D	42.602	.624	.639	.672	.658	0.012
E						
$\Sigma$	151.842	.849	.883	.983	.906	

A lengőrendszer dőlése alatt az inga pontszerűnek képzelt tömegén és az inga forgástengelyén illeszkedő síknak a vízszintes síkkal bezárt dőlésszögét értjük. A dőlés elkerülhetetlenül fellép: a műszer szállítása közben mindig, de felléphet a pontraállítás utáni helytelen műszerszintezés következtében is. A kísérlet szempontjából ez utóbbi esettől eltekintünk, mert feltételezzük, hogy az adott graviméter libelláit gondosan beszabályozták és a méréseket középhelyzetű libellákkal végzik. A szállításnál jelentkező dőlésnek a graviméterleolvasásokra gyakorolt hatásának vizsgálatára a következő kísérletet végeztük (8. ábra). A gravimétert  $6^\circ$ -os dőléssel állítottuk fel és egy órán át így hagytuk, majd szinteztük és gyors egymásutánban leolvasásokat végeztünk. A műszerleolvasások mintegy 15–20 perc után álltak be a nyugalmi helyzetnek

megfelelő értékre. Az eltérések még ilyen viszonylag kis dőlés mellett is megközelítik a  $0,1 \text{ mgal}$  értéket. A dőlés hatásának csökkentésére gondos műszerszállítás ajánlható (háton való szállítás, hintáztatás kerülendő), és főképpen a mérési pontokon a műszer felállítása után beiktatott néhány perces „kényszerpihenők”.



8. ábra. A lengőrendszer dőlésének hatása a No. 181 – G graviméter leolvasási értékeire  
 $t_c$  csillapodási idő  
 ————— feltételezett driftgörbe  
 - - - - - műszerleolvasási értékek

Рис. 8. Влияние наклона подвешенной системы на показания гравиметра № 181 – G  
 $t_c$  — время успокоения  
 ————— кривая предполагаемого дрейфа  
 - - - - - показания гравиметра

Fig. 8. Influence of tilt of the oscillating system on the readings of gravimeter No 181 – G  
 $t_c$  decay time  
 ————— supposed drift curve  
 - - - - - instrument readings

Végül szeretném felhívni a figyelmet arra, hogy mindhárom tárgyalt hatás jelentősen csökkenthető azáltal, hogy a terepi pontok mérésénél ismétlést végzünk, vagy gondosan összeválogatott műszerpárokkal végezzük a méréseket. Tekintettel arra, hogy a graviméteres méréseknél Magyarországon nincs kötelező jellegű ellenőrző mérés előírva, a tárgyalt hatások miatt a mérések pontosságának még becslése is nehéz.

Az ismertetett kísérleteket Intézetünk geodéziai gravimetriai csoportjának munkatársai végezték, a rezgésvizsgálatokban az Akadémia Mérésügyi Szolgálatának munkatársai vettek részt. Az egyes kísérleti görbék analizését Bodri Bertalanné végezte, a hőkamrás kísérletek feltételeit a prágai Geodéziai Intézet biztosította. Segítségük nélkül ezen kísérletekről nem tudtam volna beszámolni.

## Kísérlet a Bouguer-anomáliatérképet mélységtérképpé transzformáló helyi mátrix kiszámítására

SZ. PINTÉR ANNA – STOMFAI RÓBERT

*A geofizikai mérések komplex értelmezése érdekében kísérletet tettünk a Bouguer-anomáliatérképet olyan átalakítására, amely optimálisan közelíti a szeizmikus (és/vagy geoelektromos) mélységadatokat. Ez az átalakított gravitációs térkép egyrészt megbízható interpolációt biztosít a szeizmikus szelvények közötti területeken, másrészt megtartja a gravitációs adathalmazban rejlő információt, harmadsorban a közelítés után a szeizmikus (geoelektromos) szelvények mentén a nagyobb eltérésekből újabb földtani következtetéseket vonhatunk le.*

*Для комплексной интерпретации геофизических данных были сделаны попытки преобразовать карты аномалий Буге в карты глубин, оптимально аппроксимирующие сейсмические (и/или электроразведочные) данные глубин. Такие преобразованные карты аномалий поля силы тяжести обеспечивают достоверную интерполяцию в пространствах между сейсмическими профилями, с одной стороны, сохраняют информацию, содержащуюся в гравиметрических данных, — с другой, причем по значительным отклонениям от сейсмических (электроразведочных) разрезов; выявляемым после аппроксимации, можно делать дополнительные геологические выводы.*

*For a complex interpretation of geophysical measurements we attempted a transformation of the Bouguer-anomaly map approximating in a most optimal way the seismic (and/or geoelectric) depth data. This transformed gravity map provides — on the one hand — a reliable interpolation on the areas between seismic profiles and — on the other hand — it retains all the informations contained in the gravity data; further on, having obtained the approximation we are able to draw additional geological consequences on the basis of greater deviations presenting themselves along the seismic (geoelectric) profiles.*

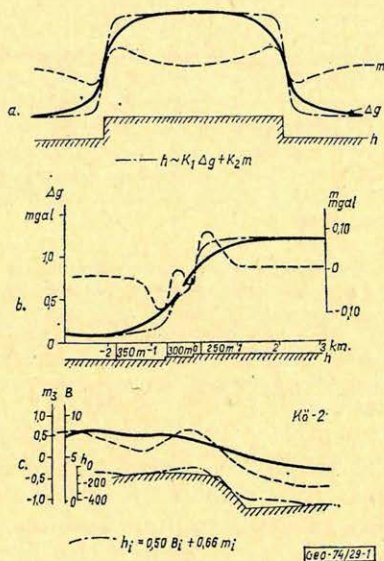
„A komplex geofizikai mérések módszertani kérdései a Vértes hegység előterében” című cikk (Magyar Geofizika, 1973. XIV. 5–6.) ismerteti annak a gravitációs módszertani problémának földtani kereteit, amelyet a jelen cikkben részletesebben elemeztünk. Hangsúlyozzuk, hogy nem egy lezárt kutatásról van szó, amelynek tételei általánosíthatóak, hanem csupán egy megkezdett kísérletről.

A probléma gyökere ott van, hogy bár a gravitációs Bouguer-anomáliatérképek, valamint a Meskó Attila által definiált mátrixokkal számított maradékanomália-térképek már a geofizikai előkutatás fázisában (azaz a szeizmikus-geoelektromos mérések tervezésének szakaszában) igen nagytömegű — igaz, nem mindig könnyedén értelmezhető — információt szolgáltatnak, ezen információtömeg nagy része a geofizikai mérések komplex értelmezésénél könnyen elvész. E hatalmas gravitációs adattömegből az értelmezést végző kutató jelenleg csak szubjektív és kvalitatív módon ragadhat ki elemeket. Nincs ui. olyan objektív és gyors eljárás, amely a kutatásnak ebben a záró fázisában a gravitációs adatok információtömegét könnyen értelmezhetővé, ábrázolhatóvá és áttekinthetővé tenné.

Ezen a nehézségen kíséreltünk meg segíteni, legalább az olyan, földtanilag kedvező felépítésű területeken, ahol a gravitációs anomáliák kialakításában az a földtani szint játszik döntő szerepet, amelyet a szeizmikus refrakciós mérésekkel vagy geoelektromos szondázásokkal kimutatunk, azaz általában a har-

madidőszaki medence aljzata. Azt állítjuk ugyanis, hogy *ilyen* területeken a szeizmikus-geoelektromos mérések kiértékelése után a mélységadatokat, valamint a gravitációs (Bouguer- és maradék-) anomáliákat felhasználva, kiszámítható olyan kisebb területre érvényes mátrix, amelyet a Bouguer-anomáliatérképre alkalmazva a szeizmikus refrakciós (ill. a komplex szeizmikus-geoelektromos) szintet legjobban közelítő adatrendszert, azaz végül is mélység-térképet kapunk.

Az átalakító mátrix kiszámításának elve eléggé szemléletes, bár nem problémamentes. A számítás gyakorlati kivitelezésénél szintén jelentkeznek problémák. Mi az első lépésben a legegyszerűbben megírható programot, a leggyorsabbán alkalmazásba vehető eljárást dolgoztunk ki. Itt most ezt a lehetőséget ismertetjük. Amint azonban említettük, e témában további vizsgálatokat folytatunk.



1. ábra. Az átalakító mátrix elvének szemléltetése

Рис. 1. Иллюстрация принципа матрицы преобразования

Fig. 1. Illustrating the principles of the transformation-matrix

Legyen  $h$  egy kétdimenziós ható felszínét leíró görbe,  $\Delta g$  e ható gravitációs hatásgörbéje,  $m$  pedig valamelyik maradékanomáliagörbe (1a. ábra). Alkalmassal  $k_1$  és  $k_2$  szorzókkal elérhető, hogy  $k_1 \cdot \Delta g + k_2 \cdot m \sim h$  legyen, azaz a  $\Delta g$  és az  $m$  görbék súlyozott összegzésével egy a  $h$  görbét jól közelítő újabb görbe szerkeszthető. Kérdés persze, hogy a sok lehetőség közül melyik maradékanomáliagörbét, vagy görbéket kell kiválasztani és milyen  $k$  szorzókat kell az összegzésnél alkalmazni.

Példaképpen bemutatunk egy kétdimenziós kétlépcsős vetőt (1b. ábra). Itt is található olyan  $k_1$  és  $k_2$  szorzó, amellyel a  $\Delta g$  és  $m$  értékeket szorozva és összeadva, a közelítés optimális. Jól látható azonban az, hogy itt az optimális közelítés is torzít. A pozitív és negatív maradékanomáliákra valószínűleg kü-

lön-külön kellene szorzót megállapítani. Ilyen programot egyelőre nem írtunk, de a kevésbé torzító közelítés érdekében erre feltétlenül szükség lesz, sőt szó lehet arról is, hogy a  $\Delta g$  relatív értéke is beleszóljon a  $k$  értékek kiszámításába. Egy egyszerű földtani példát is bemutatunk (1c. ábra), a Vértes hegység Ny-i előterében mért szeizmikus-refrakciós mérési anyagból a  $K\bar{o}-2$  szelvény egy szakaszát. Itt hasonlóképpen olyan szorzókat kerestünk, amelyekkel a  $B_i$  Bouguer- és az  $m_3$  ( $s=250$  m,  $\kappa=3$ ) maradékanomáliát megszorozva a  $h_{sz}$  szeizmikus mélységet jól közelítjük. A számítógépes program a  $h_{g,i} - \bar{h}_g = 0,50(B_i - \bar{B}) + 0,65m_{3,i}$  értéket adta. Ehhez az összefüggéshez több lépésben jutottunk. A közelítés a vető mentén nem túlságosan jó, erre később visszatérünk.

\* \* \*

A Vértes hegység Ny-i előterében, 1972-ben kb.  $75$  km<sup>2</sup> területen  $12$  szeizmikus szelvény mentén  $250$  m-ként vettünk mintákat összesen  $559$  ponton. Egyszerűsítési szempontok miatt a  $h_{sz,i}$  szeizmikus mélységadatok és a  $B_i$  Bouguer-anomáliák mellett először csupán az  $s=250$  m,  $\kappa=3$  paraméterű  $m_3$  maradékanomáliákat vontunk be a vizsgálatba.

Sajnos, mindegyik összeírt adatrendszerben van egy önkényes „szintbeállító” konstans (pl. a  $h_{sz,i}$  adatrendszerénél a tengerszint), amelynek a hatófel-szín leképezéséhez nincs köze. Ezért az adatrendszereket át kell alakítani úgy, hogy minden adatrendszerből levonjuk az átlagértékeket.

Ezután olyan  $k_1$  és  $k_2$  értékeket kell keresni, hogy

$$\sum_{i=1}^n (k_1 m_{3i} + k_2 B_i - h_{sz,i})^2 = \min \text{ legyen.}$$

(Itt  $B_i$  és  $h_{sz,i}$  már az átlagtól mentes értéket jelöli.)

A számítást elvileg valamennyi reális paraméterrel számítható maradékanomáliára ki kellene terjeszteni, azaz általában a

$$\sum_{i=1}^n (k_1 B_i + k_2 m_{2i} + k_3 m_{3i} + \dots + k_9 m_{9i} - h_i)^2 = \min$$

képlettel kell számolni.

Valószínű azonban, hogy valamennyi maradékanomália bevonására nincs szükség. Erre vonatkozó elméleti vizsgálatokat még nem végeztünk, de van olyan tapasztalatunk itt nem ismertett modellkísérletnél, hogy egyes hasonló paraméterű maradékanomáliák (pl.  $m_7$ ,  $m_8$ ) szorzói valószínűtlenül nagy pozitív vagy negatív számok lehetnek, így ezek végeredményben nullázzák egymást.

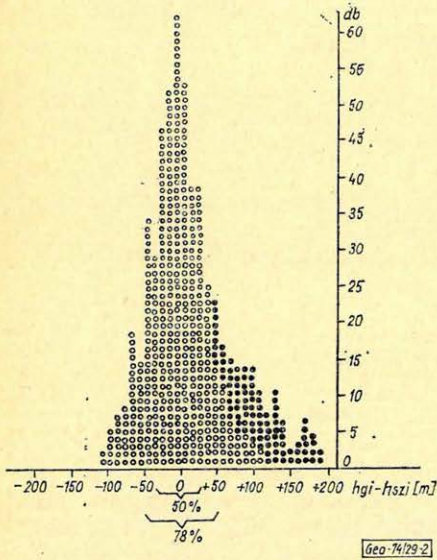
A szorzók ismeretében a Meskó Attila által definiált mátrixok elemeit megszorozzuk és összeadjuk, így jutunk végül az új mátrixhoz, amelyet a Bouguer-anomáliatérképre a szokásos módon alkalmazunk (ez egyszerűbb számítás, mint az egyes térképek adatainak szorzása és összeadása).

Visszatérve a Vértes előterének  $h_{sz}$ ,  $B_i$  és  $m_{3i}$  adatrendszerére, a közelítést fokozatosan végeztük. Az első közelítés után

$559$  adatra a  $0,50B_i + 0,87m_{3i} = h_{gi}$ ,  $\sigma^2 = 3014$  összefüggést kaptuk, ezután kihagyva a  $\pm 150$  m, majd a  $\pm 100$  m, a  $\pm 75$  m, végül a  $\pm 50$  m-nél nagyobb eltérésű pontokat, rendre a következő eredményeket kaptuk:

pontok száma	$k_1$	$k_3$	$\sigma^2$	$ h_{sz} - h_g $
559	0,50	0,87	3014	
553	0,49	0,87	2762	< 150 m
519	0,50	0,84	1938	< 100 m
456	0,50	0,74	1234	< 75 m
385	0,50	0,66	644	< 50 m

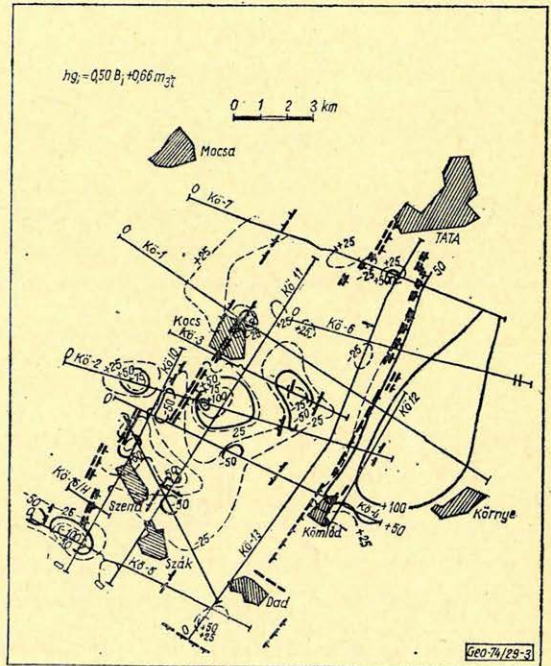
Ha figyelembe vesszük, hogy e  $75 \text{ km}^2$  területen a Bouguer-anomáliák az átlagtól maximálisan  $\pm 6 \text{ mgal}$ -ra térnek el, a maradékanomáliák elérik a  $\pm 1,5 \text{ mgal}$  értéket, helyenként pedig, mind a bemutatott  $K\ddot{o}-2$  szelvény mentén a Bouguer-anomália  $2,5 \text{ mgal}$ -os változása  $1,5 \text{ mgal}$ -os maradékanomália-változással jár együtt, látható, hogy a maradékanomáliák szerepe a közelítésnél jelentős. Itt – közvetve – említjük meg azt is, hogy az említett (itt nem ismertett) modellkísérleteknél a korreláció a maradékanomáliák bevonásával  $30-40\%$ -kal javul ahhoz a helyzethez viszonyítva, amikor csak a  $\Delta g$  hatásokkal végezzük el az optimalizálást.



2. ábra. A szeizmikus mélységadatok ( $h_{sz}$ ) és az átalakított gravitációs mélységadatok ( $h_g$ ) eltéréseinek gyakorisága a Vértes hegység Ny-i előterében

Рис. 2. Повторяемость отклонений данных преобразованных гравитационных карт о глубинах ( $h_g$ ) от сейсмических данных о глубинах ( $h_{sz}$ ) в западном передовом участке гор Вертеш

Fig. 2. Frequency of the deviation between seismic depth data ( $h_{sz}$ ) and transformed gravity depth data ( $h_g$ ) in the Western foreground of Vértes mountains



3. ábra. A  $h_{gi} - h_{szi}$  különbségek területi eloszlása

Рис. 3. Территориальное распределение разностей  $h_{gi} - h_{szi}$

Fig. 3. Areal distribution of the differences  $h_{gi} - h_{szi}$

Az utolsó ( $0,5B_i + 0,66m_{3i}$ ) összefüggéssel mind az 559 pontra kiszámítottuk a  $h_{gi} - h_{sz, i}$  különbségeket, azaz a gravitációs adatokból számított, valamint a szeizmikus mélységek különbségét, s a különbségek gyakorisági görbáját ábrázoltuk (2. ábra). A gyakorisági görbe pontjainak 50%-a mindössze  $\pm 30$  m különbséget jelez (ennyi hiba a szeizmikus mérésekben is lehet), 78%  $\pm 50$  m különbségen belül van. Feltűnő, hogy a gyakorisági görbe aszimmetrikus, viszonylag sok nagy pozitív értéket mutat. A gyakorisági görbén megjelöltük azokat a pontokat, amelyek területileg is elkülönülnek.

Térképszerűen ábrázolva ezeket a különbségeket két jellegzetességet figyelhetünk meg (3. ábra). A nagy eltérések helyei vagy csupán 1–2 elszigetelt pontra vonatkoznak váltakozó előjellel, vagy nagyobb összefüggő területen, azonos előjellel jelentkeznek.

Az első típus túlnyomóan ott fordul elő, ahol a szeizmikus mérések vetőt jeleznek. Ez érthető is, hiszen e területen a gravitációs mérések átlagos ponttávolsága 250–300 m (s e pontok sem a szelvényekbe esnek). A szokásos módon szerkesztett Bouguer-anomáliatérkép és az ebből számított maradékanomáliák ezért nem képesek elég élesen követni a pár száz méteren belüli hirtelen mélységváltozásokat. Persze, kisebb lokális kiemelkedések, mélyedések jelentkezhetnek hol a szeizmikus, hol a gravitációs képben, mert vagy az egyik, vagy a másik módszer veszi észre ezeket, így a kisebb eltérések egy része származhat ebből is. Az eltérések második jellegzetes típusa csak a földtani felépítés, a sűrűségviszonyok megváltozásával magyarázható. Az eltéréstérkép  $K_i$  peremén a gravitációs szint +100 m, +150 m-rel magasabban van a komplex szeizmikus-geoelektromos szintnél. Ez a terület egyébként egy vetőrendszerrel határolt medence. A gravitációs anomáliák növekedését itt egyaránt okozhatja a fiatal üledékösszletben vagy az aljzatban bekövetkező sűrűség-növekedés, esetleg a kettő együtt.

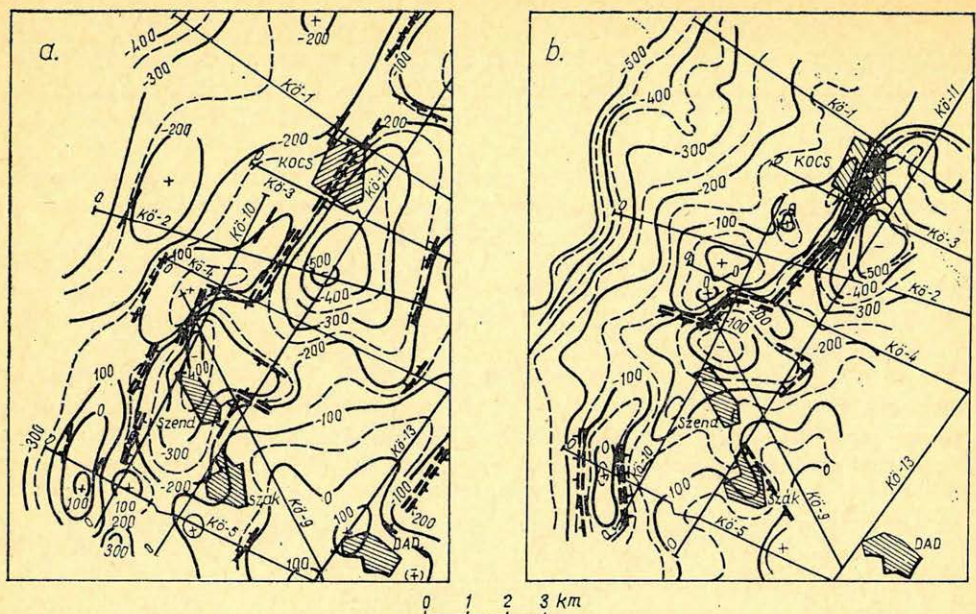
Végül az eltérések egy pontosan meg nem határozható része származhat abból a torzító hatásból, amit az 1. ábra kétlépcsős vetője mutatott jellegzetesen.

A számítások második szakaszában ezt az eltérő földtani felépítésű területet jelző 96 pontot kihagytuk, s a számítást újra elvégeztük most már az  $m_3$ , az  $m_6$  és az  $m_9$  paraméterű maradékanomáliák egyidejű bevonásával. Itt is fokozatos kihagyásokat alkalmazva, végeredményként a

$$0,5 B_i + 0,5 m_{3i} + 0,25 m_{6i} + 0,25 m_{9i} = h_{gi}$$

összefüggést kaptuk. Újabb eltéréstérképet is szerkesztettünk, amely lényegesen nem különbözik az elsőtől. Az  $m_6$  és az  $m_9$  paraméterű maradékanomáliák nem szüntették meg a vetők menti nagy eltéréseket. Ez voltaképpen az adott, viszonylag nagy átlagos állomástávolság miatt nem is volt várható. A szorzók segítségével kiszámított mátrixot a Bouguer-anomáliatérképre alkalmazva végül is egy, a szeizmikus mélységértékeket közelítő mélységértéket kaptunk (4b. ábra), amely biztosítja a szeizmikus szelvények közötti optimális interpolációt. A komplex értelmezést végző kutatónak e térképen kívül természetesen az eltéréstérképet is figyelembe kell venni. (Sajnos számítástechnikai okok miatt az egész területről nem tudjuk az optimális interpolációt biztosító mélységértéket bemutatni. Az egész területről ugyanis nincsenek összefüggő maradékanomália-térképeink, tekintettel arra, hogy a gravitációs méréseket és a maradékanomália-számításokat különböző években végeztük.)

Összehasonlításként bemutatjuk azt a mélységértéket is, amely a szeizmikus vonalhálózatra van alapozva s ahol a Bouguer-anomáliatérképet csak



Geo74/29-4

4. ábra. A karbonátos mezozoós medencealjzat mélységtérképe a) a szeizmikus és a kvalitatív módon figyelembe vett gravitációs adatokból szerkesztve, b) az optimalizáló program segítségével interpolált mélységtérkép

Рис. 4. Карта глубины залегания карбонатного мезозойского основания а – по сейсмическим и по качественно учтенным гравиметрическим данным; б – карта глубин, интерполированная с использованием программы оптимизации

Fig. 4. Depth chart of the mesozoic carbonate base of the basin a) constructed from seismic data, taking into account gravity data too in a qualitative manner, b) depth-chart obtained by means of the optimisation program

szubjektív módon vettük figyelembe (4a. ábra). Jól szembetűnik, mennyivel több részletet jelez a gravitációs adatok kvantitatív bevonásával szerkesztett térkép. E bemutatott példa azonban inkább gondolatébresztő, semmint végleges eredmény. E területen 1973-ban további szeizmikus mérések folytak és helyenként a szelvény mentén gravitációs mérésekre is sor került. A számításokat tehát e területen is célszerű megismételni és finomítani.

További, esetleg általánosítható eredmények érdekében modellkísérleteket is végzünk, mégpedig nemcsak kétdimenziós alakzatokra, hanem tetszőleges szerinti, mélybeli domborzat  $\Delta g$  hatását kiszámító programok segítségével ún. háromdimenziós alakzatokra is. A modellezés előnye, hogy itt a számítás mentes a mérési hibákból, illetve a változás földtani felépítéséből eredő problémáktól. Modellkísérleteinkről egy későbbi időpontban számolunk majd be.

#### IRODALOM

- [1] Meskó Attila: Szűrőelmélet alkalmazása a gravitációs értelmezésben. Magyar Geofizika 1966. VII. évf. 1. sz. 17–43. o.
- [2] Szabadváry László–Hoffer Egon–Nyitrai Tibor–Ráner Géza–Sz. Pintér Anna: A komplex geofizikai mérések módszertani kérdései a Vértes hegység előterében. Magyar Geofizika 1973. XIV. évf. 5–6. sz. 156. o.

# A sebességmeghatározási eljárásokkal kapcsolatos problémák vizsgálata

ZSELLÉR PÉTER

A többszörös-fedéles szeizmikus felvételekből történő sebességmeghatározás az irodalomból már több éve ismert. A módszerek gyakorlati kipróbálásának reális lehetőségét hazánkban a digitális technika bevezetése teremtette meg, 1971-ben. Az irodalomból ismert módszerek egyszerű átvétele tapasztalataink szerint nem biztosítja a hagyományos módszerek pontosságát. (Dix – Bortfeld-lövés, szeismocarottázs...) Ezért az OKGT GKÜ-ben kidolgoztuk a módszerek javított, fejlesztett változatait.

Методы определения скорости по сейсмическим записям ОГТ известны из литературы уже несколько лет. В Венгрии реальная возможность практического испытания этих методов создавалась при внедрении цифровой техники в 1971 г. Опыт показывает, что простое заимствование методов, известных из литературы, не обеспечивает точности стандартных методов (метод взрыва Дикс-Бортфельда, сейсмокаротаж и т. д.). В связи с этим Предприятием геофизической разведки Треста нефтяной и газовой промышленности были разработаны усовершенствованные, уточненные варианты этих методов.

Velocity determination from seismic profiles with multiple stacking has been well known from literature since several years. In Hungary, the possibility of a practical testing of these methods was assured by the introduction of digital technique in 1971. According to our experiences a simple application of methods known from the literature does not assure the accuracy of traditional methods (Dix – Bortfeld shot, seismocarottage etc.). Therefore, at the Geophysical Unit of the Hungarian Oil and Gas Trust improved and more developed variates of the methods have been elaborated.

## Állandó sebességű összegzés

A módszer gyengéinek jobb megértése érdekében írjuk fel az állandó sebességű összegzés átviteli függvényét. Az eljárás bonyolultsága miatt szorítkozunk a legegyszerűbb esetre és tételezzük fel a következőket: tegyük fel, hogy egyetlen vízszintes reflektáló felületünk van. Tételezzük fel továbbá, hogy az összes, azonos mélységponthoz tartozó csatornán ugyanaz a  $g(t)$  jel érzékel be (1. ábra).

Az  $x_i$  offsetnél a beérkezési idő:

$$t_i = \sqrt{t_0^2 + \left(\frac{x_i}{v}\right)^2}.$$

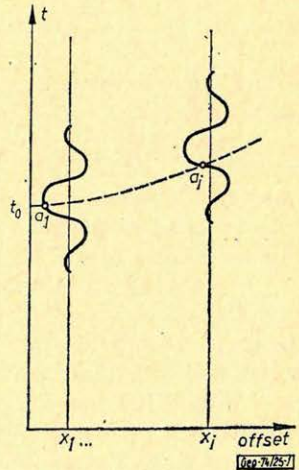
Ezért az  $x_i$  offsethez tartozó csatornán a jel a következő alakú:

$$a_i(t) = g(t - t_i) = g\left[t - \sqrt{t_0^2 + \left(\frac{x_i}{v}\right)^2}\right], \quad (1)$$

1. ábra. A közös mélységpontú csatornák összegzése

Рис. 1. Суммирование каналов ОГТ

Fig. 1. Stacking of common depth point channels



ahol  $v$  az átlagsebesség,  $t_0$  pedig a nullás offsethez tartozó beérkezési idő:

$$t_0 = \frac{H}{v},$$

ha  $H$  a reflektáló felület mélysége.

Az állandó sebességű összegzésnél az összegzést egy hiperbola mentén végezzük (1. ábrán a szaggatott vonal). A hiperbola „görbületét” a hozzátartozó  $v^+$  sebesség szabja meg.

A módszer alkalmazása során ezt a sebességet változtatjuk és így más-más görbületű hiperbola mentén összegzünk.

Ha a sebesség  $v^+$ , az összegzéshez az  $x_i$  offsetű csatornának azt a  $t_i^+$  időnél felvett értékét használjuk fel, melyet a

$$t_i^+ = \sqrt{t_0^2 + \left(\frac{x_i}{v^+}\right)^2}$$

képlettel határozhatunk meg.

A  $t$  időnél az összegzésben az  $x_i$  csatorna az  $a_i[t - (t_i - t_i^+)]$  értékkel vesz részt. Az (1) felhasználásával felírhatjuk az összeget:

$$y(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g \left[ t - \sqrt{t_0^2 + \left(\frac{x_i}{v}\right)^2} + \sqrt{t_0^2 + \left(\frac{x_i}{v^+}\right)^2} \right],$$

ahol  $N$  a fedésszám.

Az eltolási tétel felhasználásával felírhatjuk az összeg spektrumát. Ha  $g(t)$  transzformáltja  $G(f)$ , akkor:

$$Y(f) = G(f) \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e^{j2\pi f(t-t_i^+)}.$$

Ebből az állandó sebességű összegzés átviteli függvénye:

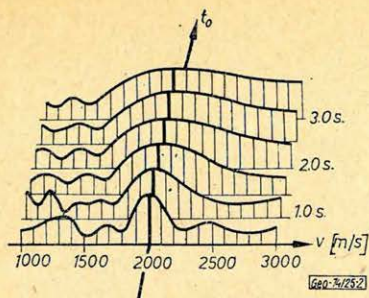
$$A(f) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e^{j2\pi f \left[ \sqrt{t_0^2 + \left(\frac{x_i}{v}\right)^2} - \sqrt{t_0^2 + \left(\frac{x_i}{v^+}\right)^2} \right]}, \quad (2)$$

ahol  $v$  a keresett átlagsebesség,  $v^+$  pedig az eljárás alkalmazása során változtatott sebesség.

Az átviteli függvény  $t_0$ ,  $v$ ,  $f$  és a terítési geometria függvénye. Rögzítsük a frekvenciát  $40 \text{ Hz}$ -nek. Válasszunk egy véglövéses, hatszoros fedésű terítési rendszert  $30 \text{ m}$ -es geofonközszel. A 2. és 3. ábrán ilyen feltételek mellett láthatjuk az átviteli függvény amplitúdóspektrumát. Az ábrákon a keresett átlagsebesség  $2000 \text{ m/sec}$ , illetve  $3000 \text{ m/sec}$ .

Az ábrákból láthatjuk, hogy az átviteli függvény a maximum környezetében a  $t_0$  növekedésével egyre jobban ellaposodik. Másrészt észrevehetjük, hogy az átviteli függvény nem szimmetrikus. Ennek oka az, hogy a nagyobb sebességek felé haladva a hiperbolák görbülete egyre kevesebbet változik.

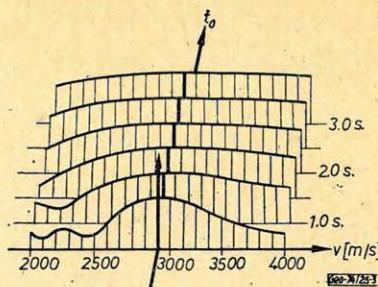
Vizsgáljuk meg, hogy az átviteli függvény alakjából levont következtetések hogyan jelennek meg egy hatszoros fedéses terepi anyagból készített állandó sebességű összegzés felvételén (4. ábra).



2. ábra. Az állandó sebességű összegzés amplitúdóspektruma  
( $f=40$  Hz,  $v=2000$  m/sec)

Рис. 2. Спектр амплитуд при суммировании с постоянной скоростью  
( $f=40$  гц,  $V=2000$  м/сек)

Fig. 2. Amplitude-spectrum of stacking with constant velocity  
( $f=40$  Hz,  $v=2000$  m/sec)



3. ábra. Az állandó sebességű összegzés amplitúdóspektruma  
( $f=40$  Hz,  $v=3000$  m/sec)

Рис. 3. Спектр амплитуд при суммировании с постоянной скоростью  
( $f=40$  гц,  $V=3000$  м/сек)

Fig. 3. Amplitude-spectrum of stacking with constant velocity  
( $f=40$  Hz,  $v=3000$  m/sec)

Az ábra teljes mértékben megerősíti az átviteli függvény alakjából levont következtetéseket. A kiértékelést különösen megnehezíti, hogy a maximumok elnyúlása nem szimmetrikus. Nem lineáris sebességskála alkalmazásával ez a nehézség csökkenthető.

Az új sebességskála megválasztásakor gondoljuk végig a következőket. Azt, hogy az átviteli függvény nem szimmetrikus, az okozta, hogy a sebességet azonos értékekkel változtatva a hiperbolák kilépési ideje nem azonos értékkel változott meg. Válasszuk meg az új skálát úgy, hogy az egymás utáni összegcsatornához tartozó kilépési idő lineárisan változzon. A  $V$  sebesség és az  $X_{\max}$  offsetnél mérhető  $t_{\max}$  kilépési idő között az összefüggés:

$$v = \frac{x_{\max}}{\sqrt{\Delta t_{\max}^2 + 2t_0 \Delta t_{\max}}}$$

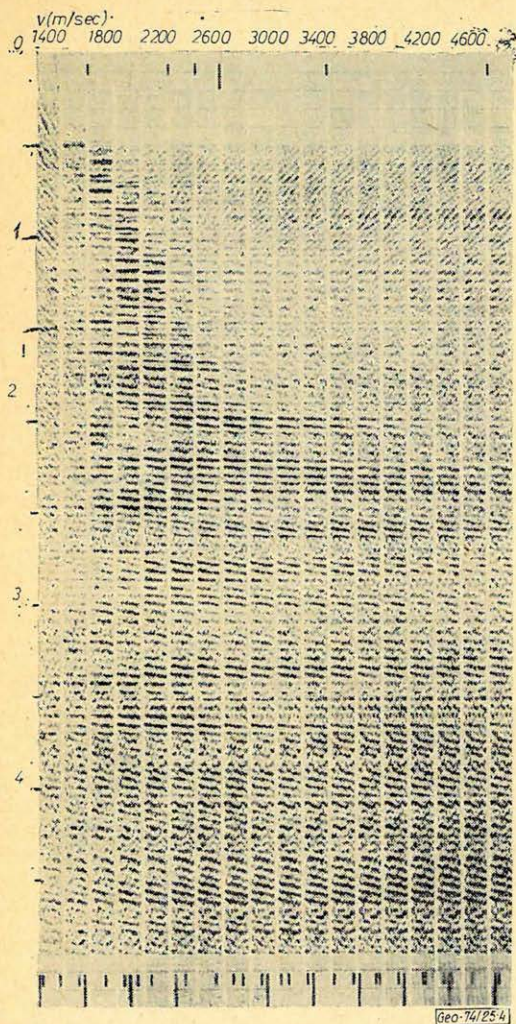
Láthatjuk, hogy ez a kifejezés  $t_0$ -tól is függ.

Rögzítsünk egy  $t_0$  értéket és ehhez számítsuk ki a sebességskálát az előbbi megfontolások alapján. Ha az állandó sebességű összegzést ilyen skála szerint végezzük, az összegzés közel szimmetrikus maximumokat ad. A legjobb szimmetriát az előzőekben rögzített  $t_0$  környezetében kapjuk.

Az 5. ábrán ilyen skálaválasztással készített állandó sebességű összegzés látható. A bemenő csatornák azonosak voltak a 4. ábrán látható összegzés bemenő csatornáival.

Lényegét tekintve egy ilyen skálaválasztási eljárás a pontosságot nem növeli. Előnye, hogy a kiértékelő munkáját megkönnyíti, mert a hosszú, elnyúlt és nem szimmetrikus maximumok látszólag lerövidülnek és közel szimmetrikussá válnak.

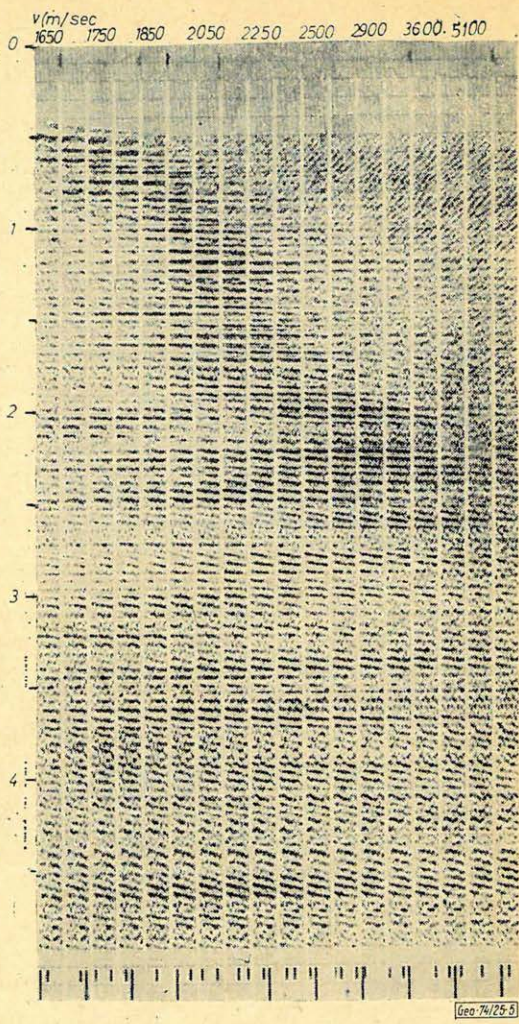
Ha a pontosságot ténylegesen növelni akarjuk, meg kell javítani az összegzéses módszer felbontóképességét. A felbontóképesség gyengességét az okozza, hogy a (2) átviteli függvény a maximum hely környezetében viszonylag lassan változik. A felbontóképesség megnövelésének egyik módja lehet az összegzendő



4. ábra. Hatszoros fedésű anyagból készített állandó sebességű összegzés

Рис. 4. Суммирование с постоянной скоростью по записям с шестикратным перекрытием

Fig. 4. Stacking of constant velocity from a material with sixfold covering



5. ábra. Állandó sebességű összegzés  $\Delta t$ -ben lineáris sebességskálával

Рис. 5. Суммирование с постоянной скоростью в  $\Delta t$  с линейной шкалой скоростей

Fig. 5. Stacking of constant velocity with a velocity scale linear with respect to  $\Delta t$

adatok súlyozása. A súlyokat válasszuk meg úgy, hogy akkor legyenek nagy értékek, ha az összegzendő jelek azonos fázisban vannak. A különböző fázisban levő jelek amplitúdója közel egyforma, akkor az előbbi kikötéseket jól kielégíti a következő súly:

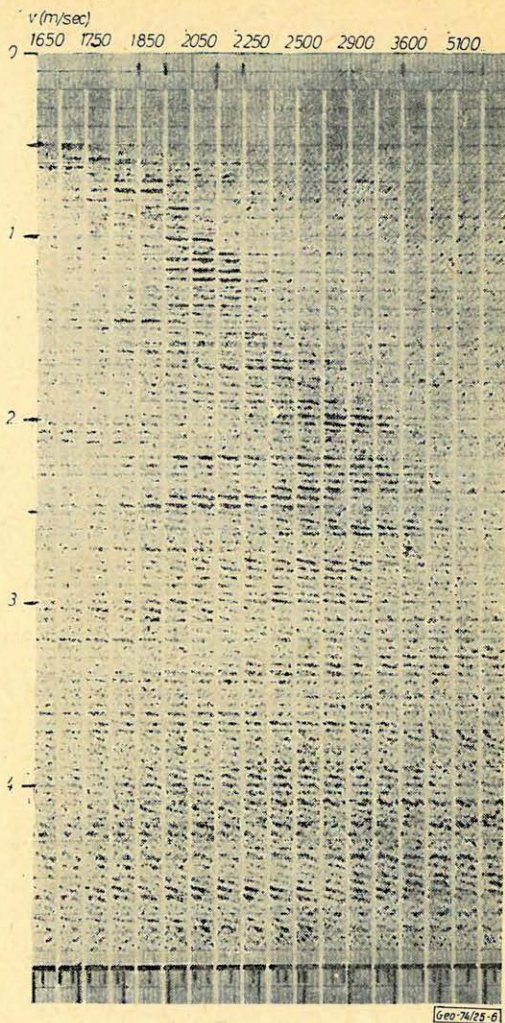
$$W_k = \frac{1}{\left(a_k - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i\right)^2},$$

ahol  $W_k$  a  $k$ -edik csatorna összegzendő adatához rendelt súly,  $a_1, a_2 \dots a_N$  pedig az összegzendő adatok. Ez a súly időben pontról pontra változik az összegzendő amplitúdóktól függően. Ezt a súlyozás-típust amplitúdó diszperzióknak is szokás nevezni. A 6. ábrán látható állandó sebességű összegzés az előbb leírt súlyozásos módszerrel készült. A bemenő adatok azonosak voltak az előző ábrákon látható összegzések bemenő adataival.

Láthatjuk, hogy a maximumok ténylegesen lerövidültek. Ez a kiértékelés számára nagyobb pontosságot biztosít. Tapasztalataink szerint megfelelő minőségű anyag esetén a sebességmegtározásban elkövetett hiba nagy  $t_0$ -oknál kapott maximumok esetén sem haladja meg a  $\pm 10\%$ -ot, a  $1,5-2,0$  sec körülieknél pedig  $\pm 5\%$ -on belül van.

Ezt a pontosságot a stacking-feldolgozás szempontjából megfelelőnek fogadhatjuk el.

Problémát okozhat, hogy a rendezetlen zajok a súlyozás hatásosságát lerontják. A súlyok megfelelő módosításával ez a probléma is megoldható. Így olyan módszert kaphatunk, melynek segítségével még viszonylag gyenge anyagokból is a stacking-feldolgozás szempontjából megfelelő pontossággal meg tudjuk határozni a sebességfüggvényt.



6. ábra. Állandó sebességű összegzés amplitúdó-diszperziós súlyozással

Рис. 6. Суммирование с постоянной скоростью со взвешиванием разбросов амплитуд

Fig. 6. Stacking of constant velocity with amplitude-dispersion weighing

## IRODALOM

Meskó A.: A digitális szeizmika alapjai. Egyetemi jegyzet (1971)

Bodoky T.: A közös mélységpontos észlelési rendszerek vizsgálata. Magyar Geofizika (1973. 3-4. szám)

# Schlumberger rendszerű vertikális szondázások vízzel borított területen

BRUMMER ANTAL – GAYER FERENC – HOLLÓ LAJOS

*A tanulmány a vízzel borított területen történő Schlumberger rendszerű vertikális szondázások egyik lehetséges megvalósításával foglalkozik.*

*В настоящей работе рассматривается один из возможных вариантов вертикального электрического зондирования по методу Шлumberже, проводимого в обводненных районах.*

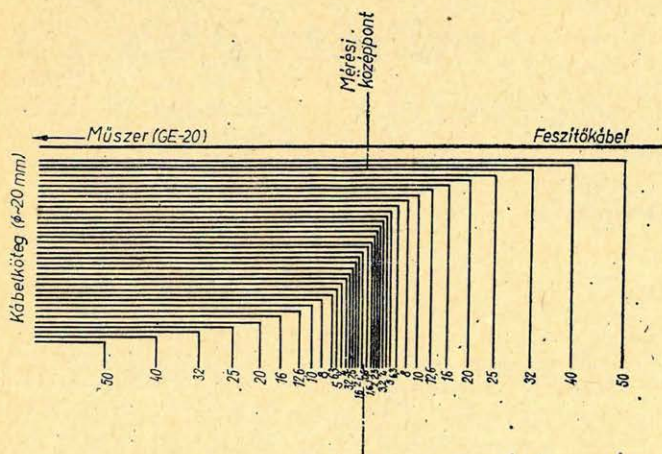
*A realization of Schlumberger vertical soundings over water covered areas is expounded.*

A Magyar Állami Földtani Szolgálat felkérésére a MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete geoelektromos vertikális szondázásokat végzett a Győr-újfalu közelében levő kavicsbánya területén. A kutatandó terület jelenleg is művelés alatt áll. A terület két, kb.  $200 \times 400$  m-es tóból áll, amelyet mintegy 4 m-es víz borít. A különleges körülmények miatt új megoldást kellett kísérleteznünk, figyelembe véve:

- a megbízó által kért kutatási mélységet (*max. 20 m*),
- az elektródák, ill. mérési felszerelések minimális előállítási költségét,
- az üzemszerű mérés gazdaságosságát (mérések száma naponta, technikai segédszemélyzet stb.),
- a szondázási távolságok pontos betartását,
- a mérést esetleg zavaró körülmények (hibás szigetelés, hullámszó okozta PS-változás) lehetőségei szerinti kiküszöbölését.

A kért mélység kutatására az  $AB_{\max} = 100$  m elektródátávolság maximálisan elegendő.

A műszert és tartozékait az egyik parton helyeztük el, és innen csatlakoztattuk az elektródasorhoz, amely 36 vízen úszó elektródából állt. Az 5, 10, ill.



Banándugóval ellátott ledágások a mérési középponttól  $(\frac{AB}{2})$  m-ben

Geo-74/82/1

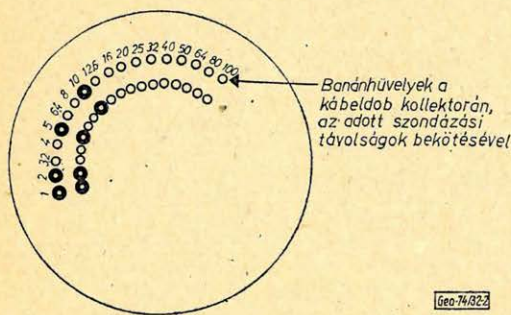
1. ábra. Kábelezési séma

Рис. 1. Схема каблирования

Fig. 1. Cabling scheme

20 m-es elektródák egyaránt felhasználhatók táp- és mérőelektródaként. Minden egyes elektródától külön kábel vezetett ki a parthoz, ahol csatlakoztatható a műszerhez (1. ábra).

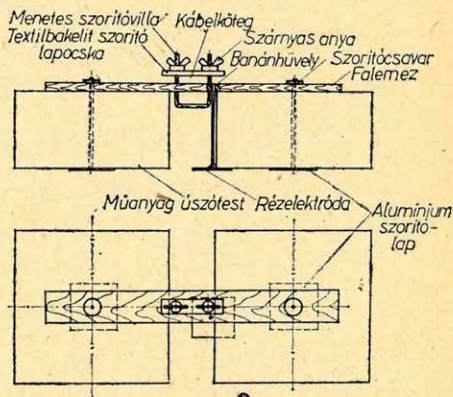
Műanyagszigetelésű acéleres ( $3 \times 0,21$  mm  $\varnothing$  horgonyzott acélszál +  $4 \times 0,21$  mm  $\varnothing$  rézszál szerkezetű TKÖV-2 typ) kábeleket használtunk. A kábelköteget a feszítősodronnyal együtt egy – a karottázs-méréseknél használt – kábeldobra tekertük fel, amelynek a tárcsáján két-sorban elhelyezett csatlakozóhüvelyekhez forrasztottuk a kábelvégeket. Innen csatlakoztattuk a műszerhez. A banándugók áthelyezésével a szondázási távolságok bármelyik előírás szerinti variációja létrehozható volt, esetleges mérési hibákat azonnal ellenőrizni tudtunk.



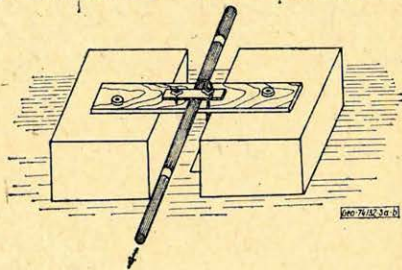
2. ábra. Kábeldob bekötési sémája a szondázási távolságokkal

Рис. 2. Схема включения кабельного барабана с разносами зондирования

Fig. 2. Scheme of attaching the cable-drum with the sounding distances



Geo-74/322



3/a és 3/b ábra. Úszó elektróda rajza

Рис. 3/а и 3/б. Схема плавающего электрода

Fig. 3/a and 3/b. Graph of a floating electrode

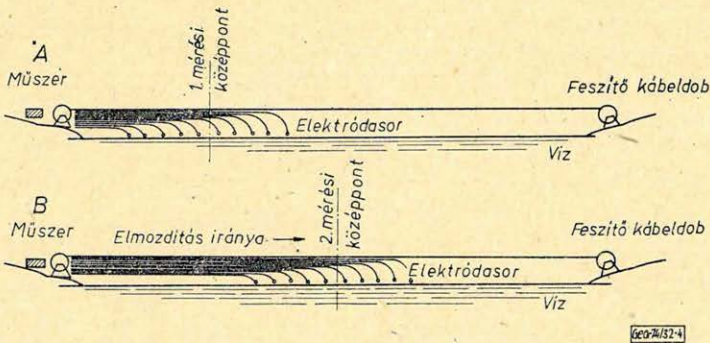
100 m kábel súlya 1,25 kg, ehhez jött még a feszítőkábel súlya. Az elektródákat úgy terveztük, hogy a kábelköteg ne érjen a vízbe. 10 cm vastagságú Hungarocell lapokat fogtunk össze fahíddal. Ehhez erősítettük a  $6 \times 6$  cm-es, 0,8 mm vastag négyzet alakú, felül banánhüvelyben végződő rézelektrodát. Ebbe a kábelköteget megfelelő leágazásával banándugóját dugtuk (2. ábra).

A kábelköteget két szárnyas-csavarral rögzített textilbakeleit lapocskára szorította a falemezhez, amely biztosította, hogy a kábel kifeszítése esetén a szondázási távolságok pontosak legyenek. A feszítőkábel kihúzása a tó másik partján levő könnyű kábeldobbal történt (3a. ábra).

Az úszók a kábelköteg súlya alatt csupán 1–2 cm-t merültek a vízbe, és a kifeszítéshez mindössze 4–5 kp erő volt szükséges. A műanyag úszókat használat előtt paraffinnal vontuk be (3b. ábra).

A mérési pontok sűrítése a kívánalomnak megfelelően 50 m-es háló alapján történt, ezért a kábelkötegre 50 m-t hagytunk rá + 15 m tartaléktávolságot az esetleges felállítási nehézségek kiküszöbölése céljából (meddőhányó, meredek

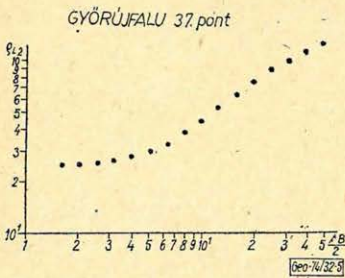
part stb.). A kábelszükséglet mintegy 4200 m volt. A mérési központnak a tó közepe felé történő elmozdítása esetén a további 50 m-es kábelkötéget rézelektrodával nem bíró tartalékúszókkal tartottuk a víz felszínén (4. ábra).



4. ábra. A) Mérés vázlata vízen partközelen. B) Mérés vázlata vízen a szondázási középpont áthelyezésével

Рис. 4. А) — схема наблюдений в воде в прибрежной части, Б — схема наблюдений в воде с перемещением центра зондирования  
 Fig. 4. A) Sketch of an observation over water near the shore. B) Sketch of an observation over water with transposing the sounding centre

Megfelelően erős feszítőkábel, valamint a túlparton elhelyezett, jól rögzíthető kábeldob alkalmazásával a mérési határ kiterjeszhető, de ennek határt szab a műszer mellett elhelyezett kábeldob átmérője és elmozdítási lehetősége a súlytöbblet miatt. Minden 50 m-es, szelvényirányban történő továbbhúzás további 2000 m kábelt vesz igénybe. A feszítő-kábeldobot a tó másik partjára csónakkal szállítottuk át, és kiterítés közben szereltük fel a parton az úszókat és az elektródákat. Nyílt víz esetében a két kábeldob parton történő egyidejű elmozdítása lehetővé tette a következő szelvényre való átállást az elektródák le-, ill. felszerelése nélkül.



5. ábra. Szondázási görbe

Рис. 5. Кривая зондирования

Fig. 5. Sounding curve

A mérendő terület geológiai adottságai a következők voltak: 3,5–4 m víz, majd homokos kavics, ill. kavicsos homok rétegösszetlet 20–30 m vagy ennél nagyobb vastagságban. A mért szondázási görbék csaknem megegyeztek az elméleti görbékkel (5. ábra).

Egy-egy ponton végzett vertikális elektromos szondázás kb. 15–20 perc időt vett igénybe. Viszonylag erősebb hullámszám esetén volt csak jelentősebb PS-változás, ez azonban a mérés pontosságát nem befolyásolta.

Az alkalmazott módszer lehetővé teszi, hogy viszonylag kis költségráfordítással vízzel borított területeken is végezhesünk geoelektromos kutatásokat.

## Mélységmérés és információközlés a karottázskábelen

SALAMON B A T U R

*A lyukszelvényezés metrológiai színvonalának emelésében napjaink helyes törekvése nem új módszerek és műszerek kutatása és alkalmazása, hanem az eddigiek komplex szemléletével a pontosság és a gyorsaság fokozása.*

*Ebben a tekintetben a karottázskábel, mint „távközlő csatorna” két fontos szerepet tölt be: hosszúságának mérésével adják meg a mélységet; vezetőkein továbbítják a szondák, illetve a felszíni műszerek jeleit. Az utóbbi években elterjedt páncélos karottázskábelek mechanikus és villamos tulajdonságainak részletes ismerete lehetővé teszi, hogy ezt a két feladatot tökéletesebben oldják meg.*

*Az ismert automatikus eljárásokkal, a fúrt lyuk tényezőinek minél alaposabb figyelembevételével a mélységmérés pontosságát növelni kell.*

*Az elektronika fejlődése a digitális mérés technikával és a kábelen való kódolt információközléssel lehetőséget ad a nagyobb kombináltságú szondák alkalmazására, ami számítógépes adatgyűjtés és vezérlés útján a lyukszelvényezési műveletek gyorsaságát és az eredmények jobb értelmezését biztosítja.*

*В настоящее время правильное стремление к повышению метрологического уровня каротажных работ – это не разработка и применение новых методов и аппаратуры, а повышение точности и быстрей действия за счет комплексного применения существующих достижений.*

*В этом отношении каротажный кабель, как „канал связи” играет две важных роли: измерением его длины получается блужина, и через его жилы передаются сигналы зондов и наземной аппаратуры. Точное знание механических и электрических свойств широко распространенных за последнее время бронированных каротажных кабелей позволяет более совершенно решить эти две задачи.*

*С использованием известных автоматических методов и с тщательным учетом факторов пробуренных скважин, необходимо повысить точность замера глубин.*

*При настоящем уровне развития электронной техники, современная цифровая техника и передача кодированной информации через кабель дают возможность использовать зонды с повышенной степенью сложности, что, с машинными способами сбора и управления данными, обеспечивает повышение скорости проведения каротажных операций и качества интерпретации результатов.*

*It is a sensible effort of our days in raising the metrological level of well logging not to search for new methods and instruments and for their application, but to increase the accuracy and speed by analysing the traditional methods using a more complex way of looking at them.*

*Concerning this, the well logging cable – as a transmission channel – has two important roles: measuring its length gives the depth, while its core wires serve for the transmission of signals of the probes, resp. of the surface instruments. The detailed knowledge of mechanical and electric characteristics of sheathed cables applied in our days provides the possibility to solve these two tasks more and more perfectly.*

*We have to increase the accuracy of depth measurements by means of the known automatic procedures and by taking into account more thoroughly the factors figuring at the well.*

*The development of electronics together with that of the digital measuring technique and with the possibility of transmission of coded informations on the cable provides the possibility of applying sondes of higher combination-degree, thus assuring by means of computerized data collecting and control the speeding up of well logging procedures and their better interpretation.*

A karottázs-méréseket az 1930-as években kezdték el és az 50-es évek óta mélyfúrás ezek nélkül el sem képzelhető. A 60-as évek végéig szinte az összes alkalmazható fizikai elven nyugvó módszert kidolgozták és a megfelelő műszereket kifejlesztették. Az utóbbi évek feladata az egész világ karottázs-szolgálatában a lyukszelvényezés mérés technikai színvonalának emelése lett. Mindenütt

belátták, hogy a műszerteknikai koncepciókban fellépő „témainfláció” értelmetlenül pocskolja a fejlesztési erőket. Sokkal hasznosabb az eddigi eredmények felülvizsgálata, a módszerek finomítása, a műszereknek a mérendő mennyiségekkel való jobb kapcsolatba hozatala.

A karottázs-szelvény a regisztrált görbe egy geofizikai paraméternek a mélység függvényében való változása. Tehát a mért mennyiséget, illetve az abból számított geofizikai paramétert *egy mélységponthoz* rendeljük. Ezért a mélységet a lehető legnagyobb pontossággal kell ismernünk, hogy a célobjektum helyzetét pontosan tudjuk kijelölni.

A mérőszondákat a lyukba kábellel bocsátjuk le. A mai karottázs-szolgáltatásban, a régebben használt *belsőtartóeres kábelekkel* szemben – még kis mélységű kutatásoknál is – többnyire „páncélos” kábeleket alkalmaznak. Az utóbbiak előnyei:

- kisebb átmérőbe nagyobb érszám építhető be;
- szakítószilárdságuk nagyobb;
- a „páncélzat” a kábelfejhez könnyebben köthető (kisebb átmérőjű csatlakozók készíthetők);
- kopásállóságuk nagyobb;
- nyúlásuk kisebb;
- a „páncélzat” teherviselése következtében alkalmazható vörösréz vezető erek kedvezőbbek a szondába jutandó elektromos teljesítmény és a jelek továbbítása szempontjából.

A páncélos kábeleket 1, 3, 4 és 7-eres kivitelben gyártják, 2,5–13,2 mm átmérő-tartományban, kiváló szigetelést biztosító propilén vagy teflon bevontakkal.

A szelvényeken feltüntetett mélységszámot a lyukba leeresztett kábel hosszának mérésével adják meg. A kábel mozgását a súrlódó meghajtással forgatott mérőkerék közli a fotoregisztrálóval, amelyet ma még többnyire mechanikus csatoláson keresztül mozgatnak. A Dresser cég műszerkocsijaiban szelzínmeghajtás van; az ELGI megoldások – amint ismeretes – impulzus-adóval közvetítik a kábelmozgást. A mérőkeréken legördülő kábel hossza azonban *nem helyesen jelzi a szonda valódi mélységét.*

A páncélos kábelekre mágnesjeleket raknak fel, pl. 50 méterenként. Az előírt feljelölési pontosság  $\pm 0,02\%$ . Ez azonban csak a felszínen levő kábelre vonatkozólag igaz, a lyukba leengedett kábel hossza ugyanis a felszínen mért hosszához képest megváltozik.

Ennek okai:

1. A kábel saját súlya,
2. a lyukműszer súlya,
3. a kábelnek az iszapban történő súrlódása,
4. a kábelnek a lyukfalon történő súrlódása,
5. a lyukműszernek a lyukfalon való súrlódása (ez főleg a falhoz szorított szondáknál jelentős),
6. a fúróiszap hidrosztatikus nyomása,
7. a lyuk hőmérséklete.

Ezen tényezők mindegyike számítható (2, 3). Néhány adatot azonban vagy a kábelgyártó cégek nem közölnek (esetleg nem is mérik meg), vagy pedig ezeket a lyukak tulajdonságainak eltérő volta miatt nem ismerjük elég pon-

tosan. A továbbiakban egy hazánkban is használatos ZX-13,2 típusú kábelre végzett számításaim eredményével szeretném a *rugalmas nyúlás* mértékét jellemezni.

Az 5000 méter mélységre lebocsátott kábel —  $1,5 \text{ g/cm}^3$  iszapsűrűségénél, 80 kg súlyú szondával, 2000 m/óra vontatási sebességnél,  $35 \text{ }^\circ\text{C/km}$  geotermikus gradiens esetén — 30 métert is megnyúlhat! Ebben az értékben legnagyobb aránnyal, 70%-kal szerepel a kábel saját súlya miatti nyúlás, 15%-ot a hőmérséklet okoz, a maradék 15% pedig a dinamikus okokból bekövetkező nyúlás. Tehát, ha nem végzünk korrekciót, akkor 5000 méter mélységet 60%-es hibával mérünk.

Meg kell még említenem a *maradandó nyúlást*, amely gyors megálláskor, indításkor, vagy különösen egy-egy „*megszoruláskor*”, vagyis nagy terheléseknél rendszerint fellép. A maradandó nyúlás mértéke új kábeleknél igen nagy, ezért használatba vételkor a karottázs vállalatok tudatosan „*beépítik*” a kábelbe, de ezzel a kérdés nincs megoldva: a rendszeres használat során szükséges a kábel időszaksos újramérése.

A gyakorlatban különböző eljárásokkal igyekeznek növelni a mélységmérés pontosságát. A mágnesjeleket felrakhatják egy adott lyukba történő leeresztésnél, de már egy másik lyukban az iszapsűrűség-különbség miatt ez a jelölés érvénytelenné válik. A Schlumberger cég a mágnesjeleket a karottázs-bázison teszi fel *állandó feszítőerő* mellett. A műszerkocsiban méri a kábelben jelentkező terhelést, és a mélységszámlálást előre elkészített, ún. „*stretch-diagram*” segítségével a terhelés függvényében korrigálja. Belátható, hogy 1 ezrelék pontoságú mélységméréshez 1 ezrelék pontoságú terhelésmérés szükséges. A Schlumberger cég a mágnesjeleket nem használja korrekcióra, csak a mérőkerékről forgatott számlálóját azonosítja a felrakott jelzéseihez.

A kézi korrekció nehézkes. Az *automatikus korrekcióra* a Schlumberger cég 1966–71 között öt szabadalmat jelentett be (4, 5, 6, 7, 8). Ezekben a „*stretch-diagram*” függvénye szerint működő műveleti egység a mélységszámláló értékét, illetve a regisztráló meghajtását a terhelési értékkel korrigálja (automatikusan). Világos ugyanis, hogy az előzőkben említett módon felrakott mágnesjelek *egyszerű* észlelésével végzett korrekció (9) helytelen, tehát egy erre épített automata is *hibás lenne*.

Az ismertetett eljárások nem veszik figyelembe a hidrosztatikus nyomás és a hőmérséklet következtében bekövetkező nyúlást, mivel ezek a kábel terhelésében nem jelentkeznek. Mindezekkel együtt, a mélységmérés pontosságát a jelenlegi szinten valamivel jobb, mint 1 ezrelékre lehet biztosítani.

A bemutatott *abszolút mélységmérési pontosság* a különböző szondákkal, különböző időben készített szelvények egyeztetése szempontjából fontos és ilyenkor a problémával minden mérésnél szembetalálkozunk. A problémával csak abban az esetben találkozunk *egyszer*, ha komplex szondákkal mérünk, amelyekben a különböző érzékelők relatív helyzetét pontosan ismerjük. Mindemellett a jövőben a komplex szelvények mélységértékeit is feltétlenül javítani kell. Ismeretes az a szokás, hogy a perforálandó szakaszok kijelölésénél a karantányúk detektálásával végső mélységegyeztetést és mélységkorrekciót végeznek.

A szükséges összes paraméternek egy méréssel, egy időben történő felvétele ma az egész világ szelvényezési szakembereit foglalkoztatja (10). Találunk már igen jelentős összeállításokat: pl. egy 5-detektoros nukleáris szondával kompenzált gamma-gamma, neutron-neutron és természetes gamma egyidejű felvételét (11), vagy akusztikus és nukleáris szonda-kombinációt is. Ez utóbbinál,

amikor 1-eres kábelre elkészítették, a jelek adásának és vételének a ciklusát is meg kellett szervezni. A gyakorlatban alkalmazott eddigi kombinációk elérték azt a határt, amelyet a 7-eres kábelben történő egyidejű jeltovábbítás a maximális érszám kihasználásával egyáltalában lehetővé tesz.

Egy teljes kombinációt involváló ún. „szonda-vonatok” óriási feladatot ró-nak mindenekelőtt a megfelelő elektromechanikus szerelvények fejlesztőire. Fennmaradó kérdés „csupán” az információ továbbítása a szondából és a szon-dába.

A komplex szondák egyszerűbb fokon úgy is működtethetők, hogy egy át-kapcsoló szerkezettel *csak az egyik* típusú rendszer van bekapcsolva. A kijelölt szakasz leérése után, a szondát kiemelés nélkül ugyanarra a szakaszra vissza-engedve, egy másik típusú szondára kapcsolunk át. Belátható, hogy a mélység-mérés relatív hibáját, sőt a műveleti időt ez is csökkenti.

A korszerűbb és gyorsabb megoldás természetesen az *egyidejű működtetés*. A kábel elektromos tulajdonságai – elsősorban a csillapítás és az „áthallás” – valamint a közlendő információk száma és jellege az eddigi többnyire *köz-veitlen*, továbbá *amplitúdó- vagy frekvenciamodulációs* rendszerekkel szemben, a *kódolt információközlést* hozzák előtérbe.

Az eddigi egyszerű kombinációknál az egyes szonda-típusok jeleit leggyak-rabban átalakítás nélkül továbbítják. Mindig komoly gondot okozott a lassan változó egyenfeszültségű, az alacsonyfrekvenciás, vagy négyszöghullámú (el-lenállásméréseknél), a közepes frekvenciájú (akusztikus mérésnél) jelek és az impulzusok (nukleáris méréseknél) közös továbbítása egy kábelben.

A problémát jelenleg elvileg vizsgáljuk, de feltételezzük, hogy a technika fejlődése következtében a közeljövőben beszerezhetőek lesznek a szondába épít-hető, félvezető alapú, hőálló, analóg és digitális elektronikus elemek. A komplex szonda az így szükségessé váló jelátviteli (adó-vevő) rendszerrel természetesen *bonyolódni fog*. Nehéz lesz továbbra is tartani azt a szondaépítő elvet, hogy mi-nél kevesebb érzékeny elemet „vigyünk le” a magas hőmérsékletű, rázással járó („*ellenséges*”) környezetbe. Csak akkor szabad majd ilyen szondákat építeni, amikor az *együttes* hibaráta sem haladja meg a mai *1 hiba/100 működtetés* értéket. Ellenkező esetben egy-egy szonda-típus működésképtelenné válása miatt a komplexitás értelmét veszít.

Kódolt információközlésen azt értjük, hogy az információforrás (vala-milyen érzékelő) „*üzenetének*” valamilyen digitális (legegyszerűbben bináris) formába átalakított jelkombinációját impulzussorozattal továbbítjuk.

Nem kívánok információelméleti fejtegetésekbe bocsátkozni. Műszerfej-lesztési koncepciókhoz azonban szükség van néhány *alapvető* adatra. Most csak röviden érintem az idevágó problematikát.

Az információközlés szervezéséhez meg kell vizsgálni

- a) a távközlő csatorna, esetünkben a karottázkábel tulajdonságait,
- b) a közlendő információk jellegét és számát, továbbá
- c) az információközlés sebességét.

A *karottázkábelek* közül – méréseim szerint – a legjobb típusnál és opti-mális beállításban a *3 dB/km* csillapítás-szint *100 kHz* frekvenciánál van. Tehát pl. *5 km* hosszúságban kb. *50–60 kHz* sáv szélesség érhető el. Ebben az esetben, egy négyszögimpulzus fel- és lefutási idejét is tekintve, *20 μsec* szélességű im-pulzusok továbbíthatók még kedvező csillapítással.

A rosszabb tulajdonságú karottázskábelek jelátvitelének javítására törekvések vannak mind a Szovjetunióban (12); mind az USA-ban (13). Lényegük, hogy a felszínen elhelyezett ún. *korrektor* áramkörrel többszáz kHz-re növelhető a sáv szélesség. Ennek a megoldásnak egyik problémája, hogy a lyukba leengedett kábel paraméterei (érelenállás, kapacitás, induktivitás) a hőmérséklet és a nyomás következtében megváltoznak. Így a stabil paraméterekre épített korrektor a csillapítás- és fáziskarakterisztika eltolódásait nem helyesen egyenlíti ki.

Térjünk el az optimális helyzettől és vegyünk egy olyan 5 km hosszúságú kábelt, amelynek sáv szélessége csak 10 kHz. Ezen jó hatásfokkal legalább 40  $\mu\text{sec}$  szélességű impulzusok továbbíthatók, a minimális periódusidő pedig 100  $\mu\text{sec}$  lehet.

Az *információátadás sebességének* becsléséhez legyen a komplex szonda vontatási sebessége 600 m/óra. Ez a nukleáris szondákra szokásos, a mintavételi köz pedig legyen 10 cm. Ha tehát 100  $\mu\text{sec}$  a közlendő impulzussorozat megengedhető periódusideje, akkor egy mintavételi köz időtartama alatt 6000 *impulzust* tudunk továbbítani. Amennyiben az információkat bináris formában mérjük és egy-egy adat pl. 10 *bit-et* igényel, a szükséges szétválasztással 1000 *információforrás* adatát lehet biztosan továbbítani! Erre természetesen nincs szükség, de a példából láthatjuk az ilyen típusú információközlés nagy tartalmát.

Ezért

- a jobb és biztonságosabb jelátvitel végett az impulzusok szélességét növelni lehet,
- rosszabb jellemzőjű kábeleket is használhatunk,
- a mintavételt sűríteni lehet, ez kedvezőbb a rétegfelbontásra, vagy a statisztikus átlagolásra,
- a vontatási sebesség is növelhető.

Az elektronikus megoldásról röviden csak annyit, hogy a szondába *átmeneti tárolót* kell beépíteni, amely az előző intervallum adatait a következő intervallumban adja ki úgy, hogy az egyes információforrásokra a felszínről szinkron üzemből vezérelt elektronikus kapcsolók lépnek.

A közlendő információk jellegét tekintve, a nukleáris módszereknél és az akusztikus időméréseknél az impulzus-számlálás kézenfekvő. A hőmérséklet-mérés is megoldott impulzusszámlálással. A lyukferdeség és -bőségmérés is megvalósítható digitális helyzetkódolókkal. Megoldandó feladatként a különböző ellenállásmérések jeleinek átalakítása marad.

Meghatározandó még az *egyidejűleg közlendő információk száma*, azaz a kombinált szonda összetétele egy bizonyos feladat komplex kiértékelési megoldásához. Az irányítást ebben a kérdésben a műszerszerkesztők az értelmező geofizikusoktól várják.

A kódolt információközlés *természetesen tiszta digitális mérés technikát igényel*, sőt manapság valójában ez a digitalizálás lényeges indoka. A digitális mérés technika a lyukműszerek, a mérendő geofizikai paraméter oldaláról nyer igazi értelmet, szemben a mai formális lépésekkel. Napjaink korszerű lyukszelvényező műszerkocsijaiban számos analóg „számítógép” van. Az analóg számítási műveletekkel elérhető 1%-os pontosság a jelenlegi mérési eljárásokhoz elegendő. Ezek adatait digitálni önmagukban nem érdemes. Ha viszont az *eredeti információ digitális formában érkezik*, akkor már célszerű a lyukszelvényező

kocsiban egy digitális kisszámítógép, amely ugyanazt elvégzi, amit az analóg számítógép, de nagyobb képességei folytán a komplexitást jobban tudja szolgálni.

A jövő útja tehát: az *egy méréssel* felvett összes adatból azonnali kiértékelés a műszerkocsiban elhelyezett és a szükséges programokkal ellátott kisszámítógéppel. Ennek ma már nemcsak technikai, hanem *gazdasági* realitása is van. Ez természetesen nem zárja ki a központi helyeken történő nagyobb terjedelmű és igényű adatfeldolgozást, ha ezt valami indokolja.

Amíg azonban a komplex szondák építéséhez és a kisszámítógépek alkalmazásához elérünk, addig sokkal jobb egyedi szondákat kell készíteni – és már a digitális fejlesztés aspektusával –, azokat minél tökéletesebb alkalmazási segédletekkel kell ellátni és üzembiztosan működtetni, hogy érdemes legyen ezekből kombinációkat készíteni és adataikat számítógéppel komplex módon kiértékelni.

#### IRODALOM

- [1] *Jesch Atadár*: Mélyfúrású geofizika (Kőolaj és Földgáz, 1973. szeptember, különszám)
- [2] *Горбенко, Л. А.*: Каротажные кабели и их эксплуатация (Изд. „Недра”, Москва, 1967).
- [3] *Тараканов, В. А., Горбенко, Л. А.*: О точном определении глубин в скважинах при геофизических исследованиях (Прикл. геол. вып. 64, 1971).
- [4] *U. S. Patent No. 3,490,149* (Schlumberger Technology Corp.) Methods and Apparatus for Determining Depth in Boreholes (Iss. 1/20/70, App. 5/27/66)
- [5] *U. S. Patent No. 3,490,150* (Schlumberger Technology Corp.) Systems and Methods for Determining the Position of a Tool in a Borehole (Iss. 1/20/70, App. 5/2/66)
- [6] *France Patent No. 2,024,061* (Schlumberger Technology Corp.) Méthode et système pour déterminer la profondeur réelle d'un appareil descendu dans un forage au moyen d'un câble (Iss. 8/21/70, App. 8/22/69)
- [7] *U. S. Patent No. 3,552,025* (Schlumberger Technology Corp.) Apparatus for Determining Depth of a Well Tool in a Borehole by Measurement of Tension (Iss. 1/5/71, App. 2/10/69)
- [8] *U. S. Patent No. 3,566,478* (Schlumberger Technology Corp.) Depth Control Methods and Apparatus for Boreholes (Iss. 3/2/71, App. 6/24/68)
- [9] *Magyar szabadalom 161.342* (ELGI, feltaláló: Vincze János) Karottage mérő- és regisztráló berendezés automatikus mélységkorrekcióval (Bejelentés: 1971. június 29., közzététel: 1972. március 28.)
- [10] *Сохранов, Н. Н., Чукин, В. Т.*: Вопросы создания современных каротажных станций (Прикл. геол. Вып. 66, 1972).
- [11] *Truman R. B. et al.*: Progress report on interpretation of the dual-spacing neutron log (CNL) (The Log Analyst, Vol. 13, No. 4., 1972)
- [12] *Недоступ, Г. А., Пятахин, В. И., Стрижевский, А. М.*: Об одной возможности увеличения разрешающей способности аппаратуры радиоактивного каротажа. (Ядерная геофизика, вып. 9. ВНИИЯГГ, Москва, 1971).
- [13] *Canada Patent No. 871,853* (Texaco Development Corp.) Well-Logging System (Iss. 5/25/71, App. 4/16/68)

# A mélyfúrési geofizika részvétele a gáz—olaj határon történő vízelárasztás tervezésében és ellenőrzésében

SZILÁGYI ENDRE

*Az algyői mezőben 1973 elejéig szerzett tapasztalatok alapján mutatjuk be azokat a feladatokat és lehetőségeket, melyeknek megoldásával, illetve kihasználásával a mélyfúrési geofizika az eddigieknél hatékonyabban kapcsolódhat be a gáz—olaj határon történő vízbesajtolás tervezésébe és ellenőrzésébe.*

*На основе опыта, накопленного на нефтяном месторождении Алдэ до начала 1973 г. в работе рассматриваются возможности и задачи, использование и решение которых позволяет промысловой геофизике включиться более эффективно, чем до сих пор, в работу по проектированию и проверке нагнетания воды на газо-нефтяном контакте.*

*Basing on experiences acquired at the Algyő field until the beginning of 1973 tasks and possibilities have been shown through solving of which borehole geophysics may cooperate more effectively than before to plan and control water pressing-in on the gas—oil border.*

## Bevezetés

Magyarországon a szénhidrogén-telepek művelésénél alkalmazzák először nagyobb mértékben a gáz—olaj határon történő vízbesajtolást. A munka előkészítésébe és az ellenőrzésbe a geofizikusok is bekapcsolódtak. Tevékenységük zöme azonban az egyes megfigyelő kutakban végrehajtott ellenőrző mérésekhez kapcsolódott.

Az elmúlt időszak tapasztalatai alapján a tanulmányban a karottáznak az eddignél nagyobb területre kiterjedő komplex alkalmazási lehetőségét kíséreljük meg bemutatni. A mélyfúrési geofizika — jelenlegi színvonalán és néhány, nem nagy anyagi ráfordítást igénylő fejlesztési munka megvalósítása után — az alábbi területeken nyújthat hasznos segítséget a vízelárasztást tervező és ellenőrző olajmérnököknek:

tervezés:

- adatszolgáltatás a tervezési számításhoz,
- a vízmozgás várható előrejelzése,
- javaslatok a vízmozgás szabályozására,
- javaslatok a szelvényezéssel ellenőrzendő kutak kiválasztására,
- az ellenőrzés hatékonyságának előrejelzése;

ellenőrzés:

- a besajtolási folyamat ellenőrzése a besajtoló kutakban végzett mérésekkel,
- ellenőrző mérések megfigyelő kutakban,
- a kutak műszaki állapotának ellenőrzése.

## 1. Mélyfúrési geofizikai tevékenység a tervezésben

Vízbesajtolásos CH-termelésnél a vízfüggöny kialakulási folyamatának számítására különböző bonyolultságú és pontosságú módszerek ismeretesek (1). Az egyes besajtoló kutak körül kialakult vízteltett zónák terjedésének számítására J. A. Csarnij dolgozott ki közelítő számítási módszert.

Szerinte a víz nagyobb fajsúlya miatt, vastagabb homogén rétegben a víztest csonkakúp alakú. Kiszámítható a réteg alján levő legnagyobb és a tetőn levő legkisebb sugár és azok növekedése a teleptulajdonságok és besajtolási jellemzők függvényében. Csarnij módszerének alkalmazásához a geofizikai úton meghatározható alapadatok:

- rétegvastagság,
- permeabilitás,
- porozitás.

Ha a besajtoló kútban a telep nem homogén réteg — és az algyői telepek-nél ez az általános eset —, a számításhoz a telepet rétegekre, pontosabban fogalmazva áramlási szempontból önálló egységekre kell bontani. A többdimenziós, több fázisú hidrodinamikai számításokhoz pedig a heterogenitás területi változásának ismerete is szükséges. Vizsgáljuk ezért először a telep tagolásának kérdését.

### 1.1. A telep tagolása

A homokkő-agyagmárga rétegsor tagolása csövezetlen kútban felvett szelvények alapján az egyszerűbb interpretációs munkák egyike. A feladat különleges jellegéből fakadóan két alapkövetelményt kell teljesíteni:

- lehetőleg a telepben levő valamennyi impermeábilis réteg helyét meg kell állapítani,
- a permeábilis rétegek homogenitását is vizsgálni kell, és szükség esetén azokat további, áramlástanilag már homogénnek tekinthető szakaszokra kell tagolni.

A függőleges irányban impermeábilis rétegek jelentőségét nem vastagságuk, hanem területi kiterjedésük szabja meg. Ha kiterjedtek, kis vastagságuk ellenére is különálló áramlási egységekre bontják a telepet. Impermeábilis rétegek kimutatására akkor van remény, ha vastagságuk a  $0,1-0,2$  m-t eléri vagy meghaladja.

A nagy vastagságú impermeábilis rétegek a *PS*-en és mikrologon egyértelműen jelentkeznek, a vékonyak felismeréséhez a *PS*, mikrolog, rövid gradiens és laterolog együttes vizsgálata ad lehetőséget.

A permeábilis rétegek áramlástanai szempontból egymáshoz viszonyítva első közelítésben a kőzet-kifejlődéssel jellemezhetők. Minőségi tagolásra elegendő a *PS*, természetes gamma (*TG*) és az optimális laterolog kvalitatív vizsgálata. Az aleurit- és agyagfrakciónak a három görbére gyakorolt hatása alapján a permeábilis kőzeteket a továbbiakban három csoportba soroljuk:

- homokkövek, a homokfrakcióban legdúsabb kőzetek, minimális agyagtartalmúak és legfeljebb mérsékelt mennyiségű aleuritot tartalmaznak,
- aleuritos homokkövek, agyagtartalmuk nem túl jelentős, az aleuritfrakció uralkodó mennyiségű,
- agyagos-aleuritos homokkövek, az agyagfrakció mennyisége megnőtt, ezzel általában az aleurit-tartalom igen jelentős növekedése jár együtt.

A permeábilis rétegek kifejlődés szerinti tagolása felvilágosítást ad az olajmérnöknek a porozitás és permeabilitás változásának irányáról a telep mentén egy-egy kútban. Nevezetesen: a szennyező frakciók növekedése a porozitás kisebb mértékű ( $30\%$ -ról kb.  $15\%$ -ra) és a permeabilitás nagyobb mértékű ( $1000$  mD-ról  $1-10$  mD nagyságrendre) csökkenését eredményezi. Megkapjuk továbbá az egyes rétegek és azokon belül az egyes részegységek vastagságát is.

## 1.2. Permeabilitás-becslés

A kőzetkifejlődés ismeretén túlmenően szükség van az egyes rétegek és rétegen belüli részegységek permeabilitásának ismeretére is. Az áteresztőképesség meghatározására eddig általában két eljárást alkalmaztak:

- kőzetmagokon végzett mérések, melyeknek eredménye szinte kizárólag az abszolút peremabilitás,
- talpnyomás-emelkedési görbékből végzett számítások, melyek effektív áteresztőképességet szolgáltatnak.

Egyik módszer sem alkalmas azonban arra, hogy a vízelárasztásba bevont valamennyi kútban a kívánt részletességgel adja a permeabilitást. A nyomás-emelkedési görbékből végzett számítások általában elvileg sem vezetnek a célnak megfelelő eredményhez. A megnyitott szakaszok ugyanis legtöbbször különböző áteresztőképességű részegységeket tartalmaznak. A számítás eredménye a teljes megnyitott szakaszra vonatkozó átlagérték. A feladat ezzel szemben a permeabilitás szerinti részletes differenciálás.

A kőzetmagokon végzett mérésekre főleg a  $0 - 100\%$  között változó magkiihozatal és a tetemes költségek miatt sem lehet alapozni az áteresztőképességi profil megállapítását. A telepek magfúrással való feltártsága ilyen megoldás szempontjából nézve rendkívül hiányos.

Folyamatos peremabilitás-profilok előállítását karottázs-szelvények felhasználásával kell megkísérelni. Az áteresztőképesség megállapítására azonban általános érvényűnek tekinthető geofizikai módszer nincs, ezt az egyes mezőkre, telepekre külön kell kidolgozni.

A homokkő-tárolók permeabilitása és az uralkodó szemcseméret között többen találtak határozott összefüggést. Ugyancsak szoros kapcsolatot állapítottak meg a szemcseátmérő és a természetes gamma aktivitás között. Ennek alapján várható, hogy kapcsolat legyen az áteresztőképesség és a  $TG$  (természetes gamma) aktivitás között is. Annak érdekében, hogy a Tiszától ÉNY-ra levő mezőrész főtelepeire a magmintamérésekből kapott permeabilitások és a csövezés előtt elkészített  $TG$ -szelvényről megállapított intenzitások között kapcsolatot találjunk, átvizsgáltuk az 1971 közepéig lemélyített kutak anyagát. Kiválasztottuk azokat, amelyekben a magnyereség elegendő volt ahhoz, hogy az egyes magrészeket egyértelműen hozzá lehessen rendelni a karottázs-szelvényekhez, majd a rétegeket azonos  $TG$ -intenzitással jellemezhető részekre tagoltuk.

A permeabilitásmérések mintavételi sűrűsége, ezeknek a méréseknek viszonylag nagy hibalehetőségei és a  $TG$ -szonda integráló jellege miatt általában  $2\ m$ -es szakaszok átlagpermeabilitását ( $k$ ) állapítottuk meg és ezt rendeljük a  $TG$ -intenzitáshoz. Egyedi és kb.  $10 - 20\ cm$  mélységre kiterjeszhető érvényű permeabilitás-adatok (3) ugyanis véleményünk szerint sokkal kevésbé kapcsolhatók össze egy kb.  $0,5\ m$  sugarú gömbben levő kőzettömeg sugárzásával, mint a több mérés eredményéből megállapított átlagpermeabilitás.

A magvétel, magkezelés és feldolgozás hiányosságait mutatja, hogy a vizsgált mezőrészen magfúrással jól feltártnak minősített *Algyő-2* telepből csak 48, az *Algyő-1* telepből 38 adatpárt sikerült találni.

A karottázsban szokásos relatív  $TG$ -intenzitást ( $i$ ) használtuk a műszerek eltérő tulajdonságai, a hitelesítés eltérései, a kútkonstrukció különbségei hatásának csökkentése érdekében. Az adatok együttes feldolgozása azt mutatta,

hogy az elmondottak szerint átlagolt abszolút áteresztőképesség és a relatív intenzitás közötti kapcsolat a

$$\lg k = a - b \cdot \lg i$$

alakú függvényvel közelíthető. Ilyen összefüggést eredményeztek korábban Rabe vizsgálatai is (4). A szórás azonban nagy volt, a gyakorlati alkalmazáshoz az eredményeket javítani kellett.

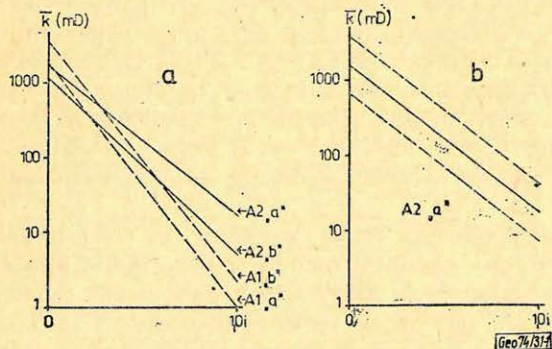
A nagy szórás alapvető okai az alábbiak lehetnek:

- mérési hibák és mintavételi hiányosságok,
- a telepek eltérő kőzet-kifejlődéséből adódó hatások,
- a permeabilitás és a geofizikai paraméterek közötti bonyolult, többváltozós kapcsolat legyszerűsítése.

A mintavétel hiányosságaira már rámutattunk. A hibák további forrása lehet az, hogy a kutatás kezdetén és a feldolgozási időszak végén végzett mérések nem egyforma súlyúak, mivel a laboratóriumi munka színvonala az utóbbi időkhöz folyamatosan javult.

A telepek eltérő kőzettani sajátosságából fakadó hatásokra vonatkozó fel-tételezésünket a vizsgálatok beigazolták. Úgy találtuk, hogy az egyes telepekre érvényes függvények (a) és (b) állandói eltérőek, sőt a telepeken belül is további felosztást lehetett tenni (1a. ábra). Kiszámítottuk a fél-logaritmikus koordiná-tarendszerben egyenesként megjelenő függvények 95%-os megbízhatósági intervallumát is (1b. ábra). Az intervallumok szélessége a négy függvénynél eltérő.

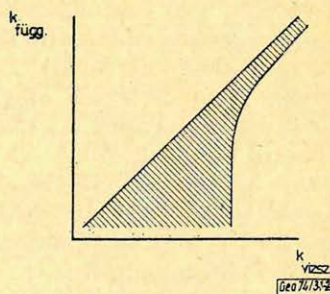
Legkedvezőbb a helyzet az *Algyő-1* telep „a” részén. Itt a 300 mD várható permeabilitás-értéknél a megbízhatósági intervallum határa 160–530 mD. A legkedvezőtlenebb eredményt az *Algyő-1* telep „b” részére érvényes összefüggés szolgáltatta. Ennek 300 mD várható értékéhez 90–900 mD az



1. ábra. Természetes gamma-intenzitás-permeabilitás kapcsolat algyői telepekre (a) a megbízhatósági intervallummal (b)

Рис. 1. Связь интенсивности естественного гамма-излучения с проницаемостью для залежей месторождения Алдэ (а) с интервалом достоверности (б)

Fig. 1. Connection between natural gamma-intensity and permeability for the Algyő-fields (a) with reliability intervals (b)



2. ábra. A vízszintes és függőleges permeabilitás kapcsolata

Рис. 2. Связь горизонтальной и вертикальной проницаемости

Fig. 2. Connection between horizontal and vertical permeability

intervallumhatárok. Az *Algyő-2* telepre kapott összefüggések megbízhatósági sáv-szélessége a két bemutatott közötti.

Rendszeres mintavétellel, több mérési eredmény birtokában, további területi bontással az eredmények valószínűleg pontosíthatók lennének. Erre utal az *Algyő-1* telep keleti szárnyának (*Algyő-1 „b”* részterülete) feldolgozása során a *TG*-szelvényből becsült és a mért áteresztőképességek összehasonlítása (5).

Javulás várható több geofizikai paraméternek a korrelációba való bevonásától. A jellemző paraméterek kiválasztása, a kapcsolatok megállapítása és gyakorlati alkalmazása csak számítógépes feldolgozással képzelhető el, amire lehetőségünk nem volt.

Vizsgáltuk a vízszintes és függőleges irányban mért permeabilitások kapcsolatát is. Az összefüggés jellegét a 2. ábrán mutatjuk be. Eszerint még viszonylag nagy vízszintes permeabilitásokhoz is jelentősen eltérő függőleges áteresztőképességek tartozhatnak. Ezért kell törekedni a magas permeabilitású homokkőrétegek kissé lecsökkent permeabilitású részeinek kijelölésére. Ezek a rétegecskék ugyanis esetenként lecsökkent függőleges áteresztőképességűek lehetnek és az impermeábilis betelepülésekhez hasonlóan tagolhatják a réteget.

A permeabilitás-bebecslések eredményeit a litológiai oszlophoz kapcsolódva szelvénytípusú módon célszerű megadni.

### 1.3. Porozitás-meghatározás

Az algyői kutakban jelenleg felvett szelvények közül a mikrológ lehetne alkalmas porozitás-meghatározásra. Különösen a gáztároló szakaszokkal szemben azonban jelentősen torzítja annak indikációit a nagy ellenállású érintetlen réteg hatása. Emiatt és a hitelesítés körüli nehézségek miatt általában nem tartják kielégítő pontosságúnak.

Tájékoztató eredményeket a litológiai diagramból kaphatunk. Felépítésénél a homokkő-mátrix porozitására 30%-ot, az aleuritára 25%-ot tételeztek fel. A tényleges értékek ettől  $\pm(3-4)\%$ -kal is eltérhetnek. A diagram alakja az öblítőfolyadék fajlagos elektromos ellenállásának függvényében változik.

Pontosabb eredmények remélhetők az OKGT Geofizikai Főosztályának azoktól a vizsgálataitól, amelyek a porozitás és több geofizikai paraméter közötti többváltozós kapcsolat létrehozására irányulnak. A módszer ipari szintű alkalmazási lehetőségeinek megvalósulásáig a litológiai diagram használata ajánlható, mert feltételezései ellenére is sokkal megbízhatóbb jellemzését adja a rétegeknek, mint a hiányos magvizsgálati eredmények, vagy a nem geofizikusok által végzett „becslések”.

Ha a litológiai oszlophoz a permeabilitás-szelvény mellett a porozitás-szelvényt is feltüntetjük, megadtuk azokat az alapadatokat, amelyek a tervezéshez egy-egy kútba szükségesek.

### 1.4. A vízmozgás előrejelzése

A kutak egyenkénti feldolgozása után következő lépés a szomszédos kutak közötti, telepen belüli részletes azonosítás. Ez egyrészt a kutak egyedi vizsgálatából kapott litológiai oszlopok ellenőrzését, az impermeábilis betelepülések kijelölésében szükségessé válható korrekciók elvégzését szolgálja.

A részletes területi azonosítás további céljai:

- az elválasztó impermeábilis rétegek területi kiterjedésének nyomkövetése annak eldöntésére, hogy azok csak lokálisan, vagy nagyobb területre kiterjedően tagolják-e a permeábilis összletet,
- a permeábilis rétegek és az azokon belüli részegységek területi változásainak nyomkövetése.

Az azonosítási munka megállapításait a választott kutakon keresztül vezetett metszeteken vagy axonometrikus ábrákon kell rögzíteni. Ezek alapján:

- Megbecsülhető az egyes kutakba besajtolt teljes vízmennyiség ( $Q$ ) eloszlása az egyes áramlási egységek között. Az  $i$ -edik egységbe sajtolható relatív vízmennyiség ( $Q_i$ ) közelítőleg

$$\frac{Q_i}{Q} = \frac{h_i k_i}{h k},$$

ahol  $h_i$  és  $k_i$  a homogénnek tekinthető rétegszakasz vastagsága és átlagos permeabilitása.

- Megállapítható, hogy az áramlási egységek áteresztőképessége a besajtoló kút környezetében változik-e. Szükség esetén javítható a besajtoló kútra megállapított  $k_i$  érték.
- Az áramlási egységekbe sajtolható relatív vízmennyiség és a tervezett besajtolási intenzitás ismeretében Csarnij összefüggéseivel meghatározható a vízfront terjedési sebessége, ezáltal előrejelezhető az elviesedés időbeli lefolyása.
- Következtetni lehet a vízfront várható deformálódására, ha a besajtoló kútban homogén réteg a környező kutakban heterogénné vált.

Az elárasztási folyamat előrejelzése az ellenőrző méréseket értelmező geofizikus számára is fontos, mert helytelen következtetésektől óvhatja meg.

### 1.5. A vízmozgás szabályozásának lehetősége

A besajtoló vízmennyiség áramlási egységenkénti megoszlásának becslésénél feltételeztük azt, hogy a rétegek elegendő jet-lövessel tökéletesen vannak megnyitva. A megnyitás hatásfoka, azaz a perforálás utáni termelőképesség aránya ahhoz a termelőképességhez, melyet ugyanolyan átmérőjű fúróval megfúrt, de csövezetlen-cementeztetlen rétegből kapnánk, a perforátor és a töltet típusától és a méterenkénti lövésszámtól függ. A hatásfok javulása a lövésszám növelésétől közelítőleg  $y = 1 - e^{-x}$  alakú függvényvel jellemezhető. Egyes perforátor- és töltetfajtákra megállapított összefüggések találhatóak (6)-ban.

Feltételezhető, hogy a hatásfok-függvény a folyamat megfordítása, a besajtolás esetére is érvényes. Ilyenformán az áramlási egységek folyadék-elnyelő képessége a méterenként leadott lövésszám csökkentésével csökkenthető. A rétegnyitási tervezésével tehát bizonyos mértékig csökkenthetők a vízfrontok mozgásának eltérései.

### 1.6. Javaslat a szelvényezéssel ellenőrzendő kutakra

Csővezett kutakban a gáztestbe sajtoló víz mozgása ellenőrzésének egyik módszere a klasszikus neutron-karottázs. Eredményessége azonban a permeábilis rétegek aleurit- és agyagtartalmának növekedésével egyre csökken. A hatékony ellenőrzés érdekében tehát a legkedvezőbb kőzetkifejlődésű kutakat kell szelvényezéssel történő ellenőrzésre javasolni.

A kút funkciójára vonatkozó döntés azonban egyéb szempontoknak is függvénye. A megfigyelő kutak kijelölése után előre kell jelezni azt, hogy azok mely intervallumában lesz kis megbízhatóságú az ellenőrzés és hogy hol nem várható attól semmilyen eredmény. A támpontot a litológiai oszlop adja. A megbízhatóság fokozható a csövezés után legalább 3–4 hónap időeltolódással készített neutron szelvények birtokában. Ezek az érintetlen telepállapotot tükröző alapszelvények az ellenőrző mérések értelmezésénél is elengedhetetlenek.

A hagyományos neutron-szelvényezés számára kedvezőtlen kőzetkifejlődésű csövezett kutakban irodalmi közlések és tanulmányúti tapasztalatok alapján impulzusüzemű neutron-generátoros mérésektől várhatunk eredményt. A módszer hazai bevezetése a kezdeti lépéseknél tart. Ipari alkalmazásba vétele után a tároló kifejlődésétől függően tervezendő az ellenőrzés mérési módszere is.

A gáz – olaj határon besajtoló víz részben az olajtestben is terjed. Követésére jelenleg csak csövezetlen kútban felvett szelvények alkalmasak. A nyitott kútban végzett mérés kedvező lehet a gáztestben haladó víz ellenőrzésére is. Az algyői mezőben még intenzív feltárási tevékenység folyik. Ezt úgy kell kialakítani, hogy lehetővé váljon a fúrásoknak az ellenőrzés szempontjából kedvező időben történő lemélyítése.

## 2. Mélyfúrási geofizikai tevékenység az ellenőrzés folyamán

A vízelárasztás lefolyása, a térfogati záródás létrejötte még gondos tervezés esetén sem állapítható meg kizárólag számítással. Ennek okai a módszerekben alkalmazott közelítéseken kívül az alábbiak is:

- a permeabilitás bizonytalanságai,
- a tároló tulajdonságok változásai az egyes kutak között, melyek számításokkal nem mindig követhető torzulásokat eredményeznek,
- a besajtolás intenzitása időben jelentősen változik. A perforáció környékének fokozatos elszennyeződése miatt a benyomható vízmennyiség egyre csökken, majd kút-tisztítás után ismét az eredetihez közelálló lesz. Emiatt a vízfront nem egyenletes, hanem pulzáló mozgással halad (3a. ábra).
- A cementpalást esetleges rossz zárása azt eredményezheti, hogy a besajtoló víz egy része a szomszédos rétegekbe kerül.

Ellenőrző méréseket tehát nemcsak a megfigyelő, hanem a besajtoló kutakban is kell végezni és figyelemmel kell kísérni a cementpalást állapotát is.

### 2.1. Ellenőrző mérések besajtoló kutakban

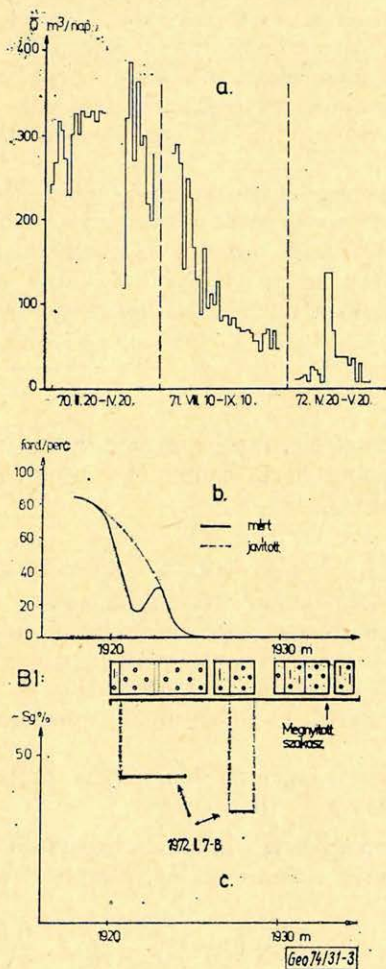
A mérések célja:

- a besajtoló vízmennyiség áramlási egységenkénti tényleges megoszlásának megállapítása,
- az elárasztás stabilitásának vizsgálata.

Az első feladat megoldására legalkalmasabb műszerek egyike a forgólappátos áramlásmérő, melyet a termelési geofizikában hosszú idő óta használnak. Magyarországon a Vízkutató és Fúró Vállalatnál fejlesztettek ki ilyen műszereket, melyekkel 1971-ben két kútban kísérleti méréseket végeztek. A *B.I sz.* kút mérési eredményei a *3b. ábrán* találhatóak.

A mérések a rétegsorral összhangban álló eredményt szolgáltatottak. Ugyanakkor az is megmutatkozott, hogy háromirányú fejlesztő munka szükséges a forgólapátos műszerek üzemszerű alkalmazásához (7):

- a műszer átmérőjének csökkentése, tömítővel való felszerelése,
- kútfej szerelvény kifejlesztése,
- a mérés felszíni körülményeihez alkalmazkodó műszerkocsi és segédberendezések kialakítása.



3. ábra. Vizsgálatok a B.1 besajtoló kútban:

- a) A besajtoló vízmennyiség változásai  
 b) Forgólapátos áramlásmérő mérési eredményei  
 c) A besajtolás szünetében felvett neutron szelvényből számított gáztelítettség

Рис. 3. Исследования, проведенные в нагнетательной скважине В.1:

- a – изменения количества нагнетаемой воды; б – результаты измерений, проведенных при помощи реометра с вращающимися лопатками; в – газо-насыщенность, подсчитанная по кривой НК, полученной в перерыве нагнетания

Fig. 3. Investigations in pressing-in well B. 1:

- a) Variations in the pressed-in volume of water b) Measuring results of a rotating blade flowmeter c) Gas-saturation calculated from the neutron profile taken during the pause of pressing-in

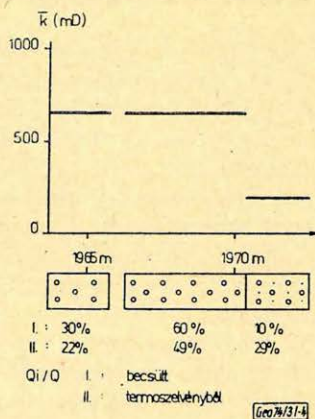
Elnyelési profilok felvételére ajánlják a besajtolás közben és azután végzett hőmérsékletmérést, melyhez kis átmérőjű, kis hőtehetetlenségű termoszonda szükséges. A Szovjetunióból beszerzett TEG 36 típusú elektronikus hőmérők mindhárom követelményt kielégítik. 1972-ben javasoltuk kísérleti mérések elvégzését részben besajtoló kútban (8), részben kivizsgálásra kerülő kutakban. Az utóbbiak célja a zavartalan geotermikus állapot felderítése lett volna. A mérések különböző okok miatt elmaradtak. Az első kísérletet 1973 elején végezték. A 4. ábra mutatja ennek a Nowak által javasolt módszerrel

(9) végzett kiértékelését és összehasonlításul a permeabilitás és rétegvastagság alapján végzett becslést. Az eredmények jellege megegyezik, az eltérés azonban az alsó aleuritos rétegnél elég jelentős.

4. ábra. A besajtolási intenzitás ellenőrzésére felvett hőmérsékletszelvény Nowak módszerével végzett kiértékelésének eredménye

Рис. 4. Результаты интерпретации температурной кривой, записанной для проверки интенсивности нагнетания, по методу Новака

Fig. 4. Results of processing — by means of the Nowak method — of temperature profile taken for checking the pressing-in intensity



A két mérési módszert összehasonlítva az algyői rétegsorban a forgólappátos áramlásmérők alkalmazása látszik előnyösebbnek. Ennek felbontóképessége nagyobb, mennyiségi megállapításai pontosabbak és jó kútfejszerelvény birtokában lehetőség van a kút leállítása, tehát a besajtolás megzavarása nélkül végzett mérésre. Az eredmények azonban csak arra adnak felvilágosítást, hogy mekkora az egyes perforált szakaszokba belépő folyadékmennyiség, arra már nem, hogy ez tényleg mind a rétegbe került-e.

A hőmérsékletszelvények ezzel szemben az összes víznyelő helyeket mutatják, tehát azokat is, amelyek a cementezés hibája folytán nem a perforált szakasszal szemben vannak. Speciális esetekben a két mérés-fajta együttes alkalmazására is szükség lehet.

## 2.2. Ellenőrző mérések megfigyelő kutakban

A vízfűgőny ellenőrzésének rezervoárméchanikai és geofizikai módszerei között munkamegosztás van. A nyomásmérésekkel történő ellenőrzéssel a vízfűgőny területi, horizontális alakulása tanulmányozható anélkül, hogy felvilágosítást kapnánk a tagolt telepek egyes áramlási egységeiben lezajló folyamatok részleteiről.

A karottázs-módszer csak egy-egy kútra vonatkozóan tájékoztat, de az egyetlen lehetőség a korlátozó feltételekkel meghatározott körben részletes telítettség profilok megállapítására és az időben egymás után következő változások nyomonkövetésére.

A neutron-mérésekkel történő ellenőrzés geofizikai részleteiről több jelentés, tanulmány beszámolt. Most csak néhány kiegészítő megjegyzést teszünk.

Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy a különböző időkben felvett szelvényeken a változatlan állapotú folyadék- és gáztárolókkal szemben is eltérőek a neutron-indikációk. Ez mind a neutron-egységekben mért intenzitásra, mind a görbék lefutásának kisebb részleteire vonatkozik. Ez a radioaktív mérések természetéből fakadó tény nem jelentős hibaforrás a kutatási feladatok megoldásánál, most azonban igen. Következménye az, hogy az egymás utáni ellen-

őrzéseknél mindig sokkal nagyobb intervallumban kell mérnünk, mint a tanulmányozandó telep vastagsága, mert meg kell határozni a változatlan állapotú rétegek szórási sávját. Csak annak a gáztelített rétegnek a változásai mutathatók ki megbízhatóan, melynek korábbi indikációja ezt a sávot meghaladja.

A mérés költségei így látszólag jelentősen nőnek. A valóságban azonban a költségek nagy részét nem a szelvényezés, hanem a kútjavító berendezés felszerelése és munkája igényli. Hasonló a helyzet akkor is, ha az interpretáció megbízhatóságának növelése érdekében különböző hosszúságú szondákkal kell mérést végezni.

Egyes esetekben — amikor a telepet zömmel tiszta vagy csak kevésbé szennyezett homokkövek alkotják — termelőcsőben lebocsátható neutronszonddával végrehajtott szelvényezésnél elkerülhető lenne a kútjavító berendezés felszerelése. Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben elkészült egy ilyen szonda mintapéldánya.

A mérésekről készült értelmezések megállapításait rétegvizsgálatokkal ellenőrizték. Két vizsgálatnak az értelmezésben bizonytalannak minősített intervallumokról kellett felvilágosítást adnia. Nyolc vizsgálatot az interpretáció szerint biztosan megállapítható rétegtartalmú szakaszokban végeztek. Ezek eredményei:

<i>Rv. darab</i>	<i>Termelvény ért. alapján</i>	<i>Rv. eredmény</i>
2	gáz	2 gáz
2	gáz és víz	2 gáz és víz
4	víz	1 víz
		3 víz és gáz

A három, vizet és gázt adó intervallum gáztelítettsége az értelmezések szerint 25–35%, ez tehát kis mennyiségű szabad gáz jelenlétét valószínűsíti.

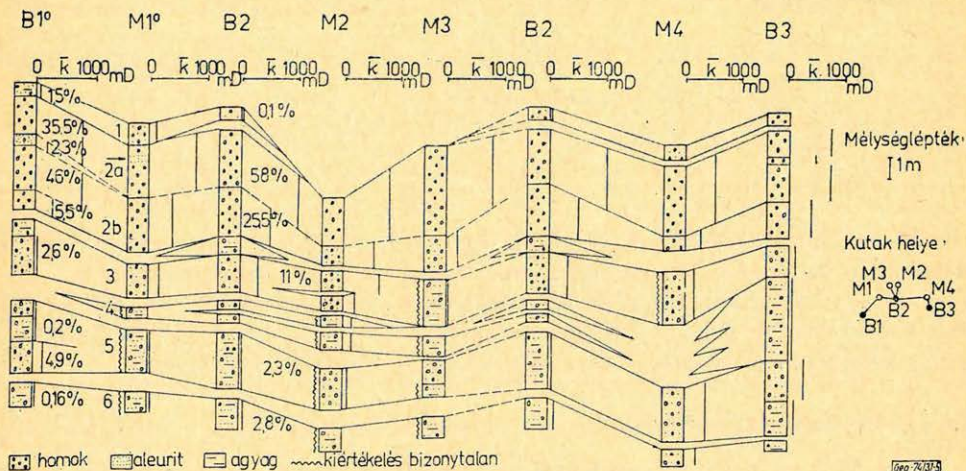
A rétegvizsgálati eredmények alapján feleslegesnek látszik a kevésbé szennyezett szakaszok további ellenőrzése. Célszerűbb ilyen módon az interpretáció bizonytalanságait tisztázni.

### 3. Gyakorlati példák

Az elmondottak illusztrálására vizsgáljuk meg az *Algyő* — 2 telep besajtoló (*B*) és megfigyelő (*M*) kútjainak egy csoportját. A geofizikai ellenőrző mérések itt kezdődtek el legkorábban. A besajtolás elkezdésekor a kutak lecsövezettek voltak az *M.3* sz. kivételével, melyet csak a megfigyelési időszakban mélyítettek le.

A litológiai oszlopok és a vázolt irányokban készített metszet az *5. ábrán* láthatók. A litológiai oszlopok és a melléjük rajzolt permeabilitás-szelvények azt mutatják, hogy a telep valamennyi kútban alapvetően hasonló kifejlődésű. Vékony, alacsony áteresztőképességű aleuritós homokkövel kezdődik, ezt követi az összvastagság egyharmadát-felét kitevő magas permeabilitású homokkő, amely még legalább két részre oszlik. A felső rész áteresztőképességének várható értéke 500–1000 *mD*, a továbbiaké annál kisebb lehet. A telep többi rétegei kis-közepes vastagságúak, permeabilitásuk általában igen alacsony. Ez alól csupán az *M.4* és *B.3* sz. kutak kivételek.

Vizsgáljuk meg részletesebben az egymással kapcsolatba kerülő besajtoló és megfigyelő kutakat.



5. ábra. Besajtoló és megfigyelő kutak litológiai oszlopai, azonosítás, áramlási egységekre bontás

Рис. 5. Литологические колонки нагнетательных и контрольных скважин, разбивка их на единые блоки притока

Fig. 5. Lithological columns, identification and resolving into flow units of pressing-in and observing wells

### 3.1. Előrejelzés a B.1 – M.1 – B.2 sz. kutakra

A telepet három kitartó impermeábilis réteg tagolja. A felső a B.2 sz. kút környékén erősen agyagos-aleuritos kispermeabilitású homokkőbe megy át, ami valószínűleg továbbra is függőleges irányú zárórétegnek tekinthető. A második záróösszletben kis átteresztőképességű, vékony, szennyezett homokkővek is feltűnnek.

Az áramlási egységekre osztást az M.1 sz. kút litológiai oszlopa mellett találjuk. Az 1. egység jelentéktelen.

A 2. egység vastagsága és magas átteresztőképessége miatt a legfontosabb. Ha a telepet teljes vastagságában azonos méterenkénti lövésszámmal nyitják meg a besajtoló kutakban (a valóságban ez történt), ebbe az egységbe kerül a teljes vízmennyiség 89%-a (B.1 sz. kút), illetve 84%-a (B.2 sz. kút). A 2. egység a permabilitás eltérései alapján további két részegységre tagolódik, sőt, az M.1 sz. kút környékén harmadik részegység is lehetséges, ha a nyíllal jelölt vékony aleuritos betelepülés nagyobb területre terjed ki. Az elvezetés leghamarabb ebben az egységben fog bekövetkezni. Az azonban bizonytalan, hogy a víz a 2a., vagy 2b. talpán jelenik-e meg hamarabb, mivel köztük záróréteg nem mutatható ki. Ha a függőleges permeabilitás magas, a felső részegységbe sajtoló és előresiető víz egy része súlya következtében az alsó részegységbe kerülhet át, növelve ebben a vízfront előrehaladási sebességét.

A 3. egység átteresztőképessége a három kútban eltérő. A megfigyelő kút környékének elárasztása valószínűleg a B.2 sz. kút irányából következik be, később, mint a 2. egységben. Az időkülönbség valószínűleg csökkenthető lenne

a méterenként leadott lövésszám változtatásával. Ha a lövésszám csökkentésével a megnyitási hatásfok 30%-al csökken a besajtoló kutak 2. egységében, a méterenként besajtolt relatív folyadékmenyiség a 3. egység szempontjából kedvezően alakul:

<i>Egység</i>	$Q_i$ %/m Perf. tervezése nélkül	Perf. tervezéssel
2a	23	22
2b	12	11
3	6	10

A további egységek a vízelárasztás szempontjából kedvezőtlen kifejlődésűek. A vízfront csak nagyon lassan terjed ezekben a rétegekben.

Az 1., 2. és 3-ban biztosan kimutathatók a változások. Az ellenőrző mérések hatékonysága 4., 5. és 6-ban lesz alacsony. Ezt az 5. ábrán hullámvonal jelzi. Vizsgálatukra neutron-generátoros mérést kellene végezni.

### 3.2. Előrejelzés a vizsgált területre

Az *M.2* sz. kútban a teleptetőről hiányzik a vékony, kispermeabilitású réteg. A *2a.* és *2b.* egységek az előbb tárgyalt kutakkal összhangban vannak. A fekü agyagmárga.

A 3. egység a vázolt azonosítás alapján további két alegységre oszlik, a felső áteresztőképessége feltűnően nagy. Ez másik megoldás lehetőségét is felveti. Nevezetesen: *3a.* tulajdonképpen a 2. egységhez tartozik és a fekjében levő márga a *B.2* sz. kút erősen agyagos zárórétegének megfelelője. A választ csak az ellenőrző mérések adhatják meg. Ha az elvizesedés először *3a*-nál jelentkezik, akkor az tényleg a 2. egységhez sorolandó, ha *2b*-nél következik be először, akkor a felrajzolt azonosítás a helyes.

A 4–6. egységek is az előbbi kutakénál látottakkal egyezők.

Az *M.3* sz. kút besajtoló kútjával egyértelműen azonosítható. A *2a* és *2b* részegységek áteresztőképessége között nagy eltérés van, ezért elképzelhető, hogy a víz *2a.* talpán fog először megjelenni. A 3. egység a többi kutakhoz viszonyítva rosszabb kifejlődésű. 3–6.-ban (5. egy szakasza kivételével) az ellenőrző mérések értelmezhetősége kétes.

A *B.3–M.4* kútpár fő vonalaiban kapcsolódik az eddigiekhez, a telep alapjának permeabilitása azonban magasabb. A *B.2* sz. kútnál ismét meg lehetne kísérelni a perforálás tervezésével a *2b.* és 4. egységekbe sajtolható méterenkénti relatív vízmennyiség növelését.

Valamennyi kút alapján végeredményben arra a következtetésre jutunk, hogy a térfogati záródás a 2. egységben fog először bekövetkezni. A többi egységben csak sokkal hosszabb idő múlva várható a vízfrontok találkozása, a nagyon alacsony áteresztőképességű egységekbe esetleg nem is sajtolható be víz.

### 3.3. Ellenőrzések a *B.1* sz. besajtoló kútban

A kútban forgólapátos áramlásmérővel vettek fel besajtolási profilt. Az eredményül kapott integrálgörbe a 3b. ábrán látható. Az értelmezés szerint: „a víz a tároló magas permeabilitású, felső szakaszába lép be. 1926,0 m alatt ki-



tükröző alapszelvényt és ezért nem lehetett eldönteni, hogy a besajtolás megkezdése után néhány hónappal készített szelvényen 2b. alján jelentkező indikációcsökkenés az előnyomulól víz hatására, vagy litológiai ok következtében állt-e elő. Az M.2 sz. kútban a 2b. elvizesedése csak később, 1970. X. hóban jelentkezik. Ennek alapján M.1. sz. kútban is későbbi időpont látszik valószínűbbnek.

A 2. egység részegységekre osztását a vízfront előrehaladása nem indokolja. Feltűnő viszont, hogy az elvizesedés kezdetének jelei 1970. X. hótól 1972. V. hóig gyakorlatilag azonos mélységtől mutatkoznak. Ez egybeesik a litológiai oszlopon nyíllal megjelölt vékony aleuritos réteggel, amely zárórteggként viselkedhet. Ez adhat magyarázatot arra az ellentmondásra is, hogy miért nem haladt látszólag előre a vízfront a 2. egységben 1971. III. hó és IX. hó között, míg ezalatt 3. egység jelentős mértékben elvizesedett.

Azt, hogy 3. önálló hidraulikai egység, az értelmezés megerősíti. Az elvizesedés kezdetére tett megállapítás azonban nincs összhangban sem az előrejelzéssel, sem azzal, hogy az M.2 sz. kútban is csak később jelent meg a víz a 3b. egységben.

Az 5. egységben különböző hosszúságú szondákkal felvett mérésekből 1971. IX. hóban jelzett vizet az értelmezés, „bizonytalan” kiegészítéssel. A víz megjelenésének lehetőségét a szomszédos M.3 sz. kút értelmezése támasztja alá. Ebben a kútban az 5. egység kedvező kifejlődésű aleuritos homokkövében a víz biztosan megjelent 1971. VI. hóban.

Az M.2 sz. kút 2. egységének elvizesedése az M.1 sz. kútban észleltekkkel egyezően folyik. A 3. egység azonosítását igazolja az értelmezés. 3a-ban ugyanis csak a 2-énél jóval később jelentkezik a víz, tehát két különálló áramlási egységgel van dolgunk.

3b. elvizesedésének kezdetét az értelmezés „bizonytalanul” 1969. XII. hóra teszi. Ez ellentmond a feltételezéseknek és részben az M.1 sz. kút értelmezésének is. A reális dátum 1971. IV. hó. A 4. egység szennyezett homokköveinek itt és az M.1 sz. kútban is 1971. IX. hóra jelzett elvizesedését támasztja alá az M.3 sz. kútban 1929,0–1930,5 m között végzett rétegvizsgálat eredménye, az 5. egységben pedig ugyanennek a kútnak az értelmezése. Az azonban teljesen valószínűtlen; hogy ez a vizesedés már 1969. végén, két hónappal a besajtolás kezdete után kezdődött volna, hiszen a szomszédos M.3 sz. kút 5. egysége még 1971. IV. hóban biztosan gáztároló volt.

Az M.3 sz. kutat 1971 elején mélyítették, így abban elektrokarottázsmérések segítették a telítettségi profil megállapítását. Azonosítása az M.2 sz. kúttal a 2. és 3. egységeket illetően bizonytalan.

A víz először 2a. talpán jelent meg. Ennek oka vagy fel nem ismerhető vékony zárórteggel, vagy az, hogy a 2b. egység függőleges permeabilitása olyan alacsony, hogy a felette mozgó víz nem tud ide oly módon átkerülni, mint azt az M.1 sz. kútban valószínűsítettük.

Megjegyzést kell tennünk az 5. egység minősítésével kapcsolatban. Hasonlítsuk össze az érintetlen állapotot tükröző és az 1971. évben megállapított gáztelítettséget az M.2 sz. kút 4. egységének hasonló rétegével:

	$S_g$ %	
	M.3	M.2
érintetlen állapot	63	60
1971. VI., ill. IX. hó		

Aleuritos tárolóban ez a lehetséges hibákat figyelembe véve jól egyező eredménynek számít, ezért helyesebb lett volna a két kútban rajzban is egyező minősítést adni.

Az *M.4* sz. kút értelmezésénél ismét meg kell említeni az alapszelvény hiányából származó értelmezési bizonytalanságot. A szelvény felvételére a kút lemélyítésének ideje miatt nem volt lehetőség (elektromos szelvényezés 1970. IX. hóban). A 3. egységet az elektromos mérések szénhidrogén-tárolónak jelezték. Alapszelvény hiányában és a rétegtartalom megállapítását elősegítő „többszondás” mérési anyag hiánya miatt ennek az egységnek a rétegtartalmára csak rétegvizsgálat tudott felvilágosítást adni.

A 2. egységben jelentős „visszagázosodás” történt, amit rétegvizsgálat is igazolt. Ez teljesen egyértelművé teszi a 8. sz. kútban 1972. V. hóban jelzett gáztest növekedést is.

Visszagázosodás mutatkozik az 5. egységben is. Ezt a tervezésnél nem tagoltuk további alrészekre, noha az elektromos szelvényekből megállapított gáztelítettségek két eltérő kőzetet jeleztek, amit a víz előnyomulása alá is támasztott. A felső réteg kedvezőbb hidraulikai tulajdonságokkal rendelkezik, ami lehetővé tette, hogy benne a víz egy idő múlva „előresiessen” az alsóhoz képest.

Úgy gondoljuk, hogy a leírtakkal olyan programot vázoltunk a termelési geofizikát művelő mérnök elé, amelynek végrehajtásával a jelenleginél határozottabb segítséget tud adni az olajmérnök munkájához.

#### IRODALOM

- [1] *Hornyos János, Őri Viktor*: Vízbesajtolás a gáz – olaj határon. Kőolaj és Földgáz 1972. nov.
- [2] *Bartai Zoltán*: Fúrólukban végzett geofizikai vizsgálatok speciális problémái. NIMDOK, 1971.
- [3] *Doleschal Sándor*: Előadás a MGI rezervoárméchanikai tanfolyamán. 1972.
- [4] *Rabe C. L.*: A gamma-sugárzás és a permeabilitás közötti kapcsolat a Denver – Julesburg medencében. J. of Petr. Techn. 1957. 2.
- [5] *NK FV Földt. Főo.*: Az Algyő – 1 telep kifejlődésének vizsgálata geofizikai szelvények alapján. Jelentés, 1972.
- [6] *Gyulai Zoltán*: Rezervoárméchanika. Bányászati Kézikönyv IV.
- [7] *Munkácsi István*: Algyői vízbesajtoló kutakban végzett áramlásmérési kísérletek. Jelentés 1971.
- [8] *NK FV Földt. Főo.*: Az Algyő 170 sz. kútban végzendő hőmérsékletmérés technológiai utasítása 1972.
- [9] *Nowak T. J.*: A rétegösszetétel víznyelőképességi jellegzőgörbéjének felépítése hőmérsékletszelvényekből. J. of Petr. Tech. 1953. 8.
- [10] *NK FV Földt. Főo.*: Jelentés az Algyő 170 sz. kútban végzett áramlásmérési kísérletről. 1971.
- [11] *NK FV Földt. Főo.*: Az Algyő – 1 és Algyő – 2 telepek gáz – olaj határára történő vízelárasztás vizsgálata geofizikai módszerrel. Jelentés, 1972.

# A finom kőzetszemcsék és a márgacsíkok által okozott hatások a szénhidrogéntároló neogén homokkövek karottázs-kiértékelésében Magyarországon\*

BARLAI ZOLTÁN

Magyarországon a szénhidrogéntároló neogén homokkövekben nagy mennyiségben van képviselve a finomszemcséjű kőzetliszt és finomhomok frakció. Ezek fő ásványi összetevői a negatív elektromos töltéseket tartalmazó filloszilikátok (csillámok, kloritok), amelyek a kis sókoncentrációjú rétegvizekkel érintkezve erős elektromos kettősrétegeket, diffúz kationburkokat és adszorpciós vízburkokat hoznak létre a szemcsefelületeken.

Az agyagásványok jelentős mennyiségben koncentrálnak vékony csíkok formájában, így igen gyakoriak a „szendvics”-homokkövek, amelyekben a márgacsíkok elektromos vezetőképessége lényegesen nagyobb a homokcsíkok vezetőképességénél.

A tanulmány foglalkozik a finom kőzetszemcsék által a karottázs-paraméterekre gyakorolt hatásokkal. Bemutatja a mikrofizikai közetmodellt e hatások leírására és a karottázs-paraméterek matematikai formuláit. Bemutatja az izotrop homokkövek kiértékelési formuláit, amelyekkel meghatározhatók a következők tároló paraméterek:

- |                                   |                           |
|-----------------------------------|---------------------------|
| – litológiai összetétel           | – fajlagos szemcsefelület |
| – effektív porozitás              | – abszolút permeabilitás  |
| – víztelítettség                  | – tortuozitás             |
| – redukálhatatlan víztelítettség. |                           |

A tanulmány foglalkozik a márgacsíkok hatásával és bemutatja a szendvics-homokkövek modelljét és kiértékelési formuláit. Foglalkozik a márgacsíkok mennyiségének és elektromos vezetőképességének, továbbá a szendvics-homokkövek effektív vastagságának meghatározásával. Bemutatja a mikro-normál ellenállás-szelvény, a természetes gamma- és a PS-szelvény dlapvető szerepét e feladatok megoldásában. Foglalkozik a szendvics-homokkövek speciális interpretációs problémáinak megoldásával, így a mozgóvíz víztelítettség meghatározásával az olaj-víz átmeneti zónákban, továbbá a gáztároló és olajtároló zónák megkülönböztetésével.

В неогеновых нефте-газоносных песчаниках Венгрии в большом количестве представлены тонкозернистая каменная мука и тонкопесчаная фракция. Их основными минеральными составляющими являются филлосиликаты с отрицательной электрической зарядкой (слюды, хлориты), при контактировании которых с слабоминерализованными пластовыми водами создаются диффузивные катионные оболочки и адсорпционные водяные оболочки на поверхности зерен.

Глинистые минералы концентрируются в значительном количестве в виде полос, в виде полос, в связи с чем очень часто встречаются „сэндвичные” песчаники, в которых полосы мергелей отличаются значительно повышенной электрической проводимостью по сравнению с песчаными полосами.

В работе рассматривается влияние тонких зерен горных пород на параметры каротажжа. Приводятся микрофизическая модель горных пород, описание этих эффектов и математические формулы каротажных параметров. Представляются формулы интерпретации для изотропных песчаников, позволяющие определить следующие коллекторские параметры:

- |                                   |                              |
|-----------------------------------|------------------------------|
| – литологический состав           | – удельная поверхность зерен |
| – эффективная пористость          | – абсолютная проницаемость   |
| – водонасыщенность                | – tortuozистость             |
| – нeredуцируемая водонасыщенность |                              |

\* A tanulmány előadás formájában elhangzott (angol nyelven) az SPWLA London-i Szakosztálya által 1974. október 14–15-én rendezett 3. Európai Rétegiértékelő Szimpóziumon, továbbá 1974. október 31-én a MGE Mélyfúrási Geofizikai Szakosztályának előadóiülésén.

В работе рассматриваются вопросы, связанные с эффектом полос мергелей и приводятся модель „сэндвичных” песчаников и применяемые формулы интерпретации. Делаются попытки определить количество и электрическую проводимость полос мергелей, а также эффективную мощность сэндвичных песчаников. Обсуждается роль микронормального электрического каротажа, метода ГК и каротажа по мегоду СП в решении этих задач. Рассматриваются возможность решения специальных проблем интерпретации при наличии в разрезе сэндвичных песчаников, так напр. задачи по определению неустойчивой водонасыщенности в переходных нефтяно-водяных зонах, а также задачи по разделению газоносных и нефтеносных зон.

*Fine silt and sand grains occur in the hydrocarbon-bearing Neogene sandstones of Hungary in large quantities. Main mineralogical constituents are the sheet-silicates (micas, chlorites etc.) with excess negative electric charges giving rise to electric layers, diffuse cationic shells and adsorption layers of hydrate water at the grain surfaces upon encountering pore waters of moderate or low concentration.*

*Clay minerals are concentrated in thin shale laminae, as a rule, thus creating sandwich-type sandstones in which electric conductivity of the shale streaks is much higher than that of the sand streaks.*

*The paper deals with the effects of fine grains exerted on well logging parameters. Microphysical and macrophysical sandstone models serving for description of these influences and mathematical formulae of well logging parameters are presented. Evaluating formulae of isotropic disperse sandstones are shown for the determination of reservoir parameters as follows:*

- |                                |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|
| – Lithological composition     | – Specific surface of the grains |
| – Effective porosity           | – Absolute permeability          |
| – Water saturation             | – Tortuosity                     |
| – Irreducible water saturation |                                  |

*The paper deals with the effects of shale laminae in well log evaluation. Physical model and interpretation formulae of the anisotropic sandwich-type sandstones are recommended. Determination of relative volume and electric conductivity of the shale interbeddings and evaluation of the effective pay thickness are presented. The basic role of micronormal resistivity log, gamma-ray and SP curves in the evaluation process is elucidated. Solution of some special evaluation problems in sandwich-type sandstones, e.g. determination of the movable water-saturation component in the oil – water transition zone and distinguishing of gas- and oil-bearing intervals are shown.*

## Bevezetés

A kőolaj-, földgáz- és víztároló homokkövek kvantitatív mélyfúrás geofizikai (karottázs-) értékeléséhez G. E. Archie közölte az első lényeges összefüggéseket 1942-ben [1]. Porozitás- és víztelítettség-formuláit azóta az egész világon használják az elektromos szelvények kiértékeléséhez. A gyakorlati alkalmazások azonban felfedték a formulák fogyatékoságait: a bennük szereplő  $a$ ,  $m$ ,  $n$  „függvény-konstansok” értékei rendszerint még egy telepen belül is széles határok között változnak és nagymértékben függenek a pórusvíz sótartalmától. A tapasztalatok megmutatták, hogy például Magyarországon a neogén medencék homokköveiben az „ $a$ ” formációfaktor-koefficiens  $0,5 - 2,5$  között, az „ $m$ ” cementáció-exponens  $1,1 - 1,95$  között, az „ $n$ ” szaturáció-exponens pedig  $0,3 - 2,0$  között változik  $3,3 - 70$  g/l koncentrációjú NaCl vizes telítődlatok alkalmazása mellett [9].

E változásokat csak a homokkövek litológiai összetételének és a pórusvíz sótartalmának ismeretében lehetne elég pontosan figyelembe venni, és mivel e követelmények a karottázs gyakorlati munkáiban nehezen teljesíthetők, ezért az Archie-formulákból számított porozítások és víztelítettségek hibái sokszor túlságosan nagyok.

Az utolsó két évtizedben a „porozításkövető szelvények”: az ultraszónikus  $At$  hullámterjedési idő, a gamma-gamma effektus segítségével meghatározott  $\rho_b$  közetsűrűség és a neutronfolyamatok alapján nyert  $\Phi_n$  „neutronporozitás” lehetővé tették a porozitás pontosabb értékelését, sőt a neutron folyamatok

hozzáségítették a karottázst — a folyadéktelítettségek mellett —, a gáztelítettség meghatározásához is. A gyakorlati tapasztalatok azonban megmutatták, hogy a homokkövek mátrixának összetétele az újabb karottázis-paraméterekre is lényeges hatást fejt ki, ezek figyelembevételével nélkül nem várható kielégítő pontosság a karottázis-mérésekből meghatározott rétegfizikai paraméterektől.

1950-től kezdve a karottázis-módszerek kutatói szerte a világon azzal igyekeztek megmagyarázni a homokkövek mátrixa által a karottázis-paraméterekre gyakorolt hatásokat, hogy a homokkövek kisebb-nagyobb mennyiségben agyagásványokat is tartalmaznak, és ezek, továbbá a homokkövek kompaktációjának és cementációjának változó mértéke torzítja a karottázis-paramétereket [2, 3, 4, 5]. Kidolgozták a legkülönbözőbb „agyagos homokkő”-interpretációs eljárásokat, és igyekeztek tisztázni a kompaktáció és a cementáció hatásának elméletét és figyelembevételét a karottázis-értékelésben.

A tapasztalati tények, az elméleti kutatások és a hatalmas mennyiségű gyakorlati szelvényértékelés tanulságai meggyőzték a mélyfúrási kutatókat arról, hogy a rétegfizikai paraméterek kielégítően pontos meghatározása érdekében a homokkövekről alkotott modellelképzéseket finomítani kell: a gondolkodással közelebb kell jutni az anyagi rendszer valóságához. Ezzel a pontosság növelése mellett újabb rétegfizikai paraméterek — így pl. a permeabilitás, a fajlagos szemcsfelület — meghatározása is lehetővé válik. Ugyanakkor az is világossá vált, hogy a karottázis-paramétereket és az azokból meghatározott rétegfizikai jellemzőket valószínűségi változókként kell kezelni, mivel azok a kőzetekben pontról pontra változnak, másrészt a másodrendű és harmadrendű változók hatásai következtében azok kvantitatív értékei nem szigorúan determináltak. A jelenlegi karottázis-kutatómunkákat gondolkodásunkban a kőzetek struktúrájába való mélyebb behatolás és ugyanakkor a kőzetparaméterek valószínűségi változókként történő kezelése jellemzi.

### *A magyar neogén homokkövek litológiai jellege*

A magyar neogén medencék homokköveit a rétegződés anizotrop morfológiája jellemzi: permeábilis homokkőrétegek, a *mm*-től a *néhány méterig* terjedő, változatos vastagsággal, váltakoznak impermeábilis márgarétegekkel; utóbbiak vastagsága szintén széles határok között változik.

A permeábilis homokkőrétegek szilárd mátrixát főképpen kőzetliszt és finomhomok alkotja. Ezekben a frakciókban nagy mennyiségben vannak képviselve a rétegszilikátok, főképpen a csillámok (muszkovitok, biotitok, szericitek) továbbá a kloritok. A permeábilis homokkövekben viszonylag kisebb mennyiségben fordulnak elő az agyagásványok, továbbá ugyancsak kisebb mennyiségben vannak képviselve a közepes és durva szemcseméretű homokfrakciók.

Az impermeábilis márgarétegek szilárd vázának összetétele ugyancsak változatos: az agyagásványok, a kőzetliszt és a karbonátok különböző arányú keverékei alkotják az impermeábilis márgákat.

A permeábilis homokkövekben és az impermeábilis márgákban levő rétegvíz sókoncentrációja alacsony, vagy legfeljebb közepes. Ritkán találkozunk *30 g/l*-nél nagyobb sókoncentrációval és a koncentráció leggyakoribb értéke kb. *5 g/l*. A pórúsvizek fő kationfélesége a nátrium ( $Na^+$ ), de kalcium ( $Ca^{++}$ ) és magnézium ( $Mg^{++}$ ) is előfordulnak. Az alapvető anionféleség a klorid

( $Cl^-$ ), de jelentős mennyiségben vannak képviselve a hidrokarbon ( $HCO_3^-$ ) anionok is.

A homokkövek fentiekben vázolt litológiai kifejlődése mellett a karottázs-paramétereket igen nagy mértékben befolyásolják a permeábilis homokkövekben levő finom szemcseátmérőjű frakciók, így a kőzetliszt és finomhomok, továbbá a tároló kőzetekbe betelepült, kisebb-nagyobb vastagságú márgacsikok.

#### *A finom szemcsefrakciók hatása a homokkövek karottázs-paramétereire*

A magyar homokkőtárolók karottázs-szelvényein végzett analízisek, fúrt magok kőzetmintáinak laboratóriumi vizsgálatai és elméleti tanulmányok meggyőztek minket arról, hogy a karottázs-paramétereket a szilikátok egy bővebb családja, elsősorban a filloszilikátok ásványféleségei befolyásolják [6, 7, 8, 9, 10]. A filloszilikátok ionrácsaiban nagymértékű elektromos polarizáció jöhet létre  $Si^{4+}$  ionoknak  $Al^{3+}$  ionokkal, továbbá  $Al^{3+}$  ionoknak  $Mg^{2+}$  ionokkal történő helyettesítése által, ami negatív töltéstöbbletre vezet; ehhez hozzájárulnak még egyes külső oxigénatomok lekötetlen negatív vegyértékei.

A polározott szilikátszemcsék és a porózusvíz érintkezési határfelületein szelektív iondiffúzió és ionadszorpció megy végbe, elsősorban alkálifémek és földfémek kationjainak részvételével. Pozitív töltéstöbbletű ionburkok alakulnak ki a szilikátszemcsék környezetében. A szilikátszemcsék negatív felületi töltése és a pórúsvíz pozitív diffúzió ionburkai elektromos kettős-rétegeket képeznek, amelyek megnövelik a homokkövek elektromos vezetését, és mivel a diffúzió ionburkok jelentős mennyiségű hidrátvizet tartanak kötött állapotban a szemcsefelületeken, ezért hatással vannak szinte valamennyi karottázs-paraméterre.

E tanulmányban a magyar olajipar karottázs-munkáinak jelenlegi gyakorlatában alapvető szerepet betöltő paraméterekre összpontosítjuk figyelmünket; ezek a következők:

- $R_t$  a szénhidrogéntároló homokkő fajlagos elektromos ellenállása;
- $R_0$  ugyanaz, víztárolás esetén;
- $\alpha$  PS-csökkenési tényező;
- $I_\gamma$  természetes gamma-aktivitás;
- $\Phi_n$  a neutronmérésekkel meghatározott „neutron-porozitás”;
- $\Delta t$  a szónikus longitudinális hullámok terjedési ideje;
- $\varrho_b$  a gamma-fotonok Compton-szóródásából meghatározott kőzet-sűrűség.

A kőzetszemcsék ásványi minősége az elektromos polarizáció mértékét szabályozva befolyásolja a karottázs-paramétereket.

Az ásványi minőség mellett jelentős szerepe van a kőzetszemcsék geometriájának, mivel az szabja meg a diffúzió ionburkokat hordozó fajlagos szemcsefelület nagyságát. Gömbi szemcsegeometria esetén a szilárd anyag egységnyi térfogatára vonatkoztatott  $S_0$  fajlagos szemcsefelület  $3/r$  lesz, ha a szemcsék sugara  $r$ ; ugyanez lemezes szemcsegeometria esetén – ami nagyon jellemző a filloszilikátokra –  $2/t + 2/r$  lesz, ha a szemcsékét  $r$  sugarú és  $t$  vastagságú koronggal közelítjük. Mivel  $t \ll r$ , ezért uralkodóan lemezes geometria esetén  $S_0$  nagyobb, mint gömbi szemcse-alak mellett. A szemcseméret csökkenésével –

bármilyen szemcsealak mellett — a felületi hatások növekednek; a mátrix hatása a karottázs-paraméterekre  $1/r$  függvény szerint nő.

A szemcseméret csökkenése egy másik hatás révén is befolyásolja a karottázs-paraméterek egy részét, elsősorban a szónikus hullámterjedési időt és a fajlagos ellenállást.

A szemcseméret csökkenésével növekszik a térfogategységnyi kőzetben levő szemcseérintkezési pontok száma, ezzel növekszik az akusztikus energiaátcsatolási helyek koncentrációja, ezzel együtt az akusztikus energia-veszteség. A szemcseérintkezési pontok számának növekedése a kőzet elektromos ellenállását is befolyásolja, mivel növeli a póruster tortuozitását.

A  $\Delta t$  és az  $R$  paramétereket jelentősen befolyásolja a kőzet mechanikai feszültségi állapota is, tehát a kompakciós nyomás, amit a geosztatikus nyomás és a póruster nyomása közötti különbség definiál. Ennek a hatásnak különös jelentősége van a túlnyomásos szénhidrogéntároló zónákban és ez ad lehetőséget a túlnyomásos zónák kimutatására karottázs-mérések alapján.

A szemcsék közötti cementáció mértéke, a konszolidáció foka szintén befolyásolja a karottázs-paramétereket, elsősorban a  $\Delta t$  és az  $R$  jellemzőket. A konszolidáció fokának növekedésével növekszik a szónikus hullámok terjedési sebessége a mátrixban, továbbá növekszik a tortuozitás, ezzel együtt az elektromos ellenállás.

Mindazok a mátrixhatások, amelyek a diffúz kationburkok jelenlétével kapcsolatosak, alapvetően függenek a pórusvíz iontartalmától. E mátrixhatások növekednek a pórusvíz sókoncentrációjának csökkenésével, így különösen jelentősek édesvízes és kis sókoncentrációjú neogén homokköveinkben.

A pórusfolyadék nedvesítési tulajdonságai befolyásolják a szénhidrogéntároló homokkövek fajlagos elektromos ellenállását, azonban meg kell jegyezni, hogy a magyar neogén homokkövek alapvetően vízre-nedvesedők.

A karottázs-paraméterek eddiginél pontosabb leírásakor nagy figyelmet kell fordítani a hőmökkő-mátrix szemcséinek ásványi minőségére és a szemcsék méretére. Az ásványi minőség és szemcseméret jól tükröződik a  $PS$ - és a természetes gamma-szelvényeken, ezért ezek a szelvények alapvető szerepet töltenek be a „*litológiai hatások*” figyelembevételénél.

Az  $\alpha$   $PS$ -csökkenési tényezőt az agyagásványok relatív (effektív pórusterhez viszonyított) mennyisége szabályozza. A természetes gamma-aktivitás növekszik a káliumot ( $^{40}K$  izotópot) tartalmazó szilikátféleségek mennyiségének növekedésével, továbbá a fajlagos szemcsefelület növekedésével, mivel azzal együtt nő az urán, a rádium és a tórium adszorpciója a kőzetszemcsék felületén.

A homokkövek karottázs-paraméterei és litológiai összetétele, valamint rétegfizikai jellemzői közötti összefüggések feltárásakor arra törekedtünk, hogy mindezeket a hatásokat (és az itt nem érintett triviális hatások — pl. az effektív porozitás, a rétegvíz fajlagos elektromos ellenállása, a víztelítettség — szerepét is) figyelembe vegyük [6, 7, 8, 9, 10, 11].

#### *A permeábilis izotrop homokkövek fizikai — matematikai modelljei és karottázs-paraméterei*

Az izotrop homokkővet  $n$  különféle szilárd ásványból összetettnek tekintjük; ezek többsége a kőzetszemcséket, kisebb részük a cementáló anyagot képezi. Az egyes ásványi komponenseket a szemcséátmérő ( $d$ ) tényleges eloszlása

szerint vesszük figyelembe [8]. Ezt a szemléletet alkalmaztuk a permeábilis izotrop homokkövek *mikrofizikai* – matematikai modelljének megalkotásakor és a karottázis-paraméterek leírásakor. A mikrofizikai modellben minden ásványfélésekre és minden szemcseméretre tekintettel voltunk. Az egyes ásványfélések szemcseméret-eloszlását a szemcsék relatív térfogatának – a ( $d$ ) szemcseátmérőhöz tartozó –  $v_i(d)$  valószínűség-sűrűség függvényével írtuk le. Ezt a módszert alkalmaztuk a mikrofizikai modell létrehozásakor és kezelésekor minden figyelembe vett mennyiségre vonatkozóan, mivel az egyes mennyiségeket – tekintettel a homokkő összetételének statisztikus jellegére – csak valószínűség-sűrűség függvényekkel lehet kezelni. Így például az  $\varepsilon_i(d)$  valószínűség-sűrűség függvénnyel írtuk le az  $i$ -edik ásványfélésegszóró adszorpciós térfogatát a  $d$  szemcseátmérő függvényében.

A víztároló homokkő fajlagos elektromos ellenállása az I. Archie-egyenlet és az elektrolit oldatok keverési törvénye alapján modellünkben így adódik:

$$R_0 = R_w \frac{1}{\Phi^m} \frac{1}{1+C}, \quad (1)$$

amelyben

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n \int_{d_{i,\min}}^{d_{i,\max}} \frac{v_i(d) \cdot \varepsilon_i(d)}{r_i(d)} dd}{\frac{\Phi}{R_w}}, \quad (2)$$

ahol:  $r_i(d)$  = az  $i$ -edik szilárd komponens adszorpciós hidrátvizének fajlagos elektromos ellenállása, mint valószínűség-sűrűség függvény;  
 $R_w$  = a pórúsvíz fajlagos elektromos ellenállása.

Mivel a (2) képletben definiált  $C$  mennyiség a szilárd szemcsék adszorpciós hidrátvizének elektromos vezetését írja le a teljesen vízzel töltött pórúster  $\Phi/R_w$  elektromos vezetéséhez képest, és így nagysága a homokkő ásványi összetételétől, szemcseméret-eloszlásától, porozitásától, valamint pórúsvizének iontartalmától függ, ezért a  $C$  mennyiséget „*litológiai hatónak*” nevezzük.

A szénhidrogéntároló homokkő fajlagos elektromos ellenállása modellünkben így adódik:

$$R_t = R_w \frac{1}{\Phi^m} \frac{1}{1+C} \left( \frac{1+C}{S_w+C} \right)^n \quad (3)$$

Az (1) és (3) képletekkel leírt  $R_0$  és  $R_t$  formulák az Archie-egyenletek – litológiai hatással bővített – általánosított alakjainak tekinthetők. Az (1) és (3) egyenletek határértékei – a pórúsvíz sótartalmának növekedésekor – éppen az Archie-egyenletek lesznek, ami könnyen belátható (2) alapján; ugyanis növekvő sókoncentrációk mellett  $r_i(d) \rightarrow R_w$ , így  $C \rightarrow C_{\lim} < 0,05$ , tehát a legkedvezőtlenebb litológiai kifejlődés esetén is  $C_{\lim} \cong 0$ . Következésképpen (1) és (3) egyenleteinkben  $m$  és  $n$  az Archie-konstansok gyakorlatilag végtelen nagy sókoncentrációk ( $c \geq 100\,000$  ppm) mellett mért értékei ( $m_\infty$  és  $n_\infty$ ). Laboratóriumi méréseink szerint a magyar neogén medencék homokköveiben

$$\left. \begin{aligned} m &= 1,8 - 1,9 \\ n &= 1,8 - 2,0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

tehát  $m$  és  $n$  az (1) és (3) egyenletekben valóban konstansokká váltak.

A  $PS$ -potenciálok  $\alpha$  csökkenési tényezőjét modellünk és M. R. J. Wyllie 3-komponensű homokkőmodellje [2] alapján vezettük le, így;

$$\alpha = \frac{1}{\left(1 + \frac{C_{SP}}{S_{X_0}}\right)^2}, \quad (5)$$

ahol:  $S_{X_0}$  = az infiltrációs zóna víztelítettsége;

$C_{SP}$  = a „litológiai ható” a  $PS$ -elektromos erők kialakulása szempontjából; elméleti vizsgálataink szerint a  $PS$ -elektromos erőket csak az agyag-ásványok befolyásolják, ezért  $C_{SP}$  így írható le:

$$C_{SP} = \frac{\sum_{j=1}^l \int_{d_{j,\min}}^{d_{j,\max}} \frac{v_j(d) \varepsilon_j(d)}{r_j(d)} d d}{\frac{\Phi}{R}}, \quad (6)$$

ahol:  $j$  = a  $j$ -edik agyagásvány indexe;

$R$  = az infiltrációs zónában levő keverékvíz (iszapfiltrátum és rétegvíz) fajlagos elektromos ellenállása.

Az  $I_\gamma$  természetes gamma-aktivitás, a  $\Phi_n$  neutron-porozitás, a  $\Delta t$  szónikus longitudinális terjedési idő és a  $\rho_b$  (gamma-gamma) kőzetsűrűség modellünkben egységesen írhatók le a kőzetkomponensek hatásainak lineáris szuperponálásával. Mikrofizikai modellünk lehetővé teszi, hogy a homokkővet elegendően sok komponensre bontsuk ahhoz, hogy ezek fajlagos (térfogategységre vonatkoztatott) hatásai már függetlenek legyenek a komponensek relatív térfogatának nagyságától.

A felsorolt karottázis-paraméterek ( $I_\gamma$ ,  $\Phi_n$ ,  $\Delta t$ ,  $\rho_b$ ) – azokat közös  $A$  szimbólummal jelölve – az alábbi mikrofizikai formulával írhatók le:

$$A = \sum_{i=1}^n \int_{d_{i,\min}}^{d_{i,\max}} [v_i(d) (1 - \varepsilon_i(d)) A_{S,i}(d) + v_i(d) \varepsilon_i(d) A_{L,i}(d)] d d + \Phi A_f \quad (7)$$

ahol:  $A_{S,i}(d)$  = a szilárd anyag fajlagos geofizikai hatásának valószínűség-sűrűség függvénye a  $d$  szemcséátmérő függvényében, az  $i$ -edik szilárd ásványi komponensre vonatkozóan;

$A_{L,i}(d)$  = ugyanaz,  $i$ -edik komponens adszorpciós hidrátvizére vonatkozóan;

$A_f$  = az effektív pórusterben levő folyadékok és gázok átlagos fajlagos geofizikai hatása.

A (7) képlet módot ad valamennyi ásványfélelő szilárd szemcséinek és adszorpciós hidrátburkainak megkülönböztetett figyelembevételére.

A (2), (6), (7) formulákat mikrofizikai modell alapján vezettük le. E modell előnye, hogy lehetővé teszi a kőzetet felépítő valamennyi anyagi komponens elméleti figyelembevételét, azonban hátránya is van: fizikailag nem mérhető mennyiségeket is tartalmaz. Így pl. nem mérhetők meg közvetlenül az adszorpciós hidrátburkok fizikai jellemzői  $r_i(d)$ ,  $r_j(d)$ ,  $A_{li}(d)$ , mivel a hidrátburkok csak a szilárd szemcsék és a pórsvíz együttes rendszerében alakulnak ki, azoktól elvonatkoztatva nem léteznek.

A karottázs-szelvények gyakorlati értékeléséhez létrehoztuk az ismeretett mikrofizikai modell makrofizikai megfelelőjét is; itt most ennek egy olyan egyszerűsített változatát mutatjuk be, amelyben valamennyi kőzetkomponens és azok jellemzői közvetlenül mérhetők.

Az egyszerűsített makrofizikai homokkő-modellben a szilárd mátrixot három komponensre: agyagra, kőzetlisztre és homokra bontottuk.

1. *Agyag.* 5  $\mu$ -nál kisebb átmérőjű szemcsékből áll; főként agyagásványokat tartalmaz. Relatív térfogata formuláinkban  $sh$ . Fajlagos geofizikai hatásai igen nagyok.

2. *Kőzetliszt.* 5  $\mu$  és 150  $\mu$  közötti átmérőjű szemcsék képezik; elsősorban filloszilikátokat tartalmaz, azonban agyagásvány-tartalma már elhanyagolható. Relatív térfogata formuláinkban  $si(1 - \Phi_{si})$ . E frakció tartalmazza a szedimentpetrográfiában kőzetlisztnak és finomhomoknak nevezett komponenseket. Fajlagos geofizikai hatásai közepesek.

3. *Homok.* 150  $\mu$ -nál nagyobb átmérőjű szemcsékből áll; elsősorban kvarcot és földpátokat, továbbá karbonátokat tartalmaz. Relatív térfogata képleteinkben  $sd$ . Fajlagos geofizikai hatásai kicsik.

Az 1. ábrán bemutatjuk a homokkő térfogati anyagmérlegét az egyszerűsített makrofizikai modellben.

A  $\Phi$  effektív porozitás a nagyobb hidraulikai sugarú pórscsatornák  $\Phi_{sd}$  porozitásából és a kisebb hidraulikai sugarú pórscsatornák  $si \cdot \Phi_{si}$  porozitásából tevődik össze:

$$\Phi = \Phi_{sd} + si \cdot \Phi_{si}. \quad (8)$$

A homokkő térfogati anyagmérleg-egyenlete:

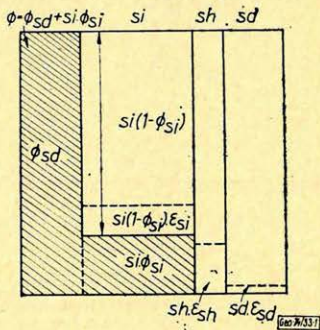
$$\Phi + sd + si(1 - \Phi_{si}) + sh \equiv 1. \quad (9)$$

Az 1. ábrán  $sd \cdot \epsilon_{sd}$ ,  $si(1 - \Phi_{si})\epsilon_{si}$  és  $sh \cdot \epsilon_{sh}$  a homok, a kőzetliszt és az agyag adszorpciós hidrátvizét képviseli. A modellben a  $\Phi_z$  „teljes” porozitás így írható le:

$$\Phi_z = \Phi + sd \cdot \epsilon_{sd} + si(1 - \Phi_{si})\epsilon_{si} + sh \cdot \epsilon_{sh}. \quad (10)$$

A víztároló homokkő  $R_0$  fajlagos elektromos ellenállását, továbbá a szénhidrogéntároló homokkő  $R_t$  ellenállását most is az (1) és a (3) formulák írják le, azonban a  $C$  litológiai ható (2) helyett most így írandó:

$$C = \frac{sh}{\Phi} \left/ \frac{R_{sh}}{R_w} \right. + \frac{si(1 - \Phi_{si})}{\Phi} \left/ \frac{R_{si}}{R_w} \right. + \frac{sd}{\Phi} \left/ \frac{R_{sd}}{R_w} \right., \quad (11)$$



1. ábra — Puc. 1 — Fig. 1

ahol:

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_{sh}}{R_w} &\cong 2 \\ \frac{R_{si}}{R_w} &\cong 5 \\ \frac{R_{sd}}{R_w} &\cong 50 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

a magyar neogén medencék homokköveiben.

Az  $\alpha$  PS-csökkenési tényezőt az (5) képlet segítségével úgy írjuk le, hogy abban  $C_{SP}$ -t (6) helyett az alábbi egyszerű kifejezés szolgáljon:

$$C_{SP} = \frac{sh}{\Phi} \frac{R_{sh}}{R}, \quad (13)$$

ahol:

$$\frac{R_{sh}}{R} \cong 1$$

a magyar neogén homokkövekben, a szokásos fúróiszaptechnika ( $R_{mf} \cong 3R_w$ ) mellett.

Az  $I_v$ ,  $\Phi_n$ ,  $\Delta t$  és  $q_b$  mennyiségeket – továbbra is közös  $A$  szimbólummal jelölve azokat – az alábbi formulával írjuk le:

$$A = sd \cdot A_{sd} + si (1 - \Phi_{si}) A_{si} + sh \cdot A_{sh} + \Phi \cdot A_f, \quad (14)$$

ahol:  $A_{sd}$ ,  $A_{si}$ ,  $A_{sh}$  = a homok, a kőzetliszt és az agyag fajlagos geofizikai hatásai.

A permeábilis izotrop homokkövek gyakorlati karottázsszelvény-értékelését az előzőekben bemutatott (1), (3), (5), (8), (9), (11), (13), (14) formulák felhasználásával végezzük. Ezek alkalmasak arra, hogy figyelembe vegyük mindazokat a hatásokat, amelyek a homokkövek karottázis-paramétereit számottevően befolyásolják.

*A permeábilis, izotrop homokkövek karottázis-paramétereinek interpretációs eljárásai*

A homokkőtárolók karottázis-értékelésének gyakorlatában az 1. ábrán bemutatott térfogati modell használatakor a következő mennyiségek meghatározása szükséges:

$sd$	a homokfrakció térfogata;
$si(1 - \Phi_{si})$	a kőzetliszt térfogata;
$sh$	az agyag térfogata;
$\Phi$	effektív porozitás;
$S_w$	víztelítettség (az effektív pórustérben);
$S_o$	olajtelítettség;
$S_g$	gázelítettség.

A felsorolt mennyiségek meghatározása nyolcismeretlenes egyenletrendszer megoldását jelenti. Az ismeretlenek száma azonban csökken, mivel a kő-

zetliszt  $\Phi_{si}$  átlagos porozitása egy adott földtani szerkezetben állandónak tekinthető, és kőzetminták laboratóriumi vizsgálata alapján meghatározható; továbbá rendelkezésre áll két anyagmérleg-egyenlet:

$$\left. \begin{aligned} \Phi + sd + si(1 - \Phi_{si}) + sh &\equiv 1 \\ S_w + S_o + S_g &\equiv 1 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

A mondottak értelmében általános három fázisú homokkötő esetében öt ismeretlenes egyenletrendszer kell megoldani; az ismeretlenek a következők:

$$si(1 - \Phi_{si}), sh, \Phi, S_w, S_g.$$

Az öt ismeretlen meghatározásához a magyar karottázás-szolgálat jelenlegi gyakorlatában legfeljebb 7 karottázás-paraméter áll rendelkezésre:  $R_t, R_{x_0}, \alpha, I, \Phi_n, \Delta t, \rho_b$ ; ezeket a (3), (5), (13) és (14) formulák alapján a következőképpen írjuk le:

A homokkő ellenállása:

$$R_t = R_w \cdot \frac{1}{\Phi^m} \cdot \frac{1}{1+C} \left[ \frac{1+C}{S_u+C} \right]^n \quad (16)$$

A kiöblített zóna ellenállása:

$$R_{x_0} = \bar{R} \cdot \frac{1}{\Phi^m} \cdot \frac{1}{1+C} \left[ \frac{1+C}{S_{x_0}+C} \right]^n, \quad (17)$$

ahol:  $\bar{R}$  = az iszapfiltrátum által kiöblített zóna keverékvizének fajlagos elektromos ellenállása;

$S_{x_0}$  = a kiöblített zóna víztelítettsége.

A PS-csökkenési tényező:

$$\alpha = \frac{1}{\left[ 1 + \frac{sh}{\Phi} \cdot \frac{\bar{R}}{R_{sh}} \cdot \frac{1}{S_{x_0}} \right]^2} \quad (18)$$

A természetes gamma-aktivitás:

$$J_\gamma = si(1 - \Phi_{si}) J_{\gamma, si} + sh \cdot J_{\gamma, sh} + sd \cdot J_{\gamma, sd} \quad (19)$$

A neutron-porozitás:

$$\begin{aligned} \Phi_n = si(1 - \Phi_{si}) HI_{si} + sh \cdot HI_{sh} + sd \cdot HI_{sd} + \\ + \Phi(S_w \cdot HI_w + S_o \cdot HI_o + S_g \cdot HI_g), \end{aligned} \quad (20)$$

ahol:  $HI$  = az indexszel jelölt anyagok – édesvízre vonatkoztatott – hidrogénatom-koncentrációja.

A longitudinális szónikus hullámok terjedési ideje

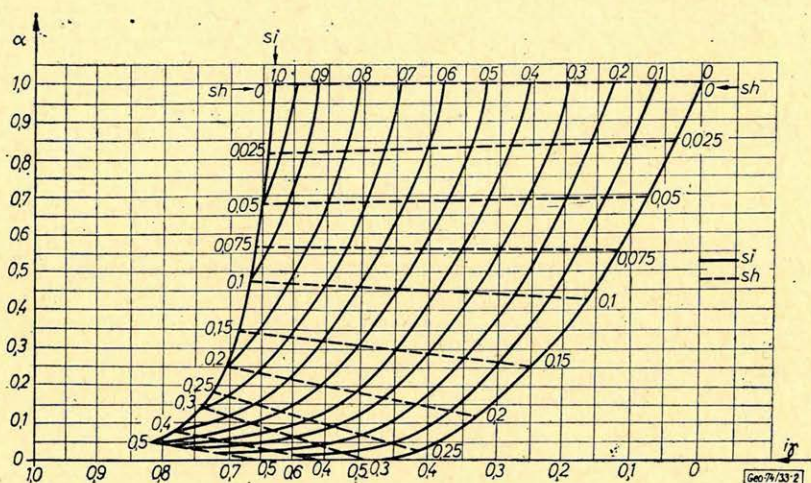
$$\Delta t = si(1 - \Phi_{si}) \Delta t_{si} + sh \cdot \Delta t_{sh} + sd \Delta t_{sd} + \Phi \cdot \Delta t_f \quad (21)$$

A kőzet térfogatsűrűsége:

$$\rho_b = si(1 - \Phi_{si}) \rho_{si} + sh \cdot \rho_{sh} + sd \cdot \rho_{sd} + \Phi \cdot \rho_f \quad (22)$$

Ha a (16)–(22) alatt leírt karottázs-paramétereket a kútszelvényezés során megmérték, akkor az 5 ismeretlen meghatározható a (16)–(22) egyenletrendszer megoldása útján.

A magyar olajbányászat jelenlegi karottázs-gyakorlatában a (22) kőzet-sűrűséget ritkán mérik (gamma-gamma szelvényezéssel), továbbá a termelő mezőket feltáró fúrásokban rendszerint nem mérik a (21) szónikus  $\Delta t$  hullámterjedési időt, valamint a (17)  $R_{x0}$  meghatározására szolgáló mikrolaterolog görbét, ezért a gyakorlati esetek egy részében, különösen a termelőmezők feltáró fúrásaiban csak 4 karottázs-paraméter ( $R_t$ ,  $\alpha$ ,  $I\gamma$  és  $\Phi_n$ ) áll rendelkezésre az 5 ismeretlen meghatározásához; ilyenkor a feladat csak bizonyos segédfeltevés bevonásával végezhető el, például feltételezzük azt, hogy a  $\Phi$  effektív porozitás lineáris kapcsolatban van a szilárd mátrix homok-, kőzetliszt- és agyagtartalmával. Ilyen feltevésrel élve a karottázs-értékelések pontossága természetesen romlik.



2. ábra – Puc. 2 – Fig. 2

A szilárd mátrix litológiai összetételét a természetes gamma- és a PS-szelvények kombinatív értékelése alapján határozzuk meg a 2. ábrán bemutatott diagram segítségével. Az abszcisszán az  $I\gamma$  radioaktivitást ábrázoljuk relatív ( $i_\gamma$ ) egységekben, az ordinátán pedig az  $\alpha$  PS-csökkenési tényezőt visszük fel. Az ábrán kétparaméteres görbesereg látható; folyamatos vonallal az  $si$  kőzetliszt-tartalom, szaggatott vonallal az  $sh$  agyagtartalom konstans értékű görbéit ábrázoltuk. Az ábrán a jobb felső sarokpont a tiszta kifejlődésű homokkővet reprezentálja. Az ábrán jobbról balra haladva növekszik a kőzetliszt-tartalom, felülről lefelé haladva pedig nő az agyag mennyisége, tehát az ábrán az abszcissza-tengely felé közeledve (és hasonlóan haladva az ordináta tengely felé) egyre rosszabb tárolókőzetek helyezkednek el.

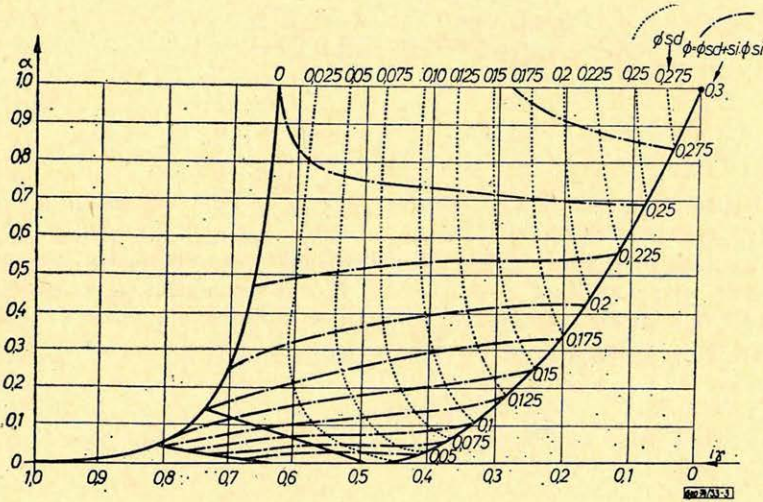
Az effektív porozitást a litológiai összetétel és a magokon mért porozitás-adatok korrelációs analízise alapján határozzuk meg abban az esetben, ha nem mértek  $\Delta t$ -,  $R_{x0}$  - vagy  $\rho_b$  - „porozitáskövető” szelvényeket. Erre az ad fizikai alapot, hogy az 1. ábrán bemutatott modellben a  $\Phi$  effektív porozitás a (8)

egyenlet értelmében a  $si \cdot \Phi_{si}$  mikroeffektív és a  $\Phi_{sd}$  makroeffektív komponensekből tevődik össze. Mivel a tapasztalatok szerint egy geológiai képződményben  $\Phi_{si}$  állandó, ezért a mikroeffektív-porozitás-komponens a  $si$  kőzetlisztartalommal arányos. Ugyanakkor kőzetmintákon végzett laboratóriumi vizsgálataink szerint a  $\Phi_{sd}$  makroeffektív-porozitás-komponens az  $sd$  homokfrakcióval együtt nő, az alábbi egyenletnek megfelelően:

$$\Phi_{sd} = \frac{\Phi_{sd, \max} - sh}{1 - \Phi_{sd, \max}} \cdot sd, \quad (23)$$

ahol:  $\Phi_{sd, \max}$  = a tiszta homokkövek (amelyre nézve  $si = 0$  és  $sh = 0$ ) effektív porozitásának reprezentatív értéke az adott geológiai képződményben.

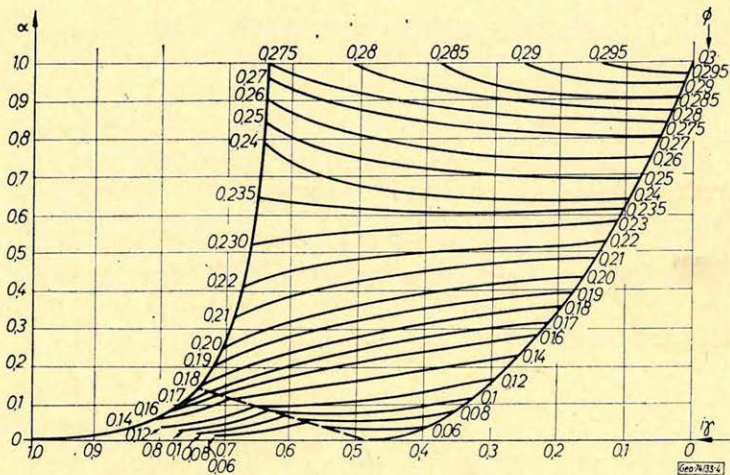
A fentiek értelmében a  $\Phi$  effektív-porozitás elméleti görbéi megszerkeszthetők a (8) és a (23) egyenletek segítségével a homokkő litológiai összetételének függvényében. A litológiai összetételt – szokás szerint – ismét az  $I\gamma$  és az  $\alpha$  karottázs-paraméterekkel írva le, a  $\Phi$  effektív-porozitás elméleti görbéit a 3. ábrán mutatjuk be egy olyan geológiai képződményben, amelyben  $\Phi_{sd \max} = 30\%$  és  $\Phi_{si} = 25\%$ . A 3. ábrán a konstans  $\Phi$  értékkel jellemzett görbék mellett feltüntettük a  $\Phi_{sd}$  konstans értékeihez tartozó vonalakat is (az utóbbiakat szaggatott vonallal jelölve).



3. ábra – Puc. 3 – Fig. 3

A 3. ábrán bemutatott  $\Phi$  görbéket elméleti alapon szerkesztettük. A gyakorlati interpretációs munkához ezt az elméleti görbesereget pontosabbá kell tenni. Ennek érdekében korreláció-analízist végzünk fúrt magokon mért laboratóriumi porozitásértékek ( $\Phi_{lab}$ ) és a természetes gamma-szelvények és a  $PS$ -szelvények indikációi között. A korreláció-analízist a matematikai-statisztika megfelelő módszereivel végezzük el. Egy ilyen korrelációs analízis eredményét láthatjuk a 4. ábrán, az algyői Maros-gáztelepek homokköveire vonatkozóan. Látható, hogy a diagramban felülről lefelé haladva az effektív porozitás roha-

mosan csökken. Az ábra alján a szaggatott vonal alatti sávban a homokkő  $\Phi_{sd}$  makroeffektív pórusteret már teljesen kitöltötte a diszperz agyag, és effektív pórusteret csak a kőzetlisztszemcsék között találunk ( $\Phi_{sd} = 0, \Phi = si \Phi_{si}$ ). A porozitásnak a litológiai összetételből történő becslése természetesen csak viszonylag nagyobb szórással teszi lehetővé a porozitás-értékelést, mivel másodrendű és harmadrendű változók (például a cementáció mértéke, a szemcse-egyenletlenségi tényező nagysága) is befolyásolják az effektív porozitás nagyságát.



4. ábra - Puc. 4 - Fig. 4

A porozitás pontosabb értékeléséhez előnyben kell részesíteni a „porozításkövető” karottázs-szelvényeket.

A porozitást meg lehet határozni porozításkövető ellenállás-szelvényekből, így a teljesen vízzel telített homokkővek  $R_0$  ellenállásából és – produktív rétegek esetén – a kiöblített zóna  $R_{x_0}$  ellenállásából; így eljárva az értékelés eredményeként  $\Phi_{R,C}$  korrigált „elektromos porozitást” kapunk:

$$\Phi_{R,C} = \left( \frac{R_w}{R_0} \right)^{\frac{1}{m}} \cdot \frac{1}{(1+C)^{1/m}} \quad (24)$$

$$\Phi_{R,C} = \left( \frac{\bar{R}}{R_{x_0}} \right)^{\frac{1}{m}} \frac{1}{(1+C)^{1/m}} \left[ \frac{1+C}{S_{x_0}+C} \right]^{\frac{n}{m}} \quad (25)$$

A szónikus  $\Delta t$  paraméterből a  $\Phi_{S,C}$  korrigált szónikus porozitást kapjuk:

$$\Phi_{S,C} = \frac{\Delta t - \Delta t_{sd}}{\Delta t_f - \Delta t_{sd}} - sh \frac{\Delta t_{sh} - \Delta t_{sd}}{\Delta t_f - \Delta t_{sd}} - si (1 - \Phi_{si}) \frac{\Delta t_{si} - \Delta t_{sd}}{\Delta t_f - \Delta t_{sd}}, \quad (26)$$

vagy röviden írva

$$\Phi_{S,C} = \Phi_S - sh \cdot C_{sh} - si (1 - \Phi_{si}) C_{si}. \quad (27)$$

A (24) és a (25) képletekből látható, hogy az elektromos porozitás meghatározásakor a  $C$  litológiai ható segítségével korrekciót végzünk a kőzetliszt és az agyag hatására;  $C$  értéke a tároló kőzetekben  $0,05$  és  $1,0$  között változik.

A szónikus porozitás (26) és (27) képleteiben szintén korrekciót alkalmazunk a litológiai hatások kiküszöbölésére.

A (27) egyenletben szereplő specifikus korrekciós koeficiensnek a következő értékeket vesszük fel a magyar neogén homokkövekben:

$$\left. \begin{aligned} C_{sh} &= 0,3 - 0,4 \\ C_{si} &= 0,075 - 0,1 \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Fontos feladat a  $\Phi_{s,c}$  szónikus porozitás értékelésekor az  $sd$  homokfrakció specifikus  $\Delta t_{sd}$  hullámterjedési idejének meghatározása. Ehhez a  $\Phi_R$  elektromos porozítások és a  $\Delta t$  szónikus hullámterjedési időértékek korrelációját használjuk fel, grafikus szerkesztés segítségével. A vizsgált fúrólyukban kiválasztunk olyan víztároló homokközönákat, amelyek agyag- és kőzetliszt-tartalma viszonylag kicsi, tehát amelyeknél a  $C$  litológiai ható elhanyagolható  $1,0$  mellett a (24) képletben; e zónákban  $(R_w/R_0)^{1/m}$  adja meg az elektromos porozitást, és ezt vesszük fel a korrelációs diagram ordinátájára, az abszcisszán feltüntetett  $\Delta t$  hullámterjedési idő függvényében. A vizsgált zónák pontjain és a  $P_f$  folyadékponton át regressziós egyenest szerkesztünk, amely a  $\Phi_R$  elektromos porozitás  $0$  értékű helyén az abszcisszatengelyből kimetszi a homok specifikus  $\Delta t_{sd}$  hullámterjedési idejét. Megjegyezzük, hogy a  $P_l$  folyadékpont koordinátái:

$$\begin{aligned} \Delta t &= \Delta t_f \\ \Phi_R &= 1,0. \end{aligned}$$

A kőzetek mikrostruktúrájába való mélyebb behatolás, a bonyolultabb fizikai-matematikai modellek alapján történő gondolkodás lehetővé teszi azt, hogy olyan újabb rétegfizikai jellemzőket is meghatározzunk a karottázs-paraméterekből, amelyekkel a korábbi, egyszerűbb modellek felhasználásával nem lehetett foglalkozni.

Új elméletünkben a  $C$  litológiai ható a fajlagos szemcsefelülettel áll kapcsolatban, mivel a szilárd szemcséket burkoló diffúz ionburkok hatását írja le. Így elméletünk segítségével vállalkozni lehet olyan rétegfizikai jellemzők meghatározására, amik a fajlagos szemcsefelülettel állnak belső kapcsolatban. Ilyen mennyiségek az abszolút permeabilitás, a redukálhatatlan víztelítettség és természetesen maga a fajlagos szemcsefelület.

A fajlagos szemcsefelület és a  $C$  litológiai ható közötti kapcsolat – a (2) és a (11) kifejezések fizikai tartalmának elemzése alapján – az alábbi egyenlettel írható le:

$$\begin{aligned} & \frac{sh \cdot \varepsilon_{sh} \cdot \frac{1}{r_{sh}} + si (1 - \Phi_{si}) \varepsilon_{si} \frac{1}{r_{si}} + sd \cdot \varepsilon_{sd} \cdot \frac{1}{r_{sd}}}{\Phi \cdot \frac{1}{R_w}} = \\ & = S_{p,sh} \cdot \overline{\Delta r_{c,sh}} \Big/ \frac{r_{sh}}{R_w} + S_{p,si} \cdot \overline{\Delta r_{c,si}} \Big/ \frac{r_{si}}{R_w} + S_{p,sd} \cdot \overline{\Delta r_{c,sd}} \Big/ \frac{r_{sd}}{R_w} = \\ & = S_p \cdot \overline{\Delta r_c} \Big/ \frac{r_s}{R_w} = C, \end{aligned} \quad (29)$$

ahol:

$\varepsilon_{sh}, \varepsilon_{si}, \varepsilon_{sd}$  = az agyag-, a kőzetliszt- és a homokszemcsék adszorpciós hidrátburkainak relatív térfogatai;

$\frac{1}{r_{sh}}, \frac{1}{r_{si}}, \frac{1}{r_{sd}}$  = az agyag-, a kőzetliszt- és a homokszemcsék hidrátburkainak fajlagos elektromos vezetőképességei;

$S_{p, sh}, S_{p, si}, S_{p, sd}$  = az agyag-, a kőzetliszt és a homok fajlagos szemcséfelületei, a  $\Phi$  effektív pórustérre vonatkoztatva;

$\overline{\Delta r_{c, sh}}, \overline{\Delta r_{c, si}}, \overline{\Delta r_{c, sd}}$  = az agyag-, a kőzetliszt- és a homokszemcsék adszorpciós hidrátburkainak átlagos vastagságai;

$S_p$  = a homokkő fajlagos szemcséfelülete a  $\Phi$  effektív pórustérre vonatkoztatva;

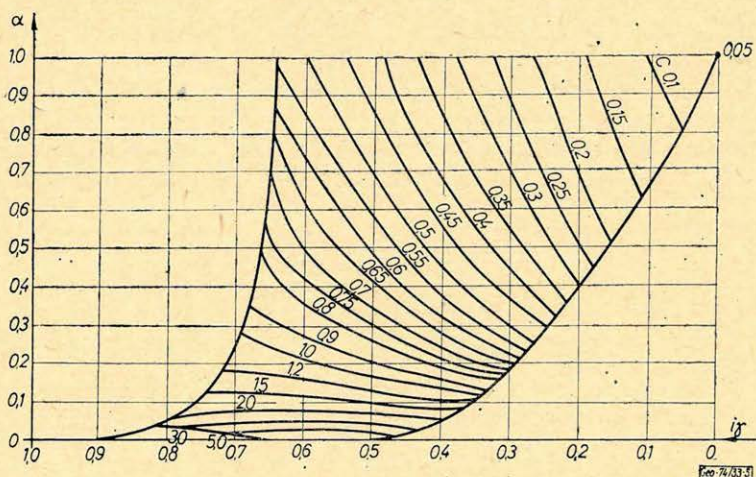
$\overline{\Delta r_c}$  = a kőzetszemcsék hidrátburkainak átlagos vastagsága;

$\frac{1}{r_s}$  = a kőzetszemcsék hidrátburkainak átlagos fajlagos elektromos vezetőképessége.

A fenti egyenletből  $S_p$  így fejezhető ki  $C$  függvényében:

$$S_p = C \cdot \frac{\overline{r_s}}{\overline{R_w} \overline{\Delta r_c}} = C \cdot u. \quad (30)$$

A (30) összefüggés alapján megállapítható, hogy az  $S_p$  fajlagos szemcséfelület együtt növekszik a  $C$  litológiai hatóval, így  $S_p$  meghatározható a  $C$  karottázis-paraméterből. Ehhez mindössze a (30) egyenlet jobb oldalán a  $C$  litológiai ható ( $\omega$ ) koefficiensét kell meghatározni empirikus úton, pl. fúrt magokon mért  $S_p$  fajlagos szemcséfelület-értékek és az ugyancsak a magokon mért  $C$  litológiai ható-értékek közötti korreláció-analízis alapján.



5. ábra – Puc. 5 – Fig. 5

Az 5. ábrán bemutatjuk a  $C$  litológiai ható változását a litológiai összetétel függvényében, a Maros gáztároló homokkőre vonatkozóan. A litológiai összetélt ismét az  $i$ , és  $\alpha$  karottázs-paraméterek kombinációja alapján vesszük figyelembe. A (30) képlet alapján arra a következtetésre lehet jutni, hogy a Maros homokkővek  $S_p$  fajlagos szemcsefelülete az 5. ábrán látható trendnek megfelelően növekszik a litológiai összetétel romlásával, vagyis a kőzetliszt- és az agyag-komponensek növekedésével.

A homokkővek abszolút permeabilitása ( $k$ ) a Kozeny-Carman egyenleten keresztül kapcsolatban van a fajlagos szemcsefelülettel:

$$k = \frac{\Phi}{t_K \cdot S_p^2}, \quad (31)$$

ahol:  $t_K$  a Kozeny-tényező; értéke

$$t_K = t_0 \cdot T, \quad (32)$$

$t_0$  az ún. alaktényező, amelynek értéke a homokkővekben Carman mérései szerint átlagosan

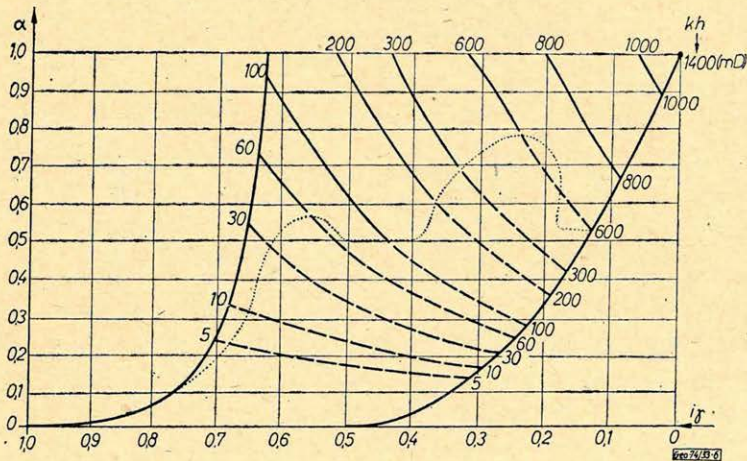
$$t_0 \cong 2,5, \quad (33)$$

$T$  pedig a porüstér tortuozitása:

$$T = \left( \frac{l_e}{l} \right)^2. \quad (34)$$

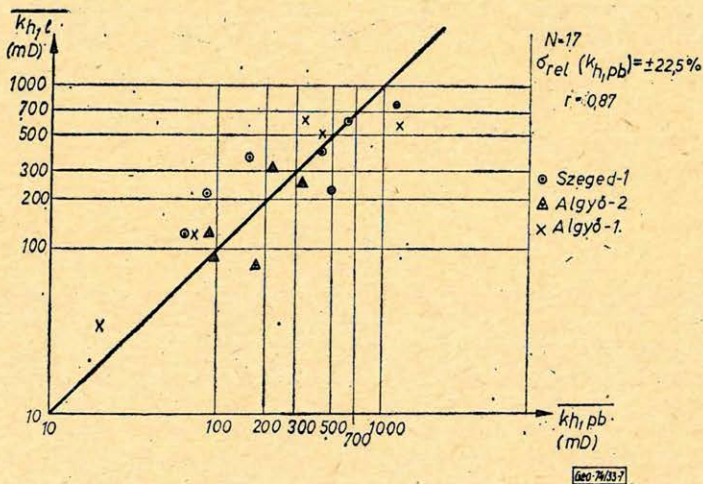
A (30) alapján bevezetve a  $C$  litológiai hatót  $S_p$  helyére a (31) egyenletben, az abszolút permeabilitás és a litológiai ható közötti kapcsolatra az alábbi kifejezést kapjuk:

$$K = \frac{\Phi}{t_0 \cdot T \frac{\left( \frac{r_s}{R_w} \right)^2}{\Delta r_c^2} \cdot C^2}. \quad (35)$$



6. ábra - Puc. 6 - Fig. 6

A (35) egyenlet lehetőséget ad arra, hogy meghatározzuk a  $k$  abszolút permeabilitást a karottázs-értékelésből kapott  $\Phi$  effektív porozitásból és  $C$  litológiai hatóból. Mivel e két utóbbi mennyiség alapvetően függ a homokkövek litológiai összetételétől, ezért a (35) egyenleten keresztül a  $k$  korrelációs kapcsolatba hozható a litológiai kifejlődést tükröző természetes gamma-aktivitással és az  $\alpha$  PS-csökkenési tényezővel. A kapcsolat elméleti trendjét meghatározza a (35) egyenlet, konkrét numerikus formáját pedig például magokon mért abszolút permeabilitások és az  $i$ , és  $\alpha$  karottázs-paraméterek közötti korrelációs vizsgálat segítségével határozhatjuk meg; erre látunk példát a 6. ábrán az algyői Maros-gáztelepek homokköveire vonatkozóan. Látható, hogy míg a tiszta homokkövek permeabilitása 1000 mD nagyságrendű, addig a kőzetliszt-tartalom és az agyagtartalom növekedésével a permeabilitás rohamosan csökken. Az ábrán pontozással jelölt görbe alatti területsávban nem álltak rendelkezésünkre kőzetmintákon mért permeabilitásadatok, ezért a korrelációs kapcsolatot e területsávban a (35) elméleti függvény alapján extrapolálással határoztuk meg. Az ismertetett eljárással a karottázs-szelvényekből meghatározott  $\overline{k_{h,l}}$  átlagos horizontális permeabilitások igen jó összhangban vannak a kutakban hidraulikai vizsgálatok segítségével, a nyomásemelkedés görbéiből mért meghatározott  $\overline{k_{h,pb}}$  átlagos hidraulikai permeabilitásokkal. Erre látunk gyakorlati példát a 7. ábrán 3 algyői olajtermelő telep 17 hidraulikai vizsgálatára alapján. Az ábrából látható, hogy a karottázs-kiértékelés segítségével meghatározott permeabilitások csak a gyakorlati követelmények szempontjából megengedett mértéken belül térnek el a hidraulikai vizsgálatok segítségével nyert permeabilitásoktól.



7. ábra - Puc. 7 - Fig. 7

A  $T$  tortuozitás fontos szerepet tölt be a hidraulikai egyenletekben, ezért ezt a mennyiséget is meghatároztuk új elméletünkben, és az alábbi kifejezéseket kaptuk:

$$T = \left(\frac{l_e}{l}\right)^2 = F_{\text{mért}} \cdot \Phi (1 + C), \quad (36)$$

ahol:  $F_{\text{mért}}$  = a mérés útján meghatározott formációfaktor.

$T$ -re olyan kifejezést is kaptunk, amelyben csak a  $\Phi$  porozitás szerepel:

$$T = \frac{1}{\Phi^{(m-1)}}. \quad (37)$$

A vízzel telített homokkő  $R_0$  fajlagos elektromos ellenállását leírtuk a  $T$  tortuozitás segítségével:

$$R_0 = R_w \cdot \frac{1}{\Phi} \cdot T \cdot \frac{1}{1+C}. \quad (38)$$

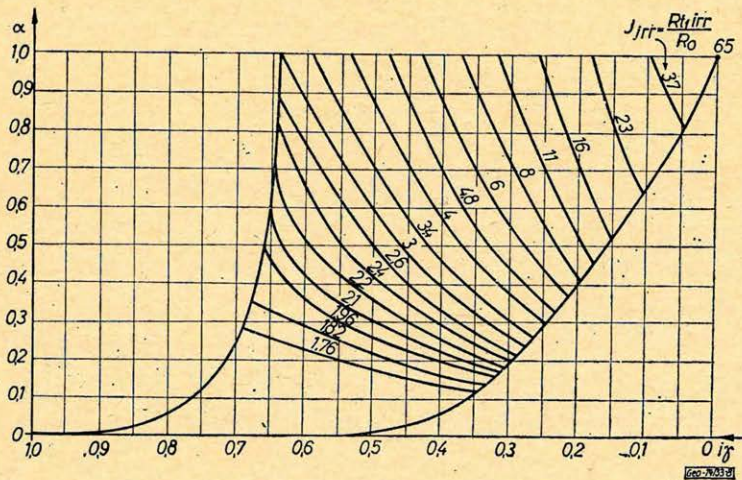
Fel kell hívni a figyelmet arra, hogy az elektromos ellenállásméréssel meghatározott tortuozitás a homokkövekben rendszerint nagyobb, mint a hidraulikai méréssel kapott érték, mivel az elektromos töltéstranszportban részt vevő ionok olyan – általában tekervényesebb – utakon is tudnak közlekedni, amelyek mentén folyadékmolekulák áramlása nem valósulhat meg, vagyis

$$T_{\text{elektromos}} \geq T_{\text{hidraulikai}}. \quad (39)$$

A fenti összefüggésről nem szabad megfeledkezni a hidraulikai egyenletek alkalmazásakor, ha a bennük szereplő tortuozitást elektromos méréssel határoztuk meg.

A vízszaturáció meghatározásakor a szénhidrogének jelenlétét a homokkő fajlagos elektromos ellenállásának megnövekedése jelzi. Új elméletünkben a produktív homokkövek  $I$  ellenállás-növekedési indexét a (16) egyenlet jobb oldalának utolsó tényezője írja le:

$$I = \left( \frac{1+C}{S_w+C} \right)^n. \quad (40)$$



8. ábra – Puc. 8 – Fig. 8

A képlet alapján látható, hogy a  $C$  litológiai ható értékének növekedésével az  $I$  csökkenése várható. Ezt igazolja a 8. ábra, amelyen az algyői Maros-gáztelepek produktív zónáira vonatkozóan láthatjuk az ellenállás-növekedési index és a

litológiai összetétel közötti kapcsolatot. A diagramból kitűnik, hogy míg a tiszta homokkövekben  $I$  értéke átlagosan 65, addig ez az érték rohamosan csökken a kőzetliszt- és az agyagtartalom növekedésével olyan mértékben, hogy a rossz kifejlődésű tárolókőzetekben  $I$  értéke 2-nél kisebb. Látható, hogy milyen nehéz kimutatni a produktív szénhidrogének jelenlétét a nagy kőzetliszt (és agyag-) tartalmú homokkövekben.

Új elméletünkben a víztelítettséget a következő képlet segítségével határozzuk meg:

$$S_w = \left( \frac{R_0}{R_t} \right)^{1/n} - C \left[ 1 - \left( \frac{R_0}{R_t} \right)^{1/n} \right], \quad (41)$$

ami röviden így írható:

$$S_w = S_{wa} - C(1 - S_{wa}), \quad (42)$$

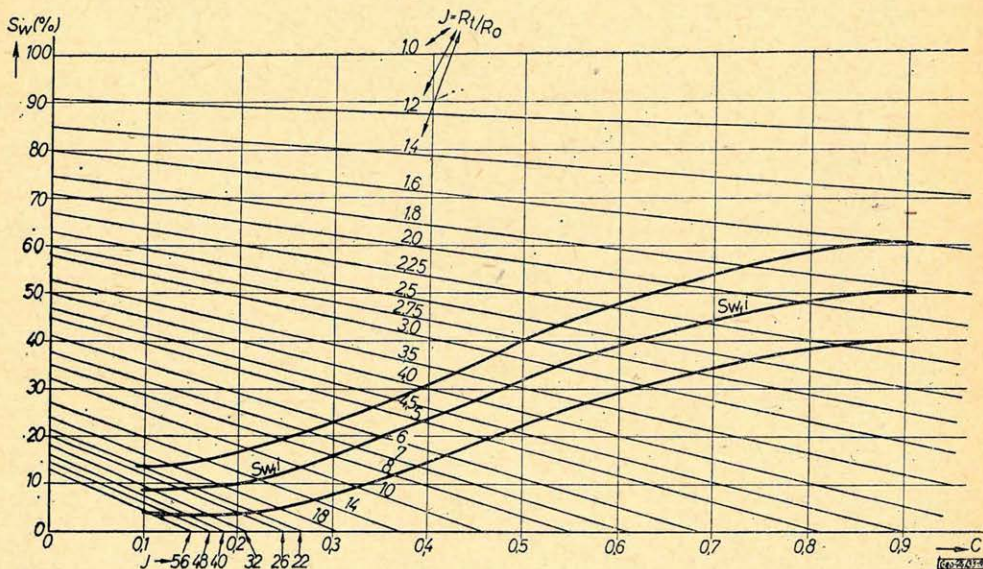
ahol:

$S_{wa}$  = a „látszólagos” vízsaturáció; az eredeti Archie-képlet alapján

$$S_{wa} = \left( \frac{R_0}{R_t} \right)^{1/n}. \quad (43)$$

Látható a fenti képletből, hogy a (41) egyenlet jobb oldalán a második tag korrekciót végez a vízsaturáció „látszólagos” értékén a homokkő kőzetliszt- és agyagtartalmának hatása ellen.

Az  $S_w$  víztelíttség önmagában még nem árulja el azt, hogy a homokkő tartalmaz-e mozgékony vizet, mivel a redukálhatatlan víztelíttség nagysága jelentősen függ a homokkő litológiai kifejlődésétől: a kőzetliszt- és az agyagtartalom növekedésével az  $S_{wi}$  redukálhatatlan víztelíttség növekszik. Ezt



9. ábra - Puc. 9 - Fig. 9

az összefüggést láthatjuk a 9. ábrán az algyői Maros-gáztelepek produktív zónáira vonatkozóan. Az ábra ordinátáján a karottázs-értékelés alapján kapott  $S_{wi}$  értéket ábrázoltuk a  $C$  litológiai ható függvényében. A tiszta homokkövekben  $S_{wi}$  átlagosan 8%, és ez az érték monoton növekszik kb. 50%-ig a  $C$  litológiai ható növekedésével. A 9. ábrán egyenes vonalakkól álló görbeseregeket is látunk, amelyeknek paramétere az  $I$  ellenállás-növekedési index. Ez az ábra tulajdonképpen grafikus megoldást nyújt a (41) egyenlet alapján az  $S_w$  vízszaturáció meghatározására: az abszcisszán belépve a  $C$  litológiai ható értékével és az ordináta vonal mentén felmenve az  $I$  aktuális értékének megfelelő ferde egyenes vonalig, majd a kapott metszéspontból vízszintes abszcissza vonal mentén elmenve az  $S_w$  tengelyig leolvashatjuk a vizsgált zóna jellemző víztelítettségi értékét.

A homokkövek redukálhatatlan víztelítettsége kapcsolatba hozható a  $C$  litológiai hatóval, mivel utóbbi – (30) szerint – együtt növekszik az  $S_p$  fajlagos szemcsefelülettel, ami viszont közismerten elsőrendűen determinálja a redukálhatatlan víztelítettséget:

$$S_{wi} = B_1 \cdot S_p + B_2, \quad (44)$$

ahol:  $B_1$  és  $B_2 =$  függvénykonstansok.

Behelyettesítve a (30) összefüggést a (44) egyenletbe, a redukálhatatlan víztelítettség és a litológiai ható között a következő összefüggést kapjuk:

$$S_{wi} = B_1 \frac{\frac{\bar{r}_s}{R_w}}{\Delta r_c} \cdot C + B_2. \quad (45)$$

(45) szerint  $S_{wi}$  együtt nő  $C$ -vel, és ez jut kifejezésre a 9. ábrán bemutatott empirikus korrelációs kapcsolatban.

A redukálhatatlan víztelítettséget a (44) egyenleten keresztül kapcsolatba hozhatjuk a porozitással és az abszolút permeabilitással. Ehhez a (31) Kozeny–Carman-egyenletből kifejezzük a fajlagos szemcsefelületet, és a tortuozitást (37) szerint vesszük figyelembe:

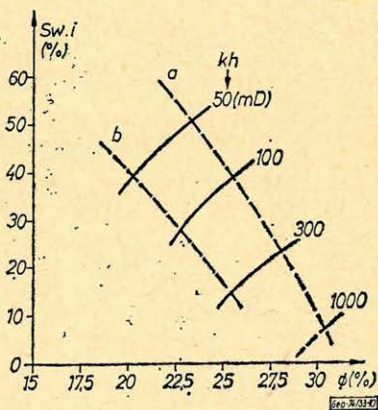
$$S_p = \left( \frac{\Phi^m}{t_0 \cdot k} \right)^{1/2}. \quad (46)$$

A (46) összefüggést bevezetve a (44) képletbe:

$$S_{wi} = B_1 \cdot \left( \frac{\Phi^m}{t_0 \cdot k} \right)^{1/2} + B_2. \quad (47)$$

A (47) összefüggés kapcsolatot teremt  $S_{wi}$ ,  $\Phi$  és  $k$  között.

E kapcsolat azt mutatja, hogy adott porozitás mellett  $S_{wi}$  értéke  $k$  növekedésével  $1/\sqrt{k}$  szerint csökken, továbbá, hogy adott permeabilitás mellett  $S_{wi}$  értéke  $\Phi$  növekedésével  $\Phi^{m/2}$  szerint növekszik. Ezt az összefüggést alátámasztja a 10. ábrán bemutatott empirikus korrelációs anyag, amit az algyői Maros-



10. ábra – Puc. 10 – Fig. 10



határozott víztelítettségek hogyan változnak az olaj – víz határról felfelé haladva, és hogy a víztelítettség változása miként függ a homokkővek permeabilitásától. A 11. ábra görbéin látható, hogy az olaj – víz kontaktus-felületől felfelé haladva az  $S_w$  víztelítettség folyamatosan csökken és egy aszimptotikus érték felé tart, ami az  $S_{wi}$  redukálhatatlan víztelítettségnek felel meg. Az ábrából is látható, hogy egy adott mélységi helyen a víztelítettség annál nagyobb, minél kisebb a homokkő permeabilitása. Úgy véljük, hogy a 11. ábra görbéi, amiket többszáz karottázs-kiértékelés alapján szerkesztettünk, víztelítettség-értékeink helyességét mutatják.

*Az impermeábilis márgacsíkok hatása a karottázs-paraméterekre az anizotrop, „szendvics”-típusú homokkővekben*

Magyarországon a szénhidrogéntároló neogén homokkővekben nagy mennyiségben jelen levő impermeábilis márgacsíkok sok problémát okoznak a karottázs-kiértékelési munkák során, különösen a víztelítettség értékelésekor. Ennek alapvető oka abban jelölhető meg, hogy a márgacsíkok elektromos vezetése jelentős nagyságú a permeábilis homokkővek elektromos vezetéséhez képest még akkor is, ha a márgacsíkok viszonylag kis relatív mennyiségben vannak jelen. A nagy elektromos vezetést az okozza, hogy a márgacsíkok  $R_{imp}$  fajlagos elektromos ellenállása  $2-5\text{ ohmm}$ , ami igen alacsony még a vizes homokkővek elektromos ellenállásához képest is; utóbbi ( $R_{o,s}$ )  $6-12\text{ ohmm}$  között változik. Ez az arány még inkább eltolódik a szénhidrogéntároló homokkővek esetén. A márgacsíkok nagy fajlagos elektromos vezetőképessége általánosan jellemző Magyarországon és a környező országokban a fiatal korú neogén homokkő-márga képződményekre, mivel itt a kőzetek meglehetősen lazák, a konszolidáció szintje alacsony, és ugyanekkor a rétegvizek sótartalma szintén alacsony.

Az anizotrop, szendvics-típusú homokkővek karottázs-paramétereinek leírására a 12. ábrán látható kőzetmodellt alkalmazzuk. Ebben  $p$  jelenti az impermeábilis képződmény relatív térfogatát,  $(1-p)$  pedig a permeábilis homokkővek térfogatát írja le. Az  $(1-p)$  térfogatú homokkő-komponenst e modellben is felbontjuk  $sd$  homok,  $sh$  agyag és  $si(1-\Phi_{si})$  kőzetliszt komponensekre. A szendvics-homokkő összetételét az alábbi térfogati anyagmérleg írja le:

$$p + (1-p) \cdot [sd + sh + si(1-\Phi_{si}) + \Phi] \equiv 1, \quad (48)$$

ahol a szögletes zárójelen belüli mennyiség most is  $1,0$ -val egyenlő, miként azt korábban már láttuk a (15) egyenlettel kapcsolatban.

A szendvics-homokkővek ellenállásszelvényezése terén a fő problémát az okozza, hogy a jelenleg használatos ellenállásszelvényező módszerek a rétegzettséggel párhuzamos  $R_L$  longitudinális ellenállást mérik, amit igen nagy mértékben lecsökkentenek a jól vezető márgacsíkok akkor, ha a rétegződés síkja közel merőleges a fúróluk tengelyére.

*A longitudinális ellenállás az alábbi képlettel írható le:*

$$\frac{1}{R_L} = \frac{p}{R_{imp}} + \frac{(1-p)}{R_s}, \quad (49)$$

ahol:  $R_s$  = a permeábilis homokkő fajlagos elektromos ellenállása, amit a szendvics-homokkővekben is a (3) képlettel írunk le.

A szendvics-homokkövek  $\alpha$  PS-csökkenési tényezőjére az alábbi képletet vezettük le:

$$\alpha = \alpha_s - (\alpha_s - \alpha_{imp}) \cdot p, \quad (50)$$

ahol:  $\alpha_s$  = a permeábilis homokkő PS-csökkenési tényezője, amit korábban már leírtunk az (5) képlettel,

$\alpha_{imp}$  = a szendvics-homokkőbe betelepült impermeábilis márgacsíkok PS-csökkenési tényezője; ennek értéke közel áll a  $\theta$ -hoz, és mindig kisebb  $\theta, 2$ -nél a tapasztalatok szerint; értékét a szomszédos márgarétegekből vesszük.

A (49) és (50) képletekkel kapcsolatban néhány szót kell szólni az impermeábilis márgacsíkok összetételéről és mélyfúrású geofizikai jellemzőiről. Egy korábbi fejezetben, a magyar neogén homokkövek kőzettani kifejlődésével kapcsolatban már említettük, hogy a szendvics-homokkövekbe betelepült impermeábilis csíkok tulajdonképpen agyagásványok, kőzetliszt és karbonátok különböző arányú keverékéből képződnek. A 2. ábrán bemutatott litológiai diagramon ezek az impermeábilis képződmények az  $\alpha=0,2$  értékhez tartozó abszcissza vonal alatt helyezkednek el, rendszerint közel az  $\alpha=0$  tengelyhez.

Az impermeábilis márgacsíkok geofizikai jellemzői természetesen függenek a kőzettani összetételtől és annak változásával a karottázs-paraméterek jelentős változásokat mutatnak. Így például az  $R_{imp}$  fajlagos ellenállás csökken az agyagásványok mennyiségének növekedésével, ugyanakkor  $R_{imp}$  növekszik a karbonátok mennyiségének növekedésével. Megjegyezzük, hogy 2. ábra litológiai diagramján az impermeábilis márgapont helye az  $I_7$  skálán a nagyobb értékek felé tolódik az agyagásványok mennyiségének növekedésével.

A szendvics-homokkövek  $I_7$  radioaktivitása,  $\Phi_n$  neutron-porozitása,  $\Delta t$  szónikus hullámterjedési ideje és  $\rho_b$  köztsűrűsége az alábbi képlettel írható le, közös  $A$  szimbólumot használva e mennyiségekre:

$$A = p \cdot A_{imp} + (1 - p) \cdot A_s, \quad (51)$$

ahol:  $A_{imp}$  = impermeábilis márgacsíkok megfelelő geofizikai jellemzője ( $I_{7, imp}$ ,  $\Phi_{n, imp}$ ,  $\Delta t_{imp}$  és  $\rho_{b, imp}$ )

$A_s$  = a permeábilis homokkövek megfelelő geofizikai jellemzője, amit már korábban leírtunk a (14) képlettel.

*Az anizotrop, szendvics-típusú homokkövek tárolóparamétereinek értékelése a kútszelvények segítségével*

A szendvics-homokkövek értékelése természetesen még bonyolultabb feladatot jelent, mint az izotrop permeábilis homokkövek értékelése. E feladat kielégítően pontos megoldásához még sokat kell tenni, különösen a megfelelő kútszelvényezési módszerek kifejlesztése és alkalmazása terén. Magyarországon a neogén szénhidrogéntároló homokkövek karottázs-kiértékelési munkáiban a legutóbbi hónapokban sokat fáradoztunk e feladatok megoldásán. E tanulmány keretében most röviden bemutatom a szendvics-homokkövek karottázs-értékelésével kapcsolatos főbb elképzeléseinket és eredményeinket.

A (48), (49), (50) és (51) képletek alapján nyilvánvaló, hogy az első és legfontosabb feladat az impermeábilis márgacsíkok  $p$  relatív térfogatának a meghatározása. Ismeretes, hogy a karottázs-szelvényező szervíz-társaságok a nyugati országokban erre a célra bizonyos szelvénykombinációkat alkalmaznak, első-

sorban a porozitáskövető szelvények együttes alkalmazásával. A magyarországi neogén homokkövekben azt tapasztaltuk, hogy az impermeábilis márgákban a szónikus hullámok terjedési ideje, a kőzetsűrűség és a neutron-porozitás (vagy más szóval a hidrogénindex) nem képvisel állandó értéket még egy adott geológiai képződményben sem, ezért a porozitáskövető szelvények kombinatív alkalmazása az impermeábilis márgacsíkok  $p$  relatív térfogatának meghatározására nehézségekkel jár. Részben ezért mi más úton járunk jelenleg a  $p$  mennyiség meghatározásában: a mikrologot, pontosabban a *mikronormál görbét alkalmazzuk erre a célra*. A közelmúlt hónapokban végzett több száz gyakorlati alkalmazás azt mutatta, hogy ez az út járható, annak ellenére, hogy a mikrolog kvantitatív alkalmazásával szemben az elmúlt 20 év folyamán jogos kétségek merültek fel, azonban szeretnénk hangsúlyozni azt, hogy ezek a kétségek a porozitás kvantitatív meghatározása szempontjából merültek fel.

A másik ok, ami miatt  $p$  meghatározására előnyben részesítjük a fajlagos ellenállás-paramétert az, hogy a márgacsíkok jelenléte legnagyobb mértékben a víztelítettség értékelését sújtja, és a víztelítettség meghatározásához az alapvető paraméter a homokkövek  $R_i$  tényleges ellenállása. Ezért célszerű a  $p$  mennyiséget ugyancsak ellenállás típusú karottázs-szelvényből meghatározni, mivel mi elsősorban arra vagyunk kíváncsiak, hogy az impermeábilis márgacsíkok jelenléte milyen mértékben módosítja a szendvics-homokkő *fajlagos elektromos ellenállását*. Úgy gondoljuk, nem célszerű ezt a hatást egészen más típusú karottázs-paraméterek elemzése alapján meghatározni, mivel a hidrogénindex, a kőzetsűrűség, a szónikus hullámterjedési idő olyan mennyiségek, amelyek nem állanak közvetlen, szoros korrelációs kapcsolatban a fajlagos elektromos ellenállással.

A mikronormál ellenállás-görbe indikációja a szendvics-homokkövekben az alábbi egyenlettel közelíthető:

$$\frac{1}{R_{MN}} = \frac{1}{R_{MN, imp}} + \frac{1-p}{R_{MN, s}}, \quad (52)$$

ahol:  $R_{MN}$  = a vizsgált homokkőben a mikronormál görbe indikációinak harmonikus középértéke,

$R_{MN, imp}$  = a mikronormál görbe indikációinak harmonikus középértéke a szendvics-homokkővet ágyazó impermeábilis márgában,

$R_{MN, s}$  = a mikronormál görbe indikációinak reprezentatív értéke a szendvics-homokkővet tartalmazó homokkő-formáció egy olyan szakaszán, amelyben nincsenek márgacsíkok.

Az (52) egyenletből kifejezhető  $p$  és az így kapott alábbi egyenletet használjuk az impermeábilis márgacsíkok  $p$  relatív térfogatának a meghatározására:

$$p = \frac{\frac{1}{R_{MN}} - \frac{1}{R_{MN, s}}}{\frac{1}{R_{MN, imp}} - \frac{1}{R_{MN, s}}}. \quad (53)$$

A szendvics-homokkövek karottázs-értékelésének második fő lépése abban áll, hogy meg kell határozni a szendvics-homokkő permeábilis homokkő-komponensének litológiai összetételét, tehát a homokkő csíkok homok-, kőzetliszt- és disz-

perz agyagtartalmát. E feladatot ismét a természetes gamma és a *PS*-paraméterek kombinatív felhasználásával, a 2. ábra litológiai diagramjának segítségével végezzük el. Ehhez a szendvics-homokkövekben észlelt  $i_\gamma$  relatív gamma-intenzitásból és a  $p$  mennyiségből meg kell határozni a permeábilis homokkőcsíkokra jellemző  $i_{\gamma, s}$  értéket, hasonlóan a szendvics-homokkő  $\alpha$  *PS*-csökkenési tényezőjéből és  $p$ -ből meg kell határozni a permeábilis homokcsíkokra jellemző  $\alpha_s$  értékét.

Az (51) képlet alapján a szendvics-homokkő  $I_\gamma$  gamma-intenzitása így írható

$$I_\gamma = p \cdot I_{\gamma, \text{imp}} + (1 - p) \cdot I_{\gamma, s}, \quad (54)$$

ahol:  $I_{\gamma, \text{imp}}$  = az ágyazó márga gamma-intenzitása,  
 $I_{\gamma, s}$  = a permeábilis homokkőcsíkok gamma-intenzitása.

Az  $i_\gamma$  relatív gamma-intenzitás – definíciószerűen – így írható le:

$$i_\gamma = \frac{I_\gamma - I_{\gamma, sd}}{I_{\gamma, sh} - I_{\gamma, sd}}, \quad (55)$$

ahol:  $I_{\gamma, sd}$  = az impermeábilis agyag gamma-intenzitása, ami megfelel a legtisztább agyagképződmények maximális gamma-intenzitásának,

$I_{\gamma, sh}$  = a tiszta kifejlődésű agyag- és kőzetliszt-mentes homokkő gamma-intenzitása, ami megfelel a gamma-szelvény minimális amplitúdójú értékeinek.

Behelyettesítve (55)-be  $I_\gamma$  (54) alatti kifejezését, az alábbi egyenletet kapjuk:

$$i_\gamma = p \cdot \frac{I_{\gamma, \text{imp}} - I_{\gamma, sd}}{I_{\gamma, sh} - I_{\gamma, sd}} + (1 - p) \cdot \frac{I_{\gamma, s} - I_{\gamma, sd}}{I_{\gamma, sh} - I_{\gamma, sd}} = p \cdot i_{\gamma, \text{imp}} + (1 - p) \cdot i_{\gamma, s}, \quad (56)$$

ahol:  $i_{\gamma, \text{imp}}$  = a szendvics-homokkőben levő márgacsíkok relatív gamma-intenzitása,

$i_{\gamma, s}$  = a szendvics-homokkőben levő permeábilis homokkőcsíkok relatív gamma-intenzitása.

Az (56) egyenletből kapjuk a szendvics-homokkőben levő permeábilis homokkőcsíkok relatív gamma-intenzitását:

$$i_{\gamma, s} = \frac{i_\gamma - p \cdot i_{\gamma, \text{imp}}}{1 - p}. \quad (57)$$

A szendvics-homokkő permeábilis-homokkő-csíkjainak  $\alpha$  *PS*-csökkenési tényezőjét az (50) egyenletből kapjuk:

$$\alpha_s = \frac{\alpha - p \cdot \alpha_{\text{imp}}}{1 - p}. \quad (58)$$

Miután megkaptuk az (57) és (58) képletek segítségével a szendvics-homokkő permeábilis homokkőcsíkjainak  $i_{\gamma, s}$  és  $\alpha_s$  jellemzőit, ezekkel a koordinátákkal belépünk a 2. ábra litológiai diagramjának abszcisszájára és ordinátájára, majd az ábra görbéiről leolvassuk a permeábilis homokkő csíkok kőzet-

liszt- és diszperzagyag tartalmát. Így ismeretessé válik a permeábilis-homokkőcsíkok litológiai összetétele és mód nyílik arra, hogy meghatározzuk a permeábilis homokkőcsíkok tároló paramétereit, az effektív porozitást, a víztelítettséget stb.

A *permeábilis homokkőcsíkok*  $\Phi$  effektív porozitásának meghatározása során elvégezzük a szükséges litológiai korrekciókat, amennyiben a porozitást valamely porozitáskövető karottázás-szelvény indikációjából értékeljük. Így például ha a szónikus  $\Delta t$  terjedési időt használjuk erre a célra, akkor a (26) képletet alkalmazzuk, azonban az abban szereplő  $\Delta t$  mennyiség helyére most a homokkőcsíkokra jellemző  $\Delta t_s$  értéket írjuk, amit az (51) képlet alapján határozunk meg, a  $\Delta t$  paraméter esetében konkrétan az alábbi formulát alkalmazva:

$$\Delta t_s = \frac{\Delta t - p \cdot \Delta t_{imp}}{1 - p} \quad (59)$$

Ha nem áll rendelkezésre porozitáskövető szelvény, akkor a homokkőcsíkok effektív porozitását ismét a természetes gamma és a *PS*-szelvények kombinatív értékelése alapján, a 4. ábrán látható  $\Phi$ -görbesereg segítségével határozzuk meg, belépve a diagramba az (57) és (58) képletekkel leírt  $i_{v,s}$  és  $\alpha_s$  koordinátákkal.

A *szendvics-homokkő permeábilis homokkőcsíkjainak víztelítettséget* a szendvics-homokkő  $R_L$  longitudinális ellenállásából kiindulva határozzuk meg. Ehhez a (49) képletből kifejezzük a permeábilis homokkőcsíkok  $R_s$  ellenállását:

$$R_s = \frac{1 - p}{\frac{1}{R_L} - \frac{p}{R_{imp}}} \quad (60)$$

A (60) képlet alkalmazásakor  $p$  helyére bevezetjük azt az értéket, amit a mikronormál ellenállás-szelvényből az (53) formula segítségével kaptunk. A (60) képlet alkalmazásával kapcsolatban meg kell jegyezni azt, hogy abban  $R_{imp}$  a szendvics-homokkővet ágyazó impermeábilis márgák reprezentatív ellenállását jelenti.  $R_{imp}$ -nek ezt az értékét *ugyanazzal az ellenállás-szelvényezési módszerrel* kell meghatározni, amellyel a szendvics-homokkő  $R_L$  longitudinális ellenállását nyertük.

Miután  $R_s$  értékét meghatároztuk a (60) képlet segítségével, az  $S_w$  víztelítettség értékeléséhez bevezetjük azt a (41) képletbe,  $R_t$  helyére. A (41) képlet alkalmazásához a permeábilis homokkőcsíkok  $R_0$  ellenállását — teljes víztelítettség mellett — az (1) képlet segítségével számítjuk, a homokkőcsíkok  $\Phi$  effektív porozitásának és litológiai összetételének figyelembevételével.

Az értékelés során nyert  $S_w$  víztelítettséget összehasonlítva az  $S_{w,i}$  redukálhatatlan víztelítettséggel, meghatározzuk azt a *többlet víztelítettséget, ami kapilláris felemelkedés útján szívódott fel a pórustérbe* azokban az esetekben, amikor a talpi víz elég közel helyezkedik el a vizsgált homokkő-intervallumhoz.

Szeretnénk hangsúlyozni, hogy azokban az esetekben, amikor a szendvics-homokkőekben az impermeábilis képződmények elektromos vezetése túlságosan nagy a permeábilis homokkő-komponensek elektromos vezetésehez képest, a szendvics-homokkő  $R_L$  longitudinális ellenállása nem alkalmazható kielégítő eredménnyel a tároló-paraméterek, elsősorban a víztelítettség meg-

határozásához. Ezt a problémát már 1967-ben felvettem a 7. Kőolajipari Világkongresszuson, Mexikó Cityben [14]. Akkor rámutattam arra, hogy azokban az esetekben, amikor

$$\frac{p}{1-p} \cdot \frac{R_{0,s}}{R_{\text{imp}}} > 1, \quad (61)$$

a szendvics-homokkő longitudinális ellenállása már nem alkalmas kvantitatív értékelésnek céljára. A magyar neogén homokkövekben ez a helyzet áll elő akkor, ha  $p > 0,25$ , tehát már viszonylag alacsony relatív márgacsík-tartalom mellett. Ezekben az esetekben a víztelítettség és más tároló-paraméterek meghatározásához a szendvics-homokkövek rétegzettségére merőleges  $R_T$  transzverzális ellenállását kellene felhasználni. Nagyon kívánatos volna ilyen ellenállásmérő rendszer létrehozása és alkalmazása azokban a szendvics-homokkövekben, amelyek lazák, vagy gyengén konszolidáltak és amelyekben a rétegvíz sókoncentrációja alacsony.

*Fontos és nehéz probléma a szendvics-homokkövekben a gáztároló és az olajtároló intervallumok szétválasztása, a gáz-olaj kontaktus helyének kijelölése.* Ezt a feladatot az impermeábilis márgacsíkok jelenléte nagyon megnehezíti. A feladat megoldására egy grafikus korrelációs módszert találtunk a leghatékonyabbnak. Korrelációs diagramban ábrázoljuk a szendvics-homokkövek longitudinális fajlagos elektromos ellenállásának függvényében a neutron-szelvény indikációit. Ezekhez a longitudinális fajlagos elektromos ellenállás számára logaritmikus léptéket, a neutron-indikációk számára pedig lineáris (aritmetikus) léptéket alkalmazunk. A korrelációs diagramon a gáztároló zónák pontjainak sávja eltolódik az olajtároló zónák pontjainak sávjához képest a nagyobb neutron-indikációk irányába. Az eltolódás mértéke azonban egyre kisebbé válik az impermeábilis márgacsíkok  $p$  térfogatának növekedésével. Az elmélet és a tapasztalatok azt mutatják, hogy ha  $p > 0,25$ , akkor az eltolódás mértéke annyira lecsökken, hogy már nem lehet megbízhatóan megkülönböztetni a gáztároló zónákat az olajtároló zónáktól. E probléma megoldásán várhatóan sokat segíthet a neutron élettartam-szelvényezés és az ellenállás-szelvényezés kombinatív alkalmazása.

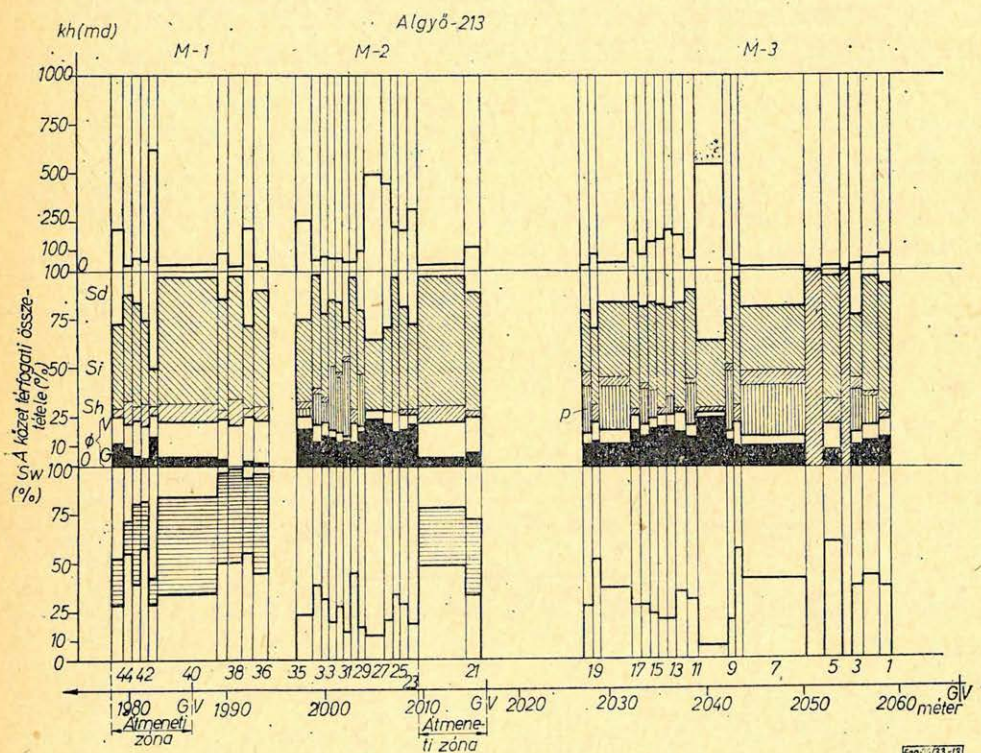
*A bemutatott elmélet és módszer gyakorlati alkalmazása Magyarországon a neogén szénhidrogéntároló homokkövek értékelésére.*

A bemutatott elméletet és interpretációs módszert széles körben alkalmazzuk Magyarországon a neogén szénhidrogéntároló homokkövek karottázis-szelvényeinek értékelésére. 1970-től kezdődően kb. 200 fúrásban alkalmztuk a módszert, és a kvantitatív értékelési munkák kb. 6000 homokkő-intervallumra terjedtek ki.

Az egyes homokkő-zónák output értékelési adatai tartalmazzák a zóna mélységi határait, vastagságát, effektív termelőképes vastagságát, az impermeábilis márgacsíkok relatív térfogatát, a diszperz agyagtartalom- és kőzetliszt-tartalom- és homoktartalom relatív térfogatait, az effektív porozitást, a horizontális abszolút permeabilitást, a teljes víztelítettséget, a redukálhatatlan víztelítettséget, a kapilláris úton felszívódott többletvíztelítettséget az átmeneti zónákban, a szénhidrogének minőségének megnevezését, a zóna effektív pórustérének teljes nagyságát, a zóna szénhidrogén-készletének teljes nagyságát és a zóna teljes hidraulikai vezetőképességét. A szolgáltatott output értékelési adatok száma tehát zónánként 17. Ez azt jelenti, hogy a módszer gyakorlati

alkalmazásai során Magyarországon eddig mintegy 100 000 output interpretációs adatot szolgáltatunk a tárolókkal foglalkozó geológusok és olajmérnökök számára.

Az értékelés output adatait analóg formában ábrázoljuk. Az eredményeknek egy ilyen output analóg szelvényét láthatjuk a 13. ábrán, 3 gáztároló rétegre vonatkozóan, az *Algyő-213* jelű fúrásban. Itt 3 telepet 45 zónára bontottunk; ezek vastagsága 0,4 m-től 6 m-ig változik. Az értékelés output diagramja 3 sávot tartalmaz. Az alsó sávban a víztelítettséget ábrázoljuk és azt két részre osztottuk: vízszintes vonalkázással tüntettük fel a mozgékony víztartalmat, ami igen nagy a gáz – víz határ alatti teleprezésekben, de jelentős az átmeneti zónákban is. A középső diagramsávban a kőzet térfogati anyagmérlegét ábrázoltuk. Itt feltüntettük a  $\Phi$  effektív porozitást, az *sh* diszperz agyagtartalmat, az agyagesíkok *p* térfogatát, az *si* kőzetliszt tartalmat, és az *sd* homoktartalmat. A  $\Phi$  effektív porozitást felbontottuk *G* gáztartalomra és *W* víztartalomra. A felső diagramsávban a horizontális abszolút permeabilitást ábrázoltuk.



13. ábra – Puc. 13 – Fig. 13

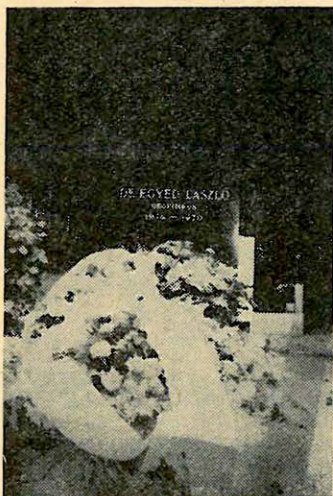
Az értékelési folyamatot gépesítettük, ez azonban egyelőre nem terjed ki digitalizált kútszelvények bevitelére. Egyelőre az analóg karottázs-szelvényeket a szelvényelemző bontja interpretációs zónákra és határozza meg egyes zónák reprezentatív szelvényindikációit. Miután az interpretációs zónák kijelölése és az egyes zónák szelvény-indikációinak meghatározása a szelvényelemző részé-

ről kézi úton megtörtént, utána az értékelési folyamat összes többi lépése komputert segítettével történik. A számítógépes értékelés output eredményeit sornyomatató segítségével táblázatos formában megadjuk, továbbá a legfontosabb jellemzőket, így az effektív porozitást, a szénhidrogénkészletet és a horizontális abszolút permeabilitást plotter segítségével analóg szelvény formájában közöljük.

#### IRODALOM

- [1] *Archie, G. E.*: The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. Trans. AIME 1942. 146. 54–62.
- [2] *Wyllie, M. R. J.*: Log interpretation in sandstone reservoirs. Geophysics 4.748–78 (1960).
- [3] *Komarov S. G.*: Szpravocsnik geofiziki, Tom. 2. Geofiziceszkie metodü issledovanija szkvazsin. Moszkva, Gosztoptehizdat, 1961.
- [4] *Schlumberger*: Log interpretation principles. Schlumberger Limited, 1969.
- [5] *Itenberg, S. S.*: Interpretácija rezul'tatov geofiziceszkih issledovanij razrezov szkvazsin, Moszkva, Nedra, 1972.
- [6] *Barlai Zoltán*: Well logging parameters of hydrocarbon-bearing sandstones composed of sand, silt and shale; evaluation of water saturation, porosity and grain size distribution. The Log Analyst 2.3–22 (1970).
- [7] *Barlai Zoltán*: Some principal questions of well logging evaluation of hydrocarbon-bearing sandstones with a high silt and clay content: experience acquired by the field application of a new method. The Log Analyst 3.7–30 (1971).
- [8] *Barlai Zoltán*: A new theory of the well logging characteristics of hydrocarbon-bearing sandstones. SPWLA Thirteenth Annual Logging Symposium, Paper J. 1–61. Tulsa, Oklahoma, 1972.
- [9] *Barlai Zoltán – Czeglédi István – Müller Pál*: A review of the status of the basic well logging and interpretation methods applied in Hungary, SPWLA 14th Annual Logging Symposium, Paper, H 1–29. Lafayette, Louisiana (1973).
- [10] *Barlai Zoltán*: A nagy kőzetliszttartalmú neogén homokkővek mélyfúrési geofizikai paramétereit. Magyar Tudományos Akadémia X. Osztályának Közl. 2–4. 243–60 (1971).
- [11] *Itenberg, S. S. – Zlotnik, M. A.*: Ocenka frakcionnogo szosztava, porisztosztii i neftegazonaszucsennosztii peszesano-alevrito-glinisztüh porod po dannüm geofiziceszkih issledovanij szkvazsin, Neftegaz. Geol. i Geofiz. 2 43–6 (1973).
- [12] *Dumanoir, J. L. – Coates, G. R.*: A new approach to improved log-derived permeability. The Log Analyst, 1, 17–31, (1974).
- [13] *Timur, A.*: An investigation of permeability, porosity, and residual water saturation relationships for sandstone reservoirs. The Log Analyst, 4, 8–17, (1968).
- [14] *Barlai Zoltán*: New methods for the evaluation of quantitative well logging of sandstone and shaly-sandstone layers, taking reference layers into consideration. VII. World Petroleum Congress, Proceedings, Vol. 2, p. 765, (1967).

## Egyed László síremlékének felavatása



A Magyar Geofizikusok Egyesülete, számos más hazai tudományos, kulturális és társadalmi intézménnyel együttműködésben, ez év július 11-én avatta fel korán elhunyt alapítójának, Egyed Lászlónak, a geofizikai tudomány kimagasló művelőjének síremlékét. Az ünnepségen dr. Barta György társelnök, akadémiai levelező tag, az ELTE Geofizikai Tanszékének tanára emlékezett meg Egyed László egyéniségéről és munkásságáról.

## Egyesületi hírek

### Beszámoló a mélyfúrási szakosztály féléves munkájáról

Az 1974. év első felének szakosztályi munkáját két előadói ülés és egy közös rendezvény képezte, amelyet a MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG Hidrogeológiai Szakosztályával szerveztünk.

Az 1974. március 7-én megtartott előadói ülés időszzerű műszer- és mérés technikai kérdésekkel foglalkozott. Az elhangzott előadások a következők voltak:

**KUBINA ISTVÁN:** A szónikus sebességszelvényezés egyes elvi és gyakorlati geoelektronikai kérdései.

**SALAMON BATUR:** Mélységmérés és információközlés a karottázkábelben.

Az 1974. június 13-án megtartott előadói ülésen SZILÁGYI ENDRE: A mélyfúrási geofizika részvétele a gáz–olaj határon történő vízelárasztás tervezésében és ellenőrzésében c. előadása hangzott el. Az előadó elvi és gyakorlati síkon vizsgálta meg, hogy a mélyfúrási geofizika milyen szerepet tud vállalni a gáz–olaj határon történő vízbesajtolás tervezésében és ellenőrzésében.

A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG Hidrogeológiai Szakosztályával közös rendezvényünk tárgya a „kútdiagnosztika” volt, amint az az elhangzott előadások címeiből is kiténik:

**KARÁCSONYI SÁNDOR:** Műszeres kútvizsgálatok jelentősége a kútépítésnél és a vízellátásban.

**LAKATOS SÁNDOR:** Rétetparaméterek meghatározásának korszerű lehetőségei és az ezzel kapcsolatban felmerülő problémák.

**KISS LÁSZLÓ:** Kutak állapotvizsgálata.

**DETRE LÁSZLÓ – KREMSZNER MIKLÓS:** Szűrőhelyek és beáramlási helyek meghatározásának jelentősége víztermelő kutakban.

**ANDRÁSSY LÁSZLÓ – HURSÁN LÁSZLÓ – KISS EMIL – PAPP JENŐ – VIOLA BALÁZS:** Kútdiagnosztikai vizsgálatok a vízkutatásban.

**MÁRHOFFER JÓZSEF – SUBA SÁNDOR:** A szénhidrogénkutatásban kialakult speciális karottázs-eljárások alkalmazásának lehetősége a vízkutatásban.

Az előadásokat követő vita és az elhangzott javaslatok alapján az ülés elnöksége négypon-  
tos javaslatot állított össze az illetékes főhatóságokhoz továbbterjesztésre. Ez a felterjesztés érinti a módszerek és a mérési technika egységesítését, a fejlesztést, a vizsgálatok gazdasági vonatkozásait, valamint a legközelebbi fejlesztési célkitűzéseket.

*Lakatos S. titkár*

# Egyesületi hírek

## Magyar Geofizikusok Csehszlovákia jelenlegi legmélyebb fúrásának szelvényezésénél

A Nafta n.p. Gbely csehszlovák Olajipari Vállalat kérésére a DKFŰ geofizikusai végezték egy olyan fúrás szelvényezését, mely a mérés időpontjában Csehszlovákia legmélyebb fúrása volt.

A cseh fél a következő mérések elvégzését javasolta: optimális és pseudolaterolog, mikrolaterolog, mikrolog-lyukbőség, gamma-gamma (sűrűség). A mikrolaterolog-mérést az előzetes tájékoztatásnál kapott adatok birtokában – több ezer ohmm ellenállású rétegek, kis iszapellenállás – csak feltételesen vállaltuk, mivel az ilyen nagy kontraszt meghaladja a  $KL T - 2$  laterolog berendezés teljesítőképességét. ( $K = 0,02$  m szondaállandó mellett a kőzet fajlagos ellenállásának megengedhető tartománya 200 ohmm-ig terjed.) A fúrás műszaki adatai a szelvényezésnél a következők voltak:

Talp: 5765 m

Saru: 5200 m

Béléscsőátmérő: 3400 m-ig 9 5/8", ez alatt beakasztott 7"-os cső

Fúróátmérő: 6"

Izszafajsúly: 1,25 kp/dm<sup>3</sup>

Izszapellenállás: 1,0 ohmm 15 °C-on

Talpmérséklet: az öblítés leállása után 20 órával 140 °C

Rétegsor: dolomit

A szelvényezésre egy a DKG-ban gyártott 6000 m mélységkapacitású  $T - 138$  műszerkocsit készítettünk fel. A kocsin levő 5200 m lyoni gumikábelhez házilag tödöttünk gyorscsatlakozó segítségével 1625 m lyoni teflonkábelt. A kábelt itthon 3000 m-ig megmértük. A szelvényezésre május 17-én utaztunk el (5 fős csoport + 3 fő műszaki vezető, ill. technológus). A szállás a fúrástól kb. 40 km-re volt. A szelvényezést 18-án délelőtt 10 órakor kezdtük kábelméréssel 3000 – 5700 m-ig. Az első nap elkészült az optimális és pseudolaterolog talptól saruig, a cseh fél kérésére az egész mérendő szakasz ismétlésével; ezt követően a gamma-gamma, sűrűségskálára hitelesítve. Itt csak a talpnál és a sarunál ismételtünk 100 – 100 m-t. Az első nap a csoport 14 órát dolgozott a kábelméréssel együtt, majd a cseh karottázs mért, míg a csoportunk pihent. Beépítésre a lyuk jó állapota miatt nem volt szükség. Másnap folytattuk a műveletet mikrolog-lyukbőség együttes méréssel. Az első beépítésnél a szonda elektromos nyitószervezete nem működött. Másodszor talpon mechanikusan nyitható szondával mentünk le és ez már sikeres mérés volt. Ezután következett a mikrolaterolog mérés, ami az előzetes feltételezéseket igazolta. A mérőerősítő a nagy kontraszt miatt telítésbe ment és azt még a mérendő jel lecsökkentésével sem tudtuk megszüntetni. A cseh fél utólagos kérésére, mivel az általuk mért SP-szelvények gyanúsak voltak, mértünk egy SP-t a mikrolaterolog kiépítése nélkül a DKFŰ-nél használatos fejkábel egyik elektródján. A másnapi mérés 10 órát vett igénybe.

A szelvényeket I : 500 léptékben a vontatási sebesség regisztrálásával kérték. Mélység-differencia a cseh fél mérései és a mi méréseink között nem volt, ill. a fúrás által adott talpon és saruban egyforma.

A mérés ideje alatt a cseh féltől mindig kint volt valamelyik műszaki vezető.

A mérések értelmezéséhez – kiegészítve a cseh fél BKZ, neutron és természetes gamma méréseivel – ugyancsak a DKFŰ adott szakmai segítséget.

A mérés sikerét bizonyítja, hogy szóbeli meghívást kaptunk a fúrást befejező kb. 6200 m-es talpnál történő komplett szelvényezésére, valamint kilátásba helyezték 2 – 3 további nagymélységű fúrás teljes szelvényezésének megrendelését.

# Könyvszemle

## A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1973. évi jelentése

Szerkesztő: *Szenás György*, összeállította: *Nagy Magdolna*, grafikai szerkesztő: *Németh Lajos*, 125 o., 44 ábra, ezek között 12 jórészt színes műmelléklet.

Az évkönyv az előző évihez hasonló alakban és ugyanolyan dicséretes gyorsasággal jelent meg, három nyelvű (magyar, angol és orosz) szöveggel.

A beosztás főbb vonalai:

1. Földtani kutatások	9 – 47 oldal
2. Műszer- és módszerkutatások	49 – 66 oldal
3. Földfizikai kutatások	67 – 74 oldal
4. Függelék (külföldi kutatás stb.)	75 – 77 oldal
5. Angol nyelvű szöveg	78 – 101 oldal
6. Orosz nyelvű szöveg	102 – 125 oldal

A kiadvány kiállítása ugyanolyan magas színvonalú, mint az előző évben.

T. G.

# Könyvszemle

## A 11. Szelvényezési Szimpozium Közleményei

*Dr. Barlai Zoltán*, Budapest 1973, a Kőolaj- és Földgázbányászati Ipari Kutató Laboratórium és a NIMDOK közös kiadása. Litografált kiadvány, 220 oldal, 113 vonalas ábra.

A kötet a Hivatásos Kútszelvényelemzők Szövetsége (SPWLA) 1970. május 3–6-án Los Angelesben, Kaliforniában tartott 11. Szimpoziumának előadásait tartalmazza, az előző hasonló jellegű kiadványokkal azonos alakban. Barlai Zoltán, mint eddig is, az egyes cikkek elé ajánlást írt, melyben felhívja a figyelmet a cikkek legfontosabb részleteire.

A beosztás itt is a különböző szakterületek szerint történt; ezek eloszlása a következő:

Elektromos módszerek	2 előadás
Radioaktív módszerek	3 előadás
Akusztkus módszerek	2 előadás
Szelvénykiértékelés	6 előadás
Egyéb	1 előadás

összesen 14 előadás. Az egyes cikkek után bőszeges irodalmi utalás-anyag található, ami jelentékenyen hozzájárul a kiadvány hasznosságához.

T. G.

# Lapszemle

Földtani Kutatás, XVI. évf. 4. sz., 1973.

A füzet a KGST Földtani Állandó Bizottsága 10 éves jubileumi ülészakán elhangzott delegációvezetői előadásokról számol be. Bevezetőben M. Pelzsee áttekinti a Bizottság egész munkáját a jelzett időközben, majd az egyes tagállamok delegációvezetőinek beszámolóit következnek.

T. G.

Hidrológiai Közlöny, 54. évf. 6. sz., 1974. június

*Puskás Tamás – Karsai Henrik:* A hidrológiai előrejelzést és a vízgazdálkodást szolgáló hálózat automatizálásának eredményei, 273–280. o.

T. G.

Alföldi Olajbányász, X. évf. 7. sz., 1974. július

*Márhoffer József:* KGST tanácskozás a nagymélységű szénhidrogénkutatás karottázs-problémáinak megoldására, 3. o.

A nagymélységű fúrások karottázs-munkálataiban szerzett hazai tapasztalatok nemzetközi elismeréseként a KGST olaj- és gázipari állandó bizottságának ülése Magyarországot bízta meg a „Szelvényezési és perforálási műveletek végzése mély- és nagymélységű fúrásokban” tárgyú témában együttműködési javaslat kidolgozásának koordinálásával, illetve előterjesztésével.

A cikk beszámol az erre a célra az érdekelt felek szakértőinek június 17–22-től Magyarországon tartott értekezletén jóváhagyott egyezménytervezetről és munkaprogramról. Az egyezménytervezet kidolgozása után a külföldi delegációk a hazai karottázs-bázisokkal ismerkedtek meg.

T. G.

# Lapszemle

**Bányászati és Kohászati Lapok, Kőolaj és Földgáz, 7 (107) évf., 1974. május**

*Verő József:* A mértékegységek nemzetközi rendszere, az SI, 129 – 133 o.

A tudománynak és a technikának az utóbbi évtizedekben végbement hatalmas arányú fejlődése egyre sürgetőbbé tette valamennyi mértékegység világszerte érvényes módon való egységesítését. A cikk rövid visszapillantás keretében vázolja a fejlődést a CGS-rendszerből az MKS-, illetve MKSA-rendszeren keresztül a nemzetközi érvényű SI-rendszer nemrégén bekövetkezett bevezetéséig, majd érdekes átszámítási példákat mutat be.

*Szepesi József:* A geotermikus energia hasznosítása és a szakemberképzés Olaszországban, 154 – 155 o.

Napjainkban egyre több szó esik az energiaéhségről és egyre több érdeklődés fordul a viszonylag új, illetve eddig nem, vagy csak kisebb mértékben hasznosított energiaforrások felé. Az UNESCO a pisai Nemzetközi Geotermális Kutatóintézetet bízta meg a nemzetközi „geotermális” mérnök-képzés (továbbképzés) megszervezésével, tekintettel arra, hogy Toscana geotermikus adottságaival kapcsolatban itt évszázados hagyományai vannak a geotermikus energia hasznosításának.

A cikk áttekinti az itt folyó munkálatokat és a továbbképző tanfolyamok szervezését. 1973. jan. 15. – és okt. 15. között már a negyedik ilyen tanfolyam zajlott le 10 résztvevővel (geokémikus, geológus, elektromérnök, gépészmérnök, olajmérnök, vulkanológus és egy geofizikus is, éspedig Romániából). A vendégelőadók között magyar is volt.

T. G.

# Lapszemle

**Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat, 107 évf. 4. sz. 1974. április**

*Asszonyi Csaba:* A kőzetmechanika új felfogásáról II. Mechanikai kontinuumok általános mérlegegyenletei, 250 – 253 o.

A folyóirat előző számában közölt tanulmány folytatása.

T. G.

**Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat, 107 évf. 5. sz., 1974. május**

*Asszonyi Csaba:* A kőzetmechanika új felfogásáról III. Az anyagtörvény és a kontinuummechanika alapegyenletei, 325 – 332. o.

A folyóirat előző két számában közölt tanulmány befejező része.

T. G.

**Meeseki Ércbányász, XI. évf. 14. sz. 1974. július 15.**

*G. I.:* Akik belátnak a föld mélyébe. Segítenek a műszerek. 3. o.

Beszámoló a szeizmikus módszer szerepéről a mélységi nyersanyagkutatásban.

T. G.

# Lapszemle

Bányászati és Kohászati Lapok, Kőolaj és Földgáz, 7 (107) évf. 10. sz., 1974. október

*Szádeczky-Kardoss Elemér*: A természetes szénhidrogének kémiai összetétele és a földtani szerkezet. (Előadás a VII. Szénhidrogénbányászati Geokémiai Nemzetközi Tudományos Konferencián, Budapesten, 1973. szept. 30 – okt. 3.).

A szerző az új globális tektonika alapján összefüggést állapít meg a táblás és szubdukciós tárolótípusok és a bennük elhelyezkedő szénhidrogének kemizmusa között.

A táblás területeken történő szénhidrogén-akkumuláció mellett gyökeresen új és nagy jelentőséget tulajdonít a szubdukciós övek szénhidrogéntelep-képződést elősegítő hatásának.

Az elmélet értelmében oly mélységben is előfordulhat jelentős szénhidrogén-felhalmozódás, amelyben az eddig kizártnak tűnt. E telepek feltárására szerző a robbantásos mélyfúrást ajánlja.

T. G.

## SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG:

*Szerkesztésért felelős*: Dr. Sebestyén Károly

*Tagok*:

Dr. Bencze Pál, Bodoky Tamás,  
Czeplédi István, Deres János,  
Gerzson István, Hursán László,  
Lakatos Sándor, Dr. Posgay Károly,  
Rádlér Béla, Tóth Géza,  
Dr. Tóth Péter.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>П. Кардеван</i> : Прилегание распределения экспоненциальной вероятности и эмпирической кривой повторяемости .....	147
<i>Б. Бодри – П. Гербер</i> : Предварительные результаты обработки данных измерения уровня карстовых вод и их использование для защиты от шахтных вод .....	153
<i>Г. Чапо</i> : О влиянии внешних факторов на точность гравиметрических работ .....	160
<i>А. С. Пинтер – Р. Штомфай</i> : О попытках вычисления локальных матриц для преобразования карт аномалий Буге в карты глубин .....	169
<i>П. Желлер</i> : Анализ проблем, связанных с методами определения скоростей .....	175
<i>А. Бруммер – Ф. Гайер – Л. Холло</i> : Проведение вертикальных электрических зондирований системы Шлумберже в обводненном районе .....	180
<i>Б. Шаламон</i> : Измерение глубин и передача информации через каротажный кабель .....	183
<i>Э. Силади</i> : Роль промысловой геофизики в проектировании и проверке обводнения на газо-нефтяном контакте .....	189
<i>З. Барлаи</i> : Влияние мелких зерен горных пород и полос мергелей на интерпретацию каротажных данных, полученных в неогенных песчаниках нефтегазовых месторождений Венгрии .....	204
Обзор журналов, газет и книг .....	236
<b>НОВОСТИ В ОБЩЕСТВЕ ВЕНГЕРСКИХ ГЕОФИЗИКОВ</b> .....	145, 233

## CONTENTS

<i>P. Kardeván</i> : Matching of exponential probability distribution to empirical frequency curves .....	147
<i>B. Bodri – P. Gerber</i> : Results of processing of carstic water level measurements and their connections with the protection against water intrushes in mines .....	153
<i>G. Csapó</i> : The influence of environmental factors on the accuracy of gravimetric measurements .....	160
<i>A. Sz. Pintér – R. Stomfai</i> : An attempt to determine a local matrix transforming the Bouguer-anomaly map into a depth chart .....	169
<i>P. Zsellér</i> : Study into the problems connected with the processes of velocity determination .....	175
<i>A. Brummer – F. Gayer – L. Holló</i> : Schlumberger Vertical Soundings over Areas Covered by Water .....	180
<i>B. Salamon</i> : Depth measurement and transmission of information on the carottage-cable .....	183
<i>E. Szilágyi</i> : Role of the borehole geophysics in planing and controlling the flooding on the border of gas and oil .....	189
<i>Z. Barlai</i> : Effects of fine grains and shale laminae on well log evaluation of the hydrocarbon bearing neogene sandstones of Hungary .....	204
Reviews of papers .....	236
<b>NEWS ABOUT THE ASSOCIATION</b> .....	145, 233

**MAGYAR GEOFIZIKA**

Szerkesztésért felelős: Dr. Sebestyén Károly

Szerkesztőség címe: 1368 Budapest, Anker köz 1. Telefon: 429-754

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, 1073 Budapest, Lenin körút 9-11. Telefon: 221-285. Levélcím: 1906 Budapest Pf. 223

Felelős kiadó: Siklósi Norbert igazgató

74.1511. Állami Nyomda, Budapest. Felelős vezető: Boskovitz A. Gyula

Terjeszti: MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

Megjelenik évente hatszor

Megrendelhető egész évre 60,- Ft előfizetési áron, mely összeg a MTESZ 232-90171-2494  
csekk számlájára fizetendő be. Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében

**Index: 26 507**