# Gáz-folyadék fázishatár-változások kimutatása erősen szennyezett tárolókőzetekben többkomponensű neutron korrelációval

SZILÁGYI ENDRE

*Pannóniai gáztelepek termelése, vagy a gáztestbe történő vízbesajtolás következtében előálló fázisváltozások kimutatására erősen szennyezett tárolókban több neutron módszer szelvényeinek korrelációja eredményes lehet. A módszer alapja a különböző fajtájú és hosszúságú szondák eltérő porozitás- és gázérzékenysége. Alkalmazása különösen olyan esetekben javasolható, amikor béléscsövezés és az elárasztott zóna visszahúzódása után az eredeti, érintetlen telepállapotot tükröző neutron „alapszelvényt" nem készítettek.*

*Для выявления фазовых изменений, происходящих при эксплуатации паннонских газовых залежей или в связи с инъекцией воды в залежь, в сильно загрязненных месторождениях, корреляция кривых, получаемых различными вариантами нейтронного каротажа, может оказаться эффективной. В основе метода лежит различие в чувствительности зондов различных типов и длины к пористости и газам. Предлагаемый метод особенно успешно применяется в случае, когда после обсадки скважины и после отступа зоны обводнения не была записана „основная кривая" НК, отражающая ненарушенное состояние залежи.*

*Für die Darstellung der Produktion von pannonischen Gaslagerstätten, sowie für den Nachweis von infolge in den Gaskörper erfolgten Wasserinjektion entstehenden Phasenänderungen in stark verschmutzten Speicherräumen kann sich eine Korrelation von Profilen mehrerer Neutronen-Methoden als nützlich erweisen. Die Grundlage der Methode ist die voneninander abweichende Sensibilität der Sonden verschiedener Konstruktion und Länge. Die Anwendung des Verfahrens ist besonders dann anzuraten, wenn nach Rohrfütterung und nach dem Rückzug der verschwemmten Zone kein Neutron-„Grundprofil" verfasst wurde, welches den ursprünglichen unveränderten Zustand der Lagerstätte wiedergeben könnte.*

Víznyomással működő földgáztelepekben a gáz-víz fázishatár a termelés folyamán változik. A víz utánáramlását heterogén tárolóban a permeabilitásváltozások jelentősen befolyásolhatják, a rossz tárolótulajdonságú, rossz áteresztőképességű szakaszok lefűződhetnek.

Szénhidrogén-tárolók gázsapkájába termelési feladatok megoldása céljából is sajtolhatnak be vizet. Ennek mozgására is döntően hat a permeabilitási profil.

Mindkét folyamat közös jellemzője tehát, hogy a kezdetben gáztároló telepen (vagy telepszakaszban) gázt, vagy vizet tartalmazó intervallumok váltakozhatnak, vagy egyszerű esetben csupán a kezdeti fázishatár mozdul el.

Gáz-folyadék fázishatár vizsgálatokra neutron-karottázs módszerek alkalmasak. Ezek hatékonysága sok tényezőtől függ, főleg a közettani, telepfizikai tulajdonságoktól és a választott műszerek jellegzetességeitől. A legcélravezetőbb kiértékelési eljárást ezek ismeretében célszerű meghatározni.

A tanulmányban egy olyan módszer bevezetését javasoljuk, amely lehetővé teszi erősen agyagos-kőzetlisztes (aleuritos) felsőpannóniai homokkövek jelentős részében a gáztartalom jelzését abban az esetben, amikor az elárasztott zóna visszahúzódása után a telep eredeti gáztároló állapotát jellemző *„alapszelvényt"* nem vettek fel béléscsövezett kútban. Ilyen körülmények között

kellett a fázishatár-változást megállapítania hajdúszoboszlói gáztelepekben és kell a vízelőnyomulás folyamatos ellenőrzését végezni az algyői telepek gázsapkájában. Ezek a feladatok adják a kérdés vizsgálatának aktualitását. A tanulmány megállapításai hasznosak lehetnek a jövőben várható hasonló jellegű problémák megoldásánál és segítséget adhatnak az alapszelvényezés programjának összeállításához is.

A javaslat kidolgozásakor a rutin-mérésekre alkalmas radioaktív műszerállományból indultunk ki *(NGGK – 62, DRSZT – 1)* Megállapításaink szorosan véve csak a vizsgálattal egyező kútszerkezetre (lyukátmérő *8 1/2"*, béléscső átmérő *5 1/2" – 7"*, a béléscső mögött cementpalást) érvényesíthetők, de nagyobb lyukátmérőnél és béléscső átmérőnél is kielégítő eredménnyel igazolódtak.

*1. A feladat bemutatása*

A gázt és folyadékot tartalmazó kőzetek neutron-szelvényezéssel történő elválasztásának alapja – mint ez általánosan ismert – a folyadék és gáz hidrogén-indexének különbsége.

A neutron-szondákra elsősorban a vizsgált formáció hidrogéntartalma gyakorol hatást. Ha a tiszta (agyagmentes) homokkő csak vizet tárol, a szonda által észlelt neutron-porozitás ($\Phi_n$) a kőzetváz porozitásával egyező

$$\Phi_N = \Phi,$$

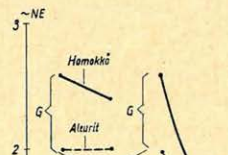
ha a mátrix hidrogénindexét nullának vesszük, a víz hidrogénindexe pedig a definícióból következően *1*-el egyenlő. A gáztárolókban közelítőleg a

$$\Phi_N = \Phi\ S_w + \Phi\ S_g K_g$$

kifejezés érvényes, amelyben

$S_w$ és $S_g$ a pórustér víz- és gáztelítettsége (%);
$K_g$ a gáz hidrogénindexe

A vizsgált tiszta homokkövekben a gáz- és folyadékfázis-elválasztás szempontjából a helyzet nagyon kedvező. A porozitás magas *($\Phi = 25 - 35\%$)*, a gáztárolók maradék víztelítettsége alacsony. $K_g$ értéke is kedvező. A vizsgálat alá vont algyői telepekben $K_g \approx 0{,}22$, a hajdúszoboszlóiakban $K_g \approx 0{,}16$. A folyadék- és gáztárolók neutron-porozitása tehát jelentősen eltérő, a gáztárolók egy neutron-szonda szelvényéből kijelölhetők.




Ismeretes azonban, hogy a pannóniai tárolókőzetek kifejlődése rendkívül változatos. A homokfrakció mellett a kőzetliszt jelentős, sok esetben uralkodó mennyiségű. Az agyagtartalom is elég magas lehet. A kőzetmodelleknél

*1. ábra.* Elagyagosodó víztároló és gáztároló homokkő és aleurit neutron indikációi

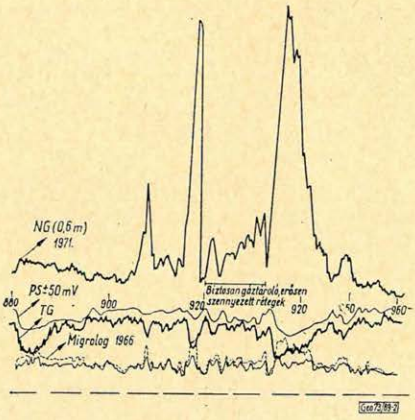
*Рис. 1.* Показания кривой НК против заглинизирующихся водо- и газоносных песчаников и алевролитов

*Abb. 1.* Neutron-Indikationen von vertonenden Wasser-und Gasspeichernden Sandstein und Aleurit

feltételezett „*diszperz*" és „*csíkozott*" anyageloszlás helyett pedig a kifejlődés rendkívül változatos átmeneti formáival találkozhatunk. Erre az utóbbi években végzett kőzetvizsgálatok bőséges igazolást szolgáltatnak.

Milyen hatást gyakorol mindez a feladat megoldhatóságára? Ezt szemlélteti az *1. ábra*, melyen egy egyszerű kőzetmodell felhasználásával végzett számítás alapján [1] algyői folyadék- és gáztárolóknak az $L = 0{,}6$ *m* hosszúságú neutrongamma (*NG*) szonda szelvényén való megjelenését mutatjuk be csövezetlen fúrólyukban, nem elárasztott elagyagosodó homokkő és elagyagosodó aleurit rétegekre, a fenti két idealizált kifejlődési típusra. Könnyen belátható az ábrából, hogy a gáztárolók kimutathatósága egy neutron-szonda indikációi alapján a kőzetliszt és az agyag szennyezettség növekedésével egyre romlik és egy határ felett teljesen bizonytalanná válik, még akkor is, ha a rendelkezésre álló egyéb szelvények (*PS*, *mikrológ*, *természetes gamma*) segítségével a kifejlődés jellegét és a szennyezettség mértékét megkísérleljük megbecsülni.

Tovább bonyolítja a helyzetet a béléscsőben végrehajtott mérésnél a cső és a cement hatása. Ez a különböző szondákra a porozitás függvényében a cementpalást excentricitásától és a szonda elhelyezkedésétől függően eltérő mértékű [2]. Mivel a valóságos esetek az ábrán feltüntetett idealizált képnél bonyolultabbak, a valóságos megoldási lehetőségek a bemutatottaknál még kedvezőtlenebbek lehetnek.




*2. ábra.* Gáz-víz fázishatár vizsgálatára készített radioaktív szelvények és a csövezés előtt készített elektromos szelvények (Hajdúszoboszló)

*Рис. 2.* Кривые РК, записанные для изучения водогазового контакта и кривые электрического каротажа, полученные до обсадки скважины трубами (г. Хайдусобосло)

*Abb. 2.* Radioaktive Profile für die Untersuchung der Gas-Wasser-Phasengrenze, sowie die vor der Fütterung gewonnenen elektrischen Profile (Hajduszoboszló)

Hogyan jelentkeznek az eddig vázolt nehézségek a gyakorlatban? A *2. ábra* hajdúszoboszlói kútban készített szelvényeket mutat. Az elektromos és *természetes gamma* szelvények a kőzetkifejlődés megítélésére szolgálnak. A *880 – 895 m* közötti víztároló homokkő alsó szakasza jelentősen elagyagosodott. Ugyancsak nagyon bonyolult kifejlődésű a *920 – 934 m* közötti összlet is. E szakasz felett és alatt tiszta gáztárolók vannak, melyek a neutron szelvényen könnyen felismerhetők. A köztük levő neutron indikációk viszont alig haladják meg a víztárolókra jellemző értékeket. Teleptani és áramlástani megfontolások alapján azonban biztosan kijelenthető, hogy ennek a bonyolult kifejlődésű összletnek a permeabilis szakaszai is gáztárolók.

## 2. *A megoldási lehetőségek vizsgálata*

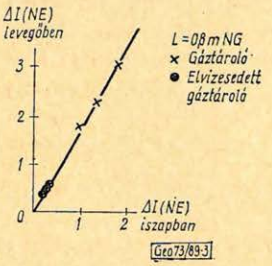
Az eddigiek röviden úgy foglalhatók össze, hogy a tiszta gáztárolóknak a folyadéktárolóktól való elkülönítése nem okoz nehézségeket. Nagyon bonyolult azonban ez a feladat az erősen kőzetlisztes, agyagos kőzetekben. Alapszelvény hiányában a kezdeti állapothoz való hasonlításra lehetőség nincs.

Ezért a következő megoldások jöhetnek számításba:

*a)* Leürített kútban (azaz amikor a kútban iszap helyett levegő van) végzett szelvényezés;
*b)* mennyiségi vizsgálatok;
*c)* korrelációs vizsgálatok.

Az első módszert széles körben alkalmazták a pusztaföldvári és szanki másodlagos gázfelhalmozódások vizsgálatára, jó eredménnyel [3]. A kutak azonban *1000 m* alatti mélységre általában nem üríthetők le, de *1000 m* felett sem lehet ezt a lehetőséget általánosnak mondani.

Ha a mérést folyadékkal feltöltött kútban kell végezni, ez bizonyos információcsökkenéssel jár. A *3. ábra* mutatja egy összehasonlító mérés eredményeit a hajdúszoboszlói területről. Tiszta kőzetekből álló gáztároló összlet, jelenleg is gáztároló és vízzel elárasztott szakaszai indikációinak egy tiszta, eredetileg víztárolóhoz viszonyított eltéréseit ($\Delta I$) mutatja neutron egységekben ($NE$).




*3. ábra.* Gáztárolók és elvizesedett gáztárolók neutron indikáció csökkenése a kút folyadékkal való feltöltésének hatására

*Рис. 3.* Уменьшение амплитуд кривых НК в газовых залежах и обводненных газовых залежах на воздействие заполнения скважины жидкостью

*Abb. 3.* Verminderung der Neutron-Indikation von Gasspeichern und verwasserten Gasspeichern durch den Einfluss der Auffüllung der Bohrung mit Flüssigkeit

A vízzel elárasztott szakaszok maradék gáztelítettsége kb. *15–30%*. Az indikáció-csökkenés a folyadékkal feltöltött kútban a leürítetthez viszonyítva megközelítőleg *40%*. Ez aránylag jelentős, de mint a későbbiekben bebizonyítjuk, az ismertetett kútszerkezetnél nem teszi lehetetlenné a rossz kifejlődésű gáztárolók kijelölését.

A mennyiségi vizsgálatoknál a nyitott kútban felvett szelvényekből meg kellene határozni a kőzetlisztes, agyagos tárolók szénhidrogén-telítettségét, majd a csövezés után felvett-neutron szelvényből meg kellene állapítani az aktuális gáztelítettséget. Ismeretesek azonban az ilyen tárolók elektrokarottázs szelvényekből történő telítettség meghatározásának nehézségei. A neutron szelvények kvantitatív értelmezésének hazai készültségi fokára tekintettel is úgy gondoljuk, hogy ez a módszer a vizsgált tárolókban nem szolgáltat megbízható eredményeket.

Így tehát általános megoldásként korrelációs vizsgálatok jöhetnek számításba. Ilyen vizsgálatokat javasoltak a [4] irodalomban.

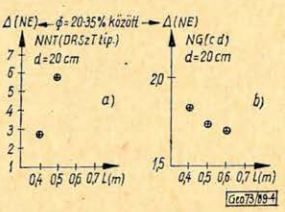
## *3. Korrelációs vizsgálatok*

### *3.1. Általános szempontok*

Ezeknél a vizsgálatoknál két neutron-szonda indikációit hasonlítják össze. Kijelölik a víztárolókra jellemző $I_{2\nu} = f(I_{1\nu})$ görbét és a vizsgált rétegek gáztárolására indikációiknak ettől a görbétől való eltérése alapján következtetnek. Ideális esetben egy olyan szondapárosra lenne szükség, melynek egyik tagja

csak a porozitásra, másik csak a gáztelítettségre érzékeny. Ilyen szondapáros nem áll rendelkezésünkre, megközelíthető azonban neutron-szondák célszerű összeválogatásával.

Vizsgáljuk először a porozitástól való függést. Induljunk ki a különböző szondákra leszármaztatott $I(NE) = f(\Phi_N)$ összefüggésekből. A porozitás iránti érzékenység első közelítésben két választott porozitás értékének megfelelő neutron indikációk különbségével, $\Delta I(NE)$, jellemezhetők. A *4. ábrán* (a. oldal) a $L = 0{,}4$ és $0{,}5$ *m* hosszú neutron termikus (*NNT*) szondáknak a $35 - 20\%$ porozitások közötti $\Delta I(NE)$ értékei találhatók. Az ábra, melyet [2] alapján szerkesztettünk, világosan mutatja, hogy a $0{,}4$ méteres szonda porozitás érzékenysége lényegesen kisebb a $0{,}5$ *m* hosszúságúénál.




*4. ábra.* Neutron-neutron termikus (*a*) és neutron-gamma (*b*) szondák porozitás-érzékenységének függése a szondahossztól

*Рис. 4.* Зависимость чувствительности зондов *а)* ННК – Т и *б)* НГК относительно пористости от длины зондов

*Abb. 4.* Abhängigkeit der Porosität-Sensitivität von thermischen Neutron-Neutron- (*a*) und Neutron-Gamma (*b*) – Sonden von der Sondenlämge

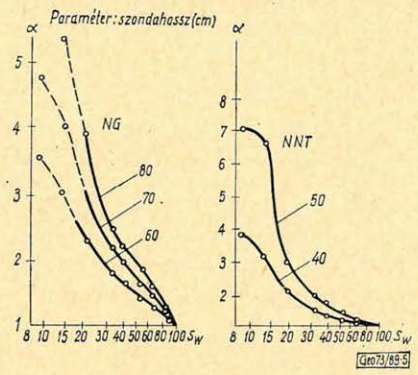
A 4. ábrán (b. oldalon) az [5] irodalom alapján különböző hosszú *NG* szondákra építettük fel ezt az összefüggést, amely szerint a szondahossz növekedésével a porozitás érzékenység csökken. Az ábrák $d = 20$ *cm* lyukátmérőre leszármaztatott görbéből készültek.

Egy *NNT* és *NG* szonda neutron egységekben mért indikációi egymással való összehasonlításának jogossága vitatható. Az *NG* szondáknál a sugárforrásból származó gammasugárzás részaránya a hitelesítési egységként elfogadott vgtelen vízközegben észlelt kitérésben nagyobb, mint az *NNT* szondák detektorát a forrásból közvetlenül elérő lassú neutronok részaránya. Az ebből származó hibát részben kiküszöböli a [2]-ben javasolt porozitás érzékenység-meghatározó módszer. Ezzel igazolható, hogy a $0{,}5$ *m* hosszú *NNT* szonda porozitás érzékenysége nagyobb a $0{,}6$ *m* hosszú *NG* szondáénál [6]. Tehát *„abszolút értelemben"* is fennáll a porozitás-érzékenységek eltérése.

A továbbiakban mindig *NE*-ben mért intenzitásokat hasonlítunk össze és ezekből vonjuk le következtetéseinket. Ekkor az előbb elmondottakra figyelmet kell fordítani.

Nézzük most a gáztelítettség hatását. [4] szerint „az *NNT* szonda indikációit alapvetően a hidrogéntartalom határozza meg. Az *NG* szonda azonban érzékeny mind a hidrogéntartalom, mind a sűrűség megváltozására. Gáztároló rétegben az *NG* indikáció az ugyanolyan porozitású víztárolóhoz viszonyítva a hidrogéntartalom és a sűrűség csökkenése miatt növekedik meg." Ezt a hatást az amerikai irodalom is tárgyalja *„üreghatás"* néven [7].

A gáz iránti érzékenység a módszereken belül szondatípustól is függő és a neutron egységekről (*NE*) az előbbiekben elmondottak is elhomályosítják, függ továbbá a vizsgált kútszerkezettől. A [8] irodalomból vett modellmérési eredményeket mutat az *5. ábra*. Ez *DRSZT – 1* típusú *NG* és *NNT* szondákra érvényes egy adott kútszerkezetnél. Az $\alpha$ egység definíciója $\alpha = I_g/I_v$, azaz az ugyanolyan porozitású gáztárolóban és víztárolóban mért intenzitások aránya, ami a *NE*-hez hasonló jellegű mennyiség.




*5. ábra.* Neutron-gamma (*a*) és neutron-neutron termikus (*b*) szondák gázérzékenysége. Modellmérések eredményei Ja. N. Baszin és társai után

*Рис. 5.* Чувствительность зондов *а)* НГК и *б)* ННК – Т относительно газов. Результаты моделирования по Я. Н. Басову и др.

*Abb. 5.* Gassensibilität von Neutron-Gamma – (*a*) und thermischen Neutron-Neutron – (*b*) – Sonden. Resultate von Modellmessungen (nach Ja. N. Baszin und Mitarbeitern)

Érdemes a két görbesereg összehasonlításából azt a tényt kiemelni, hogy a kis gáztelítettségek tartományában ($S_g < 50\%$) a hosszabb *NG* szondák, még a választott egységekben is érzékenyebbek a gázra, mint az *NNT* szondák. Az agyag és kőzetliszt mennyiségének a megnövekedése a víztelítettség növekedését vonja maga után a gáztárolóban, ezért a modellmérésekből levont következtetéseknek e tárolók szempontjából van nagy jelentősége.

Összefoglalásképpen megállapíthatjuk, hogy radioaktív szondáink porozitás érzékenysége és gázérzékenysége eltérő, ennek alapján a korrelációs módszerhez szükséges hatékony szondapáros kiválasztható.

### *3.2. A korrelációs lap felépítése*

Ha gáztelítettség-jelzés céljából egy szondapáros indikációit korreláljuk, akkor egy főleg porozitás-érzékeny és egy főleg gázérzékeny szelvényt kell felhasználnunk. [4] és [8] szerzői az előbbire *NNTm* az utóbbira *NG* szondát javasolnak. Ha a kőzetek porozitása széles határok között változik, a víztároló tényleges görbéje könnyen meghatározható ezek szelvényindikációinak felhordásával. Vizsgált tárolóink porozitás-intervalluma kicsi, ezért a kérdéssel bővebben kell foglalkoznunk.

[2]-ből ismeretes, hogy a *0,4* és *0,5 m* hosszú *NNT* szondák indikációit az $5-40\%$ közötti porozitás intervallumban

$$I = a - b \lg \Phi_N$$

alakú függvény írja le.

*0,6 m* hosszú *NG* szondáknál ez már csak egy szűkebb porozitás intervallumra igaz, és az $I = f(\Phi_N)$ görbe

$$I = a_i - b_i \lg \Phi_N$$

összefüggésekkel közelíthető meg. Egy ilyen összefüggés írja le az eredeti függvényt jó közelítéssel a $20-40\%$ porozitás intervallumban, egy másik e felett az intervallum felett, majd a kis porozitásoknál ismét egy harmadik, együtthatóiban különböző közelítő görbe használható. Valószínűleg hasonló a helyzet a *0,8* méteres *NG* szondáknál is.

Víztároló rétegeink neutron porozitása $25-40\%$ közé esik, figyelembe véve a béléscső-és cementindikáció csökkentő hatását is.

Ebben a porozitás intervallumban választott szondáink $I = f(\Phi_N)$ összefüggései tehát jól közelíthetők az

$$I_1 = a_1 - b_1 \lg \Phi_N$$

$$I_2 = a_2 - b_2 \lg \Phi_N$$

összefüggésekkel. Legyen az 1 jelű szonda a porozitásra érzékenyebb, azaz $|b_1| > |b_2|$.

A korrelációs lapon a vízszintes tengelyre kell felhordanunk a porozitásra érzékenyebb szelvény indikációit. A víztárolók $I_2 = f(I_1)$ görbéje a fentiekből következően

$$I_2 = \frac{b_2}{b_1} I_1 + A$$

alakú egyeneshez vezet.

A „$b$" értékeire tett feltételezés alapján $b_2/b_1 < b_1$, azaz kisebb mint a porozitás-érzékenyebb szelvény iránytangense.

A víztárolók egyenesét a biztosan víztároló rétegek szelvényből leolvasott indikációi alapján a legkisebb négyzetek módszerével kell meghatározni.

Mivel egyik szondánk mindig *NG*, az egyenes szorosan véve 20% neutron porozitásig extrapolálható. Kisebb neutron porozitásokra egy más együtthatójú egyenes érvényes, az iránytangensek eltérése azonban nem túl jelentős. Ez a hiba további vizsgálatainkat kissé meghamisítja, de az alapvető megállapításokat nem befolyásolja lényegesen. Ugyanakkor az erősebben kőzetlisztes, agyagos gáztárolók neutron porozitása a *20%* feletti tartományban van, itt tehát semmilyen torzító hatás nem érvényesül.

Korrelációs lapokat a 11. ábrán mutatunk be.

### *3.3. A porozitás-alapszonda kiválasztása*

Annak a szondának, amelyre elsősorban a porozitás tükrözését akarjuk bízni, a legkevésbé gázérzékenynek is kell lennie.

Alapszondaként [4] és [8]-ban *0,4* vagy *0,5* méteres *NNT* szondát javasolnak. Lehetőségünk volt azonban *0,4 m* hosszú, epitermikus neutron (*NNET*) szelvények felvételére is *DRSZT* szondával. Így kísérleti úton választhattuk ki az adott kútszerkezetben számunkra legmegfelelőbb alapszondát a *0,4* méteres *NNET* és *NNT* szelvények korrelációjával. Hajdúszoboszlói kútban végzett mérések eredménye a következő volt:

A víztárolók regressziós egyenesének egyenlete

$$I_{NNT,v} = 0{,}66 I_{NNET,v} + 0{,}74$$

Az iránytangens *1*-nél kisebb, azaz a két szonda porozitás érzékenysége különbözik, és az *NNET*-é nagyobb. Hasonló eredményt szolgáltatott az összes ellenőrzésbe vont hajdúszoboszlói kút méréseinek feldolgozása is.

A gáztartalomra nyilván az a szonda lesz kevésbé érzékeny, melynek indikációi ugyanazzal a tárolóréteggel szemben kisebbek. Az *1. sz. táblázatból* megállapíthatjuk, hogy ez az *NNET* szondára teljesedik. Kedvező tulajdonságai alapján alkalmas a porozitás-alapszonda szerepének betöltésére.

Abból, hogy az *NNET* szonda indikációit a gáztartalom is befolyásolja, az is következik, hogy a gáztároló réteget nem a porozitásának megfelelő indi-

káció, hanem egy ennél nagyobb érték jellemzi, ami az abszcisszán az ugyanolyan porozitású víztárolóhoz képest jobbratolódást eredményez.

*1. táblázat, – таблица – Tabelle*

*Szelvényindikáció gáztárolókkal szemben (NE)*

| réteg | $I_{NNET}$ | $I_{NNT}$ |
|---|---|---|
| 1 | 2,89 | 2,97 |
| 2 | 3,12 | 3,50 |
| 3 | 3,61 | 3,84 |

### *3.4. További szondakombinációk vizsgálatai*

A hajdúszoboszlói kutakban *0,6* és *0,8 m* hosszú *NG* szondákkal is készítettek szelvényeket. Az előbbi szondát, mint standard méretűt alkalmaztuk, az utóbbit viszont azzal a céllal, hogy a gázérzékeny műszer szerepét töltse be [4] és [8] ajánlásai alapján. Ezekre a szondákra is elkészítettük a korrelációs lapokat.

A víztárolók regressziós egyenesei a 3.3-ban vizsgált kútra

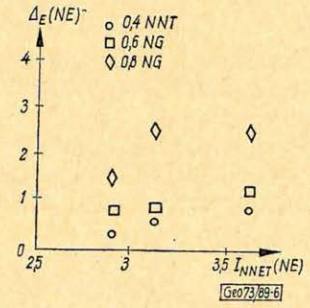
$$I_{NG\,0,6,\nu} = 0{,}38\, I_{NNET,\nu} + 0{,}44$$

$$I_{NG\,0,8,\nu} = 0{,}10\, I_{NNET,\nu} + 0{,}55$$

A *0,8* méteres *NG* szonda valóban a legkevésbé érzékeny a porozításra, a *0,6* méteres pedig közbülső helyet foglal el.

A gázérzékenységet ($\Delta_{\acute{E}}$) a korrelációs lapon az adott réteg *NNET* indikációja által a víztárolók egyenesén kijelölt pont és a réteg *NG* vagy *NNT* indikációja különbségeként definiáljuk, $N_{\acute{E}}$-ben mérve. A vizsgált kút tiszta rétegeire $\Delta_{\acute{E}}$ értékeit a *6. ábrán* találjuk mindhárom szondára (az *NG* szondák mellett a *0,4 m*-es *NNTE*-re is). Láthatjuk, hogy a hajdúszoboszlói teleptulajdonságok mellett a *0,8 m*-es *NG* szonda valóban a legérzékenyebb a gáztartalomra, a *0,6 m*-es pedig közbülső helyet foglal el.

Algyői kutakban olyan mérési sorozatokat készítettek, amelyekben a *0,4 m*-es *NNT* szonda helyett *0,5 m* hosszú *NNT* szonda szerepelt. Ugyanakkor a telepfizikai tulajdonságok is megváltoztak a hajdúszoboszlóiakhoz képest.




*6. ábra.* Hajdúszoboszlói kutakban használt szondák gázérzékenységének vizsgálata tiszta homokkőtárolókban

*Рис. 6.* Изучение газо-чувствительности зондов, применяемых в скважинах района г. Хайдусобосло в чисто песчаниковых коллекторах

*Abb. 6.* Untersuchung der Gassensitivität von bei den Bohrlöchern von Hajduszoboszló benutzten Sonden in reinen Sandsteinspeichern

*A 170. sz. kútban készített szelvények feldolgozásának eredményei az alábbiak:*

$$I_{NNT\,0,5,\,v} = 1{,}28\, I_{NNET,\,v} + 0{,}08$$

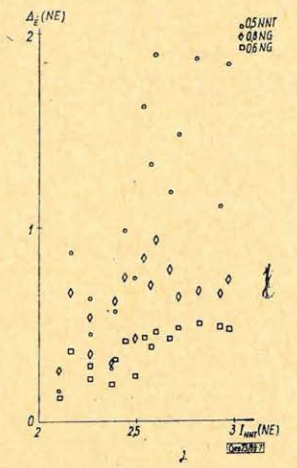
$$I_{NG\,0,6,\,v} = 0{,}24\, I_{NNET,\,v} + 0{,}77$$

$$I_{NG\,0,8,\,v} = 0{,}22\, I_{NNET,\,v} + 0{,}70$$

Vizsgáljuk a *0,4 m*-es *NNET – 0,5 m*-es *NNT* szondapárost összehasonlítva azt a *0,4 m-es NNET – 0,4 m-es NNT*-vel. Az egyenes iránytangens mutatja, hogy ebben az esetben a *0,5 m*-es szonda porozitás érzékenysége a nagyobb, ami a 4. ábrával kapcsolatban tett megállapítással egyezik. A *0,6* és *0,8 m*-es *NG* szondák viselkedése porozitás szempontjából lényegében az előzőekkel egyezik.

A gázérzékenységet illetően is jelentősen változik a *0,5 m*-es *NNT* szonda szerepe és a tiszta rétegek vizsgálatánál a komplexumban elfoglalt helye, miként azt a *7. ábra* mutatja. Ezen a 6. ábrával egyezően hordtuk fel a tiszta és kevéssé szennyezett gáztárolók $\Delta_{\bar{E}}$ értékeit. Az ábra szerint a *0,5 m*-es *NNT* szonda gázérzékenysége a legnagyobb, a *0,8 m*-es *NG* közbülső helyet foglal el, és a *0,6 m*-es *NG* legkevésbé érzékeny a gázra. Megjegyzendő azonban, hogy $I_{NNET} < 2{,}5$ *NE* alatt a helyzet nem ilyen egyértelmű, és néhány rétegnél a *0,5 m*-es *NNT* és *0,8 m-es NG* szerepet cserél.

Itt ismét érdemes emlékeztetni az *NNT* és *NG* szondák indikációinak *NE*-ben történő összehasonlításával kapcsolatos nehézségekre.




*7. ábra.* Algyői kutakban használt szondák gázérzékenységének vizsgálata tiszta és szennyezett homokkőtárolókban

*Рис. 7.* Изучение газо-чувствительности зондов, применяемых в скважинах района Альдё в чистых и загрязненных песчаниковых коллекторах

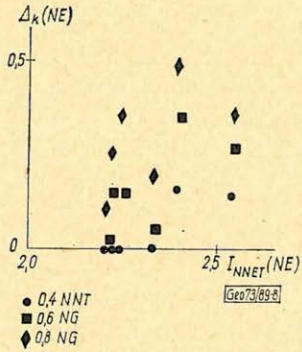
*Abb. 7.* Untersuchung der Gassensitivität von bei den Bohrlöchern von Algyő benutzen Sonden in reinen und verschmutzten Sandsteinspeichern

### *3.5. Az erősen agyagos, kőzetlisztes gáztárolók kimutatása*

Az eddigiekben a szondakombinációk általános tulajdonságait igyekeztünk megállapítani, most, ezek ismeretében fordítsuk figyelmünket az alapfeladat, az erősen anyagos, kőzetlisztes gáztárolók kimutathatóságának vizsgálatára.

Először is definiáljuk a *„kimutathatóságot"*. A cementezés eltérései és a radioaktív szelvényeket terhelő statisztikus jelenségek azt eredményezik, hogy a víztárolók indikációi nem az egyenes mentén, hanem egy sávon helyezkednek el, az egyenesnek ezzel a szórási sávval együtt van értelme. Nyilvánvaló, hogy egy tároló réteg csak akkor mutatható ki, ha indikációja ezt a szórási sávot meghaladja. A kimutathatóságot ezért úgy definiáljuk, mint a víztárolók

regressziós egyeneséhez kapcsolódó $P = 0{,}95$ konfidencia-intervallum felső határoló egyenesének a réteg $I_{NNETi}$ helyen levő pontja, és *NNT* vagy *NG* indikációjának különbséget. ($\Delta_k$).




*8. ábra.* A 2. sz. ábrán bejelölt, erősen szennyezett gáztárolók kimutathatósága a méréshez használt szondákkal

*Рис. 8.* Возможность выделения сильно загрязненных газоносных отложений, указанных на рис. 2. при помощи применявшихся зондов

*Abb. 8.* Nachweisbarkeit der in der Abb. 2. angegebenen, stark verschmutzten Gasspeicher durch die bei der Messung angewendeten Sonden

Továbbá, eddig a víztárolók regressziós egyenesét az összes víztároló réteg indikációi alapján határoztuk meg. A kőzetlisztes, agyagos víztárolókra érvényes egyenes ettől eltérhet, és miként az elvégzett feldolgozások mutatják, néha elég jelentősen el is tér. Ennek a kimutathatóságára gyakorolt hatására kitérünk. A 2. ábra szelvényrészletén bejelölt erősen szennyezett tárolók kimutathatósága a *8. ábrán* látható. Az eredményeket táblázatosan is összefoglaltuk *(2. táblázat)*. Ebben azt is bemutatjuk, hogy milyenek a kimutathatóság eredményei, ha az összes víztároló egyenesének szórási sávját vesszük alapul. Az ábrából és a táblázatból következik, hogy a *0,8 m* hosszú *NG* szondával valamennyi réteg megbízhatóan kijelölhető a *0,6 m*-es *NG* szerepe közbülső, míg a *0,4 m*-es *NNT* a várakozásnak megfelelően a legérzéketlenebb a gáztárolásra.

*2. táblázat — таблица — Tabelle*

**Erősen agyagos, kőzetlisztes gáztárolók kimutathatósága**

| Kút | Kimutatható rétegek %-a | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0,4 NNT | 0,5 NNT | 0,6 NG | 0,8 NG |
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
| Hsz – 74 | 33 | – | 100 | 100 |
| Hsz – 74 | 50 | – | 66 | 83* |
| Alg – 170 | – | 64 | 45 | 82 |

* Valamennyi víztárolóból számolt egyenesnek a tapasztalt szórás alapján behúzott határoló egyeneséhez viszonyítva.

Az *Alg – 170.* sz. kút feldolgozásának eredményeit a *9. ábrán* és a 2. táblázatban mutatjuk be. Ezek alapján a leghatékonyabb szonda a *0,8 m*-es *NG*, majd a *0,5 m*-es *NNT* és utána a *0,6 m*-es *NG*. Látható az is, hogy a biztosan gáztárolók egy része a vizsgált szondákkal nem mutatható ki. Ezen nem csodálkozhatunk, ha emlékezetünkbe idézzük az 1. ábrát.

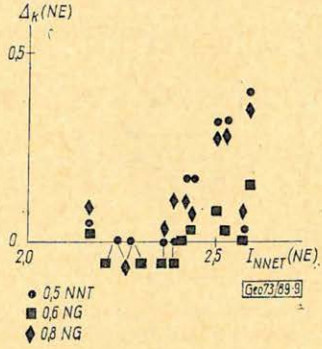
A tiszta tárolóktól eltérően tehát az erősen kőzetlisztes, agyagos tárolók kimutatásában uralkodó szerepe van a *0,8 m*-es *NG* szondának. Ez a tapasztalati megállapítás egyezik az 5. ábra modellmérési eredményeivel.

A bemutatott, több szonda indikációival elvégzett kéttagú korrelációkkal – nevezzük ezt többkomponensű korrelációnak – pedig egy az elektrokarot-

tázsnál alkalmazott elvet valósítottuk meg. Ott a szénhidrogén-tárolók kimutatására különböző vizsgálati mélységű szondákat alkalmaznak, mi pedig a gáztárolók kimutatására különböző gázérzékenységű műszereket. Ezzel az eljárással megbízhatóbban kijelölhetők a gáztároló rétegek, mintha csak két szondából álló kombinációt alkalmaznánk. Ha ugyanis a kérdéses réteg indikáció különbségei a megállapításokkal egyező sorrendben követik egymást, akkor ez a réteg biztosan tartalmaz gázt. Ez az elv akkor is segíthet, ha az igen erősen kőzetlisztes, agyagos rétegnek a kis- és közepes gázérzékenységű szondával mért indikációi a szórási sávba esnek, de a szennyezett víztárolók egyenesétől mért távolságaikban a bemutatott törvényszerűség látszik.

Az elmondottaknak csak akkor van jogosultsága, ha az elvizesedett gáztárolóknál a szabályszerűség nem figyelhető meg. Erősen szennyezett kőzetekben erről nem tudtunk meggyőződni.

Végül ki kell hangsúlyozni azt, hogy a javasolt módszerrel alapszelvény hiányában csupán az dönthető el, hogy a kérdéses réteg gázt tárol, azt azonban nem, hogy az eredeti állapothoz képest a gáztelítettség csökkent-e bizonyos mértékben. Ennek eldöntésében segítséget jelent az, ha a fúrásban vannak hasonló kifejlődésű, biztosan gáztároló rétegek. További támpontot nyújthat a *0,4 m*-es *NNET* indikációja. A bemutatott ábrákból ugyanis egy olyan közelítő érvényességű megállapítást is tehetünk, hogy $I_{NNET}$ csökkenésével a biztos gáztárolók $\Delta_k$ értékei is csökkennek.




*9. ábra.* Erősen szennyezett algyői gáztárolók kimutathatósága a méréshez használt szondákkal

*Рис. 9.* Возможность выделения сильно загрязненных газоносных отложений на место рождении Альдё при помощи применявшихся зондов

*Abb. 9.* Nachweisbarkeit von stark verschmutzten Gasspeichern in Algyő durch die bei der Messung benutzen Sonden

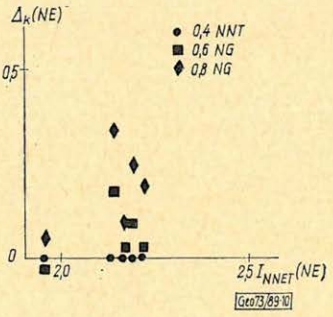
### *3.6. A javasolt módszer alkalmazásának példái*

A *Hsz–74.* sz. kútban több, erősen szennyezett réteg gáztárolását kellett eldönteni. A feldolgozási eredmények a *10. ábrán* láthatók. Az $I_{NNET} > 2{,}1$ jellemzőjű rétegek gáztárolónak minősíthetők. Az $I_{NNET} = 1{,}96$ *NE* jellemzőjű réteg $\Delta_k$ értékei a víztároló szennyezett rétegek egyenesétől sorrendben *–0,02; 0,05; 0,1 NE*. Ezek közül csak az utolsó az $I_{NGO,8}$ nagyobb a kimutathatóság határánál. A pontok egymásutánisága, valamint a természetes gamma maximális indikációi alapján azonban az igen erősen szennyezett réteget gáztárolónak valószínűsíthetjük.

Az algyői vízelárasztással kapcsolatos feladat megoldását mutatjuk be a *11. ábrán*. A feldolgozott rétegszakaszokat a 3. ábrán is bejelöltük. Az erősen szennyezett *4* és *5* jelű rétegszakaszok nagy valószínűséggel víztárolók. A *6* rétegszakaszra azonban, bár a *0,5 m*-es *NNT* indikációja ezt nem erősíti meg, a *0,8 m*-es *NG* és a természetes gamma indikációk alapján nem zárhatjuk ki a gáztárolás lehetőségét. Ezért *„bizonytalan, esetleg gáztároló"*-nak minősíthető.

A *2* jelű intervallum a telep tiszta kifejlődésű részének vízzel elárasztott szakasza. Az indikációk alakulása bizonyítja, hogy itt sem figyelhető meg a gáztárolókra jellemző pont-elhelyezkedés.

Ismeretes, hogy vékony rétegekkel szemben a radioaktív szelvények indikációi nem érik el a végtelen vastag rétegben jellemző értékeket. Neutron szelvények indikációit az időállandón és a húzatási sebességen kívül a szondahossz is befolyásolja. Az indikáció korrigálása [9] alapján végezhető el. Minél tagoltabb a tároló, annál fontosabb a szondahosszak eltéréseit is figyelembe vevő korrekciókat elvégezni. A korrekciós görbék leszármaztatásánál feltételezték, hogy a vizsgált réteg ágyazói egyező neutron tulajdonságúak, és a radioaktív szonda vizsgálati intervallumához viszonyítva „*végtelen*" kiterjedésűek. Sűrűn tagolt összletben ez nem teljesedik, a korrigált érték emiatt a rétegre valóban jellemzőtől eltérő lehet.




*10. ábra.* A *Hsz – 74.* erősen agyagos-kőzetlisztes (aleuritos), eredetileg gáztároló rétegeinek vizsgálata

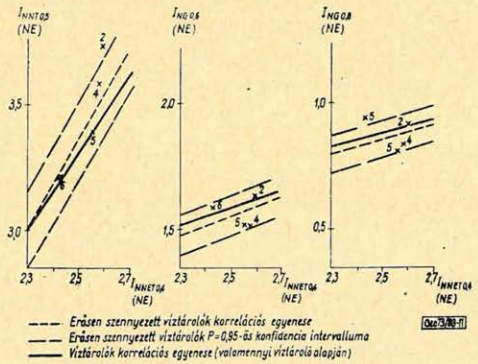
*Рис. 10.* Изучение сильно глинистых-алевритовых (каменная мука), первоначально газоносных пластов в разрезе скважины *Хс – 74*

*Abb. 10.* Untersuchung der stark vertonten – gesteinsmehligen (aleurithaltigen) Schichten von *Hsz. 74*, die ursprünglich Gasspeicher gewesen sind

Ezekben az összletekben az integráló kör működése következtében egyéb torzulások is felléphetnek, melyeket bizonyos mértékben az integráló kör elé kapcsolt mágnesszalagos regisztrálás küszöbölhet ki. Az időállandót és a vontatási sebességet pedig a „*0,5 m-es felbontásnak*" megfelelőre kell választani és szükség esetén érzékenyebb (1:100) mélységléptékben kell regisztrálni a szelvényt.

További nehézséget jelenthet különböző – a rétegsor tagolására alkalmas és a neutron – szondák indikációinak egymáshoz való rendelése.

A bemutatott, a tároló vastagságából, tagoltságából és a szondahossz eltérésből származó „*geometriai hatások*" a gáztárolók kimutathatóságának csökkenését eredményezhetők, ezért kiküszöbölésükre lehetőség szerint nagy gondot kell fordítani.




*11. ábra.* A gáztestbe besajtolt víz hatására bekövetkező fázisváltozás vizsgálata az Algyő – *2* telep erősen szennyezett tárolókőzeteiben *(Algyő – 8.)*

*Рис. 11.* Изучение фазового изменения, происшедшего на воздействие инъектированной в скважину воды в сильно загрязненных коллекторах залежи *Альдё 2 (Альдё 8)*

*Abb. 11.* Untersuchung der Phasenänderung, die sich auf den Einfluss der in den Gaskörper erfolg-ten Wasserinjektion ergeben hat in den stark verschmutzten Speichergesteinen der Lagerstätte *Algyő 2 (Algyő – 8)*

*Következtetések*

Erősen agyagos, kőzetlisztes gáztárolók kimutatására több szondából álló mérési komplexum

anyagának „*többkomponensű korrelációja*" alkalmas, különösen akkor, ha az elárasztott zóna visszahúzódása után felvett, a telep eredeti állapotát tükröző alapszelvény nem áll rendelkezésünkre.

A javasolt műszerkomplexum legkisebb gázérzékenységű tagja a *0,4 m* hosszú, *NNET* szonda. A vizsgált és az ezekhez hasonló jellemzőkkel rendelkező erősen szennyezett tárolókban a legnagyobb gázérzékenységű a *0,8 m*-es *NG*. A többi szondák közbenső szerepet töltenek be.

Négy szonda indikációiból három korrelációs lap építhető fel, melyeken a *0,4 m*-es *NNT* indikációk függvényében ábrázoljuk a rétegek további szondákkal mért értékeit. Vékony rétegek indikációit előzetesen korrigáljuk az ismertetett módon. Ezután meghatározzuk a biztosan víztároló szennyezett kőzetek regressziós egyenesét, és a $P = 0{,}95$-hez tartozó konfidenciával jellemzett sávot.

Azt, hogy a vizsgálandó réteg gáztartalmú-e, annak alapján döntjük el, hogy indikációinak eltérése az egyes kétkomponensű korrelációkban a szórási sáv határától a gázérzékenységnek megfelelően növekvő jellegűek. Ha igen, akkor a réteget gáztárolónak valószínűsíthetjük. Az azonban már nem dönthető el egyértelműen, hogy gáztelítettsége a kezdeti állapottal egyező, vagy kissé csökkent mértékű-e. Ennek megállapításában segítségünkre lehet azoknak a hasonló kifejlődésű rétegeknek a viselkedése, amelyek biztosan gáztárolók.

Ha a réteg igen erősen szennyezett, de legalább a *0,8 m*-es *NG* szondával kapott indikációja meghaladja a konfidencia intervallumot, többi szondájának indikációja pedig ezen belül ugyan, de a bemutatott törvényszerűséget követi, valószínű gáztárolónak minősíthetjük a fentebb tett megjegyzéssel.

Miként ez az elméleti megfontolásból is következik, az igen erősen szennyezett gáztárolók egy része még a bemutatott többkomponensű korrelációs módszerrel sem jelölhető ki.

A módszer csak olyan kutakban alkalmazható, amelyekben elegendő számú, a vizsgáltakkal közel egyező kifejlődésű víz (vagy olaj)-tároló réteg található. A szelvényezési intervallumot ezek elhelyezkedésének megfelelően kell meghatározni.

A szelvényezésnél különös figyelmet kell fordítani a jó felbontó képességre. Ennek növelése érdekében az integráló kör elé beiktatott mágnesszalagos regisztrálás javasolható. A *0,8 m*-es *NG* szondára való tekintettel a méréseket erős, ($> 7$ *Cu*) forrással kell végezni. A statisztikus ingadozásból származó bizonytalanságok csökkentése érdekében a *0,8 m*-es *NG* szelvényt a vizsgált szakasz teljes hosszában meg kell ismételni.

A megoldás természetéből következően biztosítani kell a mérés előtti és utáni pontos hitelesítést valamennyi szondánál.

Az aktuális gáztárolók és a kezdeti – vagy az előző – telepállapot összehasonlításával állapíthatjuk neg a fázishatár változását vagy az elvizesedett intervallumokat.

Végül felvetődik az a kérdés, hogy szükséges-e a négy szondából álló mérési program végrehajtása minden esetben. Az elmondottakból következik, hogy a *0,4 m*-es *ENNT* és a *0,8 m*-es *NG* szelvényt minden esetben fel kell venni. Szükséges továbbá legalább még egy szonda, melynek gázérzékenysége az erősen kőzetlisztes, agyagos szakaszokban a *0,8 m*-es *NG* után következik. Ezért a vizsgálatok kezdetén tisztázni kell a szondák szerepét az adott területen. Ehhez érdemes *4* szondából álló mérési programot végrehajtani. A szelvé-

nyek feldolgozása után a minimálisan szükséges 3 szonda kiválasztható. A végleges mérési program összeállításánál azonban más, itt nem részletezett szempontok figyelembevétele is szükséges lehet.

IRODALOM


[1] *Szilágyi Endre:* Az agyag és aleuritfrakció szerepe az algyői felsőpannóniai tárolókőzetek kőzetfizikai tulajdonságainak kialakításában. Magyar Geofizika IX. évf. 6. sz.

[2] Metodika opredelenija porisztoszti karbonatnih plasztov po dannim nyejtronnovo karottazsa. VNIIJAGG, Moszkva, 1967.

[3] *Czeglédi István:* Mesterséges gáztárolók vizsgálata nukleáris geofizikai módszerekkel. Atomtechnikai tájékoztató VIII. évf. 3. sz.

[4] Jaderno-geofizicseszkije metodi iszledovanija gazovih mesztorozsdenij. VNIIOENG, Moszkva, 1967.

[5] *Vendelstein B. Ju:* Geofizikai fúrólyukvizsgálati módszerekkel kapott adatok értelmezésére szolgáló nomogramok és grafikonok. Gosztoptehizdat, Moszkva, 1963.

[6] *Szilágyi Endre:* DRSZT–1 szondával végzett neutron neutron termikus szelvényezés interpretációs tapasztalatai. Magyar Geofizika, XI. évf. 6. sz.

[7] *„Schlumberger"* A szelvénykiértékelés alapelvei 1969.

[8] *Baszin Ja. N.:* Iszpolzovanyije jaderno-geofizicseszkih iszledovanij dlja izucsenyija gazovih mesztorozsdenij. Trudi VNIIJAGG, Vip. 5. Moszkva, 1969.

[9] *Edwars I. M.:* A method for neutron derived porosity determination for thin beds. Petroleum Transaction, AIME T. P. 4101.


# Könyvszemle

**F. Gassmann:** *Seismische Prospektion* (Szeizmikus kutatás), tan- és segédkönyv útidőmérések kiértékeléséhez, Birkhäuser Verlag, Basel und Stuttgart 1972, 430 oldal, 100 ábra (Lehrbücher und Monographien aus dem Gebiete der Exakten Wissenschaften, Astronomisch-Geophysikalische Reihe, Band 6).

A könyv nem terjeszkedik ki a szeizmikus kutatás egész tárgykörére, tehát nem tekinthető szeizmikus tankönyvnek a szó szoros értelmében, hanem – amint arra az alcím is rámutat – az útidőmérések kiértékeléséhez szükséges ismereteket adja. Elsősorban geológus egyetemi hallgatóknak és szakembereknek van szánva, de a jövendő fizikusok és geofizikusok is jól használhatják, különösen vezér- és kézikönyvként gyakorlati tevékenységük során.

A mű öt fejezetre oszlik. Az általános fogalmakat összefoglaló rövid I. fejezet után következő második fejezet a könyv fő része. Ez foglalkozik részletesen a kőzetek (geológiai testek) rugalmassági tulajdonságaival, bevezeti, értelmezi és alkalmazza az útidő-szeizmika alapfogalmát, ismerteti az alkalmazásra kerülő különböző modelleket (a homogén, izotrop testektől a két- vagy több ilyenből összetettekig, valamint az elliptikusan anizotrop rétegződésig) . Az egyes fejezetek végén feladatok vannak (összesen 117), melyek megoldásait az V. rész tartalmazza.

A III. fejezetben a szerző összefoglalja a II. fejezet megértéséhez szükséges matematikai ismereteket (ideértve a vektorszámítást), de a magasabb matematikai alapismereteket (pl. tenzorszámítás) igénylő elméleti megalapozás a IV. fejezetben található: ennek ismerete azonban a II. fejezet módszereinek megértéséhez és alkalmazásához nem szükséges. A IV. fejezet fejtegetései egyébként jelentékeny mértékben a szerző saját korábbi vizsgálataira alapoznak.

A gyakorlatban előforduló számos speciális – egyes esetekre időkímélési és egyszerűsítési szempontokból kidolgozott – eljárásra a könyv nem tér ki, de – amint azt a szerző hangsúlyozza – ezek a könyvben adott általános módszerekkel kezelhetők és pontosságuk szempontjából ellenőrizhetők. A feladatok a könyv tanulmányozóinak bő alkalmat nyújtanak a legkülönbözőbb jellegű alkalmazások begyakorlására. Mint már fentebb is mondottuk, a könyv nem tekinthető a szeizmika általános tankönyvének, de mindazok igen nagy haszonnal forgathatják, akik a szeizmika elméleti megalapozási kérdései iránt érdeklődnek.

*T. G.*