

Homokos tárolók porozitásának meghatározása kettős forrás-detektor távolsággal végzett termikus-neutron szelvényezési eljárással

ANDRÁSSY LÁSZLÓ - BARÁTH ISTVÁN - DRAHOS DEZSŐ

A szerzők a dolgozatban irodalmi közlések alapján kidolgozták a két szondahosszas termikus neutron szelvényezési eljárást modell körülményekre. Bemutadják kísérleti méréseik eredményeit az optimális mérési feltételek megállapítására, valamint a több-pontos H-porozításra való hitelesítést, amelyet az Intézetben kifejlesztett KRN-2-150-85 típusú neutron-berendezéssel végeztek. Elméleti görbék számítását végezték el különböző szondahosszak és lyukátmérek esetére. Külföldi és hazai tapasztalatok felhasználásával hitelesítést-ellenőrző egységet dolgoztak ki.

По литературным данным авторами разработан метод НГК-Т при двух длинах зонда для условий модели. В настоящей работе описываются результаты опытных работ, проведенных для определения оптимальных условий работы по этому методу. Излагаются исследования по калибровке для пористости H, проведенные с использованием разработанной в Геофизическом институте аппаратуры типа КРН-2-150-85. Вычислены теоретические кривые для различных длин зонда и диаметров скважины. С использованием опыта, накопленного как в нашей стране, так и за границей, разработано устройство для проверки калибровки.

Es wurde auf Grund von Literaturdaten das Thermische-Neutron-Verfahren der Profilierung mit zwei Sondenlängen für Modellverhältnisse ausgearbeitet. Es werden die Versuchsergebnisse für die Bestimmung der optimalen Messbedingungen, sowie für die Mehrpunkt-H-Porosität-Kalibrierung mitgeteilt, die im Geophysikalischen Institut mit Hilfe einer Einrichtung Typ KERN-2-150-85 (entwickelt im Institut) gewonnen wurden. Es wurden theoretische Berechnungen der Kurven für verschiedene Sondenlängen und Lochdurchmesser durchgeführt, und auf Grund einheimischer und ausländischer Erfahrungen eine Kalibrierungs-Kontrolleinheit ausgearbeitet.

A neutron-neutron szelvényeket alapvetően porózus képződmények, homokos és karbonátos tárolók kijelölésére és porozitásának meghatározására használják. Ezekon a szelvényeken elsősorban a pórusokat kitöltő folyadék (gáz) mennyiségére utaló anomáliákat figyelhetünk meg, amelyek értelmezése nehézkesé válik, ha a H mellett agyag (vagy más szennyező) is előfordul. Tiszta képződményekben, ahol a pórusok vízzel, olajjal vagy gázzal, esetleg ezek kombinációival telítettek, a mért és számított porozitás a jelenlevő folyadékra (gázra) lesz jellemző.

A gyakorlati neutron-neutron szelvényezésnél a fellépő folyamatok igen bonyolultak. A neutron forrásból kibocsátott neutronok ütközést szenvednek a képződmények anyagának atomjain és néhány száz mikroszekundumon belül lelassulnak a termikus sebességértékekre. Ezután véletlenszerű diffúziós mozgást végeznek mindaddig, amíg el nem fogja őket valamely atommag, mint pl. a klór, a hidrogén, a szilícium.

A neutronok lassulását és diffúzióját a fizikában többek között az ún. csoport-diffúziós elméletekkel írják le. Attól függően, hogy ez elméletet konstans energiájú neutronokra (egycsoportos elmélet), termikus és epitermikus neutronokra (kétcsoportos elmélet), vagy a neutronok egész energia-spektrumára (többcsoportos elmélet) alkalmazzák, a folyamatokat gyengébben, illetve jobban közelítik.

A szelvényezés elméletében nehézségeket okoz az ún. fúróluk-geometria (említett elméletek). A csoport-diffúziós egyenletek két koncentrikus henger szimmetrikus esetére (fúróluk és közeg), illetve három koncentrikus henger szimmetriájára (fúróluk, elárasztott zóna és formáció) való kidolgozása az irodalomból ismeretes [1, 2, 3, 4].

Jelen tanulmányunkban a kettős forrás-detektor-távolsággal végzett neutron porozitás-szelvényezés modell körülmények mellett kialakított mérés-technikájával és a porozitás meghatározásához a fúróluk hatását korrekcióba vevő görbeseregek kiszámításával foglalkozunk. A jövőben az eljárást a hazai szelvényezési gyakorlatba kívánjuk bevezetni, mivel homokos képződmények porozitásának meghatározását mind az olajkutatás, mind a víz- (hazai termálvíz), szén- és más ásványkutatás már sürgetően igényli. Természetesen az eljárást a tárolók szennyezettségi (agyagossági) foka módosítja, ezért további vizsgálatainkat az említett viszonyokra is ki fogjuk terjeszteni.

Kettős forrásdetektor-távolsággal végzett termikus-neutron porozítássalvényezés.

A neutron-neutron szelvényezési eljárásnál a forrásból kilépő neutronok áthaladnak a fúrólukon, mielőtt a formáció atomjaival kölcsönhatásba lépnek. A neutron-forrást közvetlenül körülvevő anyag (fúróiszap) H -koncentrációja nagy hatással van a neutronok további mozgására. Ha a H -koncentráció nagy (nagy fúróluk átmérő), akkor a neutronok nagy része a sugárforrástól kis távolságon belül lelassul és befogódik. A szelvényezési eljárás porozitás-érzékenysége csökken. Ezzel ellentétben, ha a H -koncentráció kisebb (kis fúróluk átmérő), a neutronok messzebb jutnak, mielőtt befogódnak. A szelvényezési eljárás porozitás-érzékenysége növekszik a fúróluk-átmérő csökkenésével.

A fentiekben leírt fizikai folyamatot legjobban megközelítik, ha a két-csoportos neutron-diffúziós elméletet olyan két koncentrikus hengeres tartományra alkalmazzák [1], amelyek a fúrólukat és a formációt képviselik. A három koncentrikus hengeres tartomány vizsgálata, amely az elárasztott zóna hatását is figyelembe veszi, – a neutronok behatolási mélységével összemérhető elárasztások esetén, – empirikus vagy egzakt számítások útján az eljárás továbbfejlesztésének következő fázis-feladata lesz. Az említett közelítés nagy előnye, hogy matematikailag levezethető, hogy a forrás-detektor tengelyén megfelelően megválasztott két különböző távolságban a termikus fluxusok aránya lényegében azonos az epitermikus fluxusok arányával. Ennek következtében a formáció egyetlen paraméternek, az epitermikus neutronok lassulási hosszának mértékéül szolgál. A termikus-neutron-mérések, amelyek a lassulási hossz iránt érzékenyek, azért is jelentősek, mert a lassulási hossz értékét a közeg H -koncentrációja szabja meg, amely szoros kapcsolatban van a kőzet porozitásával. Az előbbieken említettekből következik, hogy a forrás-detektor tengelyen a két detektort alkalmas távolságban elhelyezve a formáció tulajdonságai iránti érzékenység nő és csökken a fúróluk hatása. Ez képezi alapját a kettős forrás-detektor távolsággal végzett termikus neutron szelvényezésnek.

A szelvényezési eljárás kidolgozásában az elméleti alapok mellett igen nagy segítséget jelentettek a fúrólukmodellen végzett kísérletek és hitelesítések. Ezek a vizsgálatok lehetővé tették, hogy az elméleti görbéket fúróluk-modellen végzett kísérleti eredményekkel összehasonlítsuk és azok gyakorlati használhatóságát bizonyítsuk.

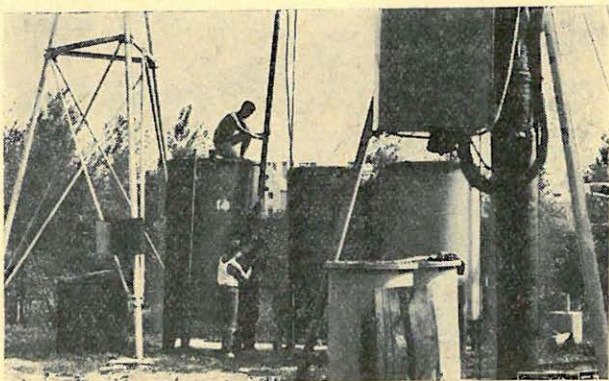
A Geofizikai Intézetben rendelkezésünkre álló neutronszelvényezési eljárások hitelesítésre alkalmas modellrendszer leírásával és az első kísérletek eredményeivel korábbi tanulmányban már foglalkoztunk [5].

A következőkben néhány olyan eredményt ismertetünk, amelyekkel méréseink hitelességét alátámasztjuk.

1. ábra. Neutron módszer hitelesítésére alkalmas modellrendszer fényképe

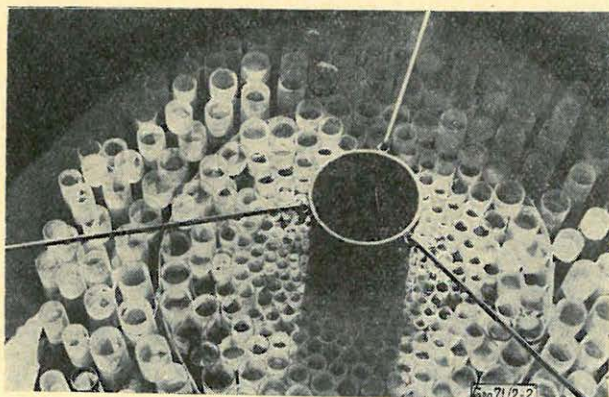
Фиг. 1. Внешний вид модельной системы для эталонирования метода ННК

Fig. 1. Bild eines Modellsystems für die Kalibrierung bei dem Neutron-Verfahren



Kísérleteket végeztünk a különböző porozitású homokos tárolók modellezésére szolgáló üvegszó-modell (1., 2. ábra) geometriai méreteinek (magasság: 2200 mm; átmérő: 1400 mm; belső cső: 158 mm) és homogenitásának ellenőrzésére. Az első mérési sorozatnál a neutron-szondát az üvegszó-modellbe épített béléscsőben helyeztük el a neutron forrással együtt és a külső zóna egyes köreit fokozatosan édes vízzel telítettük. Az egyes beállításoknál mért termikus-neutron-fluxus arányából meghatároztuk azt az extrapolációs távolságot, amelyen túli zóna már nincs hatással a mért értékekre. Ez a távolság méréseinkben 448 mm-nek adódott, amely megfelel 1045 mm-es modellátmérőnek. Ez az érték kisebb, mint az üvegszó-modell átmérője.

A kísérletek folytatásaként a homogenitás ellenőrzésére a szondát a modellben z irányban függőlegesen mozgattuk teljes víztelítettség esetén és mértük a termikus és epitermikus neutron-eloszlást (3. ábra). Megállapítottuk, hogy az eloszlás egyenletes; kivételt képez a modell alsó és felső vége, ahol az



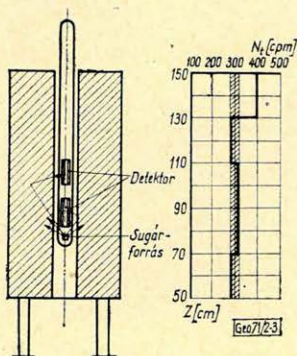
2. ábra. Üvegszó-modell fényképe felülnézetből

Фиг. 2. Вид модели из стеклянной трубы сверху

Fig. 2. Bild eines Glasrohr-Modells (von oben gesehen)

ún. „szélhatás” jelentkezik, amely impulzusszám-növekedést (termikus-neutron), ill. impulzusszám-csökkenést (epitermikus-neutron) eredményez.

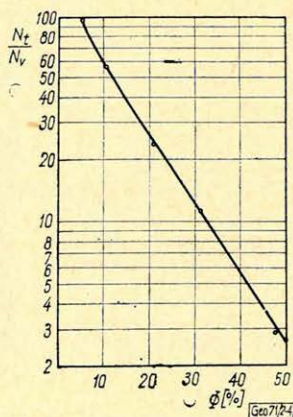
Kísérleti modell-méréseket a két csatornás $KRN-2-150-85$ típusú neutron szondával végeztünk. Sugárbiztonsági és gazdasági szempontokat szem előtt tartva $Pu-Be^{5}Ci-s$ (7×10^6) neutron(sec) neutronforrást alkalmaztunk.



3. ábra. Üvegcső-modellben Z irányú termikus neutron-eloszlás teljes édesvíztelítettség mellett

Fig. 3. Распределение тепловых нейтронов в направлении Z в модели из стеклянной трубы при полной насыщенности пресной водой

Fig. 3. Verteilung der thermischen Neutronen in der Z -Richtung in einem Glasmodell bei vollständiger Wassersättigung



4. ábra. Összefüggés a beütésszamarány (N_T/N_V) és a %-os H tartalom között termikus neutronokra homokos tárolók esetében

Fig. 4. Зависимость отношения количества импульсов (N_T/N_V) от процентного содержания водорода для тепловых нейтронов при песчаных коллекторах

Fig. 4. Zusammenhang des Einschlagzahlverhältnisses (N_T/N_V) mit dem prozentigen Hydrogen-Gehalt für thermische Neutronen im Falle von sandigen Speichern

A rövid és hosszú szondahosszak legalkalmasabb megválasztásához előkísérletképpen modell-méréseket végeztünk a termikus-neutron fluxus, a szondahosszak és a porozitás összefüggésének megállapítására. A szondahosszakat 50 cm-től 90 cm-ig változtattuk a szonda mindkét csatornájára. Mérési eredményeink azt mutatták, hogy a 76 és 60 cm-es szondahosszakkal végzett mérések alkalmasnak látszanak a további modell- és terepi-munkák elvégzésére.

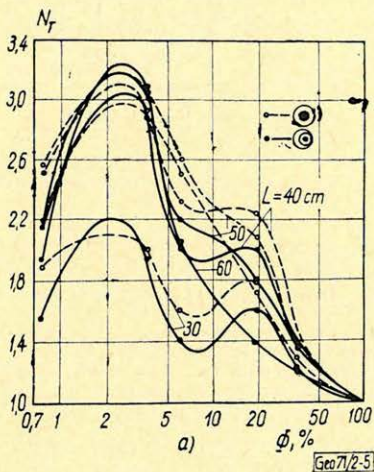
A mérőberendezések hitelesítése

A gépi úton kiszámított görbeseregek használatához hitelesítő modell-méréseket végeztünk a porozitás és a mért termikus fluxus eredmények összefüggésének megállapítására. A 4. ábrán látható a mérőberendezés 76 cm-es szondahosszal végzett hitelesítő görbéje termikus neutronra. A hitelesítő görbe egyes pontjait a víz (100%) és olajos homok (50%) H indexe, valamint különböző beállítások mellett (az üvegcső modellben 48,2%; 31,8%; 20,8%;

10,4% és 5,2%) végzett mérésekből szerkesztettük meg. A diagram függőleges tengelyén a beütésszámokat normált alakban, vízszintes tengelyén a porozitás-értékeket ábrázoltuk 0–50%-ig.

A 4. ábrán feltüntetett diagram alkalmazhatóságát gyakorlati példán mutatjuk be. A példának vett fúrás vízkutatás céljából mélyült. A vízadó rétegeket mind az elektromos, mind a radioaktív felvételek egyértelműen kijelölik. A kijelölt rétegek porozitását a termikus-neutron szelvényből számítottuk ki. Mélységi sorrendben a következő értékek adódtak:

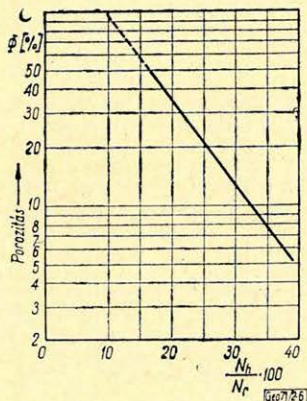
	Mélységintervallum (m)	Vastagság	Beütésszám	Vízre vonatkoztatott beütésszám	Porozitás %
1.	48,2 – 75,8	27,6	1321	16,2	26,2
2.	79,8 – 86,8	7,0	1260	15,7	27,0
3.	169,0 – 181,6	12,6	1425	17,8	25,5
4.	187,9 – 203,4	15,5	1390	17,3	26,0
5.	232,2 – 249,8	17,6	1220	15,3	27,2



5. ábra. Vízjáróló homokkővek porozitása és feltételes egységekben adott termikus neutronindikációk közötti összefüggések különböző szondahosszak esetén paraffin-szűrővel, S. A. Guberman szerint

Fig. 5. Графики зависимости пористости водоносных песчаников и показаний тепловых нейтронов в условных единицах при различных длинах зонда с парафиновом фильтром (по С. А. Губерману)

Fig. 5. Zusammenhänge zwischen der Porosität von wasserspeichernden Sandsteinen und in verschiedenen hypothetischen Einheiten gegebenen thermischen Neutron-Indikationen im Falle von verschiedenen Sondenlängen mit Paraffin-Filter (nach S. A. Guberman)

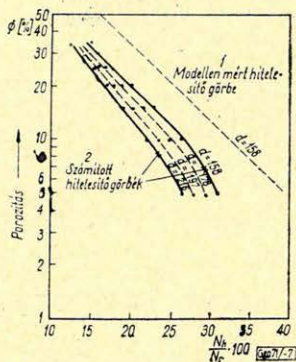


6. ábra. Kétsatornás KRN-2-85 típusú neutronszonda hitelesítő görbéje a $l_h = 76$ cm és $l_r = 60$ cm-es szondákra

Fig. 6. Градуировочная кривая двуканального зонда НКК типа КРН-2-85 для зондов $l_h = 76$ см и $l_r = 60$ см

Fig. 6. Kalibrierungskurve einer Neutron-Sonde Typ KRN-2-85 mit zwei Kanälen (für die Längen $l_h = 76$ cm und $l_r = 60$ cm)

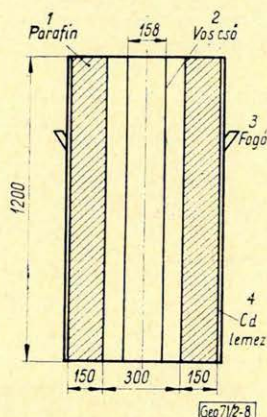
A 4. ábrán feltüntetett hitelesítő görbe 5-től 45%-ig terjedő porozitás-tartományban való számításokra alkalmas. 5%-nál kisebb, illetve 45%-nál nagyobb (a gyakorlati szelvény-méréseknél már elő nem forduló) porozitás értékekre a hitelesítő görbe eltérően viselkedik. Ezt az állítást szemléletesen mutatja S. A. Guberman ábrája (5. ábra). Az ábrán látható görbesereg víz-tároló homokkövek porozitása és feltételes egységekben adott termikus-neutron-indikációk közötti összefüggést adja meg különböző szondahosszak esetén paraffin szűrővel.



7. ábra. Számított termikus neutron-neutron görbék

Фиг. 7. Расчетные кривые ННК—Т. 1 — градуировочная кривая, полученная на модели; 2 — расчетная градуировочная кривая

Fig. 7. Errechnete thermische Neutron-Neutron-Kurven. 1. Kalibrierungskurve eines Modells 2. Errechnete Kalibrierungskurven



8. ábra. Terepi hitelesítő berendezés elvi vázlatja.

Фиг. 8. Схема полевого градуировочного устройства. 1 — парафин, 2 — железная труба, 3 — захватка, 4 — плита Cd

Fig. 8. Prinzipielle Skizze einer Kalibrierungseinrichtung für das Gelände. 1. Paraffin, 2. Eisenrohr 3. Handgriff, 4. Cadmium-Platte

Az ábrából látható, hogy 50 cm-es szondahosszig a görbék a vizsgált porozitás-tartományban változó jelleggel viselkednek igen rövid lineáris szakasszal. 50 cm-nél nagyobb szondahosszaknál 5–45%-ig terjedő porozitás-tartományban a kapott összefüggések lineáris tartománya egyre növekszik. Ezt igazolják és kiszélesítik a 60 cm-től 90 cm-ig terjedő szondahossz-intervallumban végzett kísérleti mérések eredményei és a 4. ábrán bemutatott hitelesítő görbe jellege is.

A 6. ábrán az ismertetett mérőberendezés hitelesítő görbéjét olyan formában ábráztuk, amely már alkalmas szelvényekből porozitás meghatározására 158 mm körüli fúróluk-átmérőkre. A diagram vízszintes tengelyére a hosszú (76 cm) és rövid (60 cm) szondával mért beütésszám-arányokat százalékos értékben, függőleges tengelyére pedig a porozitás értékeket (5–45%) ábráztuk.

A továbbiakban vizsgálatainkat a fúróluk-hatás figyelembevételére végeztük el. A feladatot az irodalmi egyenletek felhasználásával [I. Allen] gépi úton oldottuk meg. A számításokat véges kiterjedésű, két koncentrikus hen-

geres közegre (fúróluk és formáció), a megadott egyenletek és határfeltételek közvetlen felhasználásával végeztük el. A neutronok diffúzióját két energiacsoportban vizsgáltuk: epitermikus és termikus csoportokban: végeredményként pedig a fúrólukban jelentkező termikus fluxust számítottuk ki. A fúrólukbeli termikus fluxus-kifejezés két részből tevődik össze: az első rész a fúrólukközégre végtelen kiterjedés esetén adódó fluxusérték, a másik pedig a fúróluk végessége és a réteg hatása miatt lép fel, ez végtelen függvény sor alakjában adott. Ez utóbbi nagy előnye a diffúziós paraméterek széles tartományában jelentkező jó konvergencia.

A számításoknál a függvény sor figyelembe vett tagszámát automatikusan állítottuk be egy bizonyos hiba-kritérium alapján. A görbeseregeket eltérő fúróluk-átmérőkre változó szondahosszakra és a fekézési úthosszak ismeretében különböző porozitás-értékekre számítottuk ki.

A 7. ábrán látható görbesereg egyes pontjait gépi számítással határoztuk meg. A görbék paramétere a fúróluk -átmérő. A görbéket 159 mm-es (üvegső-modell) és 216 mm-es (kőolajkutatásnál használatos) fúróluk-átmérőkre számítottuk ki. A diagram alkalmazható 159 mm-nél nagyobb és 216 mm-nél kisebb fúróluk átmérőknél is a porozitás meghatározására, ha a méréseket 76 és 60 cm-es szondahosszakkal végezzük.

Eljárás a műszer hitelesítésének ellenőrzésére

A porozításra hitelesített radioaktív berendezést időről időre ellenőrizni kell függetlenül attól, hogy történt-e detektor- vagy valamilyen alkatrész-csere.

A hét-pontos hitelesítési görbét teljes egészben kontrollálni körülményes és nagy időt igénylő feladat, ugyanakkor nem is szükséges. A cél olyan könnyen hordozható hitelesítés-ellenőrző berendezést alkalmazni, amely biztosítja terepi viszonyok között, a mérés előtt és után, a kontroll elvégzését. Ilyen berendezés létrehozásán a Szolnoki Geofizikai Üzem is dolgozik. A Szovjetunióban alkalmazott gyakorlat szerint két lehetőség kínálkozik. A VUF VNII geofizikában és a VNIIAGG-ban kidolgozottak közül mi az előbbit tartjuk egyszerűbbnek, s célra megfelelőnek. A szerkezet méreteit és konstrukcióját a 8. ábra mutatja. A méretek megválasztásánál abból indultunk ki, hogy az ellenőrzésnél elegendő beütésszámot kapjunk, s a környezet hatása minimális legyen. A hitelesítési ellenőrzés lényege az ún. K_{he} érték állandóságának (5%-os hibahatáron belül) megfigyelése, számontartása.

$$K_{he} = \frac{N_{he}}{N_v},$$

ahol N_{he} = a hitelesítést ellenőrző berendezésben kapott beütésszám,
 N_v = ugyanazzal a szondával az édesvízben kapott beütésszám.

A méréseket többször megismételjük, hogy jó átlagértéket kapjunk:

$$K_{he} = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_n}{n}.$$

Terepi viszonyok között az így kapott K_{he} érték 5%-on belüli állandóságát ellenőrizzük.

A terepen végzett mérés előtti és utáni ellenőrzés adatait regisztrálni kell filmen, s a szerkezet és szonda számát párosan rögzíteni kell. Ezt az eljárást javasoljuk a terepi méréseknél bevezetni.

A kompenzált rendszerek módszertani és műszertani vizsgálata jelentős helyet foglal el a *Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet Mélyfúrási Geofizikai Főosztályának* tevékenységében. A cél olyan nukleáris komplexum kialakítása, amely elegendő információt ad béléscsővezetett vagy olajbázisú iszappal mélyített fúrások esetén is mennyiségi kiértékelés elvégzésére. Ebben a gondolatban kidolgoztuk a kompenzációs rendszerű gamma-gamma eljárást, amelynek segítségével jó pontossággal meghatározhatjuk a képződmények sűrűségét, s porozitást számíthatunk. A fentebb ismertetett neutron eljárás eredményeképpen *H*-porozitást határozunk meg. A különböző elven alapuló eljárások eredményét összehasonlítva megbízhatóbb adatokat kaphatunk a vizsgálandó rétegekre és azok milyenségére. A cél ezen adatok számítógépes feldolgozása és paletkarendszerek kidolgozása a különböző korrekciók figyelembevételére és a számítások megbízhatóságának növelésére, ami folyamatban van.

IRODALOM

- [1] *L. I. Allen, C. W. Tuttle, W. R. Miels, R. L. Caldwell*: Dual-spaced neutron logging for porosity GEOPHYSICS Vol. XXXII, No. 1. 1967. febr. p. 60 – 68.
- [2] *G. W. Tuttle*: Theory of Neutron Logging I. GEOPHYSICS Vol. XXVI. No. 1. 1961. febr. p. 27 – 39.
- [3] *G. W. Tuttle, L. I. Allen*: Theory of Neutron Logging GEOPHYSICS Vol. XXXI. No. 1. 1966. Febr. p. 214 – 224.
- [4] *S. A. Guberman*: Teorija nozdobija i radiometrija szkvazsin. Goszoptechizdat, 1962.
- [5] *Andrássy László – Mészáros Ferenc – Uhlmann Norbert*: Radioaktív fúrólukmodell-mérések legújabb eredményei. Geofizikai Közlemények XIX. kötet 1 – 2 sz. 1970.

Lapszemle

Fizikai Szemle 1970. 12. szám

Barta György: Búcsú Egyed Lászlótól, 353. old.

A magyar tudomány és művelődés kiemelkedő alakja, Egyed László akadémikus temetésén elmondott beszéd szövege.

Egyed László: A Föld belső szerkezetének új, dinamikus felfogása, 354 – 364. old.

Szerzőnek a *Geologische Rundschau* (46. l. 101 – 1021 old.) c. folyóiratban angolul megjelent cikke magyar fordításban. A dolgozat a földtágulás elméletének és földtani-geofizikai következményeinek első részletes kifejtése a nemzetközi szakirodalomban. Egyed későbbi munkáiban a részleteket tovább finomította, a hipotézist további érvekkel támasztotta alá, de a rendkívül gyümölcsöző elmélet alapvonásai már ebben a dolgozatban is világosan láthatók.

TG