

# A hazai mélyfúrási geofizika fejlődésének célszerű irányairól

CZEGLÉDI ISTVÁN - MARKÓ LÁSZLÓ - Dr. SEBESTYÉN KÁROLY

Szerzők összefoglalják a hazánkban jelenleg alkalmazott mélyfúrási geofizikai módszereket és műszereket. Megállapítják, hogy a jelenleg alkalmazott eljárások megfelelő kiegészítésre szorulnak. Az elektromos paraméterek mérésében a fókuszált rendszerűek széleskörű bevezetése és az indukciós mérési eljárás kidolgozása jelenti a fejlődés útját. A radiológiai mérések fejlesztésének az energiamérésre és a magasabb hőmérsékletekre kell irányulnia. Ennek nemcsak eszköz feltételeit kell megteremteni, hanem a módszertaniakat is. A fúróluk állapotát vizsgáló és a rétegmegnyitás eszközeit is fejleszteni kell, részben a működési hőmérséklet, részben az adatszolgáltatás gyorsaságát és precizitását illetően.

В статье дается сводный обзор о методах и установках промышленной геофизики, применяемых в настоящее время в Венгрии. Установлено, что применяемые ныне методы требуют соответствующего дополнения. В измерении электрических параметров широкое внедрение методов фокусированной системы и разработка индукционного метода представляют собой путь развития. Радиологические методы должны развиваться по пути измерения энергии и повышения рабочей температуры. Для этого необходимо создать не только аппаратные, а также методические предпосылки. Необходимо также развить средства для изучения состояния скважины и вскрытия пластов в отношении рабочей температуры, с одной стороны, и ускорения получения данных и повышения их точности, с другой.

Die Verfasser geben eine Zusammenfassung über die Methoden und Geräte für geophysikalische Bohrlochmessungen, die zur Zeit in Ungarn verwendet werden. Es wird festgestellt, von elektrischen Parametern wird der Weg der Entwicklung durch den weitverbreiteten Einsatz der Methoden des fokussierten Systems und die Ausarbeitung des Induktionsverfahrens dargestellt. Die Entwicklung der radiologischen Methoden soll sich auf die Messung von Energie und auf die Erhöhung der Arbeitstemperaturen richten. Dafür müssen nicht nur die technischen, sondern auch die methodischen Vorbedingungen geschafft werden. Die Geräte für die Bestimmung des Zustandes der Bohrlöcher und für die Schichtöffnung müssen auch in Hinsicht sowohl auf Arbeitstemperaturen als auch auf die Beschleunigung der Angabenerlieferung und die Erhöhung der Präzision gefördert werden.

A mélyfúrási geofizikai kutatások alapvetően két nagy területet foglalnak magukban.

A makroszkópos kőzettulajdonságokat vizsgálják a fajlagos ellenállás-mérések különböző rendszerei, a PS mérés, a gerjesztett potenciál, az akusztikus sebesség, mágneses permeabilitás stb. mérésére alapított eljárások.

A mérések másik nagy csoportja a kőzeteket alkotó elemekhez, illetve azok atomjainak tulajdonságaihoz kapcsolódik. Az ide tartozó vizsgálati módszerek zöme a természetes és gerjesztett radioaktív sugárzásoknak a fúróluk környezetében való eloszlását méri.

Kisebb ágazatát a molekuláris mágneses momentum mérésére vonatkozó eljárások képezik.

A megoldandó problémák zöme a kőolajkutatáshoz, kisebb része a víz, a kőszén és egyéb ásványok kutatásához kapcsolódik.

A *kőolajkutatási fúrólyukszelvényezés* gyakorlatában az alábbi feladatok merülnek fel:

- a rétegsor megállapítása;
- a porózus, permeábilis szakaszok kijelölése;
- a porozitás nagyságának meghatározása;
- a víztelítettség (azaz szénhidrogén tartalom) meghatározása;
- a réteg agyagosságának és a
- a permeabilitás mértékének megállapítása.

Vannak ezeken kívül a kút műszaki állapotával összefüggő karottázs problémák is.

A porozitás nagyságát jelen eszközeinkkel vagy a réteg hidrogén tartalmának a neutron szelvény alapján való megméréseivel, vagy a formációtényezőnek az ellenállás szelvények alapján való meghatározásából az

$$F = \frac{0,62}{\varphi^{2,15}}$$

összefüggés segítségével kapjuk meg. A formációfaktor meghatározásán alapuló módszert használjuk általánosabban, egyrészt mivel ellenállásmérést mindenhol végzünk, másrészt mivel ennek a módszernek az alkalmazhatósági területe szélesebb.

Ezt a módszert olyan területen alkalmazhatjuk, ahol a mélybehatolású szondák a valódi ellenállás pontos értékét adják, vagyis a rétegek nincsenek mélyen fúróiszappal elárasztva, és a PS a rétegvíz ellenállás jó közelítő értékét adja. A F ismeretében a porozitás az előző képletből határozható meg.

A másik szintén majdnem általánosan alkalmazott módszer a kiöblített zóna ellenállásának ( $Rx_0$ ) mikrológ alapján történő meghatározásán alapszik. A formációfaktort a kiöblített zóna ellenállásának és az iszap filtrátum ellenállásának viszonya adja meg. Minthogy a mikrológ az  $Rx_0$  értékét csak 18–20%-nál nagyobb porozítások mellett és kb. 1/2"-nál kisebb iszaplepeny vastagság mellett adja meg elfogadható pontossággal, ezen módszer alkalmazhatósága általában csak az alsó és felsőpannon lazább kőzeteire korlátozódik. A mikrológ korlátozottságait az úgynevezett mikrolaterológ, azaz fókuszált mikrológ nagymértékben csökkenti. Ez az eljárás kis porozítások és vastagabb iszaplepenyek esetében is jobb  $Rx_0$  értéket ad, mint a mikrológ. Előnye még, hogy a porózus rétegen belüli ellenállás változásokat jobban tükrözi. Nagy segítséget fog jelenteni ez a műszer azokon a területeken, ahol az iszap ellenállása a réteg ellenállásához képest igen kicsiny. Mint pl. a karbonátokban és ahol az iszap sótartalma magas. Ez a műszer még hazánkban nem áll az ipar rendelkezésére, legalábbis ami az üzemszerű alkalmazást illeti. Az OKGT laboratóriuma kialakított egy ilyen szondát, amellyel már néhány kísérleti mérést végeztünk. Ha  $Rx_0$  és  $R_0$  ugyanarra a rétegre meghatározható, a következő ellenőrzést végezhetjük el:

$$\frac{Rx_0}{R_0} = \frac{Rmf}{Rw}$$

Ha a fenti egyenlőség fennáll, a két független ellenállásparámeterből kapott  $F$  érték az első formula alapján jó porozitás értéket fog adni. Ha a fenti egyenlőség nem áll fenn, a vízanalízisből megállapított pontos  $Rw$  érték és a mikrosondával erősen kiöblösödött szakaszon kapott iszapellenállás érték nagy segítséget jelent a fennálló bizonytalanság megszüntetésében.

Az olyan területeken, ahol a kőzetek kis vagy közepes porozitásúak, gyakran a rövid normál görbét használjuk a formációfaktor és ennek alapján a porozitás meghatározására. Ilyen helyen a rövid normál sonda közvetlenül az elárasztott zóna fajlagos ellenállását adja. Ebben a zónában az iszap nem szorította ki teljesen az eredeti rétegvizet, tehát a filtrátum és a rétegvíz keveréke tölti ki a pórusteret. A formációfaktort a következő összefüggés adja:

$$F = \frac{Ri}{Rw} \left[ z + \frac{Rw}{Rmf} (1 - z) \right]$$

ahol  $z$  – a pórusokból ki nem söpört rétegvíz %, amely a porozitástól függő tényező; annak növekedésével nő. Általában 1/10-nek vesszük. Megjegyezzük, hogy fenti formulában az  $Rw$  ismerete nem kritikus.

A fent ismertetett módszerek csak tiszta, tehát agyagmentes homok és homokkövekben alkalmazhatók. Agyagos homokkövek esetén a fenti mérésekkel kapott formációfaktor nem jellemző a kőzet effektív porozitására, mivel a kőzet ellenállását nemcsak a pórusokat kitöltő víz határozza meg, hanem az agyagtartalom is. Ellenállásmódszerekkel az agyagos homok és homokköveknek csak ún. látszólagos formációfaktorát kapjuk meg, amely mindig kisebb a pórustérfogatra jellemző valódi formációfaktornál. Így a belőlük számított porozitás mindig nagyobb a valódi porozitásnál. Az eltérés nagysága a rétegvíz fajlagos ellenállásától és az agyagtartalomtól függ.

*Homokrétegeinkben és homokköveinkben* alkalmazott szelvényezési metodikánk olyan, hogy az agyagosság kimutatására a PS szelvény áll legáltalánosabban rendelkezésünkre, ezért az agyagos kőzetek valódi formációfaktorát rendszerint az alábbi képletből számíthatjuk ki, a látszólagos formációfaktor ismeretében.

$$F_t = F_a \left( \frac{Rmf}{Rw} \right)^{1-\alpha}$$

A képletben  $F_a$  az agyagos kőzet látszólagos formációfaktora, amelyet az előbbiekben ismertetett módszerek egyikével határozunk meg. Az  $\alpha$  ún. PS csökkenési tényező, amelyet az agyagos kőzet PS-nek a szinttájón belüli agyagmentes réteg PS-éhez viszonyított értéke ad meg. Megfigyeléseink szerint a formula általában akkor ad jó eredményt, ha az  $R_0$  és az  $Rx_0$  módszerrel kapott látszólagos formációfaktorok nem nagyon térnek el egymástól.

Az  $F_t$ , valódi formációfaktorból a porozitás éppúgy számítható, mint tiszta kőzetek esetén.

*Karbonátos kőzeteinkben*, ahol az elsődleges porozitás rendkívül kicsi és a kőzetek ellenállása az iszapellenállásának többszáz, sőt többezerszeresét is meghaladja, legfeljebb csak a mikrolaterológ jöhet számításba. Ha számításba vesszük azt is, hogy a termelőképeség szempontjából sokkal jelentősebb és jellemzőbb a karbonátos kőzetek másodlagos porozitása, akkor arra a követ-

keztetésre jutunk, hogy a lehetséges módszerek közül az ellenállás módszer a leggyatrább. Az ilyen kőzetekben a porozitás-meghatározás legjobb módszere a neutronszelvényezés. A másik hiányosság az, hogy a jelenlegi GM csöves szondáink felbontó képessége kicsi, így a neutron görbe nem tudja híven követni a porozitás változásokat. Emiatt meglehetősen nehéz a jó felbontóképességű laterológ szelvényekkel való kombinálása is. Mindenesetre a neutronszelvényt kell használnunk és a porozitás meghatározásában csak egy közelítő módszert alkalmazhatunk, amely bizonyos feltételezéseken alapszik. Feltételezzük, hogy a legnagyobb neutron kitéréssel jelentkező szakaszok porozitása 2–3%, míg a környező márgáké kb. 40%. Figyelembe kell venni a márga mésztartalmát is. Ugyanis a mészmárgák porozitása jóval kisebb lehet. Pl. a nagylengyeli inoceramusos mészmárga H porozitása 25–30%-nak vehető. A legtömöttebb szakasz és a márga, ill. mészmárga szakasznak megfelelő neutron kitéréseket fél logaritmikus papíron a fenti feltételezett porozítások függvényében ábrázolhatjuk. A két pontot összekötő egyenes a jól ismert

$$\varphi = A - B \log N$$

összefüggést adja. Az így kapott diagram segítségével a közbeeső neutron kitéréseknek megfelelő porozításokat közvetlenül kapjuk.

Ezt a közelítő módszert néha homokkövekben is alkalmazzuk, azonban a homokkövekben általában jelenlevő agyag megnehezíti a megbízható adatok nyeresét.

Láttuk, hogy mind az ellenállásmérésen, mind a hidrogéntartalom mérésén alapuló módszerek csak bizonyos kedvező feltételek mellett adják meg a kőzetek porozitását. A kapott értékek pontossága attól függ, hogy a számítási módszereknél alkalmazott feltételezések mennyire közelítik meg a valóságot. Az ellenállásmérésen alapuló porozitás meghatározást a már ismertetett tényezőkön kívül az esetleges szénhidrogén tartalom is zavarja. Pl. a maradék olajtelítettséget általában fel szoktuk tételezni. Értéke szénhidrogén rétegekben 5–20% lehet. Pontosabb kiértékeléshez további mérési adatokra van szükség.

A *konzolidált*, tehát közepes és kis porozitású *homokkövekben* és *mészkövekben* a szónikus szelvény adja a legjobb porozitás értéket, mely az alábbi formulával számítható:

$$\varphi = \frac{\Delta t - \Delta t_m}{\Delta t_f - \Delta t_m}$$

ahol  $\Delta t$  a mért terjedési idő, a  $\Delta t_m$  a matrix terjedési sebesség, amely homokkövekben 170–180 sec/m; mészkövekben 40–45 sec/m; dolomitokban 35–85 sec/m; a vízben 580 sec/m, olajban és gázban ennél még nagyobb.

Az utóbbiból úgy tűnik, hogy a szénhidrogének jelenléte ezt a módszert is befolyásolja. A tapasztalatok azonban azt mutatják, hogy konzolidált, tehát kis és közepes porozitású homokkövekben, valamint a mészkövekben az elárasztás olyan hatásosan szorítja ki a rétegekből a szénhidrogéneket, hogy a szónikus szelvényt azok gyakorlatilag nem befolyásolják. A nagy porozitású homokkövekben és konzolidálatlan homokokban azonban a kompaktág hiányát korrigálni kell, ami bizonytalanságot jelent. Az agyagos kőzetekben az agyagnak a folyadékhoz hasonló nagy terjedési ideje miatt a szónikus szelvény a valódinál magasabb porozitást ad. Az ilyen kőzetekben az elárasztás szénhidrogén kisöprő hatása sem tökéletes, úgyhogy a kiöblített

zóna maradék olaj- és gáztartalma is hatással van a mért értékekre. Ezért a nagy porozitású konszolidálatlan és az agyagot tartalmazó kőzetekben a szónikus szelvény helyett az ún. sűrűség szelvényezést előnyös használni.

Sűrűség-szelvényezésnél a porozitást az alábbi összefüggésből kapjuk:

$$\varphi = \frac{\rho_{sz} - \rho}{\rho_{sz} - \rho_f}$$

ahol:  $\rho_{sz}$  – a kőzetszemcse sűrűsége  
 $\rho$  – a kőzet térfogatsűrűsége  
 $\rho_f$  – a folyadék sűrűsége

A kőzetszemcsére jó átlagértékek állnak rendelkezésre.

A homokkővek szemcsesűrűsége 2,65 g/cm<sup>3</sup>, a mészköveké 2,71 g/cm<sup>3</sup>, a dolomitoké 2,87 g/cm<sup>3</sup>. A folyadék sűrűsége 1 vagy ahhoz közel álló érték.

Ha a kőzetben gáz vagy kis fajsúlyú olaj van, a sűrűség-szelvényező túl magas porozitás értéket adhat.

Mint hogy a kőzetekben levő agyagszemcse sűrűsége egyenlő, vagy alig kisebb, mint a homokkőszemcséké, az agyag ezt a műszert nem, vagy csak alig befolyásolja. Mivel a sűrűség-szelvényező mérési értéke a nagyporozitású kőzetekben a legnagyobb, a mérési hibák ilyen kőzetekben a legkisebbek. Tehát összefoglalva elmondhatjuk, hogy a nagyporozitású és agyagos kifejlődésű kőzetek legjobb porozitásmérője a sűrűség-szelvényező.

A kőolajkutatás karottázs gyakorlatában megoldandó másik probléma az *agyagtartalom meghatározása*. Mint hogy a homokokból és homokkövekből felépülő rétegsorainkban nukleáris szelvényeket rendszeresen nem veszünk fel, az agyagtartalom meghatározására a PS görbét használjuk legáltalánosabban. Közismert tény, hogy agyagos homokokban a PS görbe kisebb kitérést mutat, mint az ugyanolyan rétegvízű agyagmentes homokkővekben. Minél agyagosabb a homokkő, annál kisebb a már említett PS csökkenési tényező, amelyet az agyagos homok PS-ének a szinttájon belüli agyagmentes homok PS-éhez viszonyított értékeként határoztunk meg. Agyagmentes homokkőben az  $\alpha$  1-gyel egyenlő; a tiszta agyagban pedig 0-val. Az  $\alpha$  és a kőzetnek a pórustér %-ban kifejezett agyagtartalma között az alábbi összefüggés állapítható meg:

$$P = \frac{\frac{Rmf^{1-\alpha}}{Rw} - 1}{\frac{Rmf}{Rw} - 1}$$

Az  $Rmf/Rw$  a tiszta homokban mért PS alapján számítható. Ez a módszer csak ott alkalmazható, ahol a szinttájon belül tiszta homok is van és a kőzetek fajlagos ellenállása nem nagy.

Más helyeken a természetes gamma görbe alkalmazásától jobb eredményt várhatunk.

Feltételezzük, hogy a legkisebb gamma kitérést adó szakasz agyagmentes, míg a legnagyobb gamma aktivitású és a legkisebb neutron kitérésű szakasz 100%-os agyag. Ezt a feltételezést a többi szelvény figyelembevételével körültekintően kell alkalmazni. Ha a fenti feltételezéseket diagrammon ábrázoljuk, olyan egyenest kapunk, amelynek az egyenlete a következő:

$$P_{\text{térf.}\%} = 1 - \frac{\gamma_a - \gamma_{ak}}{\gamma_a - \gamma_k}$$

ahol  $\gamma_a$  – gammaszelvény kitérés az agyagban  
 $\gamma_k$  – gammakitérés a tiszta homokban  
 $\gamma_{ak}$  – gammaszelvény kitérés a vizsgált kőzetben.

A módszer gyengéje az, hogy feltételezi, hogy az agyag sugárzási aktivitása a vizsgált homokban ugyanakkora, mint a tiszta agyagszakaszokon, ami nem bizonyítható és nem mindig reális feltevés.

Az olajipari karottázsnak még egy igen komoly problémával kell megbirkóznia, ez pedig a *szénhidrogéntartalom kimutatása*, ill. a *víztelítettség meghatározása*. A tiszta homokkővekben a szénhidrogéntartalom és az ellenállások között az alábbi összefüggés írható fel:

$$S_{CH} = 1 - \left( \frac{R_o}{R_t} \right)^2$$

ahol  $S_{CH}$  – a szénhidrogén telítettség a póruster %-ban kifejezve,  $R_o$  a teljesen vízzel telített réteg ellenállása a szinttájon belül,  $R_t$  – a vizsgált szénhidrogénes réteg ellenállása.

A fenti összefüggésből látható, hogy ha egy homokkő pórusterének a felét szénhidrogének, felét pedig víz foglalja el, ellenállása négyszer nagyobb lesz, szénhidrogén mentes állapothoz viszonyítva. Ebből látjuk, hogy tiszta kőzetek esetén a szénhidrogén-tartalom felismerése viszonylag egyszerű az ellenállásszelvényeken. A vizes kőzet  $R_o$  ellenállását vagy a szinttájon belüli tiszta vizes réteg valódi fajlagos ellenállása, vagy a  $R_o = F R_w$  képlet adja meg.

Tehát ha a rétegsor mindegyik tagjának a valódi fajlagos ellenállását meg tudjuk határozni, a szénhidrogénes rétegek felismerése nem jelent problémát, ha a porozitás, amelyből a formációfaktor meghatározható, a vázolt módszerekkel megbecsülhető.

Jelenleg a valódi fajlagos ellenállást általában a szabványos normál és laterál-szondákkal határozzuk meg, ha a rétegek vastagsága 3 m-nél nagyobb. A 15%-nál nagyobb porozitású kőzetek valódi fajlagos ellenállása ezekkel a módszerekkel általában jól megállapítható, feltéve, ha az ágyazó kőzetek fajlagos ellenállása az iszapellenállás 10-szeresénél nem nagyobb és homogén. Természetesen, ha maga a vizsgált réteg nem nagy fajlagos ellenállású. A kisebb porozitású kőzetekben, ahol az elárasztás átmérője a lyukátmérő tízszeresét is meghaladja, a vékony rétegek valódi fajlagos ellenállásának meghatározása igen megnehezül, különösen ha a réteg anizotrop környezetben van. Ilyenkor az elárasztott zóna és a környező rétegek ellenállása a szelvényen mért látszólagos ellenállásokat olyan nagymértékben eltorzíthatja, hogy a valódi fajlagos ellenállást még az eltérési görbeseregek segítségével sem tudjuk megkapni.

A környező rétegek és az iszapellenállás hatása a fókuszált áramterű ellenállásmérő szondáknál jelentős mértékben csökkenthető. Ezeknek a jó részletező képességen kívül még az az előnye, hogy ha a valódi fajlagos ellenállás az elárasztott zóna fajlagos ellenállásának harmadrésznél kisebb, korrekció nélkül is jó, valódi ellenállás értéket adnak, feltéve, hogy a réteg csak kis mértékű elárasztást szenvedett. Minthogy vizsgálati mélysége a rövid és

hosszú normálszondáké között van, nagy fajlagos ellenállású iszapokkal fúrt mélyen elárasztott kőzetekben a szonda által mért értéket az elárasztott zóna jobban befolyásolja, mint a réteg valódi ellenállása. Ilyenkor a laterolog mérésből nem tudjuk a valódi fajlagos ellenállás pontos értékét meghatározni. Ha az elárasztás mélysége mérsékelt, vagy kicsi, a laterolog ellenállásból a valódi fajlagos ellenállás a következő összefüggés alapján számítható ki:

$$R_L = G_i R_i + (1 - G_i) R_f$$

$G_i$  az ún. geometriai tényező, amely a szonda elektródátávolságainak és az elárasztás mélységének a függvénye (homogén kőzetben). A laterolognak más szondákkal való kombinálása kiterjeszti alkalmazhatóságát. Jelenleg a 20 cm-es normál- és az 1 m-es laterálszondával való kombinációra vannak görbeseregeink, de ezek csak igen kismérvű elárasztás mellett adják meg a valódi fajlagos ellenállást, főleg akkor, ha ez nagyobb az elárasztott zóna fajlagos ellenállásánál. A most kibocsátásra kerülő laterolog-pseudo laterolog kombinációra leszarmaztatott görbeseregektől jobb eredményeket várunk.

Az édesvizes iszappal fúrt kis ellenállású, főleg agyagos kőzeteinkben igen hiányoljuk az indukciós szondát a valódi fajlagos ellenállások meghatározásánál.

Hangsúlyoznunk kell, hogy a valódi fajlagos ellenállások ismerete nem minden esetben biztosítja a szénhidrogén felismerését.

Az agyagos kőzetekben pl. az agyag annyira lecsökkentheti a réteg fajlagos ellenállását, hogy a szénhidrogéntároló rétegeké sem lesz nagyobb, mint az agyagmentes vizes rétegeké. Ezek az esetek igen nehéz problémát jelentenek és megoldásukhoz véleményünk szerint korszerű szelvényező eszközökre van szükség. Pl. az indukciós szelvények a szónikussal, vagy rövid-normál görbének a szónikussal való kombinálása jó eszköz volna a szénhidrogénes rétegek felismeréséhez. Mint tudjuk, a kis ellenállású agyagos kőzetekben az indukciós mérés kb. a valódi fajlagos ellenállást adja közvetlenül. A szónikus szelvény a porozitásra ad jellemző értéket. Az indukciós szelvény értékének a szónikus szelvényből kapott látszólagos formációfaktorhoz viszonyított értéke az Archie-formula alapján egy látszólagos rétegfolyadék ellenállást ad.

$$\frac{R_I}{F_{sz}} = \frac{R_t}{F} = Rwa$$

$$\text{Vizes kőzetben: } R_I = R_o, \text{ tehát } Rwa_{viz} = \frac{R_o}{F_{sz}}$$

$$\text{Szénhidrogénrétegben: } R_I - R_t = \frac{R_o}{Sw^2}$$

$$\text{Tehát: } Rwa_{CH} = \frac{R_I}{F_{sz}} = \frac{R_o}{Sw^2 F_{sz}} = \frac{Rwa_{viz}}{Sw^2}$$

Mivel  $Sw$  az egységnél kisebb, a szénhidrogénes rétegekben kapott  $Rwa_{CH}$  nagyobb a vizes kőzetekben kapott  $Rwa$ -nál.

Tehát az  $Rwa$  értékek megemelkedése a szénhidrogén jelenlétére utal. Most vegyük a másik kombinációt. Általában a homokkövekben a rövid normál szonda az  $R_i$  közelítő értékét méri, amely az iszapfiltrátum fajlagos

ellenállásával elosztva egy  $F_R$  látszólagos formációfaktort ad. A szónikus szelvényből ugyancsak egy látszólagos formációfaktort kapunk, amellyel ha elosztjuk a rövid normálból kapott értéket, a vizes homokban 1-nek megfelelő értéket kapunk, vagyis

$$R_N = R_i \quad - \quad \frac{R_i}{R_{mf}} = F$$

$$\frac{R_N}{R_{mf}} \cdot \frac{1}{F_{sz}} = \frac{R_i}{R_{mf}} \cdot \frac{1}{F_{sz}} = \frac{F_N}{F_{sz}} \approx 1$$

szénhidrogén homokban:

$$\frac{R_i}{R_{mj}} = \frac{F}{S w_i^2}$$

$$\text{Így: } \frac{F_N}{F_{sz}} = \frac{R_i}{R_{mf} \cdot F_s} = \frac{F_H}{F_{sz} S w_i^2} = \frac{1}{S w_i^2} > 1$$

Látjuk, hogy ez a műszerkombináció is kiugró értékkel jelzi a szénhidrogén rétegeket. A fenti viszonyértékek nomogram segítségével történő felrakása igen egyszerű és ha azokat az egész vizsgálandó lyukszakaszra megfelelő részletességgel felrakjuk, a szénhidrogén rétegek mind a két görbén kiugró értékkel jelentkeznek még az agyagos rétegekben is. Ugyanis ott, ahol az agyag hatására az indukciós értéke csökken, a szónikus által mért  $\Delta t$  nő, azaz a szónikussal kapott formációfaktor szintén csökken. Mivel az agyagosság mindkét tényezőt kb. ugyanolyan mértékben csökkenti, a két érték viszonya csak a szénhidrogén-tartalomtól függően tér el a vizes rétegekben kapott értékektől. A gáz tovább csökkenti a szónikus formációfaktort, azért a gázos

rétegek még kiugróbb értékkel jelentkeznek az  $R_{wa}$  és az  $\frac{F_N}{F_s}$  görbéken. Mint-

hogy a pontok kiszámítását és azoknak a mélység függvényében (szelvényyszerűen) való felrakását könnyen gépesíteni lehet, a fenti kombinációs módszerek igen nagy előrelépést jelentenek a hazai szénhidrogén kutatásban.

A szénhidrogén kutatása a karbonátos kőzetekben még nehezebb feladat. Ezen a téren még csak kezdeti lépéseink vannak. Csupán annyit említünk meg, hogy a karbonátos kőzetekben a laterolog és a neutron görbe kombinálásával, továbbá redox potenciál és pH méréssel próbáljuk a szénhidrogéneket kimutatni. A kísérleti eredmények kiértékelését, így a módszerek hatékonyságát megnehezíti, hogy a karbonátos kőzetekben nem mindenhol tudunk beáramlást kapni.

A kőzetalkotó elemek tulajdonságaihoz legközvetlenebbül a radiológiai módszerek kapcsolódnak. Általános alkalmazásukról (term.-gamma, gamma-gamma, neutron-gamma) előzőkben szóltunk. A továbbiakban ezért ezeknél a méréseknél csupán azt kívánjuk meghatározni, hogy melyek azok az utak, melyek a mérések színvonalát a jelenleginél magasabbra emelhetik és a nyerhető információk mennyiségét növelhetik.

Lényegesen szélesebbre kell fogunk mondanivalónkat azoknál az eljárásoknál, melyeknek a hazai kutatásokban legfeljebb csak csíráit találhatjuk meg, de amelyek a külföldi szakirodalomban sokat ígérően jelennek meg.

Ezek az eljárások a mesterségesen létrehozott radioaktív bomlási folyamatok kapcsán fellépő gamma sugárzások vizsgálatára, legfejlettebb formájukban ennek energiaeloszlás szerinti megkülönböztetésére alapulnak.

Az alkalmazásban levő eljárások továbbfejlesztése is számos lehetőséget rejt magában:

A természetes gamma szelvényezés – mint ismeretes – a kőzetekben jelenlevő természetes bomlást szenvedő elemek összes sugárzásának regisztrálását jelenti, tekintet nélkül a gamma-kvantumok energiájára. A mérések értelmezése azon a gyakorlati tapasztalaton alapszik, hogy az egyes üledékes kőzetfélések elsősorban  $K^{40}$ -es izotóptartalmuktól függően sugároznak, tehát ezen keresztül azonosíthatók. (Ezt a tapasztalatot bizonyos mértékig indokolni lehet a geokémiának az egyes kőzetekben előforduló elemek eloszlási százaléka-ra vonatkozó adataival.) Ez az interpretáció – megfelelő kalibrációval – továbbfejleszhető az agyagosság meghatározásáig a kutatási területekre vonatkozó helyismeretek feltételezésével (l. előbb). Nem alkalmazható az előző megfontolás akkor, ha fel lehet tételezni, hogy az észlelt gamma sugárzás részben vagy egészben nem a  $K^{40}$ -es izotóptól származik. Annak eldöntése, hogy a természetes sugárzás melyik természetes radioaktív bomlást mutató elemtől származik, azonban csak a sugárzás energiájának mérése alapján lehetséges.

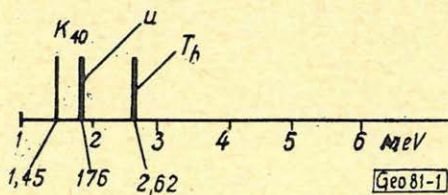
1. ábránk a három (legjelentősebb) természetes bomlást mutató elem: az U, a Th és a  $K^{40}$  gamma spektrumvonalait mutatja be. A spektrum lágyabb részében ( $E < 1,3$  MeV) igen sok vonal van. Ezek Compton csúcsaikkal együtt zavarossá teszik a képet. A spektrum keményebb részében három jellemző vonal van:  $K^{40}$  – 1,45 MeV; U – 1,76 MeV; és Th – 2,62 MeV.

A valóságban felvehető spektrumok természetesen korántsem olyan egyszerűek, amint azt az 1. ábra bemutatja, legfőképpen azért, mert a kőzetekben fellépő szóródás és elnyelés deformálja az eredeti eloszlási viszonyokat.

A természetes gamma sugárzás spektrumának felvételéből, illetve ezen keresztül a sugárzást előidéző természetes bomlást mutató elemek mibenlétének megállapítására vonható következtetések jelentőségét aligha kell külön felsorakoztatnunk. Legelőször is az, hogy a K tartalom szerint az agyagásványok tagolását lehet vele megoldani. Az urán, tórium, kálium arány meghatározása fontos jellemzője lehet az üledékképződés geokémiai viszonyainak. A sugárzás tóriumtól való származása karbonátos kőzetekre utal, amelyek a sugárzási szint segítségével tagolhatók. Jelentősége lehet a hasadó anyagok kutatásában is.

A természetes gamma spektrum fúrólukbéli mérésére még a kezdeti lépéseket sem tettük meg. Hazai viszonylatban a kőzetek természetes gamma sugárzásából nem vonunk le több következtetést mint a PS görbéből, pedig a természetes gamma sugárzás a kőzeteknek az előbbinél sokkal jellemzőbb – és jobban megfogható tulajdonsága.

A mesterséges sugárforrások – izotópok – alkalmazásával végezhető mérések közül a gamma sugár szóródásán alapulóknak, a gamma-gamma eljárásnak, vannak legjobban tisztázva fizikai folyamatai és el-



1. ábra. U, Th,  $K^{40}$  fő spektrum vonalai

méleti összefüggései. Ugyancsak kialakulnak mondhatók – hazai viszonylatban is – az optimális eredményt biztosító mérés technikai feltételek is.

Kevésbé ismeretesek azok a lehetőségek, melyek a térfogatsúlyok és más kőzetparaméterek kombinációjából adódnak.

Tiszta rétegek víztelenítetttségének meghatározására egyesületünk múlt évi ankétján mutattunk be példát. Itt a fajlagos ellenállás és a térfogatsúly kombinációja került megvalósításra.

Alábbiakban röviden R. P. Alger és társai alapján az akusztikus szelvényvel való kombináció lehetőségét mutatjuk meg bonyolultabb problémák megoldására.

Lemezes felépítésű agyagos homokok porozitásának meghatározása a térfogatsúlyra, illetve akusztikus sebességre (útidőkre) vonatkozó alábbi egyenletek együttes megoldásával lehetséges.

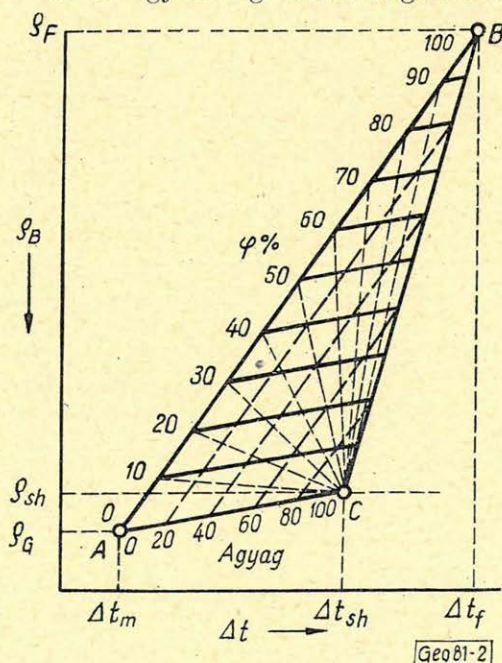
$$\rho_b = p\rho_{sh} + (1-p) [\varphi_{sd} \rho_f + (1-\varphi_{sd}) \rho_g]$$

ahol:  $p$  – az agyagfrakció  
 $\rho_{sh}$  – az agyag térfogatsúlya  
 $\varphi_{sd}$  – a homokcsík porozitása  
 $\rho_g$  – a kőzetmátrix sűrűsége

$$\Delta t = p\Delta t_{sh} + (1-p) [\varphi_{sd}\Delta t_f + (1-\varphi_{sd}) \Delta t_m]$$

ahol:  $\Delta t$  – a szelvényből kiolvasott útidő  
 $\Delta t_{sh}$ ,  $\Delta t_f$ ,  $\Delta t_m$  – az agyaghoz, a rétegfolyadékhoz, és kőzetmátrixhoz tartozó útidő.

A két egyenlet grafikus megoldását 2. ábránk mutatja, melyből  $\rho_b$  és  $\Delta t$  ismeretében az agyagosság és a porozitás kiolvasható.



2. ábra. Gamma-gamma és akusztikus szelvények adatainak kombinációja

A nomogram A, B, C pontjainak koordinátái:

A – a kőzetmátrix sűrűségpontja ( $2,65 \text{ g/cm}^3$ ) és a kőzetmátrixhoz tartozó útidő ( $55,5 \mu \text{ sec/láb}$ )

B – a tiszta víz pontja  $\rho_f = 1,00 \text{ g/cm}^3$   
 $\Delta t_f = 189 \mu \text{ sec/láb}$

C – a 100% agyag pontja. Adatai egy közeli tiszta agyag szelvényei alapján határozhatók meg.

Ez a megoldás ugyan a legkevésbé bonyolult esetre vonatkozik, de ugyanott található útmutatást a komplikáltabb esetekre is. Hogy ezek az érdekes megoldáskombinációk még kivételesen sem kerültek nálunk alkalmazásra, abban elsősorban nem

a sűrűség-szelvényezés az ok, hanem az akusztikus szelvényezés teljes hiánya hazánkban.

Nem kívánjuk részletezni a szórt gamma sugárzás energia érzékeny vagy legalábbis energia szelektív regisztrálásával elérhető eredményeket, bár erről az irodalomban számos adat található. Arra is utalni szeretnénk, hogy a gamma-gamma méréseknek a fűrólyuk technikai paraméterei meghatározásában is fontos szerepe lehet. Pl. a cementpalást állapotának utólagos meghatározása a kőolajkutatásban fontos feladat, mely a gamma-gamma mérésekkel jól megoldható.

A *neutronos mérések* a mesterséges sugárforrások alkalmazásával végezhető mérések másik csoportja.

Mielőtt az egyes mérésfajták csoportosítását elvégeznénk röviden összefoglaljuk azokat az alapjelenségeket, melyek a neutron sugár és az anyag kölcsönhatásaképpen fellépnek. Ezek szabják meg ugyanis azokat a méréseket, melyek a neutron források alkalmazásával végezhetők. Az általában használatos neutron-forrásokból lassú és gyors neutronok lépnek a rétegbe.

A gyors neutronok az atommagokkal *rugalmatlan szóródásos* kölcsönhatásba lépnek, azt gerjesztett állapotba hozzák. Az atommag alapállapotba való visszatérése 1 vagy több gamma-kvantum kisugárzásával történik. Rugalmatlan szóródás nagyobb valószínűséggel, csak a vasnál nagyobb atomsúlyú elemekre és 1 MeV-nél nagyobb neutron energiák esetén következik be.

Gamma-sugár kibocsátása nélkül történik a neutronok rugalmas ütközése. Ennek folyamán a neutron kisebb lépésekben adja le energiáját és válik hőneutronná. Az energia leadás leggyorsabban hidrogén magokkal való ütközés folyamán megy végbe. A végső eredmény termikus neutron, mely az anyag atomjai között diffúziós mozgást végez. Hosszabb-rövidebb diffúziós út után befogódik és gamma-sugárzást bocsát ki. Ez a *radiációs befogás*. A neutronfelhőnek a forrás körüli kialakulása a környező közegtől, elsősorban annak hidrogén-tartalmától függ. A sugárzásnak jellemző spektruma van.

A gamma-sugárzások fellépésének időbelisége szintén a környezettől függ, de ennek jelentősége csupán az impulzus üzemű neutron generátoroknál van.

A vázolt folyamatokban fellépő kétféle gamma-sugárzás csak addig tart, amíg a neutron fluxus. Annak megszűntével megszűnik (néhány 100  $\mu$  sec-on belül).

A neutron befogás következtében azonban a kőzetalkotó elemek atomjainak *izotópjai keletkeznek*, melyek a legtöbb esetben tovább bomlanak. Bomlásuk jellemző felezési idővel és karakterisztikus energiájú gamma-kvantumok kisugárzásával történik.

Mindezen folyamatok figyelembevételével neutron forrásokkal végezhető mérések az alábbiak szerint csoportosíthatók:

## I. Neutron forrással

1. Gyors neutronok sűrűségeloszlása
2. Lassú neutronok sűrűségeloszlása
3. A rugalmatlan szórásból és radiációs befogásból eredő gamma-sugárzás (együttesen)
  - a) regisztrálása
  - b) spektrumának felvétele

4. A felaktivált elemek
  - a) lebomlásának vizsgálata gamma-sugárzásuk alapján (ez a felezési időre alapított megkülönböztetés)
  - b) gamma spektrumának vizsgálata

II. Folyamatosan működő, de diszkrét energia tartományban dolgozó neutron generátor alkalmazása esetén az előzőkön kívül:

5. A neutron aktiválási keresztmetszetek neutron energia függősége alapján meghatározott elemek atommagjainak szelektív aktiválása és erre alapítva a 4. alatti mérések.

III. Impulzusos üzemű neutron generátor esetén:

A 3. pont alattiak az alábbiak szerint alakulnak:

6. A rugalmatlan szórásból származó gamma-sugárzás
  - a) regisztrálása
  - b) spektrumának felvétele
7. A radiációs befogásból származó gamma-sugárzás
  - a) regisztrálása
  - b) spektrumának felvétele
8. A neutron élettartamát vizsgáló módszer (élettartam szelvényezés).

Az 1., 2. és 3/a) alatti vizsgálatok általánosan ismertek. A detektálás műszeres kérdéseinek megoldásától függően többé kevésbé általánosan elterjedtek, ezért ezekkel részletesebben nem foglalkozunk. Mindenesetre azt megállapíthatjuk, hogy a 3/a) alatti mérések bevezetetteknek tekinthetők és iparilag is számottevő alkalmazást nyernek egyes olajfűrészi kérdésekben és szerepelnek a köszénkutatók kísérleteiben.

Alábbiakban a hazai adottságok figyelembevételével vizsgáljuk az egyes előzőekben felsorolt módszerek megvalósítási lehetőségét és földtani kutatásbeli eredményességét. Jelenlegi felkészültségünk mellett csak a kevés választékot mutató izotópos neutron forrásokkal és a nem energiászelektív detektálási lehetőségekkel számolhatunk. A közeli jövőben méréseink kiterjednek a gamma energiák detektálására — tehát gamma spektrum felvételére is.

A még további jövő eredményei közé fog tartozni a neutron generátor bevezetésének lehetősége (részben a detektálás fejlődésével párhuzamosan).

Megvalósíthatóság szempontjából tehát legközelebb áll a radiációs gamma spektrum felvétele és a neutron aktiválás említett két formája.

### *A radiációs gamma spektrum*

Előzőekben már említettük, hogy a „közönséges” neutron gamma mérések hatásának zömét a neutron radiációs befogásából eredő gamma-sugarak adják és a rugalmatlan szórásból — valamint az egyes elemek felaktiválásából származó gamma-sugarak csak alárendelt szerepet játszhatnak.

A radiációs befogási gamma-sugárzás, mint a befogás által gerjesztett állapotba került atommagnak alapállapotba visszatérésekor kisugárzott energia hordozója, jellemző az atommagra, és amennyiben mérése megvalósítható, az elem meghatározását is lehetővé teszi — legalábbis elvileg.

Laboratóriumi mérésekből a kőzetekben előforduló legtöbb elemre vonatkozóan jól ismertek a kisugárzott gamma-kvantumok energiái és a radiációs befogás hatás keresztmetszetei. Ezeket *1. táblázatunkban* mutatjuk be.

## Radiációs neutron befogásnál fellépő gamma-sugarak energia-eloszlása

Elem	100 befogásra eső gamma kvantumok	Gamma energia MeV	Elosztás %	Elem	100 befogásra eső gamma kvantumok	Gamma energia MeV	Elosztás %
H	100	2,23	100	Cl	237,5	7,42 – 8,58 6,11 – 6,99 5,28 – 5,72 3,9 – 4,96 2,51 – 3,63 1,60 – 1,95 1,16 0,51 – 0,79	10,5 16 3,9 7,6 12,2 14 15,2 20,6
Be	125	6,82 3,41	60 40				
C	125	4,95 3,68 1,26	60 20 20	K	179,6 (51,8)	4,11 – 7,76 2,30 – 3,37 1,18 – 1,06 0,62 – 0,9	27 25 30 18
Na	309,3	5,12 – 6,4 3,56 – 4,9 2,52 – 3,3 1,35 – 2,41 0,74 – 0,87 0,475	9,4 15,9 16,3 17,2 17,2 24	Ca	144 (163,4)	8,37 6,4 4,86 – 5,9 2,00 – 4,42 1,94 0,46 – 1,84	0,02 16 8 26,8 27 22,2
Mg	100,5	4,93 – 9,27 3,92 3,06 – 3,58 2,82 1,83 – 2,43	9,45 29,8 20,9 23,9 15,9	Ti	283,1 (242,7)	6,93 – 10,6 6,41 – 6,75 3,03 – 6,07 1,51 – 1,8 1,38 0,34	1 35 10,8 8 32 13,2
Al	144,8	7,72 4,94 – 7,34 3,88 – 4,79 3,29 – 3,62 2,84 – 3,02	24,2 15,7 3,04 10,4 19,3	V	116,1 (74,6)	3,54 – 7,3 0,42 – 3,05	61 39
Si	149,4	5,12 – 10,6 4,93 3,67 – 4,3 3,55 1,5 – 2,1 1,28	16 24,6 9,3 24 15,2 10,5	Cr	97,1 (57,8)	7,93 – 9,72 1,75 – 7,09 0,75 – 0,84	48,5 27,9 23,6
				Mn	106,2 (51,3)	5,76 – 7,26 4,21 – 5,52 0,97 – 3,83	35 30 35
P	203,1	6,79 4,16 – 5,96 2,10 – 3,9 0,93 – 1,95 0,43	4,9 14,5 26,8 20 34,8	Fe	122,1	5,51 – 9,29 2,14 – 4,94 0,31 – 1,8	47,4 26,2 26,4
S	215,6 (140)	5,88 – 8,63 5,44 3,41 – 5,07 2,55 – 3,27 2 – 2,41 0,84	2,8 22,3 14,3 20,6 18,1 22	Co	151,2	4,9 – 7,49  2,03 – 4,6 0,73 – 1,84 0,29 – 0,56	42,5  8,2 21,1 28,2

Elem	100 befogásra eső gamma kvantumok	Gamma energia MeV	Elosztás %	Elem	100 befogásra eső gamma kvantumok	Gamma energia MeV	Elosztás %
Ni	111,1 (80,6)	8,5 – 9	37	In	114,3	4,62 – 6,38	4,6
		5,31 – 8,1	35			0,56 – 0,64	11,8
		1,10 – 4,2	10			0,28	36,6
		0,28 – 0,47	18			0,17	27
Mo	160,73	6,39 – 9,15	4,2	Au	111,3	4,3 – 6,49	24,8
		1,10 – 1,24	11,2			0,097 – 0,4	75,2
		0,844	26,8			4,12 – 7,66	32
		0,77	58			1,41 – 3,08	24,7
Ag	107,3	5,53 – 7,26	6,3	Hg	190,16	0,58 – 1,29	21,3
		0,27 – 0,3	28			0,37	22
		0,202	40				
Cd	174,9	0,08 – 0,12	26	Te	51	4,72 – 6,54	100
		5,07 – 9,04	11,5				
		1,23 – 2,91	26				
		0,66 – 0,82	23,5				
		0,56	39				

A „közönséges” neutron gamma felvétel a különböző elemek által kibocsátott sugárzás összegét adja. Energia szerinti szelektálást a gamma spektrum felvétele ad. A gamma spektrum alapján történő részletes elemzés előtt felmerülő problémákat azonban azonnal megérthetjük, ha a néhány leggyakoribb kőzetalkotó elemek, mint a H, Na, Cl, Mg, Ca, Si, Al spektrumát összehasonlítjuk. A legkisebb energiáktól 10 MeV körüligen sok értéket találhatunk a legkülönbözőbb többszörös átfedésben.

Hogy az egyes elemek kimutatása mégsem reménytelen, az több körülmény összehatásának eredménye:

1. A kőzetekben néhány fő elem kivül a többi koncentrációja 1–2 nagyságrenddel kisebb, így nem zavarja a fő elemek erős vonalait.

2. Az egyes elemek radiációs neutron befogási gamma spektrumában kiemelkedően erős vonalak jelentkeznek, melyek jelenléte az elemet detektálja.

3. Az egyes elemek neutron fékezési és befogási keresztmetszetei jelentősen különböznek.

Van viszont a problémának egy további nehézsége: az egyes vonalakat a Compton-szóródás csúcsai kísérik és növelik az észlelhető csúcsok számát, vagy erősen emelik a háttér értékét.

Hogy a vázolt nehézségek ellenére mégsem reménytelen a feladat megoldása, hanem nagyon is sokat ígérő, ezt az alábbiak világosan bizonyítják.

A 3. ábra modellmérés eredménye. A modell édes (szaggatott vonal), illetve sós vízzel (vastag vonal) telített homok. A hidrogén 2,23 MeV energiájú csúcsa dominál a felvételen. A másik határozott csúcs a 4,95 MeV-es szilícium csúcsnak felel meg (a kristályban történő párképződés által eltorzítva).

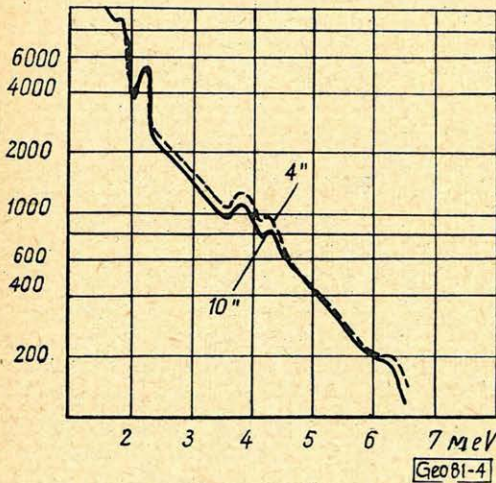
Nincs meg az oxigénnek megfelelő csúcs az oxigén kis hatás-keresztmetszete miatt.

A 4. ábrán fűrólyuk model- len kapott két görbe látható.

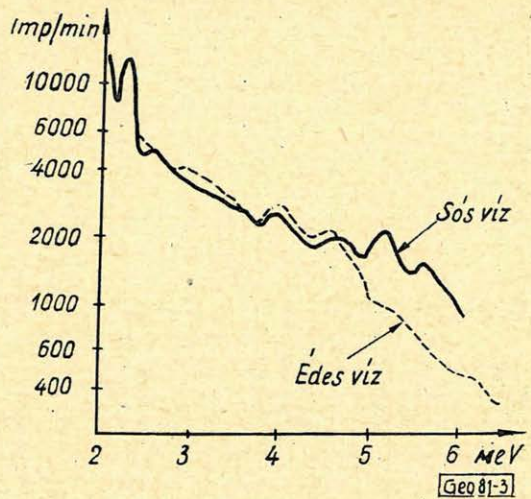
A modell homokréteg édes vízzel telítve. Jól felismerhetők az egyes főbb energia csúcsok. A szaggatott vonal 4'', a folytonos 10''-os fűrólyuk átmérőnek felel meg.

Neutron generátor alkalmazása új lehetőségeket nyit meg. A nagy neutron fluxus olyan elemek radiációs befogásának vizsgálatát is lehetővé teszi, melyek az izotópos sugárforrásokkal nem jelentkeznek. A  $C^{12}$  és  $O^{12}$  csúcsait mutatja 5. ábránk. A bemutatott ábrák modellekre vonatkoznak. Valóságos fűrólyukviszo-

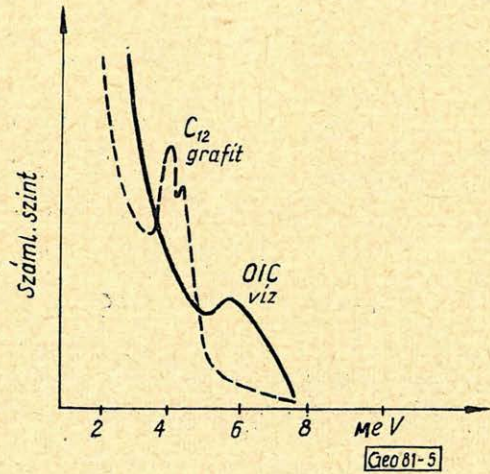
$Imp/min$



4. ábra. Gamma-spektrum fűrólyuk modellben



3. ábra. Gamma-spektrum (édes, ill. sós vízzel telített homokra)



5. ábra. Szén és oxigén gamma spektruma 14 MeV-es neutron generátorral

nyok között a fűróiszap és az esetleges csövezés hatása jelentősen befolyásolja a jelenségeket.

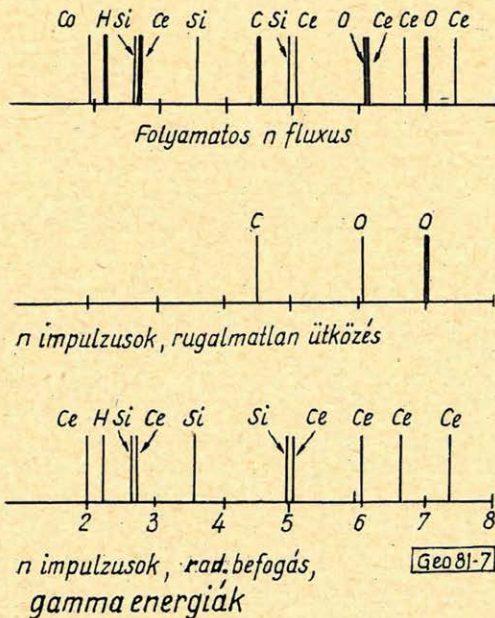
*Impulzus üzemi neutron generátor és új mérési lehetőségek.*

Vizsgáljuk meg most azokat a lehetőségeket, melyek a pulzációs üzemi neutron generátor alkalmazásával nyílnak. Azt feltételezzük, hogy olyan neutron generátor áll rendelkezésünkre, melynek impulzus ideje jelentősen rövidebb, mint az az idő, amely a gyors neutronoknak vízben történő termikussá lassulásához szükséges.

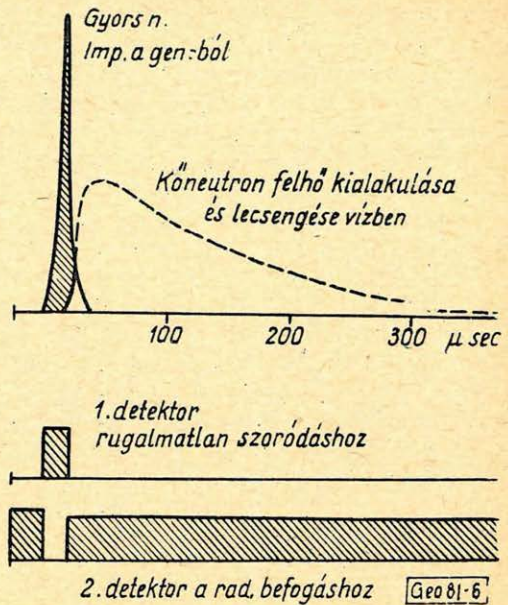
Továbbá azt, hogy az impulzusok gyakoriságát tetszőlegesen lehet szabályozni. A neutron generátorhoz olyan energiamérésre is alkalmas detektorrendszerek csatlakoznak, amelyek egyike a neutron generátor sugárzásával egyidőben működik, a másik a sugárzási szünetekben észlel.

A generátor és a detektorok működési vázlatát 6. ábránk szemlélteti.

A mérő rendszerek és a generátor üzemének ilyen szabályozása mellett lehetőség van egyrészt a gyors neutronok rugalmatlan ütközése folyamán létrejövő gamma spektrumok felvételére, másrészt a radiációs befogás folyamán létrejövő (előzőkben tárgyalt) spektrumok vizsgálatára (ez utóbbit kismértékben a neutron fluxus hatására létrejött aktiválási effektus zavarhatja).



7. ábra. Impulzusos üzemű neutron generátor felhasználásával felvehető spektrumvonalak (elvbén)



6. ábra. Impulzusos üzemű neutron generátor működési vázlat

Ilyen felépítésű mérőrendszerrel elérhető spektrum feloldást 7. ábránk alapján értékelhetjük. Az ábra felső sorában fel van tüntetve a folyamatos neutron besugárzás hatására keletkező gamma spektrum (rugalmatlan szóródási és befogási) egy tiszta kvarechomokra, melyben víz és olaj van. A második sor a rugalmatlan szórás gamma spektrumát mutatja, a harmadik a radiációs befogást ugyanarra a rétegmodellre. Látható, hogy a rugalmatlan szóródás spektrumában csak három vonal jelentkezik, melyek közül egyik a szénhez, másik kettő az oxigénhez tartozik.

A valóságos modellmérések során felvehető spektrumok vonalai a gamma szóródás és egyéb háttér effektusok miatt nem ilyen élesek, de – mint azt a 8. ábra mutatja elég jól felismerhetők az egyes elemek vonalai.

Az ábrában vastagon húzott görbék vizes réteg esetére adják meg az izotóppal felvett spektrumot, illetve az impulzusos forrással felvett tiszta radiációs befogási és a rugalmatlan szóródási gamma spektrumot. A vékonyan húzott görbék ugyanezeket mutatják olajos homokokra.

Látható, hogy folytonos neutron forrással felvett görbék legfeljebb a Cl radiációs befogási vonalaiban különböznek, ha a sótartalom elég nagy. Az olajtartalmú réteg jól jelentkezik a rugalmatlan szórás gamma spektrumának C vonalaival.

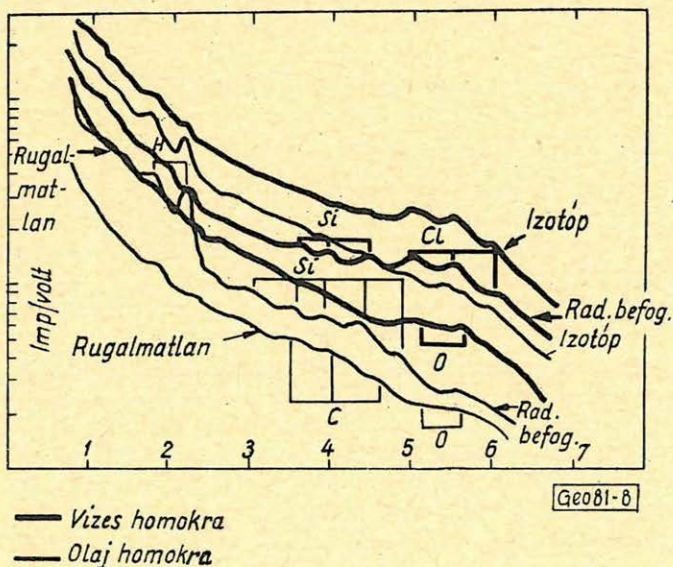
### Neutron aktiválás

A neutron aktiválás a felezési időre alapított formájában az irodalomban hosszabb ideje ismert. Első – a mélyfúrási geofizikai gyakorlatban is – jelentős megvalósítása az olaj-víz határ elkülönítésére vonatkozott. (Na gerjesztéses módszer).

Igen alapos és részletes feldolgozást nyert a módszer bauxitok Al/Si arányának laboratóriumi meghatározására Leipuszkaja és munkatársai által a Szovjetunióban. Az általuk szerzett tapasztalatok tették lehetővé a módszernek fúrólukba való levitelét, ha korlátozott célkitűzéssel is. Ezt megvalósítottuk hazánkban is.

Aktivációs karottázs eljárásnál a fúróluk falát alkotó kőzetekben levő elemeket megfelelő nagy neutron fluxus hatásának teszik ki. Az aktiválási időt a vizsgálni kívánt elemnek az aktiválása által létrehozott radioaktív bomlást mutató izotópja, pontosabban ennek felezési ideje szabja meg. Az aktiválás folyamán keletkező izotóp atomjainak száma függ az időtől és az aktiválendő elem atomjainak a vizsgált térfogatra eső mennyiségétől. A változást az alábbi összefüggés írja le:

$$N(t) = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) e^{-\lambda(t-t_0)}$$



8. ábra. Fúróluk modellen mért gamma spektrumok impulzus üzemű neutron generátor felhasználásával

ahol:  $t_0$  — az aktiválás időtartama,  
 $\lambda$  — az izotóp bomlási állandója,  
 $N_0$  — az aktiválható atomok max. lehetséges száma (a vizsgált térfogatban).

A vizsgálat kétféle metodikával történhet:

1. folyamatos aktivációs karottázs mérésekkel
2. az  $N = N(t)$  lebomlási görbe megméréseivel.

A folyamatos aktivációs karottázs nyilvánvalóan csak olyan izotóp esetén alkalmazható, melynek felezési ideje nem túl hosszú, de nem is túlságosan rövid. A kísérletek szerint legjobb, ha néhány perc körül van.

A lebomlás pontonkénti vizsgálata lényegesen nagyobb felezési idejű izotópokra is kiterjedhet, de a néhány órát mindenképpen felső határnak kell tekinteni.

Annak eldöntésére, hogy milyen földtani feladatok megoldására alkalmas a módszer, két kérdéscsoportot kell figyelembe vennünk:

1. Az aktiválással meghatározni kívánt elemek aktiválási tulajdonságait (felezési idő, energia igény, hatáskeresztmetszet, előfordulási arány stb.)
2. A módszerek elvi és technikai korlátait.

A kérdésre adandó válaszhoz szovjet szerzők alapján bemutatjuk a 2. táblázatot, mely az üledékes kőzetekben leggyakrabban előforduló elemeket és aktivált izotópjait tartalmazza. A táblázat nem törekszik teljességre, csupán példaként szolgál.

A táblázatból az állapítható meg, hogy az üledékes kőzeteket alkotó legfőbb elemek közül elsősorban az  $Al^{28}$   $Na^{24}$   $Mn^{56}$   $Mg^{27}$   $Cl^{28}$   $Ca^{49}$ -nak mint leányelemek a keletkezéséhez vezető folyamatok mutatkoznak legalkalmasabbnak az anyaelem megállapítására.

Ezek közül is a termikus neutronok hatására létrejövő  $Al^{27} \rightarrow Al^{28}$  reakció az, mely folyamatos karottázs mérések kialakítására alkalmas. A  $Si^{28} \rightarrow Al^{28}$  reakció, mely gyors neutronok hatására jön létre, részben mint az előző folyamatot zavaró jelenség veendő figyelembe, másrésztől azonban termikus és gyors neutronnal történő gerjesztés esetén, lehetőséget ad az Al és a Si tartalom meghatározására.

A módszer korlátai közül a legfontosabbak:

1. Az aktiválás folyamatában nemcsak a vizsgálni kívánt elem (vagy elemek) izotópjai vesznek részt, hanem az összes jelenlevők, melyek magas „háttér” értéket adnak, amiből hasznos sugárzást ki kell választani.
2. A műveletek általában igen időigényesek.
3. A nagy erősségű sugárforrásokkal való műveletek egészségvédelem szempontjából is nehézségeket okoznak.

Ezek a problémák azonban nem befolyásolhatják a módszer alkalmazását különösen speciális feladatok megoldására. Az egyes elemek aktiválódását jellemző táblázatunk tartalmazta a felezési időket és a bomlás folyamán fel lépő gamma-sugárzás energiáját is.

A neutron aktiválás folyamatos karottázs mérések formájában történő megoldása a leányelem bomlásának felezési idejére van alapítva. Pl. a bauxitok Al koncentrációjának meghatározására szolgáló folyamatos karottázs mérésénél a szonda haladási sebességét elsősorban az  $Al^{28}$  2, 3 perces felezési ideje határozza meg.

## Neutron aktiválási adatok néhány elemre

Kiindulási elem	Előfordulási %	A folyamat jellege	A keletkező leányelem	Felezési idő	A kilépő gamma energiák
$H_1^1$	—	(n, $\gamma$ )	—	—	nincs
$C_6^{12}$ $M_6^{13}$	—	„	—	—	„
$O_8^{16}$ $O_8^{17}$	—	„	—	—	„
$O_8^{18}$	0,2	„	$O_8^{19}$	27 sec	1,2 2,75
$Na_{11}^{23}$	100	„	$Na_{11}^{24}$	15,1 óra	1,37 0,84
$Mg_{12}^{26}$	11,1	„	$Mg_{12}^{27}$	9,39 min	0,05
$Al_{13}^{27}$	100	„	$Al_{13}^{28}$	2,3 min	1,78
$Si_{14}^{30}$	3,12	„	$Si_{14}^{31}$	157 min	nincs
$S_{16}^{36}$	0,01	„	$S_{16}^{37}$	5 min	2,75
$Cl_{17}^{37}$	24,6	„	$Cl_{17}^{38}$	37,3 min	2,12 1,6
$K_{19}^{41}$	5,6	„	$K_{19}^{42}$	12,44 óra	1,51 2,06
$Mn_{25}^{55}$	100	„	$Mn_{25}^{56}$	2,59 óra	1,77 0,822
$Fe_{26}^{58}$	0,26	„	$Fe_{26}^{59}$	47,1 nap	1,098 0,191
$Al_{13}^{27}$	100	(n, $\alpha$ )	$Na_{11}^{24}$	15,1 óra	2,75 1,37
$Si_{14}^{28}$	92,3	(n, p)	$Al_{13}^{28}$	2,3 min	1,78
$Ca_{20}^{48}$	0,179	(n, $\gamma$ )	$Ca_{20}^{49}$	2,5 óra	0,8
$Fe_{26}^{56}$	91,56	(n, $\gamma$ )	$Mn_{25}^{56}$	2,59 óra	2,06 1,77
$Mg_{12}^{24}$	77,4	(n, p)	$Na_{11}^{24}$	15,1 óra	0,822 2,75
$Al_{13}^{27}$	100		$Mg_{12}^{27}$	10,2 min	1,37 84 0,05

3. táblázat

## Spektrális neutron aktiválási adatok üledékes kőzetekre

Elem	Aktivációs hatáskeresztmetszet $cm^2/g$	Izotóp felezési idő	Az aktivációs gamma-sugárzás energiája MeV
Alumínium	$4,65 \cdot 10^{-3}$	$Al^{28}$ (2,3 perc)	I 1,8 1,45 3,1 1,04
Vanádium	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$V^{52}$ (3,8 perc)	
Kén	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$S^{37}$ (5,0 perc)	
Réz	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$Cu^{66}$ (5,1 perc)	
Magnézium	1,3	$Mg^{27}$ (9,5 perc)	II. 0,84; 1,02
Kalcium	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$Ca^{39}$ (8,8 perc)	
Klór	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$Cl^{49}$ (38 perc)	III. 1,6; 2,15
Mangán	$1,38 \cdot 10^{-1}$	$Mn^{56}$ (158 perc)	

Ha a felezési időnek ezen döntő szerepe szempontjából vizsgáljuk a kérdést, azt látjuk, hogy az egyes elemek aktivált izotópjainak felezési ideje közel áll egymáshoz, mint azt *3. táblázatunk* római számmal jelzett csoportjai mutatják. Ha ezen csoportokon belül kell különbséget tenni, illetve egyes elemek detektálását vagy mennyiségi meghatározását elvégezni, akkor a gamma spektrumokban jelentkező különbségeket kell felhasználni. A táblázatban jól látható, hogy a szóban levő csoportok elemei között a gamma energiák alapján jó szétválasztás végezhető.

A *spektrális neutron aktivációs karottázs* mérések új széles kutatási lehetőséget nyitnak meg.

További lehetőségeket nyit meg a neutron aktiválás területén az impulzusos üzemű neutron generátor alkalmazása. Ez, kombinálva a spektroszkópiával, a jelenlegi legfejlettebb kutatási szintet képviseli.

Ez az eljárás — a bauxitkutatást nem is említve — a különleges agyagásványok kutatásában perspektivikus. A szénhidrogének termelésével kapcsolatos számos probléma, különösképpen pedig a tároló rétegen belüli vízolaj határ kimutatása csővezett fúrásban a rétegvíz klór- vagy nátrium-tartalmának aktiválása útján megoldottnak tekinthető. A rövid felezési idejű izotópok detektálása, sugárzásuknak a radiációs befogási sugárzástól független észlelése, impulzusos üzemű neutron generátorral új lehetőséget teremt az  $O^{16} \rightarrow N^{16}$  (7,3 sec) és a  $C^{12} \rightarrow B^{12}$  (0,025 sec) reakciók felhasználására, melyek az oxigén és karbonium koncentrációnak a fúróluk mentén való eloszlását adják meg.

### *A műszerfejlesztés kérdései*

Tízegynéhány évvel ezelőtt, mikor első GM detektoros lyukműszereinket szerkesztettük, a szcintillációs detektálás csak indult. Ma korszerűnek, speciális célokra szolgálóktól eltekintve, csak az energia felbontásra is képes radiológiai műszerek tekinthetők. Az energia felbontás lehetőségének természetesen meg van az ára is — a fotonsokrosorozó csövek üzemeltetési problémáiban.

Most új detektálási eszköznek a félvezetős detektornak a körvonalai kezdenek kibontakozni. Ez a változás is forradalmi lesz a radioaktív mérésekben. Akár a szcintillációs kristályhoz csatlakozó fotodióda, akár a közvetlenül a megfelelően kialakított félvezetős detektor kerül kifejlesztésre (vagy esetleg mindkettő), valószínű, hogy a szondaáramkörök leegyszerűsödnek és az energia szerinti szétválasztás szelektivitása növekszik még neutronok esetére is.

Ez és a határozott iránykarakterisztikák kialakíthatósága új lehetőséget kínál a geofizikusoknak is.

A továbbiakban az *olajiparban alkalmazott*, illetve a fejlesztés alatt álló *műszereket* foglaljuk össze.

Jelenleg a műszerkutatás és fejlesztés négy főirányban folyik:

1. Új módszerekhez, ill. módzatokhoz szükséges műszerek kialakítása.
2. Az egyre bonyolultabbá váló fúrási körülményeket kielégítő műszerek tervezése.
3. A szelvényezés termelékenységének fokozására irányuló munkák.
4. A szelvényezés gépesítésére szolgáló műszerek kialakítása. Ez utóbbi magában foglal bizonyos munkatermelékenység-növekedés lehetőséget is,

de mégis külön kell tárgyalni, mert ez a „műszercsalád” elsősorban nem a munkatermelékenység növelését, hanem az interpretációs munka tökéletesítését és gyorsítását szolgálja.

Az új módszerek alkalmazásához szükséges műszerek fejlesztése nagyon szerteágazó, hisz magában foglalja az elektromos ellenállásmérő műszerektől kezdve a nukleáris és szónikus műszereken keresztül a technikai feladatokhoz végzendő mérések műszereinek (pl. ferdeségmérők, karmantyúlokátorok, stb.) fejlesztését egyaránt. Így e témacsoportban csak néhány, számunkra különös fontossággal bíró, műszercsalád fejlesztéséről kívánunk beszélni.

A legklasszikusabbnak mondható területen: az ellenállásszelvényezés területén világszerte folytatódik az irányított áramtérrel működő ún. laterolog műszercsalád fejlesztése. E területen két fő irány van. Az egyikhez tartoznak a három elektródás ún. *Guard-rendszerek*. Ezeknek fejlesztésével az USA-ban és a Szovjetunióban foglalkoznak. A másik irányzathoz a *hét-, ill. kilenc elektródás ún. laterolog berendezések* tartoznak. Ezeknek fejlesztésével fent említettekén kívül Magyarország is intenzíven foglalkozik.

E rendszerek működése közismert, így csupán annyit kívánunk megemlíteni, hogy a Magyarországon kialakított és néhány éve üzemelő laterolog berendezések beváltották a hozzájuk fűzött reményeket a nagy ellenállású tárolók interpretációjánál, valamint a bonyolult litológiájú rétegsorok tagolásánál. Ennek illusztrálására bemutatunk egy mész-kőtárolóban felvett laterolog szelvényt egy konvencionális ellenállásszelvényvel összehasonlítva (9. ábra).

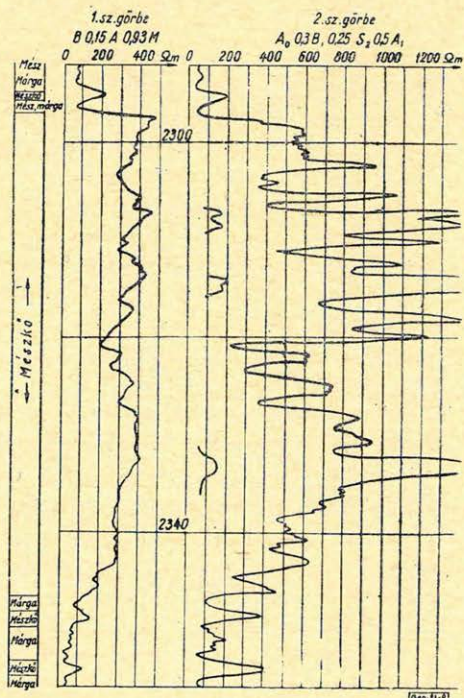
A közelmúltban készült el a *mikrolaterolog* berendezés első példánya. E berendezéssel sikeres kísérleti méréseket végeztünk. Terveink szerint 1965 végére kívánjuk ellátni az olajipart ilyen berendezésekkel. Ezzel párhuzamosan tovább folytatódnak a két érnél kevesebb eret igénybevevő berendezések kialakítására irányuló munkák. Ezek előreláthatólag 1966-ban lépnek az üzemi bevezetés stádiumába.

A másik igen fontos műszercsalád az indukciós szelvényberendezések, amelyek a kőzetek vezetőképességének meghatározására szolgálnak, szerencsésen egészítik ki a laterolog család műszereit, minthogy az indukciós műszerek elsősorban kis fajlagos ellenállású formációk vizsgálatára alkalmasak, ellentétben a laterolog berendezésekkel.

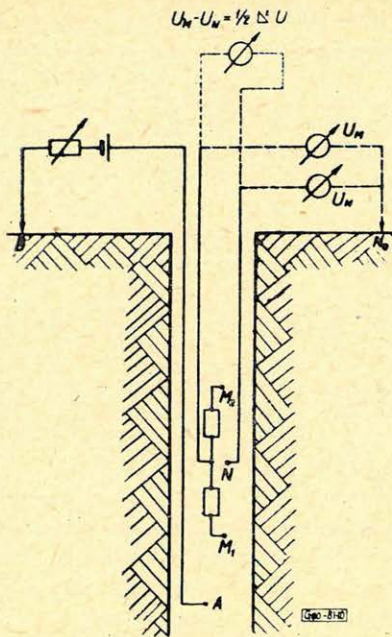
Indukciós műszerek gyártásával és fejlesztésével ma elsősorban a Szovjetunióban és az USA-ban foglalkoznak.

Az indukciós szonda fent leírt sajátosságaiból kitűnik, hogy az igen széleskörű elterjedésre tarthat számot valamennyi agyag-homok rétegsorból álló szénhidrogén kutatási területen.

Példaként megemlítjük, hogy a magyarországi területek mintegy 80%-a



9. ábra. Konvencionális és laterolog felvétel



10. ábra. A „divergencia karottázs” vázlatja

tőséget adnak a fúrás által harántolt rétegsor igen részletes, pontos tagolására.

A Magyar Olajipar kifejlesztette és sikeresen alkalmazza az ún. *hasadék indikáló szondát*, amely lehetőséget ad a fúróluk falán keresztülfutó 30 mikronnál nagyobb széttartású repedések egyedi detektálására, ha azok egymástól 30 mm-nél nagyobb távolságra helyezkednek el. Egy tömött mészkőtárolóban készült szelvényt mutat be a 11. ábra.

Itt a tömött szakaszok helyét igen kis feszültségértékek és sima lefutású görbe jellemzi, míg a repedések helyét éles tú-impulzusok. Az elsődleges porozitású szakaszokat megnövekedett egyenlőtlen futású potenciál érték jellemzi. Jelenleg folyamatban van e módszer továbbfejlesztése a repedés méretének meghatározására.

Egy másik speciális feladat megoldására készül szintén az Olajiparban az ún. „szendvics-tagoló” szonda.

Ennek feladata, hogy a flis és flisjellegű igen sűrűn váltakozó kőzetek pontos, a mennyiségi értelmezéshez szükséges, tagolását biztosítsa.

A másik, ma már klasszikusnak mondható területen a *radioaktív karottázs* fejlesztési területén is szerteágazó munka folyik. Az iparban alkalmazott GM-csőves természetes-gamma, neutron-gamma, gamma-gamma és izotópos eljárások ma már sok vonatkozásban elavultak. Világszerte elterjedten alkalmazzák a szcintillációs detektorral ellátott integrális regisztrálási és az energia-szelektív regisztrálási módokat.

Magyarországon jelenleg folyik ilyen műszerek fejlesztése. Az Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben a közelmúltban fejeződött be egy kísérleti szonda előállítására.

ilyen rétegsorral rendelkeznek, ezért igen fontos lenne hazai alkalmazásának minél gyorsabb megvalósítása.

Igen érdekes új kísérletről számolt be nemrégiben L. M. Alpin egy munkájában: az igen nagy ellenállású tárolók vizsgálatára kialakított új eljárásról, a *divergencia karottázsról*. Ennek lényege a következő (10. ábra). Egy tápelektrodán keresztül áramot bocsátunk a majdnem végtelen nagy fajlagos ellenállású kőzetbe. Ettől adott távolságra elhelyezett két, a rajzon feltüntetett, referencia elektrodán mérjük a fúrólukban elvileg végtelen kis távolságon bekövetkező áramsűrűség-csökkenést, amely jellemző a kőzetek elektromos vezetőképességére.

A kőzetmatrix és a kőzetek hézagterét kitöltő közegek különböző ellenállásán alapuló módszerek népes családja az utóbbi években tovább szaporodik. A fejlődés iránya a fent említettek kivül olyan speciális rendeltetésű mérőműszerek felé fordul, amelyek lehetőséget adnak a fúrás által harántolt rétegsor igen részletes, pontos tagolására.

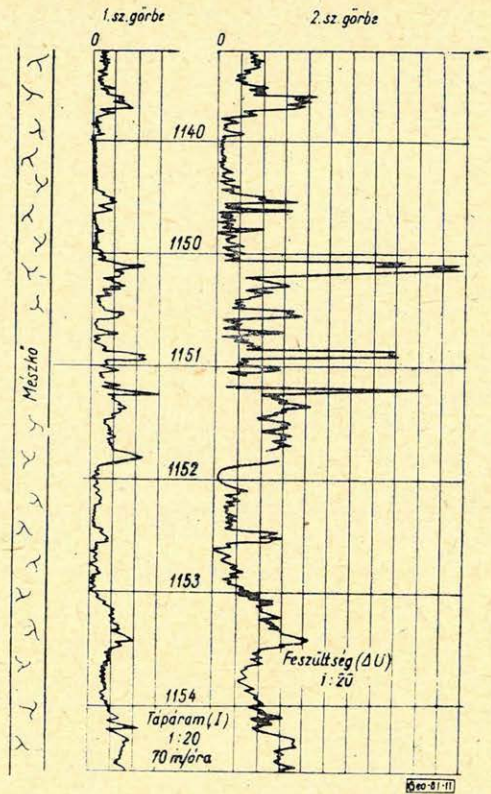
Itt kívánjuk megemlíteni, hogy a nukleáris geofizikának új perspektívákat mutatnak a *neutron generátorok*, a nagy energiájú gammakvantókat létrehozó *betatronok*, valamint a *rétegt tranzistoros detektorok*. Jó lenne ha az illetékes Kutató Intézetek már ma bekapcsolódnának a kutatási munkába, mert e területen viszonylag könnyebben tudnánk világszínvonalon mozgó műszereket produkálni, minthogy ezeken a területeken a kutatás külföldön is csak most kezdődik.

A harmadik jelentős műszerfamilád a *szónikus műszerek* csoportja.

Magyarországon e műszerfejlesztési téma csak a távlati tervekben szerepel. Az első ilyen műszerek, amelyek egy vevő készülékkel voltak ellátva a hangterjedési sebességét mérték, eredetileg szeizmikus kutatási célokat szolgálták. A mai modern két, ill. három vevővel ellátott berendezések hasznos információkat szolgáltatnak a kőzetek porozitásáról, szénhidrogén telítettségéről és így a karottázs gyakorlatban is elterjedten alkalmazhatók. Ezeknek a műszereknek egy továbbfejlesztett változata az ún. cementlog, amely lehetővé teszi a terjedési sebesség mérésén kívül a hanghullámok intenzitás csökkenésének megfigyelését is.

Végezetül az új műszerek fejlesztési terén beszélni kell az ún. *technikai eljárásokhoz* szükséges műszerekről. Az utóbbi néhány évben jelentősen kibővült a karottázs technikai szolgáltatásainak köre. A ma már klasszikusnak tekinthető *lyukferdeség*, *lyukbőség* és *hőmérsékletmérésen* kívül elterjedten alkalmazták a *cementpalást tetejének meghatározására szolgáló különböző nukleáris műszereket*; a pontos mélység meghatározására a *permanens-mágnesű és váltakozó áramú karmantyúlokátorokat*; a fúrórudazat megszorulásának kimutatására szolgáló *szabadpontlokátorokat*, és a régen használatos *oldal-maglövő puskákhoz* felzárkóztak a kábelen működő *oldal-magfúró berendezések*, valamint a szintén kábelen működő *mélységi folyadék mintavevő* készülékek stb.

A cementpalást tetejének meghatározására Magyarországon a hőmérséklet mérésen kívül *izotópos cementmérést* is végzünk különösen magas hőmérsékletű területeken. A közelmúltban készült el egy *forgópalástos radioaktív szonda* a cement minőségének vizsgálatára. Ezt az eljárást eredetileg a Szovjetunióban Baku környékén fejlesztették ki. Hátránya ennek a módszernek, hogy a cement izotópos szennyezését követeli meg. Ennek a hibának a kiküszöbölésére ugyancsak a Szovjetunióban dolgozták ki a három-, ill. négycsatornás *gamma-gamma cementmeghatározó műszereket*.

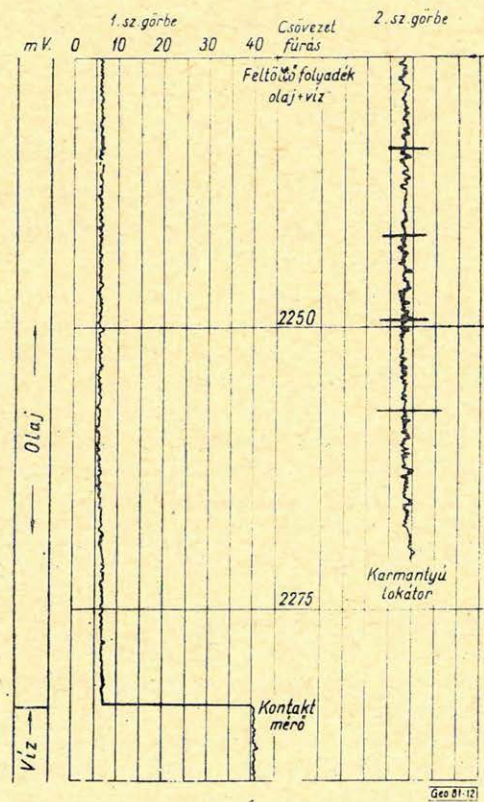


11. ábra. Hasadékindikáló szelvény

A fúrólukák mélységének növekedése a perforálások pontosságát követeli meg. E célra Magyarországon permanens mágnessel működő lokátort fejlesztettek ki, amely egyaránt alkalmas radioaktív szondával, illetve perforátorral történő együttes üzemeltetésre.

A szabadpont lokátorok a fúrás egyik régi problémáján kívánnak segíteni. Fúrás közben több ízben előfordul, hogy rétegomlások stb. következtében a fúrórudazat megszorul. Ennek helyét korábban a rudazat-oszlop ismert erővel történő meghúzásával és a meghúzás eredményeként létrejött nyúlás megméréseivel számítások útján határozták meg. A rudazat rugalmassági együtthatóinak nem kellő ismerete nagy pontatlanságot vitt a mérés eredményébe, ami gátolta a mentési munkálatokat. Jelenleg ún. szabadpontlokátorokat alkalmaznak a szorulás helyének pontos meghatározására. Ezeknek a készülékeknek a lényege a következő: Egy szonda alsó, ill. felső részébe erős elektromágneseket szerelnek. A szondát lebecsátva a feltételezett szorulási hely fölé az elektromágneseket működésbe hozva, a szondát ráerősítik a rudazatra, majd a rudazatot meghúzzák (vagy megcsavarják). Ha a szonda a megszorulás helye fölött helyezkedik el, úgy a szondával érzékelhető a rudazat megnyúlása (ill. elcsavarodása). Ilyen módon gyakorlatilag tetszőleges pontosság érhető el.

Jelenleg Magyarországon is folynak kísérletek a rudazat szorulási helyének kimutatására.



12. ábra. Olaj-víz határ meghatározása

Eredeti megoldás született az olajiparban a termelő területek kútjaiban történő *olaj-víz határ meghatározására*. Külföldön különböző kémiai anyagokkal kísérleteznek, amelyeket a fúrólukba drótkötéllal leeresztve a vizes zónában oldódást idéznek elő. Ezen módszer igen körülményes és használatához szükséges az olaj-víz határ helyének előzetes ismerete. Az új eljárást — amellyel készült szelvényt a 12. ábra mutatja be — alkalmazni lehet az olaj-víz határ helyének ismerete nélkül, és nem zavarják az olajtestben levő vízdgúók sem.

Nem lenne teljes a technikai célú műveletek áttekintése a *rétegmegnyitási módszerek* ismertetése nélkül. Perforálási munkák szerkezetében az elmúlt 15 év világszerte jelentős változást hozott. Míg korábban kizárólag golyós perforálást használtak, addig ma egyes államok kivételével (pl. Románia) döntő túlsúlyba került a *jet perforálás*. Magyarországon 1955-ben a perforálások 96,8%-át golyós puskával végezték, 1961-ben pedig 96,1%-ban már jet perforálást alkalmaztak. Ezt a perforálási módot, amely jelenleg legkorsze-

rűbbnek mondható, több variánsban alkalmazzák. A régebbi és elterjedtebben használt az *acéltüstű perforátor*. Az utóbbi években alakult ki a *megsemmisítő perforátorok* családja, s ennek fontos csoportját képező *fűzér-jet*. Jelenleg is folyik a jet perforátorok tökéletesítése úgy Magyarországon, mint külföldön. A hazai fejlesztés fő iránya a hőmérséklet-tűrési fokozását célozza, de kísérletet végeztünk kettős kúpok alkalmazására, valamint különböző töltet-házak és töltetburkolatok kialakítására is.

Az *oldalagszedés* alkalmazása terén az országban ellentétes kép alakult ki. A szénkutatásban rendszeresen alkalmazzák a maglövést, olajkutatás terén azonban az elmúlt 5 év alatt mindössze két esetben volt ilyen művelet. A Magyarországon gyártott oldalagszedő 2000 m mélységig üzemel, nagyobb mélységekből adat nem áll rendelkezésre. Feltehető, hogy a jelenleg alkalmazott lőporok nagy mélységekben nem alkalmazhatók a magasabb hőmérséklet miatt.

A klasszikusnak mondható oldalagszedés alkalmazása mellett új magvételi eljárás is kialakult — az *oldalagszedés*. Ezzel a módszerrel nagyobb biztonsággal és hatásfokkal lehet kemény kőzetekből magmintát biztosítani. Az első magfúró berendezés átmérője azonban túl nagy, így csak 9"-nál nagyobb átmérőjű fúrásokban alkalmazhatók.

A nyugati országokban erősen elterjedt a karottázs kábelen üzemeltethető *folyadékmintavevő* készülékek használata. Ez a készülék, amelynek olajipari gazdaságossága igen nagy, lényegesen több figyelmet érdemelne a műszaki fejlesztéssel foglalkozó szakemberek részéről, minthogy egy-egy kétes jelentőségű rétegből vett folyadék minta 40–80 ezer Ft értékű rétegvizsgálat megtakarítását tenné lehetővé, ami éves szinten az olajiparnál több millió forint megtakarítást eredményezne.

Az olajkutatásban végzett *torpedózási műveletek* terén hazánkban jelentős elmaradás mutatkozik. A Szovjetunióban több évvel ezelőtt kikísérletezték és széles körben alkalmazzák a technikai és geológiai célú torpedózásokat. Példaként megemlíthető a *test nélküli torpedók* használata; ezek lehetőséget adnak olyan rétegek „megszóllaltatására”, melyek a jelenleg használt eszközök mellett nem adnak beáramlást. Másik példaként megemlíthető a nagy folyadékvesztéssel jelentkező zónák likvidálása torpedózással.

A *második kérdéscsoport*, amely magában foglalja a nagy mélységű fúrások által felvetett műszerteknikai problémákat, igen sok szerteágazó kérdést tartalmaz, melyek közül itt csak a három legfontosabbal kívánunk foglalkozni. A második 5 éves terv szerint lemélyítésre kerül hazánkban az első 6000 m talpmélységű fúrás. Ez előreláthatólag 220–240 C° talphőmérsékletet jelent. Ilyen hőmérsékleten történő vizsgálatokra nem vagyunk felkészülve. A Magyarországon előíllított karottázkábelek hőfokhatára 200 C° alatt van. Jelenleg a francia gyártmányú kábelek is csak 180–200 C°-ig dolgoznak.

Folyamatban van fluorozott szigetelésű *hőálló kábelek* beszerzése. Magyarországon gyártott lyukműszerek hőtűrése kicsi, így lyukműszereink közül a szovjet importból beszerzett IT-200 típusú ferdeségmérő szonda és a TRK típusú radioaktív szonda alkalmas 200 C°-on való üzemelésre. Egyedül a perforálási eszközök terén biztosabb a helyzet, mert itt a hazai fejlesztési munka eredményeként a jövő év végére várhatóan rendelkezésünkre fog állni komplett 240 C°-ig dolgozó robbanólanc.

A fúrólukak hőmérsékletének növekedésével a hőmérséklet mellett növekszik a nyomás is. Ennek ellensúlyozására ki kell fejleszteni *nyomásálló szon-*

*dahizakat* és megbízható tömítéseket, amelyek üzembiztosan dolgoznak 1000–1400 atm. nyomásig. Sajnos a hazai előállítású műszerek nyomásállósága lényegesen kisebb.

A fúrási technológia korszerűsödése és a mélység növekedése egyaránt a lyukátmérők csökkenését eredményezik. Ezért fontos feladat már ma a *kisátmérőjű műszerek* családjának kifejlesztése. Várható, hogy a harmadik ötéves terv elején bevezetésre kerülnek a 2000 m talpmélységű, 2 1/2" átmérőjű slimehole fúrások. Ezeknek a szelvényezéséhez maximálisan 40 mm átmérőjű lyukműszerek szükségesek. Ezeknél is nagyobb problémát jelent majd a nagymélységű fúrások alsó szakaszainak szelvényezése, minthogy itt a szűk szelvényen kívül jelentkeznek a nagymélységből adódó más problémák is. A Szovjetunióban, az Egyesült Államokban intenzíven folyik az ilyen lyukműszerek kialakítása, melynek eredményeit jelzik a 35 mm átmérőjű (nem nagy hőállóságú) szovjet radioaktív szondák, a 40 mm-es amerikai ferdeségmérő és a még ennél is kisebb átmérőjű perforátorok stb. A teljesség kedvéért jegyezzük meg, hogy hazánkban is vannak ezen a területen eredmények.

*Harmadik kérdéscsoport*, amellyel foglalkozni kívánunk, a karottázs szelvényezés termelékenységevel összefüggő műszer és módszer fejlesztés problémáit foglalja magában. Ez feltétlen követelménye minden műszaki fejlesztési munkának, minthogy igen nagy gazdasági jelentőségű kérdés. Pl.: csak a magyar olajiparban az 1963. évben több mint 4 millió méter karottázs szelvény készült.

A munkatermelékenység növelésének több útja van, melyek közül csak a fontosabbakról kívánunk beszélni.

Első helyen a korszerűbb szelvényezési eljárások bevezetésének szükségeséről kell beszélni. Itt nem egyszerűen arról van szó, hogy pl. a Geiger Müller csöves radioaktív szelvényezés helyett a szcintillációs eljárásokat kell alkalmazni, bár ez is komoly fejlődést jelentene, hanem arról, hogy a jelenleg alkalmazott BKZ szondázás helyett pl. *laterolog-szónikus-radioaktív* kombinációt kell alkalmazni a CH tároló rétegek kimutatására. Ezen a téren még nagy lehetőségeink vannak, minthogy el vagyunk maradva a világszínvonaltól. Kormányzatunk jelentős erőfeszítést tesz a korszerű műszerpark biztosítására. Azonban nem oldhatjuk meg feladatainkat kizárólag import műszerekkel. Fokozott erőfeszítéseket kell tennünk a fejlesztési munkák meggyorsítására.

Fontos kérdés a termelékenység növelésének területén a mérések párhuzamosításának a kérdése. A jelenleg Magyarországon alkalmazott karottázs berendezések egyidőben maximálisan 3 paraméter regisztrálását teszik lehetővé. (Pl. 2 ells+PS, vagy 2 mikroells és lyukbőség). Világszerte erőteljesen foglalkoznak a 4–8 mérőcsatornás berendezések kialakításával, illetve azok alkalmazásával. E téren két fő fejlesztési irány jelentkezik. Az egyik *egy eres pínckélibelt* vesz alapul, míg a másik a több, általában a héteres kábelek használatára támaszkodik.

A fejlődés jelenlegi szakaszán a *többeres* karottázs kábellel dolgozó sokcsatornás berendezéseket kell perspektivikusabbnak tekinteni, minthogy ezek viszonylag kevesebb elektronikus alkatrészt tartalmazó lyukműszereket követelnek meg, ami enyhíti a hőmérséklet és a kis átmérő miatti gondokat. Ilyen irányzat alapján készült a VNII geofizikában az AKSZ-4 típusú berendezés, az amerikai Schlumberger és PGAC berendezés, és ilyen alapon történik a Gamma Műveknél az *új magyar karottázs berendezés* kialakítása is.

Ez a berendezés, mely héteres kábel használatára épül, lehetőséget fog nyújtani egyidejűleg négy ellenállásgörbe és a PS szelvény regisztrálására két különböző tápáramfrekvencia felhasználásával. Fontos lépést jelent a korszerűség felé az a körülmény, hogy pulzátor helyett sinus jel alakú áramot használ. A berendezés lehetővé teszi különböző mlyszégleptékek egyidejű használatát, ami szintén növeli a berendezés termelékenységet.

Elképzelhető karottázs berendezés 7-nél több erű kábellel is.

Jelenleg is léteznek berendezések, melyek *nagy érszámú kábelt* használnak fel. Ilyen pl. a nyugatnémet gyártmányú *lyuktelevíziós készülék*, amely 35 eres kábellel üzemel. Jóllehet itt a nagy érszám más rendeltetésű és a műszer mlyszékapacitása a kábel miatt csak 400 m, azon ban rámutat a pl. 13-eres kábelek megvalósításának lehetőségére.

Nem elegendő azonban többsatornás berendezésekről gondoskodni, azok kellő kihasználtsága érdekében létre kell hozni olyan *komplex lyukműszereket*, amelyek biztosítják egyidejűleg több különböző paraméter regisztrálását. Ilyenek pl. a nyugaton kialakított és Magyarországon is megvalósított iszapellenállás-lyukbőség mikroellenállásmérő komplex szonda, vagy az ugyancsak nyugati laterologultraszónikus komplex lyukműszer vagy a Szovjetunióban kidolgozott ún. „karottázs kombajn”, amely iszapellenállás mérőt, lyukbőség mérőt, mikroszondát és iszaplepleny vastagság detektort tartalmaz.

A fentiekén kívül szükség lenne pl. olyan lyukműszerre, amely a két ellenállásgörbén és a PS-en kívül lyukferdeségmérést tenne lehetővé. Nem érdemes a szükséges kombinációk felsorolását tovább folytatni, mert a fent elmondottakból is kitűnnek a lehetséges fejlesztési irányok és feladatok.

A párhuzamos méréseken kívül további nagy lehetőségeket ígér a termelékenység növelésében a *regisztrálási sebességek növelése*. A sokéves tapasztalat azt mutatja, hogy 6000 m/óra húzatósi sebesség megvalósítható a balesetveszély növelése nélkül. A jelenlegi regisztrálási sebességek ennek általában csak tört részét teszik ki. Gondoljunk itt pl. a nagy felbontóképeségű szelvényekre. Ennek alapvető oka abban keresendő, hogy a jelenleg alkalmazott regisztráló berendezések időtehetetlensége nagy. Fontos feladat tehát a kis tehetetlenségű regisztrátorok kidolgozása. Ilyen irányú kísérletnek kell tekinteni a fotoregisztrátor helyett kidolgozott önrókat is, melyek dinamikája valamivel jobb az előzőeknél, habár itt a főcél a regisztrátumok jobb vizuális megfigyelhetősége volt. A megoldást azonban a nem mechanikus (pl. katódsugárcsőes optikai vagy magnetofonos) regisztrátorokban kell keresni.

A regisztráló művek kialakításával is kapcsolatban levő igen fontos kérdés-csoport a karottázs szelvényértelmezés gépesítésének kérdése. A korszerű gépi számolástechnika, az elektronikus számítógépek alkalmazása lehetőséget nyújt a karottázs szelvények interpretációjának gépesítéséhez.

A Szovjetunióban az 50-es évek végén kezdtek el a gépi interpretáció kidolgozását. Ezy „Ural” típusú számológép felhasználásával BKZ görbéket interpretáltak úgy, hogy a gépbe betáplálták a leolvasott látszólagos ellenállásértékeket és a gép végezte el az ellenállásértékek meghatározását. Azóta az ilyen irányú munka fokozódott. Jelenleg laboratóriumi fejlesztési stádiumban van egy olyan műszer, amely a vizuálisan leolvasható karottázs szelvényeken kívül magnetofon-szalagos regisztrátumot is szolgáltat. A műszer felépítése olyan, hogy a magnetofon-szalagon a görbe kettes számrendszerben digitalizált értékeit rögzítik, amely alkalmas további átalakítás nélkül gépi feldolgo-

zásra. Az USA-ban is folynak fejlesztési munkálatok ilyen műszerek kidolgozására, bár az erre vonatkozó irodalom úgyszólván teljesen hiányzik.

Az előadás első részében már említett hazai fejlesztésű scintillációs radioaktív szonda is lehetővé tesz magnetofonos regisztrálást, és egy hozzá szintén tervezés alatt álló adapter digitális feldolgozást is lehetővé tesz.

A fenti rövid áttekintésből látható, hogy karottázs műszer és módszer kutatás terén óriási feladatok és lehetőségek vannak, pedig csak néhány szempontot ragadtunk ki a témák közül (pl. nem beszéltünk a kábelnélküli információközlés kérdéséről stb.).

Reméljük, hogy a magyar geofizika rövid idő alatt komoly eredményeket ér el e feladatok megoldásával.

## IRODALOM

*Dahnov:* Promiszlovaja geofizika. Moszkva, 1959.

*Doll:* The S. P. Log: Theoretical Analysis and Principles of Interpretation. Trans. AIME, 179, 1948.

*Doll:* The S. P. Log in Shaly Sands Trans. AIME 189. (1950).

*Pirson:* Formation Evaluation by Log Interpretation. World Oil, Apr., May, Jun. 1957.

*Schlumberger:* Well Surveying Corporation. Houston, Texas, Log Interpretation Charts, 1957 - 1958.

Review of Schlumberger Well Logging and auxiliari Methods, Paris.

*Tixier:* Electric Log Analysis in the Rocky Mountains, The Oil and Gas Journal, Jun. 23. 1949.

*Tixier-Goudouin-Simard:* An Experimental Study on the Influence of the Chemical Composition of Elektrolites on the SP Curve. Journal of Petroleum Technology, Feb. 1957.

*Sz. G. Komarov:* Szpravocsnik Geofizika Tom II. Gosztoptychizdat 1961.

*F. A. Alekszejev:* Radiometriczeszkij metod poizskov nyefti i gaza (o prirode radiometriczeszkij i radiogeohimiceszkij anomálj v rajone nyeftjánüh i gazovüh mesztorozsdenij) 1959.

*Leipunszkaja:* Spektrálaktivációs karottázs üledékes kőzetekben. Jagyernaja geofizika 1962. (oroszul)

*R. P. Alger és munkatársa:* Formation Density Log Applications in liquid-Filled Holes. Journal of Petroleum Technology, March. 1963.

*M. P. Tixier:* Modern Log Analysis. Journal of Petroleum Technology December 1962.

*R. L. Caldwell:* Using Nuclear Methods in Oil Well Logging Nucleonics December 1958.

*J. Titmann, W. B. Nelligen:* Laboratory Studies of a Pulsed Neutron-Source R. Technique in Well Logging. Journal of Petroleum Technology. July. 1960.

*A. H. Joumans (és társai):* Neutron Lifetime, a New Nuclear Log. Journal of Petroleum Technology. March. 1964.

*M. R. J. Wyllie:* The Fundamentals of Well Log Interpretation III. New York and London 1963.