

# Különböző gamma-forrásokkal végzett szórt gamma-típusú szelvényezésről

M É S Z Á R O S F.

A dolgozat megállapítja, hogy a gamma-gamma fúrólükszelvényezési eljárás alapján végzett térfogatsúly-meghatározás pontossága nagymértékben függ az adott kőzet térfogatsúlyától. Az  $1 - 3 \text{ g/cm}^3$  sűrűségintervallumban a meghatározás pontossága  $0,01 \text{ g/cm}^3 - 0,15 \text{ g/cm}^3$  között változik.

Ha a fúrólük által harántolt rétegek kémiai összetételét akarjuk vizsgálni, akkor alacsonyabb energiájú izotópot kell használni. Modellmérések formájában foglalkoztunk a kőzetekben levő különböző nehéz elemek és a szórt gammasugárzás energiaintervallumai közti összefüggésekkel. A kísérletek alapján megállapítható, hogy a primer energia csökkenésével a lyukműszerek rétegfelbontóképessége lényegesen megnő.

*Точность определения плотности по данным ГГК сильно зависит от плотности данной горной породы. В диапазоне плотностей от 1 до 3 г/см<sup>3</sup> точность определения изменяется в пределах от 0,01 до 0,15 г/см<sup>3</sup>.*

*При исследовании химического состава разреза скважин необходимо уменьшить энергию применяемого изотопа. Связи между разными тяжелыми элементами, входящими в состав пород с интервалами энергии рассеянного гамма-излучения изучались нами путем проведения модельных исследований. Результаты этих исследований позволяют делать вывод о значительном увеличении разрешающей способности скважинных приборов в отношении расчленения разрезов с уменьшением первичной энергии.*

Es wird bestätigt, dass die Genauigkeit der auf Grund von Gamma-Gamma-Messungen durchgeführten Dichtebestimmung stark von der Dichte des gegebenen Gesteins abhängt. Im Dichtebereich  $1 - 3 \text{ g/cm}^3$  schwankt die Bestimmungsgenauigkeit zwischen  $0,01$  und  $0,15 \text{ g/cm}^3$ .

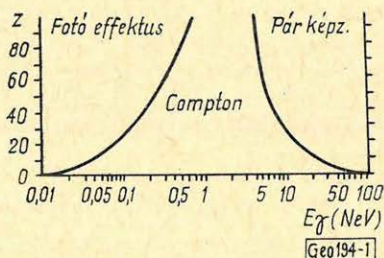
Falls wir die chemische Zusammensetzung der durchbohrten Schichten untersuchen wollen, muss ein Isotop von niedrigerer Energie verwendet werden. Die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Schwerelementen des Gesteins und den Energiebereichen der Gamma-Streustrahlung wurden durch Modellmessungen geprüft. Die durchgeführten Versuchsarbeiten erlauben uns festzustellen, dass das Auflösungsvermögen der Bohrlochmessgeräte sich mit der Abnahme der Energie wesentlich erhöht.

A szórt gamma-típusú geofizikai lyukszelvényezések fizikai alapját a fúrólükben mesterségesen létrehozott gammasugárzási térnek, és a fúrólük által harántolt kőzetek – természetes tér – kölcsönhatása képezi. A kölcsönhatás formája függvénye a teret létrehozó sugárforrás energiájának. Az eddigi

1. ábra. A Compton, a foto- és párképződési kölcsönhatások valószínűségének energia- és rendszám függése

Фиг. 1. Зависимость вероятности комптонового эффекта, фотоэффекта и эффекта образования пар (энергия и атомный номер)

Abb. 1. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Compton-, photoelektrischen und Paarbildungseffekte in der Funktion der Energie und des Kernladungszahles



gyakorlatban maximálisan  $1,3 \text{ MeV}$  energiájú sugárforrásokat alkalmaznak, amely a gammakvantumok és az anyag között gyakorlati szempontból kétféle kölcsönhatást enged meg. Ez a kétféle kölcsönhatás a fotoelektromos abszorpció és a Compton-szóródás. Mindkét kölcsönhatás erősen energiafüggő és ez az energiafüggőség nem egyforma a két jelenségnél (1. ábra).

A Compton-szóródás hatáskeresztmetszete a rendszámmal ( $Z$ ) egyenesen arányos, a gammakvantumok energiájával lassan csökken. A fotoelektromos abszorpció hatáskeresztmetszete ezzel szemben közelítőleg a rendszám ötödik hatványával arányos és az energia harmadik hatványával fordítva arányos. A kettő összevetéséből világos, hogy van egy olyan tartománya ezek szerint a szórt sugárzás spektrumának, amely elsősorban a rendszámától függ, és van egy olyan, amely a térfogategységben levő elektronok számától.

Ily módon a program kétfelé ágazik:

- a) a spektrum elektron sűrűsége érzékeny részének hasznosítása
- b) a spektrum rendszámra érzékeny részének hasznosítása.

Először az első pontot vizsgáljuk meg részletesen.

A spektrumnak ebben a tartományában a jelenség fizikai alapját a Compton-szóródás képezi. A Compton-szóródás – amely a primér gammakvantumok irány és energia megváltozását jelenti – a szóró anyagban levő elektronok számától függ. A térfogategységben levő elektronok száma viszont egyszerű megfontolások alapján lineáris kapcsolatba hozható egy igen lényeges fizikai paraméterrel, a *térfogatsúllyal*. Az összefüggés a következő:

$$n_e = \varrho \cdot N \sum_{i=1}^k \frac{Z_i}{A_i} q_i = \varrho \cdot N \cdot \beta \quad (1)$$

ahol  $\varrho$  – térfogatsúly  $g/cm^3$ -ben

$N$  – Avogadro-szám,  $6 \cdot 10^{23}$

$$\beta = \sum_{i=1}^k \frac{Z_i}{A_i} q_i \text{ a közet átlagos } \frac{Z}{A} \text{ értéke}$$

( $A_i$ ; – az „ $i$ ” elem atomsúlya,  $q_i$  az „ $i$ ” elem %-os koncentrációja,  $Z_i$ -rendszám.)

Az (1) összefüggés ezáltal lehetővé teszi, hogy fúrólukokban „*in situ*” térfogatsúly meghatározást lehessen végezni. A probléma azonban korántsem ilyen egyszerű. A fúrólukban végig húzott radioaktív szonda által regisztrált gamma-gamma görbe tartalmazza információként a közet térfogatsúlyát, de ezenkívül még egy sor zavaró tényező is közrejátszik, amelyek a térfogatsúllyal párhuzamosan hatnak. A feladat az, hogy a nyers gamma-gamma görbét mentesítsük a ráakódott zavaró hatásoktól. A probléma matematikai megfogalmazása a következő: a regisztrált gamma-gamma intenzitás tulajdonképpen egy többváltozós függvény, amelynek független változói képezik az egyes zavaró effektusokat. Az egyes tényezők jellegének részletesebb tárgyalása nélkül megadjuk általános alakjában a függvényt:

$$I_{\gamma\gamma} = F_1(\varrho, \text{ term-}\gamma, \varrho \text{ iszap, } d, \frac{Z}{A}, \text{ iszaplepeny, } l, Q, \text{ szonda helyzete, rétegvastagság}) \quad (2)$$

A jelölések ismertek. Ez a függvény  $\varrho$ -ra nézve implicit, tehát átírva:

$$\varrho = F_2(I\gamma\gamma, \text{term-}\gamma, \varrho \text{ iszap, } d, \frac{Z}{A}, \text{ iszapleány, } l, Q, \text{ szonda helyzete, rétegvastagság}) \quad (3)$$

A műszer által regisztrált intenzitás ezenkívül még függvénye lesz a mérési paramétereknek is. Pl.  $\tau$  időállandó, vontatási sebesség ( $v$ ). A (3) alatti több-változós függvény matematikai alakja csak bizonyos feltevések mellett ismert. Behatóan *Djadkin* [3], *Filippov* [4] foglalkozott a fenti probléma matematikai tanulmányozásával. A térfogatsúly számítása ezek után a szórt sugárzás intenzitásából kétféleképpen lehetséges.

1. Elfogadjuk a közelítő matematikai összefüggést a szórt gammaintenzitás, térfogatsúly és egyéb paraméterek (pl. lyukátmérő, szondahossz stb.) között. A konkrét matematikai összefüggést, mint függvényt vizsgáljuk, és az egyes változók szerinti differenciálása alapján a számított térfogatsúlyt bizonyos hibahatárral adjuk meg (*Czubek* [2]).
2. A gamma-gamma intenzitást befolyásoló zavaró tényezőket kísérleti úton külön-külön határozzuk meg. Anélkül, hogy az intenzitás, valamint egyéb paraméterek közötti konkrét matematikai összefüggést ismerjünk, korrekciós görbeseregeket készítünk és ezek segítségével számítjuk ki a térfogatsúlyt.

Az alábbiakban azt vizsgáljuk meg, hogy ezzel az ún. grafikus korrekciós eljárással milyen pontossággal lehet a térfogatsúlyt megadni.

Az egyes tényezők hibáinak vizsgálatánál két szempontot lehet felállítani:

- a) vannak olyan tényezők, amelyek az alapul szolgáló fizikai jelenség természetéből következnek és ezen változtatni nem lehet. Ezeket nem mérjük, hanem a jelenség elvi alapjából kifolyólag hatnak. Itt főleg az elektronsűrűség – térfogatsúly kapcsolatának lineáris vagy non lineáris voltáról van szó. Erre vonatkozóan bizonyos korrekciókat lehet megadni.
- b) A mérésből adódó hibák: a térfogatsúly értékéhez több lépésen keresztül jutunk el. Ezek a lépések külön-külön hibával terheltek. Meg kell becsülni az egyes részhibákat, majd a hibaszámítás tételei alapján a hibaterjedést figyelembe véve adható meg a végeredmény hibája.

A probléma bonyolult, mivel nemcsak mérési hibákról van szó, hanem az egyes lépésekben beütésszámok szerepelnek és így ezek külön-külön a radioaktív bomlás jelenségének statisztikus jellegénél fogva statisztikus hibával terheltek.

A (3) egyenlet változóit vizsgáljuk:

- a)  $\frac{Z}{A}$  effektus: ahhoz, hogy az elektronsűrűség – amelyet tulajdonképpen mér a szonda – lineáris kapcsolatban legyen a térfogatsúlyal, a  $\frac{Z}{A} = \text{konst.}$  feltételnek kell teljesülnie. Üledékes kőzeteknél első közelítésben igaz az, hogy  $\frac{Z}{A} \approx \frac{1}{2}$ . Tittman és Wahl vizsgálataira hivatkozva

a  $\frac{Z}{A}$  hatás üledékes kőzeteknél a térfogatsúlyt  $\pm 0,006 \text{ g/cm}^3$ -rel befolyásolja, tehát nyugodtan elhanyagolható. [1]  
Nem üledékes jellegű kőzeteknél más lehet a helyzet és ott valószínűleg nagy jelentősége van a  $\frac{Z}{A}$  effektusnak.

- b) Iszaplepleny: a kőzetek minőségétől függően a fúróluk falán kialakuló iszaplepleny nyilvánvalóan befolyásolni fogja a térfogatsúly értékét. Az iszaplepleny (vastagságának) zavaró hatásának mértéke függvénye az iszaplepleny vastagságának és sűrűségének, valamint az iszaplepleny sűrűség és a mögötte levő kőzet sűrűsége közötti kontrasztnak. Pl.  $2 \text{ g/cm}^3$  körüli iszapleplenyek kis hibát fognak eredményezni a  $2,0 - 2,3 \text{ g/cm}^3$  sűrűségtartományban, míg az  $1,3 - 1,5 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű iszapleplenyek tekintélyes hibát okozhatnak az alacsony porozitású, nagy-sűrűségű mészkövekben. Ezen megfontolások alapján, ha iszaplepleny van jelen, a szondaindikáció egy bizonyos átlagsűrűségű iszapleplenytől és a mögötte levő kőzetsűrűségtől származik. Ezekben az esetekben mikromérések segítségével meg kell határozni az iszaplepleny vastagságát, valamint korrekciós táblázatok segítségével megbecsülni az iszaplepleny értéket.
- c) Szonda hossza: a mérés folyamán konstans, tehát a szórt gammaintenzitást nem befolyásolja. Amennyiben a szondahossz eltér a névlegestől, a korrekciós tényezők nem érvényesek. A szórt sugárzás értéke ugyanis lényeges mértékben függ a szondahossztól.
- d) Sugárforrás erőssége: a szórt sugárzás függvénye a  $Q$  forrásereőségnek. Mivel a korrekciós görbék arányított értékkel készültek, az izotóphatástól függetlenül vannak.
- e) Szonda helyzete: a mérések centírozó gyűrűvel történtek, feltesszük, hogy a szonda tengelye mindvégig párhuzamos a lyuk tengelyével, tehát pl. a szonda körüli iszaposzlop térfogata is konstans.
- f) Rétegvastagság: elsősorban az  $1 \text{ m}$ , illetve annál kisebb vastagságú rétegek esetében lényeges. A probléma szoros összefüggésben áll a  $\tau$  időállandó és „ $v$ ” vontatási sebesség megválasztásával és a későbbiekben még lesz róla szó. Mindenesetre az  $1 \text{ m}$ -nél vastagabb rétegeknél – alkalmas időállandó és vontatási sebesség mellett – elérhető, hogy nem kell alkalmazni rétegvastagság korrekciót.

Térfogatsúly meghatározásánál a kiindulási adatokat a szelvényről leolvasható nyers gamma-gamma és természetes-gamma impulzusszintek adják. Mint minden radioaktív mérésnél, úgy itt is a nyers gamma-gamma impulzusszintből ki kell vonni a természetes gammát. A későbbiekben közölt hibaszámítás során megvizsgáljuk a fenti két kiindulási adat lehetséges hibáját, valamint a hibaterjedés törvényét felhasználva a különbség lehetséges hibáját.

Az így kapott hibaérték egyúttal a térfogatsúly meghatározás pontosságát is megadja, feltételezzük, hogy a térfogatsúly meghatározásához felhasználandó görbesereg, ill. korrekciós együtthatók, valamint a szórt sugárzás intenzitása és a térfogatsúly közötti összefüggést kifejező kalibrációs görbe pontossága felülmúlja a kiszámítandó térfogatsúly pontosságát. Ez annál is inkább így van, mivel tetszőleges számú mérést lehet végezni, és a számtani közepekből képzett érték hibája pedig elhanyagolható [5].

Így a számításokba újabb hibát nem visznek. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy az általunk kiszámított hiba alsó határt jelent.

Hibaszámitáshoz a következő összefüggést használtuk fel:

$$x_1 \pm x_2 = P \quad (Sd)p = \sqrt{(Sd)x_1^2 + (Sd)x_2^2} \quad (4)$$

Ez az összefüggés a radioaktív jelenségek statisztikus jellegéből adódik a valószínűségszámítás tételeinek felhasználásával.

Első lépésként vizsgáljuk a nyers  $I\gamma\gamma$  impulzus szintjének kiolvasását. Általánosságban egy radioaktív karottázs regisztrátum relatív statisztikus ingadozása a következővel egyenlő:

$$\delta I = \frac{1}{\sqrt{2I\tau}} \quad (5)$$

A (5) összefüggés végeredményben azonos a pontméréseknél használt  $\pm\sqrt{I}$ -vel, az alaki eltérés onnan adódik, hogy integrátoros lyukműszer esetén  $2\tau$  időtartamra történő átlagolásról van szó. A szelvényről történő kiolvasás esetén a  $\pm\delta I$ -t felrakjuk a görbe mentén. Ezáltal megkapjuk a fluktuációs sávot. Ha az amplitudó 2–3-szorosa ennek a fluktuációs sávnak, akkor réteghatásról van szó, kisebb amplitudó esetén geológiai interpretáció nem adható. Az elmondottak vonatkoznak az  $I\gamma\gamma$ -ra és  $I_{term-\gamma}$ -ra is. Számítások kiindulásához konkrét értékekre van szükség. Számos terepi szelvény átvizsgálása során azt kaptuk, hogy a gamma-gamma görbék intenzitásszintje egy széles intervallumban változik. Ez az intervallum 2000-től 20 000 cpm-ig terjed. Az intervallum természetesen függvénye a használt izotóp erősségének. A fenti intervallum 10–13 mcCo<sup>60</sup> izotópra vonatkozik. Hogy a számítást végig vihessük, szükséges bizonyos mérési paraméterek konstanson tartása. A továbbiakban ezért feltesszük:

$$\begin{aligned} \tau &= 12 \text{ sec} = 0,2 \text{ min} \\ v &= 3 \text{ m/p} \\ h &= 1 \text{ m} \end{aligned}$$

A gamma-gamma görbék intenzitás szintjének széles tartománya célszerűvé teszi, ha a vizsgált kőzeteket három csoportba osztjuk:

- I. Kis térfogatsúlyú anyagok  $1,0 - 1,6 \text{ g/cm}^3$
- II. Közepes térfogatsúlyú anyagok  $1,6 - 2,2 \text{ g/cm}^3$
- III. Nagy térfogatsúlyú anyagok  $2,2 - 3,0 \text{ g/cm}^3$

A hibaszámítást elvégezve három hibasávot fogunk kapni, amelyek majd magukba foglalják az  $1,0 - 3,0 \text{ g/cm}^3$  térfogatsúly tartomány teljes hosszát. A beütésszám erősen függ a vizsgált kőzet sűrűségétől és a (5) összefüggés alapján különböző pontosságú térfogatsúly értéket fogunk kapni a vizsgált térfogatsúly tartomány egyes helyein. Azt lehet mondani, hogy a pontosság függvénye a térfogatsúlynak. Az intervallumhoz tartozó minden egyes térfogatsúly érték megvizsgálása hiba szempontjából túlságosan nagy munka lenne, és úgy gondoljuk, hogy elegendő a vizsgált tartomány három részére vonatkozó hibabecslés ahhoz, hogy az éppen rendelkezésünkre álló térfogatsúlyról pontosabb információt kapjunk. Ezek után a számítások részletesebb ismertetése nélkül közöljük a három tartományra vonatkozó, a hibaterjedéssel kapott végeredmények relatív hibáit.

Megjegyzendő hogy amint növekszik a térfogatsúly, úgy kezd számottevő lenni a természetes gamma hatása a különbség relatív hibájára.

Impulzusszám alapján az egyes tartományok felosztása a következő:

- I. 20 000 cpm – 10 000 cpm
- II. 10 000 cpm – 5 000 cpm
- III. 5 000 cpm – 2 000 cpm

Természetes gammaként a számításokban végig 500 cpm-el dolgoztunk. Az egyes tartományokra a következő értékeket kaphatjuk:

- |   |               |
|---|---------------|
| I. 0,011 g/cm <sup>3</sup> – 0,026 g/cm <sup>3</sup>  | 1,15% – 1,65% |
| II. 0,026 g/cm <sup>3</sup> – 0,057 g/cm <sup>3</sup> | 1,65% – 2,6%  |
| III. 0,057 g/cm <sup>3</sup> – 0,15 g/cm <sup>3</sup> | 2,6 % – 5,2 % |

Vizsgáljuk meg közelebbről a kapott térfogatsúly pontosságát. Megállapítható, hogy 2,2 g/cm<sup>3</sup>-ig kielégítő pontosságú, azonfelül azonban célszerű a pontosságot fokozni. A pontatlanság oka a nagysűrűségű anyagok viszonylag kicsiny intenzitás szintjében keresendő és abban, hogy a természetes-gamma hibája nagymértékben ráakódik a végeredményre. Ezenkívül a meghatározás pontosságát a nagysűrűségű anyagok tartományában kedvezőtlenül befolyásolja az intenzitás – térfogatsúly kalibrációs görbe ellaposodása: kis intenzitásváltozás is nagy térfogatsúly változást eredményezhet. A pontosság fokozásának lehetőségei:

1. a (5) összefüggés szerint a regisztrátum relatív statisztikus ingadozása csökkenthető az időállandó ( $\tau$ ) növelésével. Ha pl. ( $\tau$ )-t megkétszerezzük,  $\tau = 0,4 \text{ min}$ , akkor a már ismertetett számítások szerint a térfogatsúly relatív hibája a III. tartomány felső határán 5,2%-ról 3,7%-ra esik le, ami azonban még mindig 0,11 g/cm<sup>3</sup> hiba. Ez az út tehát nem járható. Másrészt nem is célszerű az időállandó növelése, mert romlik a felvétel felbontó képessége. Vékony rétegek esetében ugyanis a szonda szinte elsuhan a réteg előtt anélkül, hogy kialakulhatna a rétegre jellemző impulzusszint. Ez réteggörbekorrekciós táblázatok használatát teszi szükségessé, ami a pontosságot elronthatja. Elvileg ezen úgy lehetne segíteni, hogy csökkentenénk a vontatási sebességet. Ennek azonban alsó határt szab a gazdaságosság. Általában  $v = 200 \text{ m/óra} \approx 3 \text{ m/perc}$  vontatási sebesség alá menni nem gazdaságos, mivel nagyon megnöveli a mérés idejét. Ha  $v = 3 \text{ m/p}$  és  $\tau = 24 \text{ sec} = 0,4 \text{ min}$ , akkor egy  $h = 1,5 \text{ m}$ -es réteg esetében a réteggel szemben regisztrált intenzitás a tényleges intenzitásnak csak 68%-a lesz. Az eredmény: a ténylegesnél nagyobb sűrűségűnek értékeljük ki. Ilyenkor rétegvastagság korrekciós görbéket kell használni.

2. A (5) összefüggés szerint egy másik mód az I intenzitás növelése. Ez a számítások szerint célszerű. Pl. ha az I-t megháromszorozzuk, és  $\tau = 0,2 \text{ min}$ , akkor a III. tartomány felső határánál 5,2%-os hibája 2,3%-ra javul ami 0,07 g/cm<sup>3</sup>-nek felel meg. Ezzel párhuzamosan javul az I-es és II-es tartományban is a pontosság mindkét oldalon. Az eddigiek alapján levonható következtetések szerint ahhoz, hogy a gamma-gamma görbéből 0,05 – 0,06 g/cm<sup>3</sup> pontossággal számíthassuk ki a térfogatsúlyt a nagysűrűségű anyagok tartományában, szükséges:

a nagy térfogatsúlyú anyagok is viszonylag nagy beütésszámmal jelentkezzenek (30 – 40 mc Co<sup>60</sup>), fűrőlyukátmérő nagy pontosságú ismerete (1 – 2 mm), fűrőiszap fajsúlyának ismerete 0,01 g/cm<sup>3</sup> pontossággal. A leg-

utolsó feltétel — eltekintve a gravitációs ülepedéstől — teljesíthető, míg a lyukátmérő ismerete  $cm$ -nyi pontossággal adható csak meg. Ez rontja a térfogatsúly pontosságát.

Ezek alapján arra a következtetésre lehet jutni, hogy bizonyos átmérő után a falhozszorítás technika alkalmazása az átmérőből származó hatást csökkentve ígérkezik perspektivikusnak a nagy pontosságú térfogatsúly mérésére. Ebben az esetben az iszaplepeny hatása is lecsökkenthető. Az intenzitás növelése többféleképpen lehetséges. Pl. nagyobb erősségű sugárforrás használata. Ebben az esetben viszont meg kell vizsgálni a használt mérőrendszer viselkedését a nagyobb impulzusszámok tartományában linearitási szempontból. Lehet, hogy a nagysűrűségeknel fokozódik a pontosság, ha viszont megszűnik a mérőrendszer linearitása, akkor a kissűrűségű anyagokra nézve leromlik a számított térfogatsúly érték pontossága. Egy másik mód az impulzusszámok növelésére nagyobb érzékenységgű detektorok használata. Ez pl. a szcintillációs módszer. További eljárás a pontosság fokozására a kollimációs technika. Ha az eredményeinket összehasonlítjuk Czubek [2] munkájával, akkor a következőket lehet megállapítani:

1. Nagy térfogatsúly értékeknél Czubek szerint is a térfogatsúly meghatározásának hibája növekszik.

2. Normális terepi körülmények között, amikor a kalibrációs görbe  $0,5\%$  pontossággal ismeretes, a térfogatsúly interpretációban levő minimális lehetséges hiba  $1-2\%$  körül van.

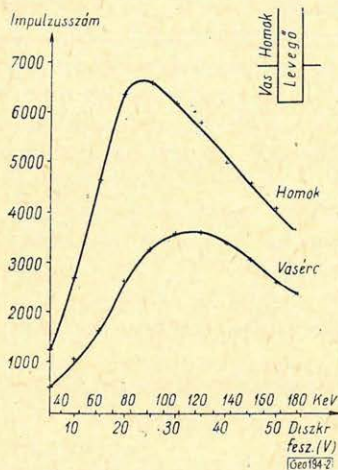
3. A térfogatsúly végső eredményéhez a  $\tau$ ,  $v$  és  $h$  semmiféle jelentős hozzájárulást nem adnak. Ez nyilvánvaló, hiszen a mérés folyamán konstansok. A térfogatsúly hibájának legfőbb adalékot a kalibráció, valamint a kalibrációs görbe hibája adja és ezenkívül a terepi mérések hibái.

Eredményeink és a Czubek cikk [2] összehasonlítása talán azért nem szerencsés — bár következtetések egyeznek —, mivel különböző úton közelítik meg a problémát. Ugyanakkor az eredmények egyezése kontrollként is felfogható. A GM csővel végzett gamma-gamma szelvényezés esetében a regisztrált gammakvantumok a legkülönbözőbb energiájúak lehetnek. A szóródáskor ugyanis a primér energia, valamint a szórások számának a függvényében a szórt gamma kvantumnak az energiája egy széles energiasávot ölel fel. A szórt sugárzás spektrumának egyes tartományai különböző információkat rejtenek magukban a szóró közegről. A térfogatsúly szelvényezéshez lényegében a spektrum kemény energiájú részét hasznosítjuk  $4-500 keV$  alsó határig. Itt a gammakvantumok és anyag közti kölcsönhatás Compton-szóródás formájában megy végbe.

Előzőekben említettük, hogy a fotoabszorpció közelítőleg arányos a rendszám 5. hatványával és fordítva arányos az energia 3. hatványával. Így kézenfekvő a következtetés: ha a spektrum lágy tartományait vizsgáljuk, ott első sorban a fotoeffektus fog dominálni. Ezt csak mégjobban elősegíti a kőzetben levő nagy rendszámú elem. Feladat tehát a szórt sugárzás spektrumának alacsony energiájú részét megvizsgálni. Ez az ún. szelektív gamma-gamma módszer. A vizsgálatok perspektivikusak lehetnek az érces zónák kimutatására.

A modellkísérletek elvégzésére olyan eszközt kellett tehát használni, amely energia érzékeny. A méréseket  $NK-108$ -as típusú energiára hitelesített energiaszelektív számlálóval és ehhez kapcsolt szcintillációs mérőfejjel végeztük. Az alacsony energiák detektálását a szondaház PVC anyaga nem akadályozta. A hitelesített mérőberendezés lehetővé tette a  $30 keV - 1200 keV$  közötti ener-

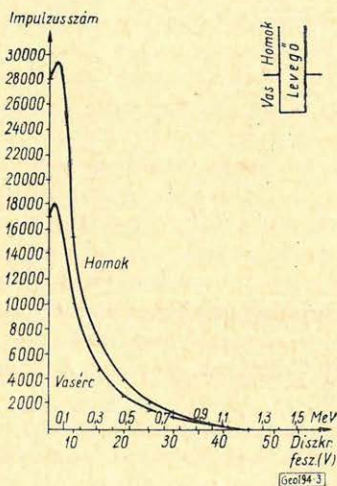
giatartomány vizsgálatát. A méréseket mesterségesen összeállított rétegsorban végeztük, amely különböző nehéz elemeket tartalmazott. Első esetben homok és vasérc rétegeket tartalmazó rétegsort vizsgáltunk. A  $Co^{60}$  forrással végzett szórt sugárzás vizsgálatok homokban, ill. vasércben, az ábrákon láthatók (2., 3., 4. és 5. ábra).



2. ábra. Szórt sugárzás energiaeloszlása fúrólukmodellben, használt sugárforrás:  $Co^{60} = 5\text{ mC}$  (alacsonyabb energiákra)

Фиг. 2. Распределение энергии рассеянного излучения на модели скважины. Используют ванный источник излучения -  $Co^{60} = 5\text{ мкюри}$  (для низких величин энергии)

Abb. 2. Die Verteilung der Streustrahlungsenergie in einem Bohrlochmodell; verwendete Strahlquelle:  $Co^{60} = 5\text{ mC}$  (für niedrigere Frequenzen)



3. ábra. Szórt sugárzás energiaeloszlása fúrólukmodellben, használt sugárforrás:  $Co^{60} = 5\text{ mC}$  (teljes energia tartományra) (a bal oldali  $0 - 0,2\text{ MeV}$ -es tartomány megfelel a 2. ábrának)

Фиг. 3. Распределение энергии рассеянного излучения на модели скважины. Использованный источник излучения -  $Co^{60} = 5\text{ мкюри}$  (для всего диапазона энергии)

Abb. 3. Die Verteilung der Streustrahlungsenergie in einem Bohrlochmodell; verwendete Strahlquelle:  $Co^{60} = 5\text{ mC}$  (für den ganzen Energiebereich)

A mérések során  $2\text{ V}$ -os diszkriminációs feszültségközzel tapogattuk végig a  $30\text{ keV} - 1200\text{ keV}$  közötti energiatartományt.

Az ábrák alapján levonható következtetések:

1. A fúrásban levő közeg (levegő, víz) a kialakult spektrum alakját nem változtatja meg, csak az impulzusszintet.

2.  $100\text{ keV}$  energiaérték körül figyelhető meg a nagyjából azonos térfogatú homok, vas öszletben a görbék legnagyobb elkülönülése. Ennél kisebb és nagyobb energiaértékeknél a görbék összetartanak.



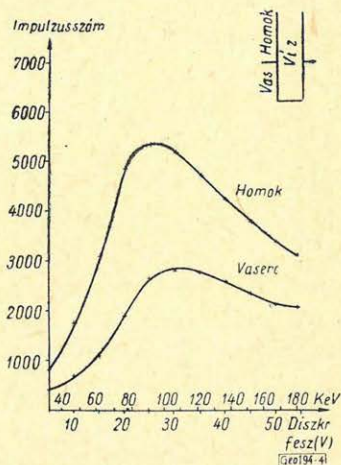
Vizsgáljuk meg a  $100\text{ keV}$  körüli energiaértékhez tartozó impulzusszámokból képzett hányadosokat, mint a differenciálóképesség jellemzőjét.

	<i>levegő</i>		<i>víz</i>	
<i>homok</i>	6840	}	5560	} 1,82
<i>vasérc</i>	3700		3060	
				$Co^{60}$

4. ábra. Szórt sugárzás energiaeloszlása fúrólukmodellben, használt sugárforrás:  $Co^{60} = 5\text{ mC}$

Фиг. 4. Распределение энергии рассеянного излучения на модели скважины. Использованный источник излучения -  $Co^{60} = 5\text{ мкюри}$

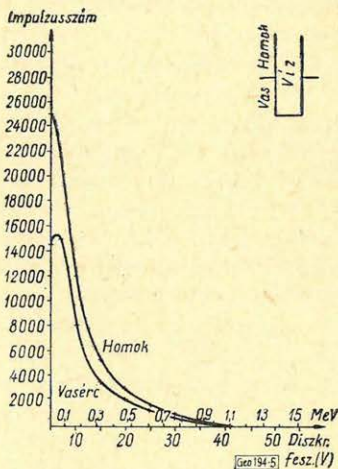
Abb. 4. Die Verteilung der Streustrahlungsenergie in einem Bohrlochmodell; verwendete Strahlquelle:  $Co^{60} = 5\text{ mC}$



5. ábra. Szórt sugárzás energiaeloszlása fúrólukmodellben, használt sugárforrás:  $Co^{60} = 5\text{ mC}$  (a bal oldali  $0 - 0,2\text{ MeV}$ -es tartomány megfelel a 4. ábrának)

Фиг. 5. Распределение энергии рассеянного излучения на модели скважины. Использованный источник излучения -  $Co^{60} = 5\text{ мкюри}$  (диапазон от  $0$  до  $0,2\text{ мэв}$  в левой стороне фигуры соответствует фигуре 4)

Abb. 5. Die Verteilung der Streustrahlungsenergie in einem Bohrlochmodell; verwendete Strahlquelle:  $Co^{60} = 5\text{ mC}$  (der Bereich  $0 - 0,2\text{ MeV}$  an der linken Seite entspricht der Abb. 4.)



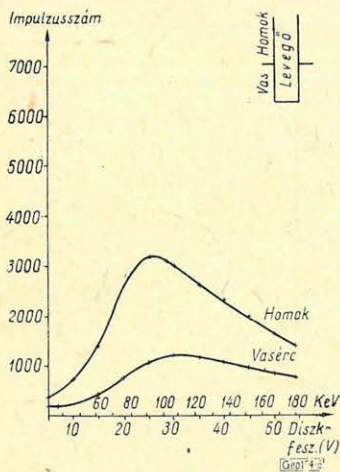
Az elmélet alapján a differenciálóképesség függvénye kell, hogy legyen a primér energiának. Azt várjuk, hogy amennyiben csökken a primér energia, növekszik a felbontóképesség. A kísérletek igazolták a feltevést.

Az alacsony energiájú tartományban a (2., 3., 4. és 5) ábrákon látható mérésekhez hasonló méréseket végeztünk  $Cs^{137}$ -es izotóppal is. A primér energia ebben az esetben  $660\text{ keV}$ , tehát kb. fele a  $Co^{60}$ -nak.

Az eredmények a 6. ábrán láthatók.

Képezzük a megfelelő hányadosokat:

<i>homok</i>	3180	}	2,56	$Cs^{137}$
<i>vasérc</i>	1200			



6. ábra. Szórt sugárzás energiaeloszlása fúrólukmodellben, használt sugárforrás:  $Cs^{137} = 8 \text{ mC}$

Фиг. 6. Распределение энергии рассеянного излучения на модели скважины. Использованный источник излучения -  $Cs^{137} = 8 \text{ мкюри}$

Abb. 6. Die Verteilung der Streustrahlungsenergie in einem Bohrlochmodell; verwendete Strahlquelle:  $Cs^{137} = 8 \text{ mC}$

A két ábra összevetése alapján megállapítható, hogy a differenciálóképesség kb. 40%-kal javult. A spektrum alakja nem változott, csak az impulzusszintek nagysága. Már ebből a két ábrából is látható, hogy a spektrum csúcsa bizonyos balratorodást mutat. Ez a balratorodás az ún. effektív rendszámmal van összefüggésben. Nagyobb effektív rendszámú (pl. vas) anyag spektrum csúcsa a kisebb effektív rendszámútól jobbra helyezkedik el.

A különbséget a homok és vas elkülönítése esetén mindenképpen a rendszámhatásban kell keresnünk. A vasérces közegben az effektív rendszám nagyobb mint a homokban, ezért itt nagyobb a fotoeffektus hatáskeresztmetszete. Ennek következtében nagyobb a gammakvantumok elnyelése.

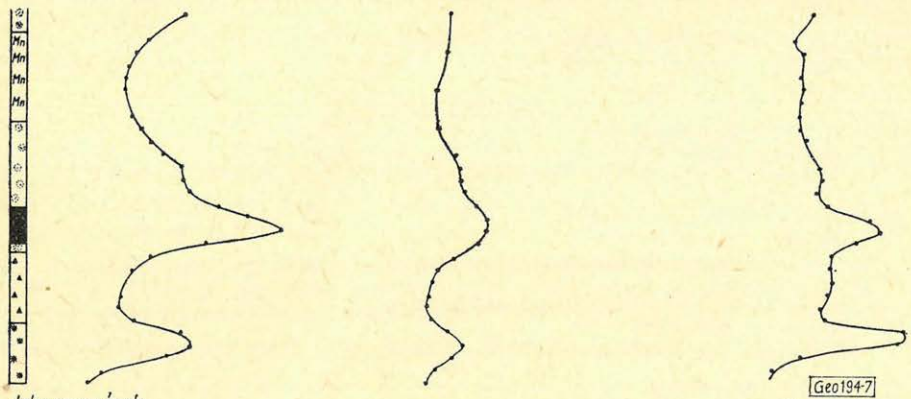
Az eredmények alapján továbbfejlesztettük a kísérleteket. A rétegsort mangánnal és szénnel bővítettük ki. Az így kialakult mesterséges rétegsorban három teljes szelvényt vettünk fel 10 cm-kénti pontmérés formájában. A primer energiát  $Se^{75}$  izotóp alkalmazásával tovább csökkentettük. (7. ábra).

A 7. ábra görbéi alapján egyértelműen megállapítható, hogy a legnagyobb felbontóképességgel az ún. differenciális szelektív gamma-gamma görbe rendelkezik. Hozza a mangánt, vasat, szenet, homokot stb. A (2., 3., 4., 5. és 6) ábrák alapján látható, hogy az alacsony energia tartományban a spektrum rendszámra, azaz anyagi minőségre legérzékenyebb része 110 keV körül van. Ezért a mérések során ennek az energiának megfelelő, 2 V szélességű csatornára (31 V diszkriminációs feszültség) álltunk be.

A mangán és a vas impulzusszintjében jelentkező különbség valószínűleg a nem egyforma tömörödés következménye, a fotoabszorpció ugyanis a két elemre nézve kb. egyforma a majdnem azonos rendszám miatt. A bauxit csúcsos jellege a magas term.-gamma szinttel magyarázható. A görbe érdekessége a szén hatalmas kiugrása.

A szén esetében a két jelenség, a fotoabszorpció és a Compton-szórás azonos hatást vált ki. Az alacsony rendszám miatt kicsi a fotoabszorpció

Differenciális szelektív  $\gamma$ - $\gamma^{75}\text{Se} \approx 20\text{mc}$  Diff. szelektív  $\gamma$ - $\gamma^{60}\text{Co} \approx 5\text{mc}$  Integrális  $\gamma$ - $\gamma^{60}\text{Co} \approx 5\text{mc}$   
 (110 keV energiájú  $\gamma$ -kvantumok regisztr.) (110 keV energiájú  $\gamma$ -kvantumok regisztr.) (600 keV-nél nagyobb energiájú  $\gamma$ -kvantumok regisztr.)  
 0  $10^4$   $2 \cdot 10^4$   $3 \cdot 10^4$  imp-szám 0  $10^4$   $2 \cdot 10^4$  imp-szám 0  $10^4$   $2 \cdot 10^4$   $3 \cdot 10^4$   $4 \cdot 10^4$  imp-szám



Jelmagyarázat:  
 Vas Bauxit  
 Mangan Szén  
 Homok

7. ábra. Szórt sugárzás vizsgálata fúrólukmodellben  
 Fig. 7. Изучение рассеянного излучения на модели скважины  
 Abb. 7. Untersuchung der Streustrahlung in einem Bohrlochmodell

hatás, tehát kevés gammakvantum nyelődik el, a kis térfogatsúly miatt pedig a Compton-szórás hatáskeresztmetszete is lecsökken, tehát ez szintén magas impulzusszámot eredményez. A kettő együtt növeli az impulzusszám kontrasztot a többi réteghez viszonyítva.

Ugyanez a görbe  $\text{Co}^{60}$ -al jellegre teljesen hasonló, de impulzusszámban nincsenek olyan éles különbségek, tehát bizonytalanabb a rétegek elkülönülése is.

A 3. görbe megfelel a hagyományos gamma-gammának. A görbe értelmezésénél rá kell mutatni a bauxit szénnél nagyobb kiemelkedésére, ami a természetes gammával magyarázható. A természetes sugárzás tudvalevően kemény komponenseket tartalmaz, amelyek az első két felvételnél nem nagyon érvényesülnek, szemben a harmadikkal. A vas és mangán bizonytalanul jelentkezik, és éppen fordítva, ami a mangán nagyobb térfogatsúlyát jelentené, ez pedig a beépítés körülményeit figyelembe véve, majdnem kizárt.

Az elvégzett kísérletek alapozó jellegűek és azt a célt szolgálták, hogy tisztázzák a szelektív gamma mérések optimális paramétereit.

### IRODALOM

[1] J. Tittman — J. S. Wahl: The physical foundations of formation density logging. Geophysics, Vol. XXX, No 2. 1965.  
 [2] J. A. Czubek: A gamma-gamma szelvényezés fizikai lehetőségei. Magkutató Intézet, Krakko. (Varsói konferencia anyaga.)  
 [3] N. Djadkin: Gamma-gamma lyukszelvényezés elmélete. Akad. Nauk. SSSR. Izv. Ser.-geofiz. No 4. 1955.  
 [4] E. M. Fjilipov: Prikladnaja jadernaja geofizika. Moszkva. 1962.  
 [5] Nagy L. Gy.: Neutronaktíválásos vizsgálatok. Bp. Műszaki K. 1966. (Új Technika).