

# Térfogatsúly meghatározása és alkalmazási lehetőségei fúrólukokban

ANDRÁSSY LÁSZLÓ – Dr. SEBESTYÉN KÁROLY

A dolgozat a gamma-gamma mérések két alkalmazási lehetőségével foglalkozik. Gyakorlati példákon bemutatja, hogy a kőszénkutató fúrásokban végzett gamma-gamma mérések lehetővé teszik a kőszén térfogatsúlyának meghatározását. A térfogatsúly és hamutartalom közötti kapcsolat vizont megadja a hamutartalom kiszámításának lehetőségét. Néhány fúrásból végzett számítások és a MEO vizsgálatok adatai nyerneek összehasonlítást.

A bemutatott második összehasonlítási terület porozítás meghatározására vonatkozik. A gamma-gamma mérésekből a térfogatsúly meghatározás útján nyert porozítás adatok és az elektromos paraméterek mérésével nyert adatok kerülnek összehasonlításra.

Vizes rétegek valóságos fajlagos ellenállás adatait és térfogatsúly adatait koordináta rendszerben ábrázolva a tiszta 100%-ig vízzel telített rétegek egyenesen fekszenek, míg az agyaggal szennyezett homokok az egyik, a nem 100%-ig vízzel telített rétegek a másik oldalon kiesnek az egyenesből.

Рассматриваются две возможности применения метода ГГК. На практических примерах иллюстрируется возможность использования данных ГГК для определения объемного веса каменных углей. Зависимость объемного веса от зольности позволяет вычислить содержание золы в углях. Сопоставляются результаты вычислений, проведенных по данным каротажа, со свечениями ОТК.

Вторая область применения метода ГГК распространяется на определение пористости. Проводится сопоставление величин пористости, полученных за счет определения из данных ГГК объемного веса, с результатами измерения электрических параметров.

Если представить данные естественного удельного сопротивления водоносных горизонтов и величины объемного веса в системе координат, величины, характерные для чистых слоев, насыщенных на 100% водой, укладываются по прямой, в то время как для песков, загрязненных глинами, эти величины располагаются по одной стороне, а для пластов, насыщенных не на 100% водой – по другой стороне прямой.

Der Vortrag behandelt zwei Anwendungsmöglichkeiten der Gamma-gamma Messungen. Anhand praktischer Beispiele wird es gezeigt, dass die in den Kohlen-Schürfböhrungen vorgenommenen Gamma gamma Messungen die Bestimmung der Volumengewichte der Steinkohlen ermöglichen. Die Verbindung zwischen Volumengehalt und Aschengehalt ergibt die Möglichkeit der Berechnung des Aschengehaltes. Es wird ein Vergleich angegeben zwischen den Berechnungen einiger Bohrlöchrassungen und den laboratorischen Analysen.

Das zweite Anwendungsgebiet bezieht sich der Bestimmung der Porositäten. Ein Vergleich der aus Gamma-gamma Messungen durch Volumengewichts-Bestimmungen erhaltenen Porositäten und der Messung der elektrischen Parameter erhaltenen Daten wird angeführt.

Die wirklichen spezifischen Widerstände und Volumengewichte wasserführender Schichten in einem Koordinatensystem dargestellt liegen auf der Gerade der bis 100% wassergesättigten Schichten, während die mit Ton verunreinigten Sande fallen seitwärts von der Gerade ab, und die nicht bis 100% wassergesättigten Schichten fallen nach der anderen Seite ab.

A fúróluk által harántolt rétegek térfogatsúlyának meghatározása a karotázs méréstechnikának egyik legfejldőképesebb ága. A gamma-gamma mérések, melyek ennek a feladatnak lyukszelvényezési formában való végrehajtását lehetővé teszik, egyre inkább alkalmassá válnak a mennyiségi kiértékelésre. Ez a feladat két úton valósul meg. Egyrészt elméleti vizsgálatok tisztázták azokata jelenségeket, melyek a gamma sugárnak a fúróluk falán történő szóródásakor végbemennek, másrészt a fúrólukbeli méréstechnika megfelelő kialakítása lehetővé tette azoknak a zavaró hatásoknak minimálisra csökkentését, melyek a fúróluk átmérő változásaiból, a fúróiszap fajsúlyváltozásaiból stb. származnak.

Az elméleti vizsgálatok a feladatok bonyolultsága miatt csak többé-kevésbé elfogadható közelítések figyelembevételével adják meg a szórt gamma-sugárzás intenzitása és a közetek térfogatsúlya közötti összefüggést. Djadkin a difúziós elmélet felhasználásával, továbbá annak feltételezésével, hogy teljes elnyelődése előtt a gamma kvantum 10 – 15 ütközést szenved, a következő összefüggést kapta a szórt gamma-sugárzás intenzitására:

$$n_0 = B \cdot \pi \left[ \frac{e^{-z/L_1}}{z} + \frac{2}{\pi} \int_0^\infty f_1(\alpha) \cos \alpha z d\alpha \right]$$

ahol  $B$  jelöli az  $n_0$ -nak a forrás  $Q$  erősségétől az  $L$  diffúziós úthosszától való függését.

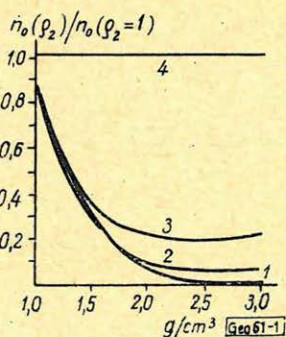
$f_1[\alpha]$  a sűrűségnek, a fúrólukátmérőknek a függvénye, továbbá tartalmaz nullad és első rendű Bessel-függvényeket.

$z$  a forrás és detektor közötti távolság.

Ennek az összefüggésnek a sűrűség és az impulzusszám közti kapcsolatra való megoldását különböző fúrólukátmérőkre, 60 cm-es szondahosszakra *1. ábránk* tartalmazza (1). (Az ábra ordináta tengelyén viszonylagos impulzus skála van.)

Homilius és Lorch továbbfejlesztették a gamma-gamma mérés elméletét (2). Az általuk levezetett összefüggés a sugárforrásból egyszeres szórással a detektorba jutó gamma kvantumokat veszi figyelembe. Számításba veszi a sugárforrásnak a forrás és a szóródás helye közötti útszakaszon történő abszorpcióját, a számba jövő térelemekben az indikátor irányában történő szóródás valószínűségét, a szóródás folytán létrejövő sugárlágyulást, a szóródás helye és a detektor közötti útszakaszon fellépő abszorpciót, továbbá a számlálósó megszólalási valószínűségét.

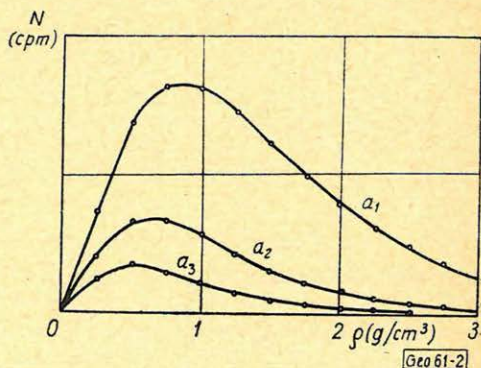
Megfontolásaiuk eredményeként meglehetősen bonyolult integrál kifejezésre jutnak, melyek grafikus megoldása az impulzusszám és a sűrűség közötti összefüggést reprezentáló görbére vezet (meghatározott szondaparaméterek mellett). Ezt a görbét *2. ábránk* mutatja be.



1. ábra. Összefüggés a viszonylagos im-

pulzusszám  $\frac{n_0(\rho)}{n_0(\rho=1)}$  és a képződmény

$\rho$  sűrűsége között különböző fúrólukátmérőkre Djadkin szerint (szondahossz: 60 cm,  $d_1 = 0$ ,  $d_2 = 7$  cm,  $d_3 = 14$  cm,  $d_4 = \infty$ )



2. ábra. Összefüggés a beütésszám és a képződmény sűrűsége között különböző szondahosszakra Homilius és Lorch szerint

Tapasztalati összefüggést is találunk a szovjet irodalomban a szórt sugárzás intenzitása és a kőzetek sűrűsége között, mely az alábbi alakú:

$$I = \frac{A}{l} \rho \exp[-k\rho l]$$

ahol  $\rho$  térfogatsúly,  $l$  a szonda hossza,  $k$  tömegabszorpciós együttható;  $\text{Co}^{60}$ -ra  $k=0,06 \text{ cm}^2/\text{g}$  (3).

Az elmondottak és még számos irodalmi adat igazolja, hogy a szondaparaméterek figyelembevételével megfelelő kalibrációs kapcsolat hozható létre a fúrólukbéli térfogatsúlyok és a detektált szórt gamma-sugárzás intenzitása között.

A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben szerkesztett Geo R-7 típusú szelvényező berendezésre vonatkozó kalibrációs görbét 3. ábránk mutatja be. Ennek a berendezésnek a jellegzetessége, hogy a szonda megfelelő rugó kialakítással a fúróluk falának van szorítva, miáltal a fúróluk átmérőjének és a fúróiszapnak a hatása minimálissá válik.

A térfogatsúly meghatározásának pontosságát maggal fúrt lyukból vett laboratóriumi sűrűség elemzési adatok és a szelvényezési adatok összehasonlítása alapján lehet ellenőrizni.

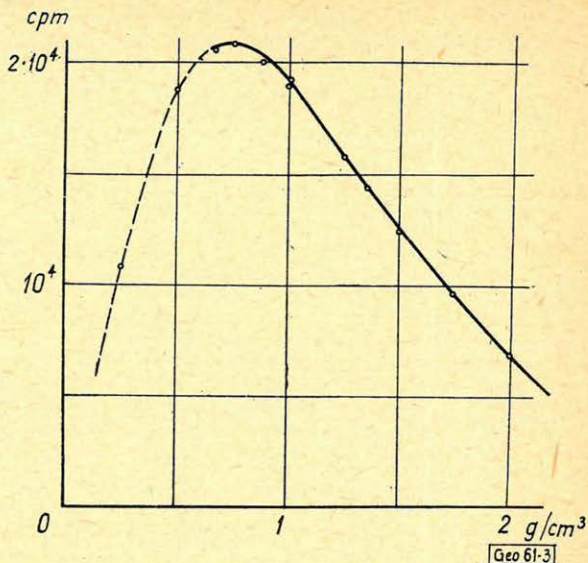
Az 1. táblázatunkban három fúrásban végzett ilyen ellenőrző számítások mérésiadatai láthatók. A táblázatból megállapítható, hogy a laboratóriumi és fúrólukbéli mérések sűrűség adatai általában  $0,05 \text{ g/cm}^3$ -en belüli egyezést mutatnak. Ez az egyezés igen jónak mondható, ha figyelembe vesszük a két körülményt, melyek a mérések pontosságát csökkentik. Az egyik, hogy aránylag kis vastagságú rétegekről (széntelepekről) van szó, ahol a gamma-gamma anomália torzulást szenvedhet, a másik, hogy a barnaszén telepek általában inhomogén felépítésűek és a labor elemzésre kerülő minta ennek megfelelően a gamma-gamma anomália létrehozásában szerepet játszó átlagtól eltérhet.

1. táblázat

Fúrólukban mért térfogatsúly és laboratóriumi sűrűség adatok szenes fúrásokban  
Kondó 127.

Telepvastagság (m)	Térfogatsúly $\text{g/cm}^3$ ( $\gamma\gamma$ )-ből	Sűrűség labor elemzés	Hamutartalom %
1,60	1,28	1,29	8,91
0,80	1,30	1,35	17,48
0,70	1,33	—	—
1,90	1,35	1,33	13,61
Diósgyőr 248.			
0,70	1,31	1,30	10,89
Diósgyőr 252.			
1,10	1,25	1,31	11,79
1,40	1,22	1,27	6,12
0,40	1,32	1,34	15,98
0,80	1,31	1,30	10,89
3,20	1,24	1,30	10,29

3. ábra. Kalibrációs összefüggés a bitésszám és a térfogatsűrűség között



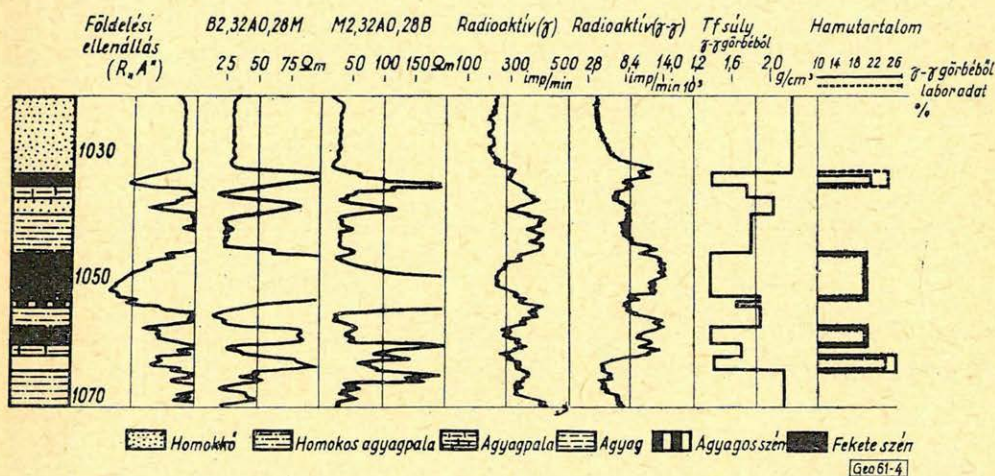
2. táblázat

Mecseki feketeköszénfúrás főbb képződményeinek jellemző fizikai paraméterei

Képződmény neve	Mélység m	Réteg vast. m	Labor hamu t. %	Adatok Tr. súly g/cm <sup>3</sup>	Térf. súly g/cm <sup>3</sup>	Hamu tart. %	Porozit. %
homokkő	594,0 – 609,2	15,2	–	–	2,00	–	24,8
homokkő	733,4 – 736,8	3,4	–	–	2,22	–	16,4
agyagpala	760,4 – 762,0	1,6	–	–	2,04	–	–
feketeszen	777,2 – 778,8	1,6	30,31	1,445	1,45	31	–
h-agyagpala	793,0 – 799,6	6,6	–	–	1,88	–	–
feketeszen	890,4 – 891,4	1,0	48,15	1,558	1,60	54,6	–
feketeszen	893,0 – 894,6	1,6	29,61	1,440	1,40	23,3	–
feketeszen	897,6 – 898,6	1,0	22,32	1,394	1,43	28,0	–
feketeszen	903,2 – 905,2	2,0	27,02	1,424	1,42	26,40	–
trachidolerit	938,2 – 995,6	57,4	–	–	2,27	–	–
homokkő	1018,8 – 1032,6	13,8	–	–	2,24	–	15,6
feketeszen	1032,6 – 1034,6	2,0	24,70	1,409	1,39	21,8	–
agyagpala	1034,6 – 1036,6	2,0	–	–	1,77	–	–
homokkő	1036,6 – 1039,0	2,4	–	–	2,04	–	23,3
h-agyagpala	1039,0 – 1045,4	6,4	–	–	1,81	–	–
feketeszen	1045,4 – 1052,5	7,1	19,70	1,377	1,38	20,0	–
agyag	1052,5 – 1053,2	0,7	–	–	1,91	–	–
agyagosszen	1053,2 – 1054,2	1,0	–	–	1,66	–	–
h-agyagpala	1054,2 – 1057,6	3,4	–	–	1,91	–	–
feketeszen	1057,6 – 1060,0	2,4	19,51	1,376	1,38	20,0	–
agyagpala	1060,0 – 1062,0	2,0	–	–	1,71	–	–
feketeszen	1062,0 – 1064,2	2,2	24,29	1,406	1,42	26,4	–
h-agyagpala	1064,2 –	–	–	–	2,16	–	–
homokkő	1085,4 – 1088,4	3,0	–	–	2,14	–	19,4
homokkő	1088,4 – 1093,8	5,4	–	–	2,46	–	7,4
homokkő	1110,6 – 1112,4	1,8	–	–	2,47	–	7,0
agyagpala	1122,8 – 1125,6	2,8	–	–	1,65	–	–
trachidolerit	1138,8 –	–	–	–	2,58	–	–

A gamma-gamma mérések a kőszénkutató fúrásokban a kőszén hamutartalmának meghatározására történő felhasználásnak lehetőségét egy korábbi ankétunkon tartott előadásban ismertettük (4).

Most egy mecseki feketekőszén fúrásban végzett ilyen számítások eredményeit mutatjuk be a 2. táblázatban. 4. ábránk a fúrás vizsgált szakaszának karottázs diagramjait adja. A 2. táblázatban feltüntettük összehasonlítás céljából a MEO elemzésből származó hamuszázalék és térfogatsúly adatokat is. A térfogatsúly adatok kitűnő egyezést mutatnak. A hamuszázalékra vonatkozó adatok között jelentősebb eltérések tapasztalhatók. Ez az általunk használt térfogatsúly-hamuszázalék kalibrációs görbe erősen közelítő jellegére utal. Ezt a görbét ugyanis az irodalomban található átlagos térfogatsúly és hamuszázalék adatokból rajzoltuk fel. Ennek a kapcsolatnak nagyobb számú mérésiadataiból történő megállapításaival a hamuszázalék kiszámításának pontossága növelhető.



4. ábra. Mecseki feketekőszén fúrás karottázs szelvényei térfogatsűrűség és hamutartalom diagramokkal

A gamma-gamma mérésekből nyerhető térfogatsűrűségnek és így a gamma-gamma mérésnek a porozitás meghatározására történő felhasználhatóságára számos irodalmi közlés utal.

Ennek alapján a porozitást a

$$\Phi = \frac{Q_m - Q_t}{Q_m - Q_f}$$

összefüggés adja.

ahol

$Q_m$  = a kőzetmatrix sűrűsége

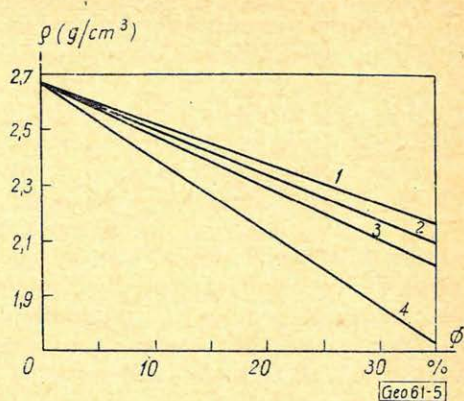
$Q_t$  = a kőzet térfogatsúlya a gamma-gamma mérés alapján

$Q_f$  = a folyadék sűrűsége (vízre 1)

A kőzetmatrix sűrűségét homokos tárolók esetén a kvarc 2,65 g/cm<sup>3</sup> sűrűségével vehetjük azonosnak. A porozitás és a térfogatsúly közötti fenti összefüggés különböző rétegtartalmakra grafikusan ábrázolható (5. ábra). A mészkő

2,70 – 2,80-as sűrűségét véve matrix sűrűségnek, az eljárás alkalmas mészkő tárolók porozitásának meghatározására is. Olajtároló kőzetek esetén (ha az elárasztás kicsiny) a kisebb folyadéksűrűség következtében fenti formula  $\rho_f = 1$  feltételezéssel való alkalmazása a valóságosnál nagyobb porozitást ad. Mindenesetre a gamma-gamma mérésekből nyerhető porozitás értékek azzal a nagy előnnyel rendelkeznek, hogy kiszámításukhoz a homokok felépítésére, a rétegvíz tulajdonságokra stb. semmiféle feltételezés nem szükséges.

Összehasonlítás céljából néhány vízkutató fúráson gamma-gamma és elektromos eljárással nyert porozitás értékeket mutatunk be (3. táblázat).



5. ábra. Homokos tároló térfogatsűrűségének változása különböző telítettség mellett

3. táblázat

Vízkutató fúrások gamma-gamma és elektromos eljárással nyert porozitás értékei

Fúrás helye	Rétegmélység m	Elektromos mérésekből $\phi$ %	$\gamma\gamma$ szelvényből $\phi$ %	Sűrűség g/cm <sup>3</sup>
Nagyszénás .....	205 – 213	40	37	2,04
Szoc. Otthon .....	189 – 195	40	45	1,92
Domaszék .....	245 – 248	36	40	1,99
.....	227 – 235	38	40	2,00
Pitvaros .....	451 – 458	40	37	2,04
Ófőleák .....	276 – 282	35	40	1,99
Hódmezővásárhely Dózsa TSZ ....	219 – 253	40	30,8	2,14

Érdekes megállapításokhoz juthatunk, ha a térfogatsúlyt és a rétegek valóságos fajlagos ellenállását közös diagramban ábrázoljuk. A vízszintes tengelyen a térfogatsúlyt csökkenő irányban, a függőleges tengelyen a fajlagos ellenállást logaritmikus léptékben ugyancsak csökkenő irányban felrakva 6. ábrához jutunk. A vizsgált rétegek mind 100%-osan vízzel telítettek. A rétegvizek fajlagos ellenállása is közelítőleg azonos. A tiszta homokos tárolók közelítőleg egy egyenesen helyezkednek el. Azok a rétegek, melyekhez tartozó pont kiesik az előbbi egyenesből, nem felelnek meg eredeti feltételezésünknek, tehát vagy agyagosak – és akkor a tiszta agyagokat jellemző pont felé, vagy részben vannak csak rétegvízzel telítve – és akkor az egyenes másik oldalán a nagyobb fajlagos ellenállások felé esnek.

Ez az eljárás lehetőséget ad az agyagos homokok kijelölésére és a vízzel nem 100%-ig telített rétegek kiválasztására. A térfogatsúly és a fajlagos ellenállás közötti kapcsolatot mennyiségi formában is meghatározhatjuk, ha a porozitásnak előzőekben felírt és az Archie által megadott kifejezést kombináljuk.

Előzők szerint:

$$\Phi = \frac{Q_m - Q_t}{Q_m - Q_f}$$

Archie szerint:

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{F}} = \sqrt{\frac{R_w}{R_0}}$$

( $R_0$  a 100%-ig vízzel telített réteg fajlagos ellenállása,  $R_w$  a rétegvíz fajlagos ellenállása)

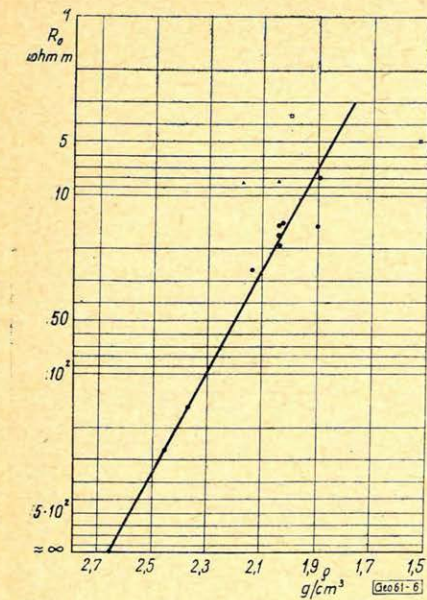
A kétféle porozitás azonosságából:

$$\frac{Q_m - Q_t}{Q_m - Q_f} = \sqrt{\frac{R_w}{R_0}}$$

amiből:

$$Q_t = Q_m - [Q_m - Q_f] \sqrt{\frac{R_w}{R_0}}$$

Homokos tárolókra és 100%-os víztelítettségre  $Q_m = 2,65$ ,  $Q_f = 1$



6. ábra. Valódi fajlagos ellenállás és térfogatsúly összefüggése homokokra 100%-os víztelítettség mellett

és így:

$$Q_t = 2,65 - 1,65 \sqrt{\frac{R_w}{R_0}}$$

Módosul az egyenlet alakja, ha az Archie-féle összefüggés helyett más porozitás függvényt veszünk figyelembe. Ha az  $R_w$  állandó, akkor a különböző porozitású rétegeknek megfelelő pontok 6. ábra szerinti ábrázolásban egyenesen fekszenek. Más  $R_w$  értékhez más egyenes tartozik. Az  $R_0 = \infty$  érték nyilvánvalóan a tömör kvarc kőzetmatrixot jelenti. Ennek a 2,65-ös pont felel meg. Ha a kőzetmatrix fajsúlya nem ismeretes, akkor a rétegpáraméterek ( $R_0$  és  $Q_t$ ) által meghatározott egyenesnek az abszcissa tengellyel alkotott metszéspontja szolgáltatja azt. Ha ismeretes, akkor a két érték egyezése ellenőrzésül szolgálhat.

A gamma-gamma mérések által szolgáltatott térfogatsúly szelvény felhasználására vonatkozóan bemutatott két lehetőségen kívül még számos út látszik hasznosíthatónak. Így elsősorban kőolajkutatás területére az előzőekben ismertetett mérés-kombinációnak a telítettség viszonyok tisztázására, az agyagosság kérdésének vizsgálatára, a mészkőtárolók kimutatására stb. ígérkezik a sűrűség-szelvényezés eredményesnek.

A gamma-gamma szelvényanyagának a gravitációs mérések értelmezésében való felhasználása is vizsgálatra vár. Ezekkel a kérdésekkel a későbbiekben kívánunk foglalkozni.

1. *Djadkin*: Gamma-gamma lyukszelvényezés elmélete. Akad. Nauk SSSR Izv. Ser. geofiz. no. 4-323. 1955.
2. *Homilius – Lorch*: On the Theory of Gamma Ray Scattering in Boreholes. Geophys. Prosp. V. 6. no. 4. 342–364. 1958.
3. *I. P. Bulasevics – G. M. Vonkoboynjikov – L. V. Muzjukin*: Érces és szenes előfordulásokon gamma sugár és neutron felhasználásával végzett karottázs. Ragyioaktívniye izotopi jegyernie izlucsenija v narodnom hozajszjtve SzSzsZr. Gosztoptechizdat 1961. 19–29. old.
4. *Dr. Sebestyén Károly*: Vizsgálatok kőszenek minőségi paramétereinek mélyfúrású geofizikai módszerekkel történő meghatározására. Magyar Geofizika 1961. 1–2.

## Über einige Ergebnisse von Modellmessungen zur Lösung der direkten gravimetrischen und magnetischen Aufgabe

Th. Richter – W. Münchow

*A kvantitatív kiértékelő módszerekkel szemben a modellmérések viszonylag rövidebb idő alatt és kisebb technikai ráfordítás mellett szolgáltatnak reprodukálható áttekintést a geofizikai anomáliák kialakulásáról különböző hatók esetén.*

*A szerzők olyan eljárás alapján dolgoznak, melynek elvét D. Zidarov: közölte 1955-ben.*

*Az előadás a VEB Geophysik-nél megépített modellező berendezést és az elektronikus mérőberendezés működési módját tárgyalja. Az előadók utalnak a rutinmérések elvégzéséhez szükséges berendezésekre. A hitelesítés és mérési hibák megvitatása után a szerzők gömb és lemez alakú testekhez (hatókhöz) tartozó gravitációs és mágneses anomáliaképeket mutattak be.*

По сравнению с количественными методами интерпретации, измерения на моделях позволяют получить за довольно короткое время и с меньшими техническими затратами, воспроизводимый обзор возникновений геофизических аномалий для различных возмущающих тел.

Авторы применяют способ, принцип которого был предложен Зидаровым в 1955 г.

В докладе обсуждается устройство моделирования и принцип действия электронного измерительного устройства, построенного в Лейпцигском предприятии „Геофизика”. Докладчики описывают приборы, необходимые для проведения производственных измерений.

После обсуждения погрешности калибровки и измерения, авторы демонстрируют виды гравитационных и магнитных аномалий, вызываемых возмущающими телами шаровой формы и формы пластины.

Gegenüber rechnerisch quantitativen Auswertemethoden können Modellmessungen in relativ kurzer Zeit und mit geringem technischen Aufwand einen reproduzierbaren Überblick über die Ausbildung geophysikalischer Anomalien für verschiedenartigste Störkörper vermitteln.

Die Verfasser arbeiteten nach einem Verfahren, dessen Prinzip von Zidarov 1955 mitgeteilt worden ist.

Die im VEB Geophysik Leipzig gebaute Modelliereinrichtung und die Wirkungsweise der elektronischen Messanordnung wird beschrieben. Auf die notwendigen Einrichtungen zur Durchführung von Routinemessungen wird hingewiesen.

Nach Diskussion über Eichung und Messfehler werden für kugel- und plattenförmige Störkörper die zugehörigen gravimetrischen und magnetischen Anomalienbilder gezeigt.