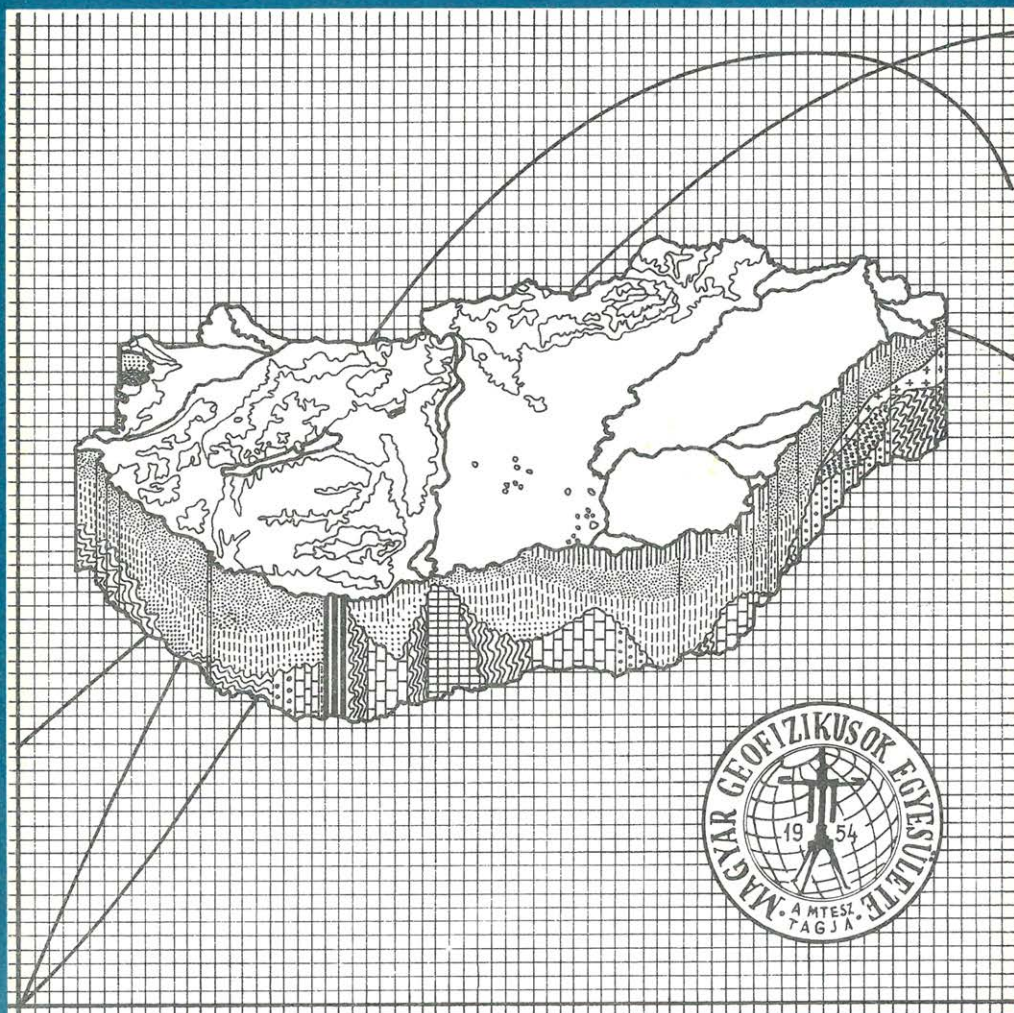


MAGYAR 5 GEOFIZIKA



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA
BUDAPEST, 1980. XXI. ÉVFOLYAM, 5. SZÁM

TARTALOMJEGYZÉK

<i>Baráth István — Morvai László — Szendrő Dénes:</i> Mélyfúrési geofizikai adatok értelmezési rendszere R—35 típusú számítógépen	161
<i>Balogh Iván:</i> Modell a bauxitok alumíniumtartalmának neutronaktivációs karotázsmérések alapján történő meghatározásához	170
<i>Komlósi Zsolt:</i> Matematikai statisztikai módszerek alkalmazása a mélyfúrési geofizikai értelmezésben	179
<i>Egerszegi Pál:</i> Elektrodák helyének és két tápkör alkalmazásának hatása a geoelektromos szondázásnál	185
<i>Szarka L.:</i> Potenciáltérképezés analóg modellezése	193

Főszerkesztő: Dr. Sebestyén Károly, az MGE társelnöke

Szerkesztő bizottság: Dr. Bencze Pál, Dr. Bodoky Tamás, Czeglédi István, Deres János, Gerzson István, Dr. Horváth Ferenc, Hursán László, Lakatos Sándor, Marton Tibor, Dr. Posgay Károly, Rádler Béla, Tóth Géza, Dr. Tóth Péter

Szerkesztőség címe: 1368 Budapest, VI., Anker köz 1. félemelet 17. Postafiók 240.

Mélyfúrási geofizikai adatok értelmezési rendszere R—35 típusú számítógépen

BARÁTH ISTVÁN, MORVAI LÁSZLÓ, SZENDRŐ DÉNES

Az elmúlt évek során szerzett számítógépes feldolgozási tapasztalatokat felhasználva a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben üzembe helyezett R—35 (ESz—1035) típusú számítógépen megvalósításra kerül egy szilárd hasznos ásvány és vizkutató fúrásokban mért mélyfúrási geofizikai információkat értelmező rendszer, melynek kifejlesztésénél figyelembe vett főbb szempontok:

- A programrendszer alkalmas az ipar által igényelt kvantitatív számítások elvégzésére valamint biztosítja az intézet műszerfejlesztéséhez kapcsolódó módszer fejlesztési programok megvalósítását.
- A programrendszer alkalmas mind kutankénti értelmezésre, mind pedig területi feldolgozásra.
- Az adatok tárolása és mozgatása teljes mértékben alkalmazkodik az R—35 típusú számítógép virtuális memóriájához és periféria-készletéhez, valamint az OS-rendszerhez kidolgozott kész programok biztosította kedvező lehetőségekhez.
- A feldolgozás vezérlését az OS Job Control nyelve végzi, de az egyes részeredmények áttekintése után lehetőség van a geofizikus értelmező beavatkozására is.
- Adatbemenetként a terepen digitális formában mágnesszalagra rögzített mérések, az analóg görbék irodai digitalizálásaként kapott lyukszalagok és a kártyákra lyukasított táblázatok jöhetnek számításba.
- A megjelenítés eszköze a CALCOMP-plotter, a COROLL PRESS színes plotter és a szélesnyomtató, vagy bármilyen, a későbbiekben az ESz—1036-höz illesztett plotter lehet.

Előadásukban a szerzők a fenti programrendszert ismertetik összehasonlítást végezve néhány ismert programrendszerrel.

На основании опыта по обработке данных на вычислительных машинах приобретенного за последние годы, в Венгерском Государственном Геофизическом Институте им. Л. Этвеш в настоящее время на вычислительной машине Р—35 осуществляется система интерпретации геофизической информации, полученной из результатов глубинного бурения, проведенного с целью разведки твердых полезных ископаемых и воды. Основные критерии, которые были приняты во внимание при разработке этой системы, следующие:

- система программ пригодна для проведения количественных оценок, требуемых промышленностью, а также обеспечивает методическое развитие программ, требуемое задачей усовершенствования аппаратуры в институте.
- система программ пригодна как для поскважинной обработки, так и для региональной.
- хранение и передвижение данных в полной мере приспособлено к кажущейся памяти и периферии Р—35, а также и к благоприятным возможностям, предоставляемым готовыми программами системы ОС.
- управление обработкой осуществляется языком ОС ДЖОБ КОНТРОЛЬ, но после достижения некоторых частных результатов имеется возможность для вмешательства интерпретатора геофизика.
- в качестве входных данных могут быть использованы цифральные магнитные записи, произведенные на полигоне, перфоленты, полученные после дигитализации аналоговых кривых, а также таблицы, набитые на перфокарты.
- в качестве средств изображения результатов применяются КАЛКОМП-plotter, КОРОЛЛ ПРЕСС цветной plotter и широколенточное ЦПУ или любой plotter, который можно подключить к вычислительной машине в будущем.

В работе описывается вышеупомянутая система программ и проводится несколько сравнений с другими известными системами.

Using the experience gained during recent years in computerized processing in the Hungarian State Geophysical Institute Roland Eötvös a well-log analysing and interpreting system is under development in connection with borings carried out in prospecting for useful solid minerals and water. The computer applied is of type R-35 (ESZ 1035). Main points of view taken into account with the development are as follows:

- The system of programs should be suitable to carry out quantitative computations claimed by the industry as well as it should assure realization of programs needed for the methods in connection with instrument development works of the Institute.
- The system of programs can be used both for interpretation work for individual wells as well as for regional processing.
- Storing and displacement of data should fit completely into the virtual memory and peripheral equipment of the R-35 type computer, as well as into the favourable possibilities furnished by the ready-made programs worked out in the OS - system.
- Controlling of the processing is made by the OS Job Control language, but after having a glance over the individual partial results there is a possibility of an interpreting intervention of the geophysicist too.
- For input one can use field measurements fixed on magnetic tape in digital form or punched tapes obtained through digitalization of analogue curves made at headquarters, as well as tables punched into cards can be taken into account.
- Visualizing can be made on a CALCOMP-plotter, on a COROLL-PRESS coloured plotter and on a broad line printer or any plotter which could be connected to the ESZ-1035 unit.

The paper contains a discussion of the program system mentioned, also carrying out comparisons with some program systems known as yet.

A növekvő nyersanyag- és energia-igény a szénhidrogén-kutatás mellett a szilárd hasznos ásvány és vízkutatás szerepét is előtérbe helyezte. Ez is magyarázata annak, hogy az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben (ELGI) folyó sokirányú műszerfejlesztés eredménye több, mint 25 országban kerül felhasználásra. Az ilyen műszerfejlesztés megfelelő módszertani megalapozást és az értelmezéshez szükséges görbeseregek biztosítását igényli, amit egyébként belső és külső partnereink el is várnak tőlünk. Az utóbbi időben e területen egyre jelentősebb szerepet kap a számítógépes karotázs adatfeldolgozás.

Az ELGI-ben mélyfúrású geofizikai célra MINSZK - 32, R-10, HP-9825A és R-35 számítógépeket alkalmazunk. Ezek a gépek - a HP 9825A kivételével - más geofizikai információ feldolgozására is szolgálnak.

Az említetteken kívül az ELGI és az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt (OKGT) szakemberei közösen dolgoznak a szénhidrogén orientált KER feldolgozó rendszer fejlesztésén TPA-70 számítógép felhasználásával, amely mint rendszer ma már ipari szintű és igényű feldolgozást végez.

A különböző gépek rendeltetése karotázs célra különböző.

A MINSZK - 32 - bár erkölcsileg előregedett - ma még fontos szerepet tölt be az ELGI mélyfúrású geofizikai feldolgozásában, hiszen a szilárd hasznos ásvány kutató és hidrogeológiai fúrások karotázs anyagainak értelmezése mellett a többváltozós függvények feldolgozása (gamma-spektrumok, akusztikus hullám-kepek) is ezen történik.

Az R-10 karotázs minicentrumként szolgál, bár használata a nem megfelelő perifériális kiépítettség miatt sok problémát jelent. E gép jelentőségét az adja, hogy több szocialista országban üzemel R-10-es rendszer, többek között speciális geofizikai célú (pl. Szovjetunió - tengeri és szárazföldi expressz feldolgozó centrumok), s így a karotázs feldolgozó programrendszer a gép alkalmazási körét kibővíti, használata gazdaságosabb.

A HP 9825A asztali kalkulátor a víz-, szén- és ércutató fúrásokban mért karotázs anyag feldolgozásában játszik jelentős szerepet. Megjegyezzük, hogy az

ércorientált feldolgozás a jövő feladata. A gép az általános programfejlesztés részelemeinek kidolgozásában is fontos feladatokat old meg, hiszen az interaktivitás következtében igen gazdaságosan és időben hatékonyan alkalmazható. Általában egyszerűsített és célorientált programcsomagok kerülnek kidolgozásra, aminek következtében fejlődő országok számára értékesíthetők, mégpedig oda, ahol ELGI technikával dolgoznak, s a gép beszerzése az általunk javasolt komplettációban nem okoz problémát.

Az R – 35-re való áttérést részben a MINSZK – 32 előregedése, részben az ebbe szükségessé, hogy az eddig kidolgozott programokon és programcsomagokon szerzett tapasztalatokat, valamint a gépben rejlő előnyöket egyesítve több nyersanyagra irányuló hatékony értelmezési rendszert dolgozzunk ki. A programrendszer kifejlesztésénél tehát az ipari igényeket, a gép software és hardware lehetőségeinek kihasználását és a rendelkezésre álló kutatási és programozói kapacitást kellett optimálisan egyeztetni a programrendszer további fejlesztési lehetőségeinek szem előtt tartásával.

Az R – 35 típusú számítógép virtuális memóriája, mágneslemezes és -szalagos kiépítettsége igen kedvező a nagy mennyiségű mélyfűrési adathalmaz tárolására, gyors elérésére és mozgatására. Software felszereltsége nagy mértékben biztosítja, hogy ne kelljen jelentős ideig általános számítástechnikai (adattárolási és mozgatósi, szervező stb.) programok írásával foglalkozni, hanem az OS rendszer nyújtotta lehetőséget kihasználva a geofizikai értelmezés kerüljön előtérbe.

A programozási munka hatékonyságát a magas szintű programnyelvek használata teszi lehetővé.

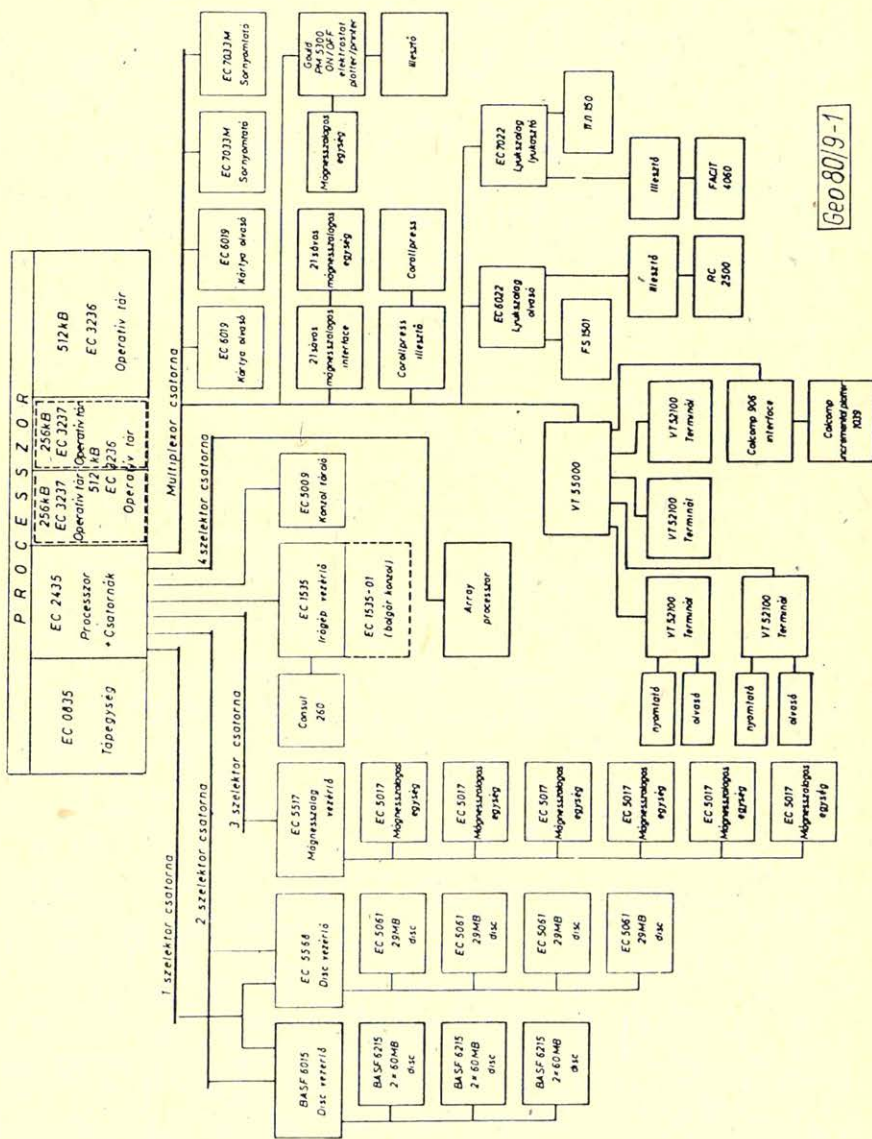
A FORTRAN – IV. programnyelv a tudományos technikai problémák gyors megoldására, a PL/1 programnyelv pedig az előzőek mellett az adatmozgatások hatékony kezelésére is szolgál.

A feldolgozást az OS (Operating System) JCL (Job Control Language) nyelve vezérli. A JCL nyelv a rendszer programok, a felhasználói programok azonosítására, paraméterezésére, és ezen programok működéséhez szükséges állományok leírására szolgál. Lehetőséget ad a geofizikus értelmező által kért programok egymás utáni futtatásából álló feldolgozás elvégzésére, az egyes programok input és output adatállományainak leírására, megadására, megszüntetésére és megváltoztatására. A terminál rendszer kiépítése után a jobokat a geofizikus értelmező közvetlenül juttathatja el a géphez, s az egyes programok lefutása után, az eredmények birtokában azonnal intézkedhet a feldolgozás folytatásáról, vagy pedig az adott programnak más paraméterekkel való megismétléséről.

A programok egymás utáni csatlakozását az egységes adattárolás biztosítja. A nagytömegű és sokszor használható adatok tárolása a feldolgozás során mágneslemezen, megőrzés és későbbi felhasználás céljából pedig mágnesszalagon történik. Az adatbázis szerkezete olyan, hogy az OS rendszerhez készen kapott, a feldolgozást gyorsító és a felhasználást kényelmesebbé tevő rendező, válogató és egyéb segédprogramok (Sort, Merge, Utility) alkalmazási feltételeit kielégíti. A mágneslemezen tárolt adatok direkt elérésű file-okban vannak, kód-számaik megadásával közvetlenül elérhetők, s így hozzáférési idejük a szekvenciális tárolási módhoz képest jelentősen kedvezőbb. A tárolás szerkezete úgy van kialakítva, hogy mind a szelvényyszerű, mind a többváltozós függvény, mind a rétegenkénti, mind pedig a konstans adatokból álló rekordok egységesen kezelhetők.

Az adatok gépbe vihetők, bármilyen karotázs állomással történt a mérés. Az analóg információ digitalizálás után (KAD típusú analóg-kód fél-automata átalakító) lyukszalagról kerül a gépbe, a K-3000 típusú karotázs állomás mérési anyagát 1/2"-os mágnesszalagról közvetlenül adjuk be, míg a terepi digitalizálóval ellátott karotázs állomás (KD-10M) vagy a számítógéppel vezérelt karotázs állomás (KD-20) információhordozóját átjuttatás után juttathatjuk a gépbe. Az értelmezéshez szükséges táblázatok, konstansok lyuk-kártyáról kerülnek a gépbe.

Az R-35 számítógép kiépítettsége az 1. ábrán látható.

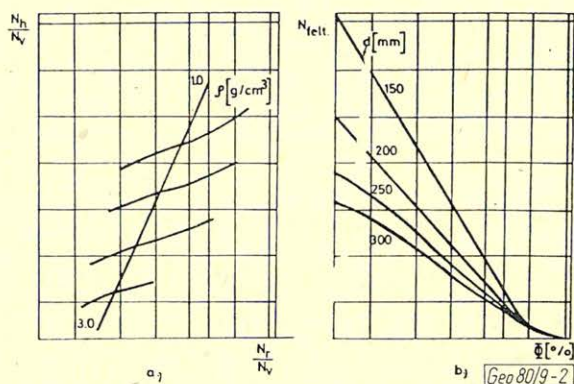


1. ábra. Az R-35 típusú számítógép hardver kiépítettsége. — Fig. 1. Hardware equipment of the computer of type R-35 — Рис. 1. Конфигурация технических средств ЭВМ EC-1035

Az ipari igényeket tekintve az értelmezés első részében általánosan használható programok kifejlesztésére, az értelmezés második részében a nyersanyagra speciálisan vonatkozó, s nyersanyag szerint különböző összefüggések figyelembevételére volt szükség.

Az általánosan használható programok nagy része mint pl. a mélységegyeztetés, réteghatár kijelölés, litológiai meghatározás stb. programjai a korábbi, más gépeken történt kutató fejlesztő munka eredményei, s mivel FORTRAN – IV. programnyelven készültek, R – 35 típusú gépre való adaptálásuk megoldható volt.

A nyersanyagtípusoktól függő speciális összefüggések jelentős része görbesereggel ábrázolható, így számítástechnikailag azonosan kezelhető (2a, 2b, ábra). Ennek a feladatnak a megoldására az R – 35 típusú gépre speciális inter- és extrapoláló program készült.



2. ábra. Jellegzetes görbeseregek a) térfogatsúly meghatározása gamma-gamma mérésből b) neutron porozitás meghatározása

Рис. 2. Характерные семейства кривых а) Определение объемного веса по ГГК, б) Определение пористости по ННК

Fig. 2. Characteristic curves-series a) determination of volume weight from gamma-gamma measurements, b) determination of neutron porosity

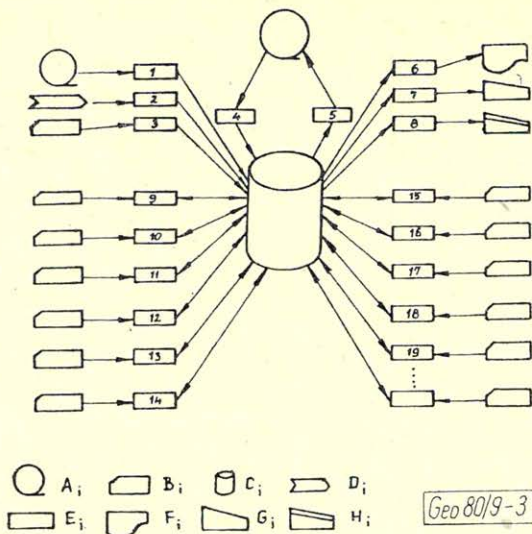
A programozói kapacitás véges voltát tekintve az elkészült programok mozaikszerű összerakásának lehetőségét kell biztosítani. Ez alapján a geofizikus értelmezők az adott mérési komplexumot, a keresett nyersanyagfajtát és az adott területi sajátosságokat figyelembe véve állíthatják össze a programokat, s adhatják meg a futásukhoz szükséges paramétereket.

A szilárd hasznos ásvány és vízkutató fúrások karotázs értelmező rendszerének (SZIVER) blokksemáját a 3. ábrán láthatjuk.

A rendszer geofizikai értelmezését elősegítő főbb programok a következők:

1. A karotázs görbék relatív mélységegyeztetésére felhasznált módszer a harmonikaszerű eltérések korrigálására alkalmas. A mélységtérést matematikai függvénnyel közelítve, a mélységhelyes görbét sorbafejtés után, a legkisebb négyzetek módszerével számolja ki a program.

A módszer előnye, hogy nemcsak a szelvény egészéhez tartozó konstans csúsztatást küszöböli ki, hanem a pontról-pontra változó nagyságú harmonikaszerű eltéréseket is korrigálja.



3. ábra. A feldolgozás folyamata

Jelölések: A: mágnesszalag, B: lyukkártya, C: mágneslemez, D: Gray-kódos lyukszalag E: program, F: sornyomató, G: CALCOMP-plotter, H: COROLLPRESS színes plotter

1. program: terepi mágnesszalagok adatainak diskre való felvitele, 2. program: digitalizált lyukszalagok adatainak diskre való felvitele, 3. program: kártyára lyukasztott táblázatok adatainak diskre való felvitele, 4. program: diskes adattár feltöltése archivált mágnesszalagos adattárból, 5. program: diskes adattár kimentése mágnesszalagra. 6. program: eredmények megjelenítése táblázatos formában, 7. program: mért görbék és eredmények kirajzoltatása CALCOMP plotteren, 8. program: megjelenítés COROLLPRESS színes plotteren. 9. program: fizikai értékre konvertálás, 10. program: automatikus relatív mélységgeveztetés, 11. program: görbék pontonkénti korrekciója, 12. program: cross-plotok készítése, 13. program: skála transzformáló végrehajtása, 14. program: mélységpontonként történő statisztikus litológiai értelmezés, 15. program: réteghatár kijelölése, 16. program: rétegek jellemző értékeinek meghatározása, 17. program: rétegenkénti korrekciók, 18. program: rétegenként történő litológiai értelmezés, 19. program: nyersanyagtól függő értelmezések (pl.: térfogatsúly, porozitás, víztelítettség, éretartalom, hamutartalom, fűtőérték stb. számítása).

Рис. 3. Граф обработки Условные обозначения:

A: магнитная лента, Б: перфокарта, В: магнитный диск, Г: перфокарта с кодом Грей, Д: программа, Е: строкопечатающее устройство, Ж: плоттер Калкомп, З: цветной плоттер Короллпресс

Программа 1: нанесение данных полевых магнитных лент на диск, Программа 2: нанесение данных перфокарт, преобразованных в цифровой код, на диск, Программа 3: нанесение данных таблиц, перфорируемых на картах, на диск, Программа 4: загрузка накопителя на магнитном диске из архива на магнитную ленту, Программа 5: перезаписывание данных накопителя на магнитном диске на магнитную ленту, Программа 6: представление результатов в табличном виде, Программа 7: съерчивание измеренных кривых и результатов на плоттере Калкомп, Программа 8: представление измеренных кривых и результатов в цветном изображении на цветном плоттере Короллпресс, Программа 9: преобразование в физические значения, Программа 10: автоматическое согласование относительных глубин, Программа 11: поточечная поправка кривых, Программа 12: построение кросс-плотов, Программа 13: выполнение преобразования шкалы, Программа 14: статистическая интерпретация литологии по глубинным точкам, Программа 15: Выделение границ пластов, Программа 16: определение характерных значений пластов, Программа 17: поправки по отдельным пластам, Программа 18: интерпретация литологии по отдельным пластам, Программа 19: интерпретация в зависимости от видов минерального сырья (напр., расчет объемного веса, пористости, еодонасщенности, содержания руды, зольности, калорийности)

2. A területre jellemző kőzettípusok paramétereinek meghatározása cross-plotok alapján történik. Két mért vagy számított paraméter értékeinek gyakorisági eloszlását a frekvencia-plotot készítő program, három paraméter összetartozó értékeit pedig a Z-plotot készítő program ábrázolja. Ezek felhasználásával történik az egyes kőzettípusok elkülönítéséhez szükséges litológiai paraméterek meghatározása. Ugyancsak ezek alkalmazhatók vezérrétegek kiválasztása esetén a mérés hitelesítéséhez szükséges skála-transzformációk elvégzéséhez is (4. ábra).

3. A réteghatárok automatikus kijelölése korrelációs technikával valósul meg. Az egyes görbékre jellemző, a réteghatárnál felvett görbealakokat megadva a program mintavételi pontonként korrelációs együtthatókat számol mind az alsó határra, mind pedig a felső határra. Amennyiben a korrelációs együtthatónak lokális maximuma van, s a felvett érték nagyobb a szórásánál, akkor a program réteghatárt állapít meg. A réteghatár kijelölésnél egyszerre több karotázis görbe is figyelembe vehető az értelmező kívánsága és a megoldandó feladat jellege szerint.

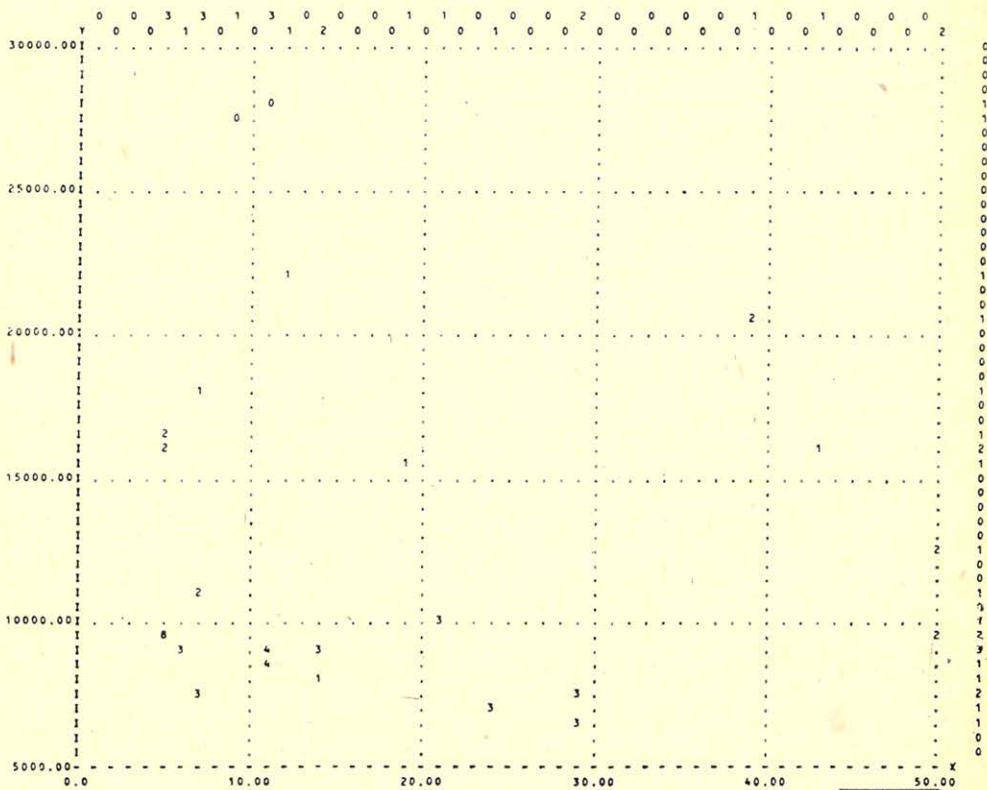
4. A réteghatárok ismeretében bármely görbének a rétegre vonatkozó jellemző értéke is automatikusan kerül meghatározásra, s így a további értelmezés már rétegenként történhet.

5. A statisztikus litológiai program segítségével történik a termelésre alkalmas szakaszok kijelölése. A litológiai meghatározás azon alapul, hogy a különböző kőzettípusok geofizikai paraméterei megadható minimális és maximális értékek közé esnek. Ezeket az adott területre jellemző értékeket cross-plotok alapján határozzuk meg. Feltételezés valószínűséget alkalmazva a program kiszámolja, hogy egy adott helyen mért geofizikai paraméterek és ezek szórásainak ismeretében a mért értékek milyen valószínűséggel származhattak az egyes kőzettípusoktól. Több karotázis görbe alapján az eredő valószínűséget képezve, a maximális valószínűséghez tartozó kőzettípus lesz a litológiai meghatározás eredménye, a hozzátartozó valószínűség pedig ennek a megbízhatósága. Amennyiben mintavételi pontonként történik az értelmezés, a litológiai kód-váltás a réteghatárok kijelölésére is szolgálhat.

Fig. 3. Sketch of processing

Legend: A – magnetic tape, B – punched card, C – magnetic disc, D – punched tape with Graycode, E – program, F – line printer, G – CALCOMP-plotter, H – COROLLPRESS colored plotter

Program 1.: Carrying of the data of field magnetic tapes into the disk, Program 2.: Carrying of the data of digitalized punched tapes into the disk, Program 3.: Carrying of data punched on cards into the disk, Program 4.: Filling up of the disk-store from the data-archives stored on magnetic tapes, Program 5.: Rescue of a disk data store into magnetic tape, Program 6.: Representation of result in form of tables, Program 7.: Drawing of measured curves and results on the CALCOMP plotter, Program 8.: Display on coloured COROLLPRESS plotter, Program 9.: Conversion into physical values, Program 10.: Automatic relative depth check, Program 11.: Correction of curves by points, Program 12.: Preparation of cross-plots, Program 13.: Carrying out of a scale transformation, Program 14.: Statistical lithological interpretation made by depth points, Program 15.: Marking out of strata boundary, Program 16.: Determination of characteristic quantities of strata, Program 17.: Corrections by strata, Program 18.: Lithological interpretation by strata, Program 19.: Interpretation depending on raw materials (e. g. volume weight, porosity, water saturation, ore-content, ash-content, heating value etc. calculation).



4. ábra. Z-plot megjelenítése széles nyomtatón

Рис. 4. Представление Z-плота на АЦПУ

Fig. 4. Representation of Z-plot on broad line printer

6. A mélyfúrású geofizikában sok esetben a mért geofizikai paraméterek értékeiből diagramok, görbeseregek segítségével történik az értelmezés. Az összetartozó értékeket többdimenziós táblázat formájában megadva, univerzális program készült az interpolálás elvégzésére. A program a geofizikus értelmező kívánsága szerint egyaránt alkalmas az előértelmezés korrekciós feladatainak elvégzésére, a feldolgozás során a területre jellemző összefüggések megadására, (pl. hamutartalom, fűtőérték, víztartalom stb. számítása) és a rétegfizikai paraméterek (pl. neutronporozitás, térfogatsúly) meghatározására. A szondák hitelesítése során felvett eltérési görbeseregek figyelembevétele is ezen program segítségével történhet.

7. A területi feldolgozás keretében módszer került kidolgozásra a terület fúrásaiban felvett szelvények vagy szelvényyszerű eredmények felhasználásával a geológiaiailag összetartozó mélységértékek matematikai úton történő meghatározására, s így a kutak közötti rétegeződés, telepek nyomonkövetésére. Az egyes

Modell a bauxitok alumíniumtartalmának neutronaktivációs karotázs mérések alapján történő meghatározásához

BALOGH IVÁN*

A mélyfúrási geofizikai mérések során a neutronaktivációs sugárzás regisztrált intenzitását a bauxit alumíniumtartalmán kívül még más tényezők is befolyásolják. Megbízható alumíniumtartalom adatot csak úgy kaphatunk, ha a mérési eredményeket a mérést befolyásoló paraméterek ismeretében „standard viszonyok”-ra vonatkoztatjuk, alkalmas elméleti modell segítségével. A jelenleg ismert összefüggésekkel csak a szondahossz és a vontatási sebesség hatása korrigálható. A dolgozat olyan modellt mutat be fúró-folyadékkal feltöltött lyukra, mely figyelembe veszi a lyukátmérő és a nukleáris paraméterek hatását is. Előzetes becslések szerint a modell alkalmazásával 10%-os relatív pontosság érhető el az alumíniumtartalom „in situ” meghatározásában.

Регистрируемая интенсивность излучения активации нейтронов при геофизических измерениях глубинного бурения определяется кроме содержания алюминия в бокситах, еще и другими факторами. Надежные данные о содержании алюминия могут быть получены только в том случае, если результаты измерения при знании параметров, влияющих на них, отнесены к «стандартным условиям» с помощью подходящей теоретической модели. С помощью зависимостей, известных в настоящее время, могут быть исправлены только влияющие длины зонда и скорости продвижения. В работе приводится такая модель для заполненной бурильным раствором скважины, в которой учитывается влияние диаметра скважины и ядерных параметров. По предварительным оценкам применение модели дает относительную точность 10% при определении содержания алюминия в условиях „in situ”.

With geophysical well loggings the registered intensity of neutron-activity-radiation is influenced — besides the alumina content of the bauxite — by other factors too. A reliable alumina-content data can be obtained only, if the measuring results — when knowing the parameters influencing the measurements — are reduced to „standard conditions” using a suitable theoretical model. The connections known as yet enable only the correction for the effect of sonde length and traction speed. The paper presents a model for a well filled with drilling fluid, which takes into account the effect of the hole diameter and that of nuclear parameters too. According to preliminary estimates the application of the model enables to reach a 10% relative accuracy with „in situ” determination of alumina content.

A bauxitkutató fúrásokban végzett neutronaktivációs szelvényezés célja a bauxitos összlet elkülönítése, s az alumíniumtartalom közelítő, gyors meghatározása az $Al^{27}(n, \gamma)Al^{28}$ reakció aktív végtermékének gamma sugárzása alapján. A neutronaktivációs sugárzás regisztrált intenzitását (a továbbiakban: sugárintenzitás) a bauxit alumíniumtartalmán kívül más tényezők is befolyásolják.

Hatásukat tekintve a legjelentősebbek:

- a) a mérési csatorna érzékenysége,
- b) szelvényezési paraméterek (szondahossz és vontatási sebesség),
- c) lyukátmérő,
- d) a neutronforrás, a fúróiszap és a bauxit nukleáris paraméterei.

A sugárintenzitás és az alumíniumtartalom közötti kapcsolatot úgy lehetne „egyszerűen” szorosabbá tenni, hogy a mérés, ill. mérések során biztosítjuk a

* Bauxitkutató Vállalat, Balatonalmádi

fenti paraméterek állandóságát. Ez természetesen nem lehetséges a c) és d) pont miatt. A másik – reálisabb – lehetőség, hogy a mérési eredményeket előre választott, állandó paramétercsoporttal jellemzett standard viszonyokra vonatkoztatjuk. A standardizálás végrehajtásához azonban ismerni kell a fenti paraméterek mérési eredményekre gyakorolt befolyását, ehhez pedig az összefüggések elméleti felállítása, és kísérleti mérésekkel történő igazolása, ill. pontosítása szükséges.

Vegyük sorra a mérést befolyásoló tényezőket.

A mérési csatorna, ill. csatornák érzékenységevel (a) itt nem foglalkozunk, ezek ellenőrzése egyszerű (de munkaigényes) technológiai feladat.

A szelvényezési paraméterek (b), azaz a v vontatási sebesség és az l szondahossz hatása szakirodalom [4] alapján kellőképpen ismertnek tekinthető, *tisztázásra vár ellenben a d fűrólyukátmérő (c) és a nukleáris paraméterek (d): a φ termikus neutronfluxus, az L fékezési hossz és a gammasugárzás μ lineáris abszorpciós együtthatójának (továbbiakban: gammaabszorpciós együttható) befolyása a regisztrált sugárzásra.* A dolgozat e két utóbbi paramétercsoport hatásának tanulmányozására mutat be elméleti modellt, a nukleáris adatok gyakorlati meghatározásának áttekintése után.

Egy elemi térfogatban – adott alumíniumtartalom mellett – az időegység alatt végbemenő $Al^{27}(n, \gamma)Al^{28}$ reakciók száma egyenesen arányos a termikus neutronfluxussal. Emlékeztetőül felidézzük, hogy a fluxus a neutronsűrűség és sebesség szorzata [6]:

$$\Phi(u) = nn(u) \cdot u \quad (1)$$

ahol

Φ fluxus
 nn neutronsűrűség
 u neutronsebesség;

a termikus neutronfluxus térbeli eloszlása az L fékezési hosszal jellemezhető. A Fermi-féle korreláció szerint ugyanis az éppen termalizálódó epitermikus neutronok nn_e (fékezési) sűrűsége és a fékezési hossz között exponenciális kapcsolat van kis hidrogéntartalmú közegben [2]:

$$nn_e \approx e^{-\left(\frac{r_n}{2L}\right)^2} \quad (2)$$

r_n a neutronforrástól mért távolság

A víz atomjainak 67%-a hidrogén, a bauxitok hidrogéntartalma pedig [1] adataiból kiindulva 5–15%-ra becsülhető bányanedves állapotban, így a fenti összefüggést érvényesnek tekinthetjük.

Ha a termikus neutronok L_d diffúziós hossza kicsi, s a lelassult neutronok hamar elnyelődnek, a 2. epitermikus neutronsűrűség jól közelíti a termikus neutronsűrűséget. Bauxitokra teljesül a feltétel: az átlagos elemi összetételből kiindulva [1] adatai alapján $L_d = 3 \div 4$ cm adódik. Az (1) és (2) felhasználásával tehát a termikus neutronfluxus térbeli eloszlását a következő képlettel közelíthetjük:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-\left(\frac{r_n}{2L}\right)^2} \quad (3)$$

Φ_0 a termikus neutronfluxus a forrás helyére vonatkoztatva

Mivel a fúrólyuk iszappal van feltöltve, és a neutrondetektor – neutronforrás távolság a fékezési hossz ($L = 11 \div 17$ cm) többszöröse, a detektornál már gyakorlatilag csak termikus neutronok vannak, következésképpen a neutronszelvényről elolvasható kitérés arányos a Φ termikus fluxussal. Ezt figyelembe véve a (3) formulában szereplő L fékezési hossz effektív értéke két, különböző szondahosszal végzett neutronszelvényezésből határozható meg:

$$L_{\text{eff}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(r_{n_1})^2 + (r_{n_2})^2}{\ln \frac{\Phi_2}{\Phi_1}}} \quad (4)$$

r_{n_1}, r_{n_2} neutron szondahosszak

A mérési tapasztalatok szerint ugyanahhoz az effektív fékezési hosszhoz különböző Φ_2, Φ_1 értékpárok is tartozhatnak, ezért a standardizáláshoz a rövid (r_{n_2}) szondahosszal felvett, feltételes neutron egységre hitelesített neutronszelvényről leolvasható Φ_2 adatokat is fel kell használni.

Az aktivációs gammasugárzás (detektorig megtett úton való) gyengülését jellemző μ gammaabszorpciós tényező effektív értékét Co-60 forrással végzett gamma-gamma szelvényezés segítségével lehet megbecsülni. (A Co-60 sugárzásának energiaszintje elfogadhatóan közelíti az aktív Al²⁸ sugárzásának energiatartományát, s felezési ideje is elég nagy.) [3] szerint a regisztrált gamma-gamma kitérés – állandó szondahossz mellett – a következő kapcsolatban van az abszorpciós tényezővel, ha egyszeres szóródást feltételezünk:

$$gg \approx \frac{\mu}{\mu'} e^{-\mu lgg} \quad (5)$$

μ' a gammasugárzás tömegabszorpciós együtthatója $\left(\frac{\mu}{\mu'} = \rho \text{ sűrűség} \right)$

gg gamma-gamma szelvényről leolvasott kitérés

lgg gamma-gamma szondahossz

Az egyszer szórt gammasugárzás mérése energiaszelektív műszerrel közelítően megvalósítható, (μ' kiesik, mivel értéke a vizsgált energiatartományban, ill. közetekben – bauxit, agyag, víz – jó közelítéssel állandó). A fenti összefüggés alapján, vízértékre hitelesített szondát használva, implicit egyenlet állítható fel, melyből μ meghatározható:

$$\frac{gg}{gg_0} = \frac{\mu}{\mu_0} e^{-lgg(\mu - \mu_0)} \quad (6)$$

gg_0 gamma-gamma vízérték

μ_0 a víz gammaabszorpciós tényezője az adott energiaintervallumban.

A neutronaktivációs sugárinterzítást befolyásoló paraméterek vizsgálatára felállítandó modellnél a következő feltevésekkel éltem:

- A fúrófolyadék és a bauxit nukleáris paraméterei azonosak, és megegyeznek a mért effektív értékekkel. A fúrófolyadék alumíniumtartalma zérus.
- Az álló forrás körüli neutroneloszlás a (3) kifejezéssel írható le.

- c) Az elemi térfogat neutron aktivációs gammasugárzásának gyengülése a detektorig megtett úton az

$$I = I_0 \frac{e^{-\mu r_g}}{4\pi r_g^2} \text{ képlettel jellemezhető,} \quad (5)$$

ahol

I_0 az elemi térfogat neutronaktivációs gammasugárzásának intenzitása

I a legyengült sugárzás intenzitása a detektornál

r_g az elemi térfogat és a detektor távolsága

- d) A szondatest hatása elhanyagolható, lévén hogy ezt a vegyelemzések felhasználásával számított hitelesítő egyenes „automatikusan” figyelembe veszi.

A modellhez vezető első lépésként határozzuk meg a felaktivált Al^{28} atomok térbeli eloszlását. Ehhez kiindulásul a következő differenciálegyenlet szolgál [4]

$$\frac{dn^*}{dt} + \lambda n^* = \sigma n \Phi$$

ahol

$$n^* = \frac{dN^*}{dV} \text{ és } n = \frac{dN}{dV} \quad (7)$$

dN^* az elemi térfogatban található aktív Al^{28} izotópok száma

dN az elemi térfogatban található Al^{27} atomok száma (arányos az „alumíniumtartalom” mérőszámával)

dV elemi térfogat

t az aktiválás kezdetétől eltelt idő

λ az aktív Al^{28} izotóp bomlási állandója

σ az Al^{27} izotóp aktiválási hatás keresztmetszete

Figyelembe véve a szonda mozgását, a (3) egyenletet, valamint azt, hogy a neutronforrástól szondahossznyi távolságra a neutronfluxus zérusnak tekinthető, a (neutronaktivációs) gamma detektor környezetében az alábbi megoldásra jutunk

$$n^*(\varrho, \xi) = \frac{2\sigma n \Phi_0}{v} e^{-\frac{\lambda \xi}{v}} \int_{r_n=\varrho}^{\sqrt{\varrho^2 - \xi^2}} \frac{e^{-\left(\frac{r_n}{2L}\right)^2} ch\sqrt{r_n^2 - \varrho^2}}{\sqrt{r_n^2 - \varrho^2}} r_n dr_n \quad (8)$$

ξ a felaktivált térfogatelem sugárforrástól számított lyuktengely menti távolsága

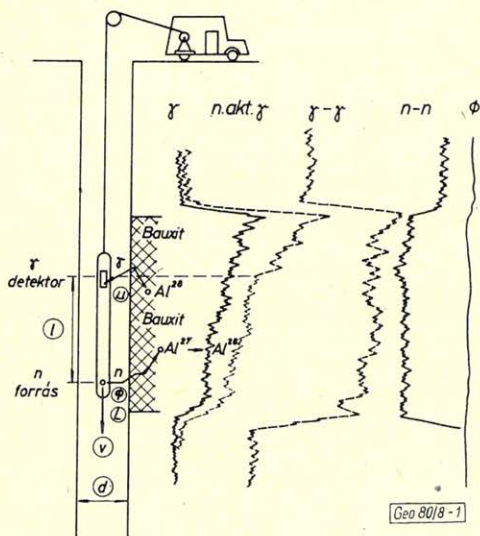
ϱ a felaktivált pont lyuktengelytől számított távolsága

Az aktív Al^{28} atomok elemi térfogatra vonatkoztatott sugárintenzitása a (neutronaktivációs) gamma detektornál számolva:

$$dI(\varrho, \xi) = \lambda n^*(\varrho, \xi) \frac{e^{-\mu r_g}}{4\pi r_g^2} dV \quad (9)$$

A teljes sugárintenzitást a (9) képletnek egy detektorközéppontú gömbtérfogat szerinti integrálásával ($r_{g \max} \approx 0,5$ m) kaphatjuk meg. Mivel n a detektor környezetében ξ -vel már közel lineáris kapcsolatban van, gyakorlatilag nem követünk el hibát, ha $n^*(\varrho, \xi)$ helyett $n^*(\varrho, l)$ -el számolunk, azaz az egész térfogaton belül a detektorral szemben számított aktív Al^{28} eloszlást vesszük figyelembe. (Az ebből származó relatív hiba kisebb mint 0,05%). Ily módon célszerű az integrálást először a gömbön belüli $\varrho = \text{konst}$ hengerfelületeken elvégezni:

$$dI(\varrho) = \lambda \varrho n^*(\varrho, l) \int_{r_g = \varrho}^{r_g \max} \frac{e^{-\mu r_g}}{r_g \sqrt{r_g^2 - \varrho^2}} dr_g \quad (10)$$



1. ábra. A neutronaktivációs karotázsszelvényezés mérési elrendezése; a mérést befolyásoló tényezők

1. Рис. Схема расположения измерений при нейтронноактивационном каротажном профилировании; факторы, влияющие на измерения.

Fig. 1. Measuring array of neutron activation well logging; factors influencing the measurements

A teljes térfogattól érkező sugárintenzitást végül az

$$I = \int_{\varrho = \varrho_0}^{r_g \max} dI(\varrho) \quad (11)$$

$$\varrho_0 = \frac{d}{2} \quad \text{a fúrólýuk sugara}$$

kifejezés adja. A (8), (10) és (11) integrálokat sorfejtéssel illetve numerikus módszerekkel számoltam ki számítógép segítségével.

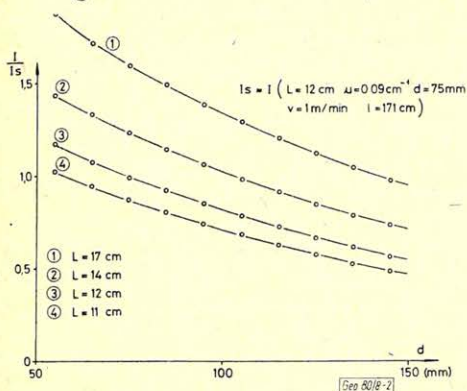
A programot hatszor futtattam az alábbi paraméterekkel:

- $l = 171$ cm
- $v = 1$ m/perc
- $L = 11; 12; 14; 17$ cm ($\mu = 0,09$ cm⁻¹)
- $\mu = 0,08; 0,09; 0,10$ cm⁻¹ ($L = 12$ cm)

A számítások eredményeit a 2. és 3. ábrákon mutatom be, a standard paraméterekkel rendelkező modell alapján számolt sugárintenzitáshoz viszonyítva (A standard paraméterek választott értékei: $l = 171$ cm, $v = 1$ m/perc, $\Phi = 1$ FNE [feltételes neutronegység] $L = 12$ cm és $\mu = 0,09$ cm $^{-1}$, $d = 75$ mm).

A görbéről leolvasható, hogy a d lyukátmérő és a μ gammaabszorpciós együttható növekedésével, valamint a fékezési hossz csökkenésével milyen mértékben csökken a sugárintenzitás. A fékezési hossz csökkenésével vagy a gammaabszorpciós együttható növekedésével szemmel láthatóan gyengül a lyukátmérő hatása is, ugyanis ekkor a felaktivált atomok zöme a lyukfalhoz közelebb koncentrálódik, illetve a távolabb eső atomok sugárzása jobban elnyelődik.

A 4. és 5. ábrán megszerkesztettem az integrális geometriai tényező görbéit is, a lyuktengelytől mért távolság függvényében. Az előzőekkel összhangban kisebb fékezési hosszánál, ill. nagyobb abszorpciós tényezőnél a görbe gyorsabban konvergál felső határértékéhez, az 1-hez.



3. ábra. A sugárintenzitás függése a fúrési átmérőtől és a gamma-abszorpciós tényezőtől

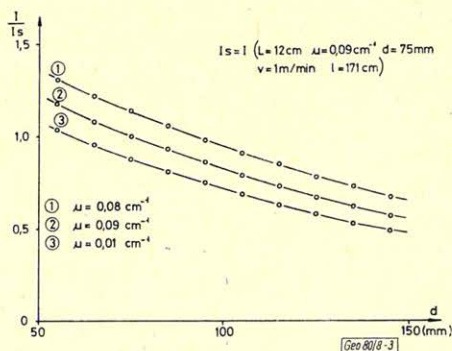
3. Рис. Зависимость интенсивности излучения от диаметра скважины и фактора гаммапоглощения

Fig. 3. Dependence of beam intensity on well diameter and on the gamma-absorption coefficient

2. ábra. A sugárintenzitás függése a fúrési átmérőtől és a neutronok fékezési hosszától

2. Рис. Зависимость интенсивности излучения от диаметра скважины и длины торможения нейтронов

Fig. 2. Dependence of beam intensity on well diameter and on drag length of neutrons

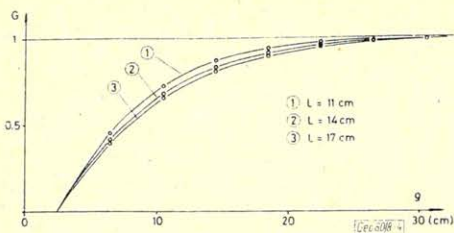


A neutronaktivációs mérések behatolása – ha a behatolást az integrális geometriai tényező 0,9-es értékéhez kötjük – az ábrák alapján 15 ÷ 20 cm-nek adódik.

A szondahossz és a vontatási sebesség hatásának leírására jelenleg az alábbi képlet használatos [4]:

$$I = I_0 \frac{2\lambda L v}{v^2 - (\lambda L)^2} e^{-\frac{\lambda l}{v}} \quad (12)$$

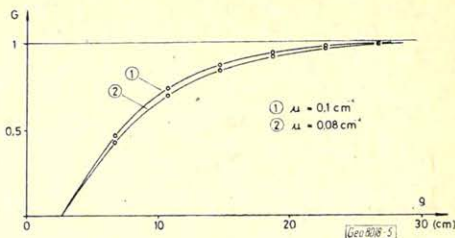
I_0 pontmérés során álló szondával mérhető maximális sugárzás



4. ábra. A sugárintenzitás integrális geometriai tényezője különböző fékezési hosszak mellett

4. Рис. Интегральный геометрический фактор интенсивности излучения при различных длинах замедления

Fig. 4. Integral geometric factor of beam intensity for various drag lengths

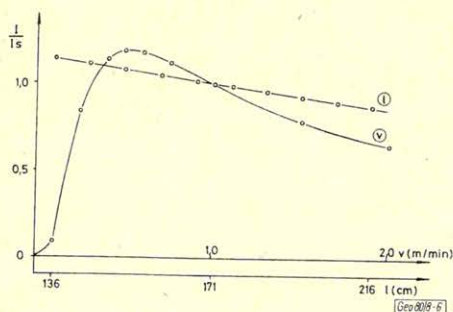


5. ábra. A sugárintenzitás integrális geometriai tényezője különböző gammaabszorpciós tényezők mellett

5. Рис. Интегральный геометрический фактор интенсивности излучения при различных факторах гамма-поглощения

Fig. 5. Integral geometric factor of beam intensity for various gamma-absorption factors

Ez a formula a felaktivált atomokat csak egy vonal, a fúrólyuk tengelye (!) mentén „képzeli el”. Erősen közelítő jellege ellenére a tapasztalatok szerint a vontatási sebességnek és a szondahossznak a mérésekre gyakorolt befolyását helyesen tükrözi. A 6. ábrán a (12) képlet alapján számolt sugárintenzitások láthatók a vontatási sebesség és a szondahossz függvényében $v = 1$ m/perc illetve $l = 171$ cm paraméterekre vonatkoztatva. Az előzőekben bemutatott modellt felhasználva ugyancsak ezekhez a görbékhez jutunk. Az új, lyukátmérőt, térbeli neutroneloszlást, gammaabszorpciót is figyelembe vevő „nagyobb teljesítményű” modell tehát jól illeszkedik a már ismert (12) összefüggéshez.



6. ábra. A sugárintenzitás függése a szondahossztól és a szonda sebességtől

6. Рис. Зависимость интенсивности излучения от длины зонда и его скорости

Fig. 5. Dependence of beam intensity on sonde-length and on traction speed

A modell felhasználása az alumíniumtartalom meghatározásánál; várható pontosság

A $\mu R/h$ -ra hitelesített neutronaktivációs karotázis adatokat jelenleg forrás-erősséggel, szondahosszal és vontatási sebességgel korrigáljuk a (12) képlet alapján. Az értékeléshez hitelesítő egyenest használunk, melyet bázisfúrások vegyelemzéseiből és neutronaktivációs karotázis adataiból számolunk. A hitelesítő

egyenes megbízhatóságát a felhasznált adatpárok számának növelésével bizonyos határig javítani lehet, a hiányos korrekció rendszer azonban így is megbosszulhatja magát: a lyukátmérő és a nukleáris paraméterek figyelmen kívül hagyása miatt az ismeretlen fúrólukban történő alumíniumtartalom meghatározás hibája esetenként kellemetlenül nagy lehet. Az előzőekben bemutatott modell alapján történő standardizálás a hitelesítő egyenes és az alumíniumtartalom meghatározás hibáját egyaránt csökkenti. Kellő számú bázis adatpárt és megbízható hitelesítő egyenest feltételezve vizsgáljuk meg, mekkora pontosság érhető el az ismeretlen fúrólukban történő alumíniumtartalom meghatározásban a modell alkalmazásával.

A standardizálás a következő módon történik:

$$i_s = i \frac{I_s}{I} \quad (13)$$

i_s standard viszonyokra vonatkoztatott sugárintenzitás

i mért sugárintenzitás

I_s standard paraméterekkel rendelkező modell alapján számolt sugárintenzitás

I tényleges, mért paraméterekkel rendelkező modell alapján számolt sugárintenzitás

A lehetséges hibákat az alábbiak szerint osztályozhatjuk:

a) A modell numerikus és közelítő számításaiból adódó hiba.

b) A tényleges paraméterek mérésekor elkövetett hiba.

c) A modell közelítő jellegéből származó hiba.

A modell numerikus és közelítő számításainak hibája ($< 2,7\%$) nem befolyásolja számottevően az értékelés pontosságát, ugyanis a (13) jobb oldalán levő tört számlálójába és nevezőjébe egyforma módon számított, hasonló relatív hibájú értékek kerülnek:

$$\frac{I_s}{I} - \frac{I_s + \delta_s \cdot I_s}{I + \delta \cdot I} = \frac{I_s}{I} \left(1 - \frac{1 + \delta_s}{1 + \delta} \right) \approx 0 \quad (14)$$

δ, δ_s relatív hibák ($\delta \approx \delta_s$)

A második csoportba tartozó hibák tulajdonképpen statisztikus mérési hibák, s az $\frac{i}{I}$ hányadosban jelentkeznek. A hányados számlálójában és nevezőjében is

összetett mennyiség szerepel: az I sugárintenzitás a mért d, l, v, L és μ paraméterek függvénye, az i sugárintenzitás pedig a neutronaktivációs és természetes gamma, valamint a rövid neutron-neutron adatokból tevődik össze. Többváltozós függvény hibáját az egyes változók hibáiból a következő formulával számíthatjuk [5]:

$$\sigma(y) = \sqrt{\sum \left[\frac{\partial y}{\partial x_i} \sigma(x_i) \right]^2} \quad (15)$$

y $y = y(x_1; x_2; \dots x_i)$ többváltozós függvény

σ standard hiba v. szórás

A $\sigma(x_i)$ hibákat a nukleáris szelvények statisztikus ingadozásából, illetve a kiegészítő technikai jellegű mérések műszerkönyv – és tapasztalataink – szerinti szórásából lehet meghatározni; a parciális deriváltak I -nél a 2., 3. és 6. ábrából, i -nél pedig közvetlenül az aritmetikából számolhatók ki. Ilyen módon a hányados *relatív* hibájára kb. $\delta\left(\frac{i}{I}\right) \approx 10\%$ -ot kapunk. Ha a modell közelítő jellegéből származó hiba nem túl nagy, kb. ekkora az összhiba is. Így például egy 50 súlyszázalékos alumíniumoxid tartalom in situ helyzetben, azaz karotázssal ± 5 súlyszázalék standard hibával lenne meghatározható.

Ez már megközelíti a magvétel – mintakezelés – vegyelemzés műveletsor pontosságát, érdemes tehát a modell alkalmazhatóságát mérésekkel is megvizsgálni.

IRODALOM

- [1] *Bárdossy Gy.*: A magyar bauxit geokémiai vizsgálata. MÁFI Alk. Kiadvány 1961.
- [2] *Barsukov, O. A.* et al: Investigations of Oil and Gas Wells. Pergamon Press London 1965.
- [3] *Filopov, E. M.*: K teoriju gamma-gamma karotazsa. Prikladnaja geofizika, Leningrád 1957.
- [4] *Geofizikai kutatási módszerek III.* Szerk.: Stegena L. Tankönyvkiadó 1970.
- [5] *Nagy L. Gy.*: Radiokémia és izotóptechnika Tankönyvkiadó 1970.
- [6] *Neutronfizika*: Szerk. Kiss D. – Quitner P. Akadémiai Kiadó 1971.

Matematikai statisztikai módszerek alkalmazása a mélyfúrású geofizikai értelmezésben

KOMLÓSI ZSOLT*

A mélyfúrású geofizikai értelmezésben a matematikai statisztikai módszerek felhasználásával össze-tett paramétereket (pl. permeabilitás) becsülhetünk egyszerű módon, kalibrálhatjuk a szelvényeinket, burkolóegyeneseket határozhatunk meg stb. minimális szubjektív hibával. A cikkben néhány konkrét alkalmazási esetet mutatunk be.

При интерпретации результатов глубинного бурения при помощи методов математической статистики простым методом могут быть оценены сложные параметры (на-пример, восприимчивость), могут быть прокалиброваны разрезы, могут быть определены обсаживающие прямые с минимальной субъективной неточностью. В статье показаны не-сколько конкретных случаев применения.

With the interpretation of well logs we are able by the use of mathematical statistics' methods to obtain estimates of complex parameters (e. g. permeability) on a simple way, we can calibrate our logs, we can determine enveloping lines in cross plots etc. with minimal subjective error. The paper presents a few practical examples for the method.

1. A fölhasznált matematikai apparátus

A statisztikai vizsgálatok során elvonatkoztatunk az adott paraméterértékek konkrét mérési helyétől, s csak a különböző értékeknek az adott mérési ered-mény-halmazbeli (esetünkben egy karotázs szelvény vagy egy laboratóriumi magminta mérési sorozat) előfordulási valószínűségeit elemezzük. Paramétereink általában kontinuálisak, de hogy kezelhetőbbé tegyük őket, rendszerint interval-lumokra bontva diszkrétte tesszük az értelmezési tartományt. Az adott statisztikus sokaságot az eloszlási függvény jellemzi, ami azonban nehezen kezelhető, s ezért általában nevezetes pontjaival (medián, módus, quartilisek stb.), illetve az átlaggal és a szórással (standard hiba) közelítjük.

Gyakran találkozunk olyan halmazokkal, amelyek elemei fizikai kapcsolat-ban állnak egymással, csak a köztük levő összefüggés olyan bonyolult, hogy nem tudjuk leírni, vagy olyan tényezők is befolyásolják, amelyekről nincsenek in-formációink. Ilyen esetben a két paraméter között regressziós összefüggést szá-míthatunk az alábbi szélsőérték feladat megoldásával:

$$\sum_{i=1}^N [y_i - f(x_i)]^2 \rightarrow \text{minimális}$$

ahol:

- y_i, x_i a két halmaz összetartozó elempárjai,
- f a regressziós függvény,
- N a halmaz-pontpárok száma.

Az f függvény legtöbbször lineáris vagy parabolikus; ezen kívül még transz-formálhatjuk is a paramétereket valamilyen függvény szerint.

* Magyar Szénhidrogénipari Kutató és Fejlesztő Intézet, Százhalombatta

Az [1]-ben kidolgoztunk egy eljárást, amely pontosabbá teheti a fölhasználható lineáris összefüggést. A módszer feltételezi, hogy a két paraméter kölcsönösen határozza meg egymást, s egyiknek sincs kitüntetett szerepe a másikkal szemben. Két regressziót írhatunk föl: $y = ax + b$, és $x = cy + d$. A két egyenes a két halmaz átlagpontján keresztül húzódó metsző egyenespárt alkot; a módszer szerinti optimális megoldást a szögfelező egyenes adja. Hasonló gondolatmenetet követ [2] is.

A két halmaz elemei közötti kapcsolat szorosságát az alábbi paraméterekkel jellemezhetjük:

1. Korrelációs együttható (BR)
2. A regresszió hibája (ER)

$$ER = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N [y_i - f(x_i)]^2}{N - 1} \right\}^{0,5}$$

amit általában a függetlennek tekintett y változó átlagának százalékában szoktunk megadni.

3. A szögfelezős módszernél a felezett szög nagysága is a korreláció szorosságára utaló mennyiség. Jó kapcsolat esetén nulla, függetlenség esetén 90° -hoz tart az értéke.

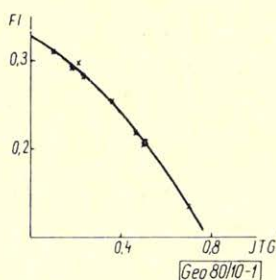
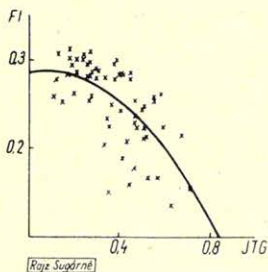
4. Módosított hiba (ERM): az ER hibát az átlagra normálva kiejtettük a függő változó nagyságának a hatását, azonban még így is nehéz a kapcsolat jóságát megítélni, s ezért vezettük be az alábbi transzformációt, amely a függőváltozó szórásának (DY) a hatását is kiejti:

$$ERM = (DY - ER)/DY \times 100, \%$$

Amennyiben a két paraméter közötti kapcsolat szoros, az ER regressziós hiba elhanyagolható a szóráshoz képest és $ERM \rightarrow 1$; ha rossz a kapcsolat, akkor a regressziós hiba megegyezik a függőváltozó szórásával és $ERM \rightarrow 0$.

Előnye az ERM hibának, hogy tetszőleges regressziós kapcsolatra alkalmazható, és minden esetben egy korrelációs-együtthatószerű mennyiséget ad.

2.1. Algyői agyagos homokkő telepek értelmezésében [4] abból indulunk ki, hogy az agyagtartalom és az effektív porozitás között kapcsolat van. Laboratóriumi magminta mérések és az azonos mélységből származó relatív természetes gamma értékek (JTG), amelyeket minden fúrásban meg tudtunk határozni, összevetésével kaptuk a gyakorlati formulánkat (1a ábra, 1. táblázat).



1. ábra. Magporozitás, relatív természetes gamma cross-plot

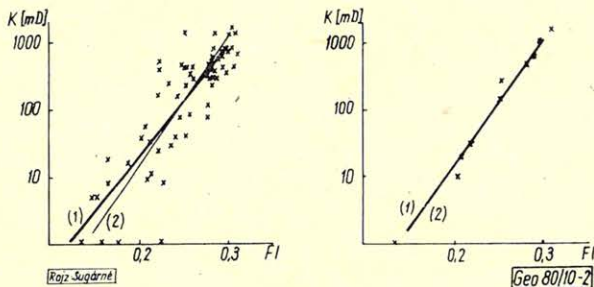
1. Рис. Графики связи относительного ГК с пористостью ядер.

Fig. 1. Porosity of core versus relative gamma ray cross plot.

Sor- szám	Ábra- szám	Független	Függő paraméter			Adatszám	Típus	$Y = AQ + A1x + A2x^2$				ERM
			átlag		A2			A1	AQ	BR		
			szórás %	átlag								
1	1.a.	JTG	FI	0,25	18	68	par	0,285	0,044	-0,313	-	24
2	2.a.	FI	lg K	2,16	40	68	lr	0,321	-0,190	-	0,64	23
3	1.b.			0,25	22	10	szf.	0,370	-0,323	-	-	11
4							par	0,326	-0,137	-0,197	-	92
5							lr	0,350	-0,290	-	0,99	86
5							szf.	0,351	-0,293	-	-	86
7												
8	2.a.	FI		2,16	40	68	lr	-2,014	16,506	-	0,85	47
9	2.b.			2,01	51	10	szf.	-2,697	19,210	-	-	45
10							lr	-2,624	18,882	-	0,99	88
							szf.	-2,658	19,020	-	-	88
11	3.	SW	$\exp(-PC^2)$	0,88	30	23	lr	0,393	0,476	-	0,94	66
12							szf.	0,374	0,507	-	-	65
13	4.	AT	$1/\sqrt{ROL}$	234	9	47	lr	175	274	-	0,75	34
14							szf.	158	532	-	-	30
15	5.	AT ₁	AT ₂	234	9	47	lr	39,12	0,762	-	0,79	39
16							szf.	-12,7	0,965	-	-	35

Ugyan ebben a földolgozásban a $\lg K = L(FI)$ összefüggésből becsültük a rétegek permeabilitását (2a ábra). Mint látható a pontok meglehetősen szórtaak, ezért a szögfelezőt is kiszámítottuk. A két egyenes hibája gyakorlatilag megegyezett, s így a földtani szempontok figyelembevételével a szögfelezőt választottuk. (A két egyenes különbségének négyzetes integrál közepe 19,1% az átlagpermeabilitásra vonatkoztatva, ami elég jelentős eltérés).

2.2. Abban az esetben, ha páronként nem tudjuk összerendelni a mérési eredményeinket, akkor a két halmaz eloszlásfüggvényéből vehetünk minta pontokat, s azok között kereshetjük a regressziós összefüggést. Ilyen eljárást követünk [5]-ben is a permeabilitás becsülésére.



2. ábra. Permeabilitás – porozitás cross-plot (1) – a normál regressziós egyenes, (2) – a szögfelező egyenes

2. Рис. Графики связи пористости с проницаемостью кернов (1) – линия нормальной регрессии, (2) – разделённая линия

Fig. 2. Permeability of core versus porosity cross plot (1) – line of normal regression, (2) – bisecting line

Próbaképpen a 2.1. pontban elemzett ismert adatpárokból álló adathalmazra is megcsináltuk ezt az egyszerűsített összefüggést (1b és 2b ábrák) úgy, hogy az alábbi valószínűségekhez tartozó FI, $\lg K$ és JTG értékeket vettük (ez utóbbinál figyelembe vettük azt is, hogy fordított kapcsolatban áll a porozitás-sal): 14,5%, 25%, 50%, 75%, 85,5%, átlag, átlag + szórás, átlag – szórás, maximum, minimum.

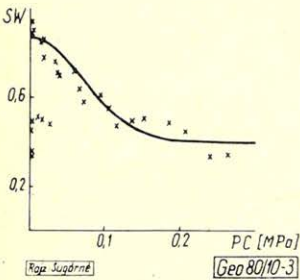
A pontokból illetve az eloszlásfüggvényből leszarmaztatott görbék különbségének is képeztük a négyzetes integrál közepét, s a 2. táblázatban foglaltuk össze:

2. táblázat

Összefüggés	Integrál közép	
$\lg K - FI$ normál regisztrálók (lr)	0,78	36 %
szögfelezők (szf)	0,03	1,5 %
$FI - JTG$ parabolák (par)	0,11	43 %

Mint a 2. táblázatból látható, a kétféle eljárásból kapott szögfelezők meg-
egyeznek. A porozitást számító parabolák közötti eltérés jelentős, ezért válasz-
tani közülük csak egyéb szempontok figyelembevételével lehet (ugyan ez vonat-
kozik az egyenesekre is).

2.3. A [6]-ban kapilláris nyomás – maradék víztelítettség mérésorozatot
kellett értékelnünk. A szubjektív hibák kiszűrésére az $SW = L \exp(-PC^2)$ reg-
ressziót számítottuk, ami jól közelíti az elméleti görbe alakját, és kis kapacitású
számítógéppel is meghatározható; a maradék víztelítettséget a nullafokú tag
együtthatója adja (természetesen plusz-mínusz a regresszió hibája), mivel a
 $PC \rightarrow \infty$ esetén az elsőfokú tag nullává válik. A (0, 1) koordinátájú elméleti
pontot kétszeres súllyal szerepeltettük a meghatározásban. Ilyen módon lehetővé
vált, hogy valamennyi mérésorozatot konzekvensen értékeljünk.



3. ábra. Víztelítettség – kapilláris nyomás cross-plot

3. Рис. Графики связи капиллярного давления с водо-
насыщенностью

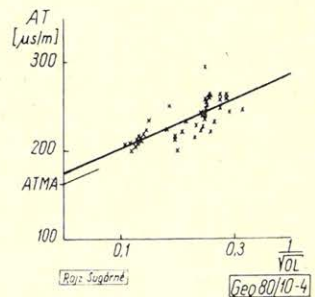
Fig. 3. Water saturation versus capillary pressure cross plot

2.4. Akusztikus és sűrűség szelvények értelmezéséhez a mátrix paramétereket
az AT-, illetve $DE-1/\sqrt{RO\bar{L}}$ cross-plottból szoktuk meghatározni. A pontfelhő
felső burkolója metszi ki az ordináta tengelyből a mátrixparamétert. Az egyes
kézi behúzása rendkívül szubjektív, ezért azt az eljárást követtük [7], hogy meg-
határoztuk a pontok lineáris regresszióját, és a nulladfokú tag együtthatójából
levonva a regresszió hibáját, a mátrixparaméterhez jutottunk (sűrűség szelvény-
nél hozzáadtuk a hibát). A 4. ábra egy konkrét példát mutat. Az eredmény
 $ATMA = 161 \mu s/m$. A szögfelező egyenesből $ATMA = 144 \mu s/m$. A két érték
közül egyéb szempontok alapján választhatjuk ki a megfelelőt.

4. ábra. Akusztikus szelvény – egy per négyzetgyök optimalis
laterolog ellenállás cross-plot

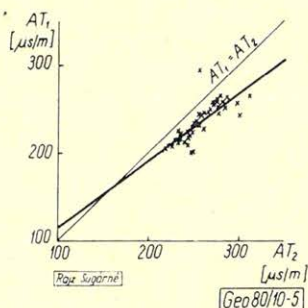
4. Рис. Графики связи сопротивления оптимального боко-
вого каротажа (один на корень) с АК

Fig. 4. Acoustic transit time versus resistivity of optimal
laterolog (reciprocal square root) cross plot



2.5. Többször előfordul, hogy egy paraméter szelvényt többféle forrásból
is meghatározunk. Ilyenkor össze kell hasonlítani a kapott értékeket. A két
szelvény alaki hasonlóságát szemrevételezéssel is megállapíthatjuk, azonban

számszerűen nem tudjuk jellemezni. A megoldás: meghatározzuk a két szelvény közötti lineáris regressziót; kiszámítjuk az elméleti $y=x$ egyenesre vonatkozó regressziós hibát. A két hiba különbsége a szisztematikus eltéréssel arányos, míg a regresszió hibája a statisztikus eltérést jellemzi. Az 5. ábrán látható példá-



5. ábra. Kétféle akusztikus szondával mért hullámterjedési idők cross-plotja

5. Рис. Графики связи два АК измеренные различными зондами

Fig. 5. Cross plot of two acoustic logs were measured by two various apparatuses

ban [7] a két akusztikus szelvény közötti statisztikus hiba 5,6%, ami a szintén 5,6%-os szisztematikus hibára szuperponálódik. Amennyiben a két szelvény megbízhatósága azonos, a regressziós egyenesre merőleges vetítéssel határozhatjuk meg a legvalószínűbb szelvényértéket.

IRODALOM

- [1] Komlósi Zs.: A számítógépes mennyiségi karotázs értelmezés... Magyar Geofizika, Budapest 1975/5. p. 171–180.
- [2] Dieva E. V., Djadkin I. G., Rucskín A. V.: O sztatisticeszkoj obrabotke geologo-geofiziceszkih zaviszimosztej. Neftegazovaja Geologija i Geofizika, Moszkva 1978/7. p. 38–41.
- [3] Komlósi Zs.: Az anomális nyomású rétegek előrejelzése... Magyar Geofizika Budapest 1979/5. p. 186–191.
- [4] Divéki A., Komlósi Zs., Tólesch L.: Agyagos tagolt homokkő szénhidrogén tárolók... Kőolaj és földgáz Budapest, 1978/4. p. 103–113.
- [5] A Ferencszállás–Cherestur Nord magyar-román mező közös érdekeltsgű telepeinek geológiai újraértékelése. OGIL Rezervoárgológiai Osztály jelentés. Budapest, 1979.
- [6] Bánlaki E., Kiss B., Komlósi Zs., Szalai Gy., Pékó Gy.: Ferencszállás, Mélyfúrási geofizika. NKFÜ jelentés Szolnok. 1974.
- [7] Komlósi Zs., Markó L.: Kőzetmechanikai jellemzők meghatározása mélyfúrási geofizikai szelvényekből. OGIL jelentés Budapest, 1977.

Elektródák helyének és két tápkör alkalmazásának hatása a geoelektromos szondázásnál

EGERSZEGI PÁL

A tanulmány vizsgálja a különböző elektródaelrendezésű szondázásoknál a „behatolás” változását. Ebből a szempontból két elrendezés mutat kiugró értéket, a potenciál elrendezés és a terelőáramú módszer. E módszereknek elsősorban a nagy pozitív ellenállás-kontrasztoknál van előnyük a többi elrendezéssel szemben, ugyanis nagyobb a felbontóképességük $k > +0,8$ ellenállás-kontrasztnál. Általában a potenciál elrendezés használható, a terelőáramú szondázás csak akkor jöhet számításba, ha oldalhatást akarunk kimutatni, illetve korrekcióval megszüntetni.

В работе исследуется изменение «проникновения» при различном расположении электродов при зондировании. С этой точки зрения два расположения показывают слишком выдающиеся значения: потенциальное расположение и метод фокусированного тока. Преимущества этих методов по отношению к другим расположениям заключаются прежде всего в больших положительных контрастах сопротивления, поскольку у контраста сопротивления больше разрешающая способность $k > \pm 0,8$. Обычно можно использовать потенциальное расположение, а зондирование фокусированным током может использоваться только тогда, когда мы хотим выявить боковое влияние или исключить его с помощью коррекции.

The paper discusses the change „investigation depth” in case of soundings with various electrode arrangements. From this point of view two types of arrays show remarkable values: the potential arrangement and the method „focused current”. These methods have their advantages against other ones first of all in case of high positive contrast-resistivities, since they possess a higher resolving power at a resistivity contrast of $k > +0,8$. Generally the potential array can be used, while the sounding with focused current can be taken into account if we want to detect lateral effects, respectively eliminate them by means of corrections.

Vizsgálataink kiindulási alapjául a szimmetrikus, egyenközű négyelektródás (Wenner) elrendezést tekintjük (1. ábra). Több szerző foglalkozott ennek az elrendezésnek „behatolási” vizsgálatával, így Roy és Apparao, valamint Szaraniec is. Roy és Apparao azt a mélységet definiálta „behatolási mélység”-ként, amelyben egy vékony vízszintes réteg hatása maximális a felszínen mért jelre. Szaraniec az „effektív terítési távolságot” tekintette a „behatolás” mértékének, melyet $k = +1,0$ ellenálláskontrasztú kétréteges esetben, a 45° -os egyenes és az $R_2/R_1 = 1$ egyenes metszési pontjában a réteghatár-mélység és a terítési távolság hányadosa fejez ki.



1. ábra. Különböző elektróda-elrendezések

Рис. 1. Различные расположения электродов

Fig. 1. Various electrode-arrays

(Geo 80/11-1)

Wenner elrendezésnél a „behatolási mélység” (h_{be}), homogén esetre számolva, Roy és Apparao szerint

$$(h_{be})_W = 0,11 \quad L = 0,11 \quad \text{AB},$$

ahol L két aktív elektróda közötti maximális távolság.

Az „effektív terítési távolság” (r_{eff}) $k = +1,0$ ellenállás-kontrasztra számolva

$$(r_{eff})_{W+1} = 0,47 \quad \text{AB}.$$

r_{eff} közelítő értékét $k = -0,98$ ellenállás-kontrasztra is meghatároztuk az inflexiós ponton át húzott egyenes metszéspontjából

$$(r_{eff})_{W-0,98} \sim 0,25 \quad \text{AB}.$$

Első lépésként közelítsük egymáshoz a mérőelektródákat, azaz növeljük végtelen nagyra az AB/MN hányadost (Schlumberger vagy gradiens elrendezés, 1. ábra).

Az 1. táblázaton látható egy összehasonlítás a Roy és Apparao által megadott h_{be} , illetve Szaraniec és általunk meghatározott r_{eff} értékekre (2. ábra) két elrendezésre vonatkozólag.

1. táblázat

Elrendezés	Wenner	Schlumberger	Wenner behatolás „romlása”
$(r_{eff})_{+1}$	0,47 AB	0,5 AB	6%
h_{be}	0,11 AB	0,125 AB	12%
$(r_{eff})_{-0,98}$	$\sim 0,25$ AB	$\sim 0,3$ AB	16%

Ebből egyértelműen látszik, hogy a mérőelektródák közötti távolság csökkentésével nő a „behatolás”. Ez negatív ellenállás-kontrasztnál jelentkezik legmarkánsabban.

Következő lépésként a Wenner elrendezés egyik elektródáját távolítsuk a végtelenbe, majd a Wenner elrendezés egyik mérőelektródáját úgy, hogy a másik három elektróda a helyén marad. Szaraniec képletét alkalmazva az „effektív terítési távolság” változatlan marad, ha a Wenner elrendezés AB távolságára vonatkoztatjuk (1. ábra).

Ugrásszerűen megváltozik az „effektív terítési távolság” és a „behatolás” is, ha a Wenner elrendezés egy táp- és egy mérőelektródáját együttesen távolítjuk el a végtelenbe (potenciál elrendezés, 1. ábra). Erre az esetre Szaraniec képlete nem alkalmazható, és helytelenül adta meg $(r_{eff})_{P+1}$ értékét. Potenciál elrendezésnél (2. ábra)

$$(h_{be})_P = 0,35 \quad L = 0,35 \quad \text{AM},$$

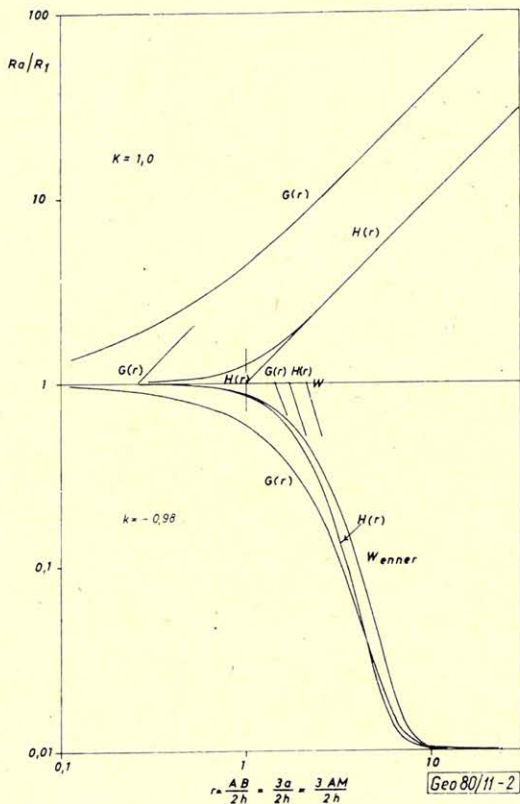
illetve

$$(r_{eff})_{P+1} = 5,7 \quad \text{AM és}$$

$$(r_{eff})_{P-0,98} \approx 1,0 \quad \text{AM}.$$

Ha egy potenciál-elrendezés véges távolságban levő tápelektrodáját ugyanolyan polaritással helyezzük az M mérőelektroda mindkét oldalára, akkor a módosított unipol elrendezéshez jutunk (1. ábra). A módosított unipol elrendezés „behatolása” az AM távolsághoz viszonyítva ugyanaz marad, mint a potenciál elrendezésnél.

Ezek után vizsgáljuk meg egy második (terelő) áramkör alkalmazásának hatását a „behatolás”-ra.



2. ábra. „Effektív terítési távolság” (r_{eff}) meghatározása

Рис. 2. Определение «эффективного расстояния покрытия» (r_{eff})

Fig. 2. Determination of the „effective spreading distance” (r_{eff})

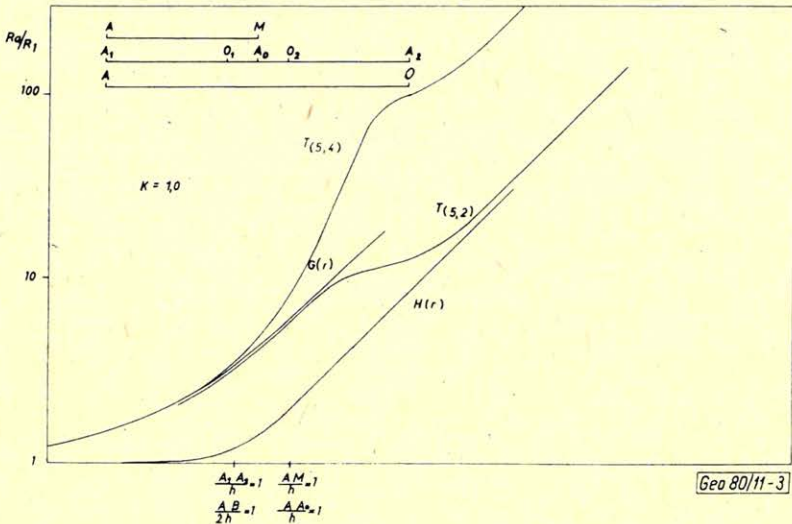
A vonal menti terelőáramos elrendezés (két terelős, 1. ábra) A_0 áramelektrodáját egy potenciál elrendezés tápelektrodájának, míg A_1 és A_2 terelőelektroda-párt egy módosított unipol elrendezés tápelektroda-párjának tekinthetjük. Az MM' figyelő-elektrodapár helyzete – melynek felezőjét 0-val jelöltük – határozza meg a terelés milyenségét. Az

$$n = \frac{AA_0}{A_0O} \text{ hányadosot terítési hányadosnak nevezzük.}$$

n értékét először 5-nek választjuk, azaz nagy terelőáramokkal dolgozunk.

$$(h_{be})_{T(5; 2)} = 0,135 \quad L = 0,135 A_1 A_2.$$

$k = +1,0$ ellenállás-kontrasztú, két réteges esetben egy összetett görbét kapunk kétszeres logaritmikus léptékben, mely két egymáshoz képest eltolt 45° -os szakasszal jelentkezik (3. ábra). A görbe bal oldali szakasza egy olyan potenciál elrendezés fajlagos ellenállás görbéjével helyettesíthető, melynél $AM \sim AA_0$. A jobb oldali szakasz egy gradiens elrendezésű fajlagos ellenállás görbével helyettesíthető, melynél $AO \sim A_1 A_2$.



3. ábra. $n=5$ terítési hányadosú, terelőáramú elméleti görbék $k = +0,1$ ellenállás-kontrasztnál

Рис. 3. Теоретические кривые фокусированного тока при $n=5$ отношении покрытия и контрасте сопротивления $\kappa = \pm 1,0$

Fig. 3. Focused current theoretical curves in case of $n=5$ spread ratio and $k = +1,0$ resistivity contrast

A bal oldali szakasz „effektív terítési távolsága”

$$(r_{\text{eff}})_{T(5; 2)+1} = 2,8 A_1 A_2,$$

a jobb oldali szakaszon

$$(r_{\text{eff}})_{T(5; 2)+1} = 1,1 A_1 A_2.$$

$k = -0,98$ ellenállás-kontrasztú két réteges esetben hasonlóan két eltolt szakaszból áll a fajlagos ellenállás görbe (4. ábra). A bal oldali szakasz olyan potenciál elrendezésű fajlagos ellenállás görbével közelíthető meg, melynél $AM \sim A_1 O_1$. A jobb oldali szakasz olyan gradiens elrendezésű fajlagos ellenállás görbével helyettesíthető, melynél $AO \sim A_0 O$.

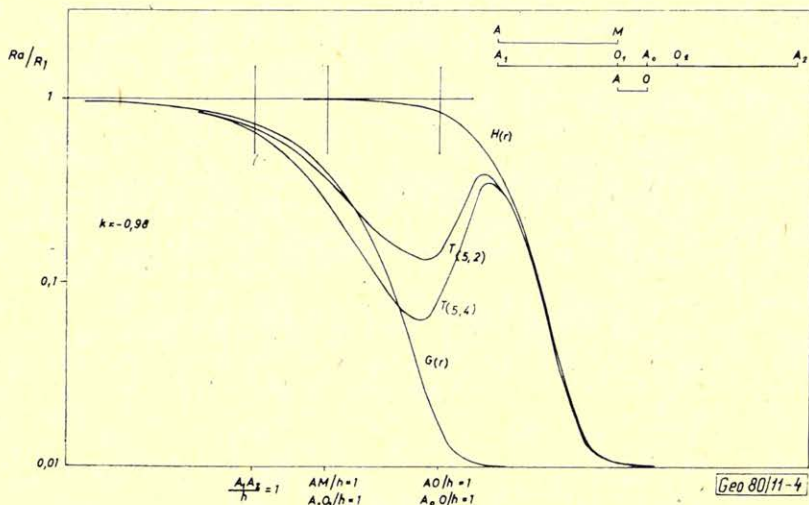
Az „effektív terítési távolság” a bal oldali szakaszon

$$(r_{\text{eff}})_{T(5; 2) - 0,98} \sim 0,43 A_1 A_2$$

a jobb oldali szakaszon

$$(r_{\text{eff}})_{T(5; 2) - 0,98} \sim 0,06 A_1 A_2.$$

Láthatjuk, hogy az „effektív terítési távolság” változik a tényleges terítési távolságtól és az ellenállás-kontrasztól függően.



4. ábra. $n=5$ terítési hányadosú, terelőáramú elméleti görbék $k=-0,98$ ellenállás-kontrasztnál

Рис. 4. Теоретические кривые фокусированного тока при $n=5$ отношении покрытия и контрасте сопротивления $k=-0,98$

Fig. 4. Focused current theoretical curves in case of $n=5$ spread ratio and $k=-0,98$ resistivity contrast

Vizsgáljuk a két terelős elrendezés „behatolásá”-nak változását, ha változtatjuk a terítési hányados (n) értékét. Ha $n \rightarrow \infty$, akkor a módosított unipól elrendezéshez jutunk. Ha csökkentjük n értékét, akkor csökken a „behatolás” is a bal oldali szakaszon, míg nő a jobb oldali szakaszon. Ezért nevezik a karotázsnál az $n=5$ terítési hányadosú laterológót beljebb hatolóknak, míg az $n=2,5$ terítési hányadosút optimálisnak.

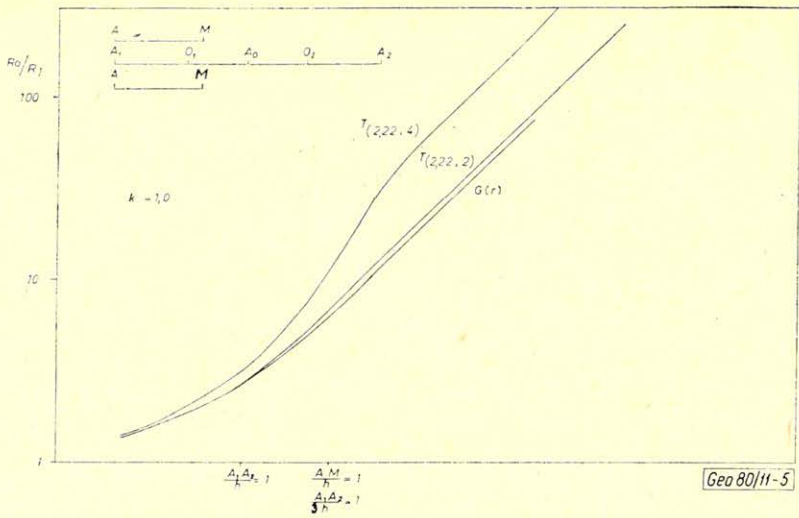
$n=2,22$ -nél a bal és jobb oldali szakaszon közelítőleg megegyezik az „effektív terítési távolság”.

$k=+1,0$ ellenállás-kontrasztnál (5. ábra).

$$(r_{\text{eff}})_{T(2, 22; 2) + 1} = 2,13 A_1 A_2.$$

$k=-0,98$ ellenállás-kontrasztnál (6. ábra)

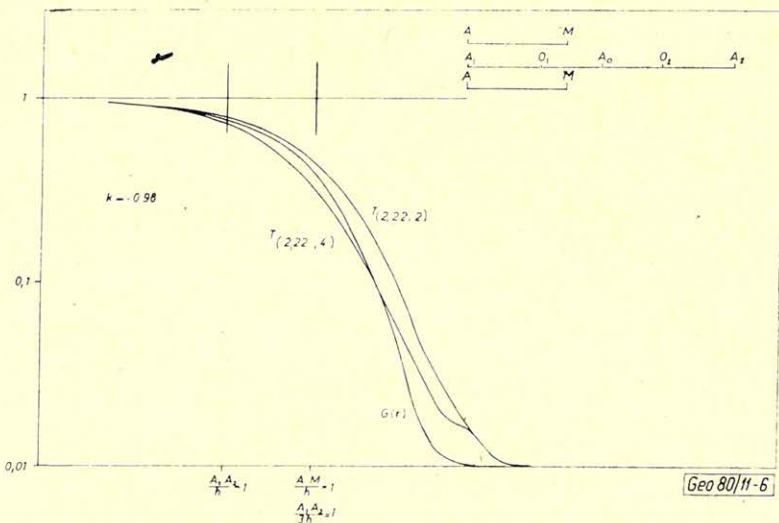
$$(r_{\text{eff}})_{T(2, 22; 2) - 0,98} \sim 0,3 A_1 A_2,$$



5. ábra. $n=2,22$ terítési hányadosú, terelőáramú elméleti görbék $k = +1,0$ ellenállás-kontrasztnál

Рис. 5. Теоретические кривые фокусированного тока при $n=2,22$ отношении покрытия и контрасте сопротивления $k = \pm 1,0$

Fig. 5. Focused current theoretical curves in case of $n=2,22$ spread ratio and $k = +1,0$ resistivity contrast

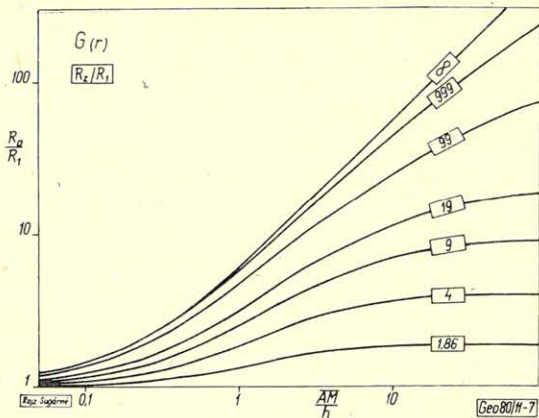


6. ábra. $n=2,22$ terítési hányadosú, terelőáramú elméleti görbék $k = -0,98$ ellenállás-kontrasztnál

Рис. 6. Теоретические кривые фокусированного тока при $n=2,22$ отношении покрытия и контрасте сопротивления $k = -0,98$

Fig. 6. Focused current theoretical curves in case of $n=2,22$ spread ratio and $k = -0,98$ resistivity contrast

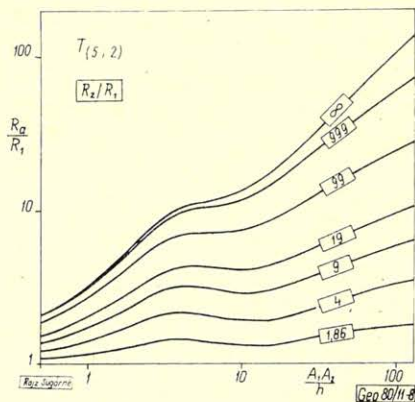
Elrendezés	Wenner	Gradiens	Potenciál	Módszertípus unipól	2 terelő		4 terelő	
					n=5		n=5	
					n=2,22	n=5	n=2,22	n=5
$(r_{eff})_{+1}$	0,47 AB	0,5 AB	5,7 AM	2,85 A_1A_2	bal	2,1 A_1A_2	bal	2,1 A_1A_2
					jobb	2,1 A_1A_2	jobb	5,7 A_1A_2
$(r_{eff})_{-0,98}$	$\sim 0,25$ AB	$\sim 0,3$ AB	$\sim 1,0$ AM	$\sim 0,5$ A_1A_2	bal	$\sim 0,3$ A_1A_2	bal	$\sim 0,42$ A_1A_2
					jobb	$\sim 0,3$ A_1A_2	jobb	$\sim 0,42$ A_1A_2
(h_{eg})	0,11 AB	0,125 AB	0,35 ² AB	0,175 A_1A_2				$\sim 0,06$ A_1A_2



7. ábra Két réteges, potenciál elrendezésű elméleti görbesereg

Рис. 7. Семейство теоретических двухслойных кривы для потенциального расположения

Fig. 7. Theoretical set of curves in case of a two-layers potential arrangement



8. ábra. Két réteges, n=5 terítési hányadosú, 2 terelő elméleti görbesereg

Рис. 8. Семейство теоретических двухслойных кривых при двойной фокусировке и n=5 отношении покрытия

Fig. 8. Theoretical set of curves in case of 2 focused currents with n=5 spread ratio

amely mindkét esetben megfelel egy olyan potenciál elrendezésnek, melynél $AM \sim AA_0$.

A „behatolást” növelhetjük, ha két egymásra merőleges irányban terelünk (négy terelő, 1. ábra). Pozitív ellenállás-kontrasztnál a jobb oldali szakasz „effektív terítési távolsága” nagyobb. $n=5$ -nél relatív maximuma is van, ami $n=2,22$ -nél eltűnik.

$k = +1,0$ ellenállás-kontrasztnál (3. és 5. ábra) bal oldali szakaszon

$$(r_{\text{eff}})_{T(5; 4)+1} = 2,8 A_1 A_2 \text{ és}$$

$$(r_{\text{eff}})_{T(2, 22; 4)+1} = 2,1 A_1 A_2,$$

jobb oldali szakaszon

$$(r_{\text{eff}})_{T(5; 4)+1} = 8,5 A_1 A_2 \text{ és}$$

$$(r_{\text{eff}})_{T(2, 22; 4)+1} = 5,7 A_1 A_2.$$

$k = -0,98$ ellenállás-kontrasztnál (4. és 6. ábra) bal oldali szakaszon

$$(r_{\text{eff}})_{T(5; 4)-0,98} \sim 0,56 A_1 A_2 \text{ és}$$

$$(r_{\text{eff}})_{T(2, 22; 4)-0,98} \sim 0,42 A_1 A_2,$$

jobb oldali szakaszon

$$(r_{\text{eff}})_{T(5; 4)-0,98} \sim 0,06 A_1 A_2 \text{ és}$$

$$(r_{\text{eff}})_{T(2, 22; 4)-0,98} \sim 0,42 A_1 A_2.$$

Az eddig tárgyalt elrendezésekre a „behatolási mélységeket” és „effektív terítési távolságokat” a 2. táblázatban foglaltuk össze.

Láthatjuk, hogy egy mérő- és egy tápelektroda végtelenbe helyezése, vagy terelőáramkör alkalmazása megnöveli a „behatolást”. Szimmetrikus négyelektrodás elrendezéshez viszonyítva a „behatolás” rohamosan nő, ha $k > +0,8$.

A 7. és 8. ábrán, ahol a potenciál, illetve 2 terelő elrendezésre számított két réteges elméleti görbék láthatók, leolvasható egy másik sajátosság, ami $k > +0,8$ ellenállás-kontrasztnál jelentkezik. Összehasonlítva a szimmetrikus négy elektrodás elrendezés elméleti görbéivel, azt tapasztaljuk, hogy $R_2/R_1 > 9$ -nél javult a felbontóképesség a két elektrodás potenciál, illetve a 2 terelő elrendezésnél.

Az elmondottakból következik, hogy a potenciál elrendezést és a terelőáramú módszert akkor alkalmazhatjuk előnyösen, ha nagy ellenállású rétegeket akarunk szétválasztani, aminek a szétválasztására a szimmetrikus négy elektrodás és a dipol elrendezés alkalmatlan. Mivel a $T_{(5; 2)}$ görbék bal oldali szakasza azonos lefutású a $G(r)$ görbékével, és a potenciál elrendezés behatolása nagyobb, így elsősorban a potenciál elrendezés alkalmazása indokolt az előbb említett speciális esetben. A termelőáramos módszer nagyon érzékeny minden aszimmetriára, ezért szondázásánál akkor célirányos alkalmazni, ha oldalhatásokat akarunk kimérni, illetve korrekcióval kiküszöbölni.

Potenciáltérképezés analóg modellezése

S Z A R K A L Á S Z L Ó

Szigetelő aljzatú kétréteges féltérben a tápelektrodák között elhelyezkedő nagyellenállású kiemelkedések hatását mértük meg. A modellmérési adatokból mélységszámítási eljárással hatófelületeket határoztunk meg, amelyeknek a tényleges szerkezetekkel való összehasonlítása hasznos információt szolgáltat a terepi mérési módszer, valamint az adatfeldolgozási eljárás alkalmazhatóságára nézve.

В Геодезическом и Геофизическом Институте Венгерской Академии Наук работает электромагнитный моделирующий инструмент. Эта установка может помогать при решении полевых разведочных проблем, где применяют несколько геоэлектрических методов.

Эта работа написана о моделировании потенциального картографирования. При наличии двухслойной среды, где нижний слой имеет бесконечновысокое сопротивление, определили эффекты антиклиналей с бесконечновысоким сопротивлением находящиеся между электродами А и В, расположенными на поверхности нижнего слоя. Из измеренных величин определили поверхности геоэлектрического раздела сред. Сопоставление этих разделов с реальными разделами даёт полезные информации для применимости этого метода при полевых условиях и процесса обработки данных.

The electromagnetic modelling laboratory working at the Geodetic and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences helps to solve field exploration problems arising at some geoelectric methods.

The present paper deals with modelling of the potential mapping method.

Ininitely high resistivity anticlines have been put on the boundary surface of a two-layered half-space. (The bottom layer also has an infinitely high resistivity). Effects of these anticlines situated between the A and B electrodes have been measured. The surface of the geoelectric discontinuity has been determined from the measured data by a depth-calculating procedure. A comparison of these calculated surfaces to the real structures gives useful informations for the applicability of the field measuring- and calculating methods as well.

Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézetében elektromágneses modellező laboratórium működik, amely segítséget képes nyújtani néhány geoelektromos kutatási módszerrel végzett terepi kutatási feladat megoldásához.

Ez a dolgozat a potenciáltérképezés modellezéséről számol be.

1. Bevezetés

Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete, a Geofizikai Kutató Válat és az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet közös összefogásával Sopronban, az MTA GGKI székházában elektromágneses modellező laboratórium épült.

A modellező laboratórium létrehozásáról, rendeltetéséről, szakmai lehetőségeiről egy másik dolgozatban számolunk be. Az eredeti tervek szerint ez a berendezés elektromágneses frekvenciaszondázásra, szelvénymérésekre használható, a későbbiekben majd MT-mérésekre is alkalmas lesz, de kisebb-nagyobb átalakításokkal az eredeti funkcióján túlmenően már most többfajta geoelektromos kutatómódszer modellezését teszi lehetővé.

Ebben a dolgozatban a modellező berendezés egyik ilyen átalakításáról, az egyenáramú potenciáltérképezés (PM) modellezésének megoldásáról és néhány PM-modellezési eredményről számolunk be.

2. A modellezhetőség vizsgálata

A modelltörvény betartása mellett, a figyelembe veendő paraméterek az alábbiak:

– L lineáris méretek

A modellező berendezés része egy $4,0 \cdot 3,0 \cdot 0,5$ m méretű kád. A megvalósítható méretek így legfeljebb méter nagyságrendűek lehetnek.

– ρ fajlagos ellenállás

A kádat különböző koncentrációjú konyhasóoldattal vagy csapvízzel tölthetjük meg, így az oldat fajlagos ellenállása $0,06 \Omega\text{m}$ -tól $20 \Omega\text{m}$ -ig változhat. Ez az oldat jelenti az első (jól vezető) réteget, a kád műanyagból készült alja és az az alatti anyagok szigetelő aljszatot képviselnek.

– μ mágneses permeabilitás

Értéke a vákuumbeli μ_0 mágneses permeabilitással azonosnak vehető.

– ω körfrekvencia

Ez a legtágabb határok között változtatható paraméter. Az alkalmazott $\omega = \omega(L, \rho, \mu)$ frekvencia megfelelő értékének meghatározására számításokat végeztünk. Megnéztük, hogy a váltóáramú tér (amit a modellezés során előállítunk), valamint az egyenáramú tér (amit modellezünk) alapegyenleteiből leszármaztatott térjellemzők eltérése milyen modellezési paraméterek esetén lesz egy előre megadott hibakorlátnál kisebb.

A többféle módon végzett közelítő számítás eredményei:

a) a kádat csapvízzel ($\rho = 20 \Omega\text{m}$) feltöltve a PM-térképezés modellezése megvalósítható néhányszor 10 kHz frekvencián, tehát a berendezés eredeti generátorával is, azt a frekvenciatartomány alsó határán működtetve.

b) a kádban bennlevő és szokásosan használt $0,07 \Omega\text{m}$ fajlagos ellenállású közeget meghagyva, a modellezés a néhány száz Hz-es frekvenciatartományban is elképzelhető, amihez közönséges hangfrekvenciás generátor alkalmazható.

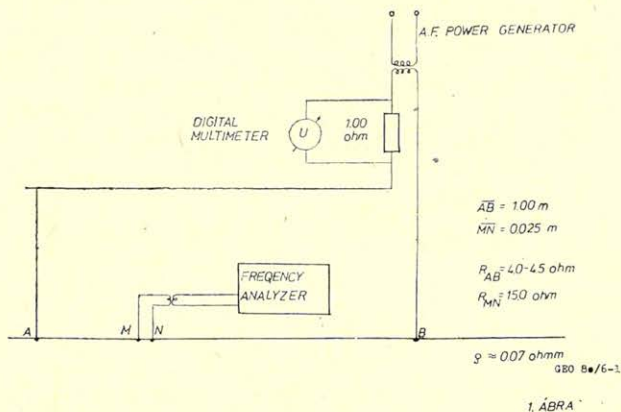
3. Technikai megoldás

Tekintve, hogy teljesítmény-hanggenerátor segítségével az eredeti modellező berendezés generátorával összevetve mintegy 20 -szoros jel/zaj arány növekedést reméltünk, a mérősorozatot nem az eredeti modellező berendezés elektronikájával, hanem a GGKI saját műszerparkjából összeállított berendezéssel végeztük el.

A mérési blokkvázlatot és a legyártott elektródák adatait az 1. ábrán láthatjuk.

A tápelektrodákat az elektródatartó rúd segítségével engedjük bele az oldatba.

A kád mérésre használt területe homogén volt.



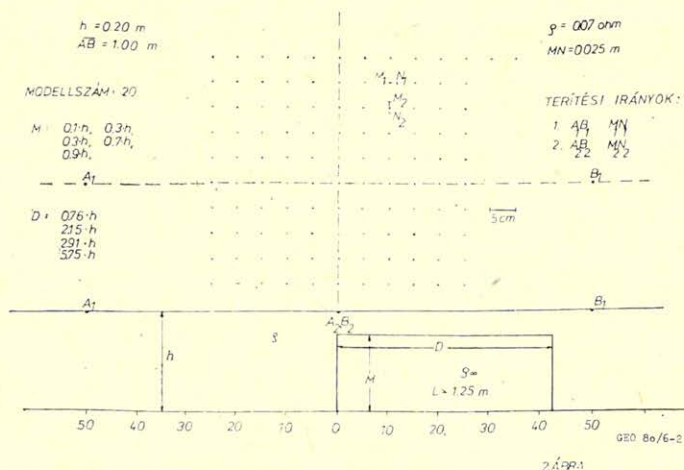
1. ábra. A mérés technikai elrendezése

Рис. 1. Техническое устройство измерения

Fig. 1. Technical arrangement of the measuring system

4. A kitűzött feladat

Az egyenáramú PM-térképező módszer modellezésére alkalmassá alakított geoelektromos modellező berendezéssel elsőként a 2. ábrán közölt mérési feladatot oldottuk meg.



2. ábra. A mérési feladat paramétereit

Рис. 2. Параметры моделированной проблемы

Fig. 2. The parameters of the modelling problem

A mérésorozat megkezdése előtt (és közben is) horizontálisan homogén kétréteges féltér fölött hitelesítő potenciáltérképezést végeztünk. (Erre az esetre a mérési pontokra kapható potenciálkülönbségek zárt képletekkel számíthatók). A mért és a számított, térképekből előállított hányadosotérkép mutatja a 3. ábra. Látható, hogy a maximális relatív hiba 5%. Ha figyelembe vesszük, hogy az eltérések eloszlása a térképen nem véletlenszerű, hanem — feltehetően — különböző geometriai beállítási hibák felhalmozódásának következménye, akkor a kapott értékek egy korrekcióval még tovább pontosíthatók.



3. ábra. A mért és számított potenciálkülönbségek hányadosai kétréteges féltér felszínén

Рис. 3. Частные измеренных и вычисленных разниц потенциалов на поверхности двухслойной среды

Fig. 3. Ratios of measured and calculated potential differencies on the surface of a two-layered half-space

Miután a mérési sorozat várható pontosságáról meggyőződünk, térjünk vissza a modellparaméterekre!

Hosszú (kétdimenziósnaak tekinthető), különböző szélességű és magasságú nagyellenállású medencealjzat-kiemelkedés anomáliáját határoztuk meg. (A szerkezetek szigetelő voltát az alkalmazott modelltest anyagi tulajdonságai garantálják; a kétdimenziósság meglétét kísérletileg vizsgáltuk. Esetünkben a kétdimenziósság feltételét mindig biztosítottuk, amennyiben a modelltest hossza a terítés hosszát meghaladta.)

A szerkezeteket két, egymásra merőleges terítés esetén mértük be:

- az AB -vonal a kiemelkedésre dőlésirányú,
- az AB -vonal a szerkezet széle fölött (csapásirányban) halad keresztül.

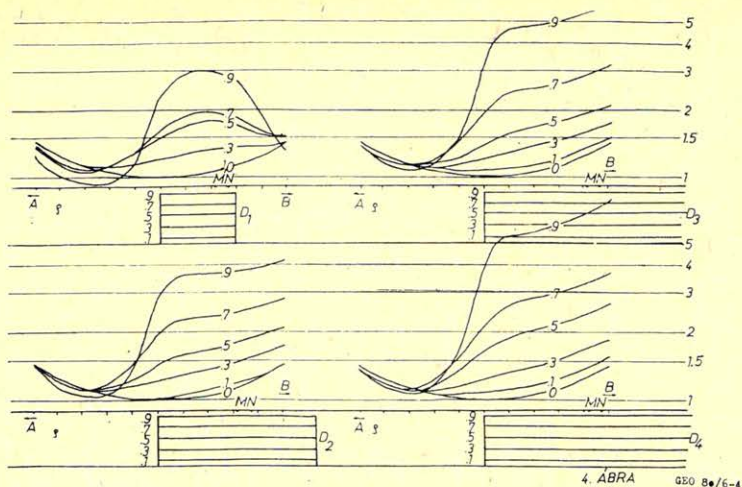
Mindenkor az AB -irányú (E_x) elektromos komponenst mértük.

A mért térerősségeket a szelvény középpontjában, kétréteges esetben kapható értékekre vonatkoztattuk. A dőlésirányú terítés ezen szelvényei a 4., a csapásirányú terítés szelvényei az 5. ábrán láthatók.

5. A mérési anyag feldolgozása

A potenciáltérképeket az [1]-ben ajánlott algoritmus alapján számítógéppel dolgoztuk fel.

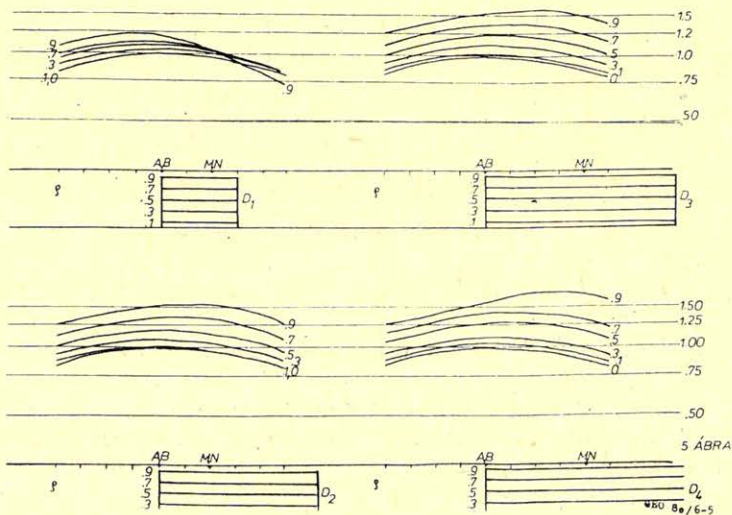
A módszer korlátainak, a kihasznált elméleti feltevéseknek a tudatosítása céljából érdemes röviden áttekinteni a feldolgozás lépéseit.



4. ábra. Nagyellenállású kiemelkedések fölött csapásirányban mért szelvények

Рис. 4. Измеренные профили над антиклиналями, имеющими высокое сопротивление при профилировании по простиранию

Fig. 4. Measured profiles above high resistivity structures along strike direction



5. ábra. Nagyellenállású kiemelkedések fölött dőlésirányban mért szelvények

Рис. 5. Измеренные профили над антиклиналями, имеющими высокое сопротивление при профилировании по наклону

Fig. 5. Measured profiles above high resistivity structures along dip direction

Szigetelő aljzatú kétréteges feltér fölött egy elektróda potenciálja a tőle R távolságban levő felszíni pontban, a szokásos jelölések alkalmazásával:

$$U(R) = \frac{I \varrho}{2 \pi} \left[\frac{1}{R} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{R^2 + (2nh)^2}} \right] \quad (1)$$

A koordinátarendszer 2. ábra szerinti felvételével az A , B tápelektrodák terében az (x, y) pontban mérhető $E_x(x, y)$ térerősség:

$$E_x(x, y) = \frac{\partial U_A(R_A)}{\partial x} + \frac{\partial U_B(R_B)}{\partial x} \quad (2)$$

Figyelembe véve, hogy $r = AB/2$ és ha élünk az

$$R_A = \sqrt{(r+x)^2 + y^2} \quad \text{és} \quad R_B = \sqrt{(r-x)^2 + y^2}$$

összefüggésekkel, akkor E_x -en elvégezhetjük az x szerinti parciális differenciálást és a kapott kifejezést végül az alábbi alakra hozhatjuk:

$$E_x(x, y) = \frac{I \varrho}{2 \pi} \left\{ \frac{r+x}{[(r+x)^2 + y^2]^{3/2}} \left[2 \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{(r+x)^2 + y^2}{(r+x)^2 + y^2 + (2nh)^2} \right)^{3/2} + 1 \right] \right\} + \\ + \frac{I \varrho}{2 \pi} \left\{ \frac{r-x}{[(r-x)^2 + y^2]^{3/2}} \left[2 \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{(r-x)^2 + y^2}{(r-x)^2 + y^2 + (2nh)^2} \right)^{3/2} + 1 \right] \right\} \quad (3)$$

Felismerhetők a $p = \sqrt{(r \pm x)^2 + y^2}$ -hez tartozó ún. kétréteges normálgörbék:

$$G(p) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{p^2}{p^2 + (2nh)^2} \right]^{3/2} + 1 \quad (4)$$

Bebizonyítható, hogy amikor $p/h_1 > 2$, a $G(p) \approx p/h_1$. Ekkor beszélünk az S-tartományról.

Ilyenkor

$$E_x(x, y) = \frac{I \varrho}{2 \pi} \left[\frac{r+x}{(r+x)^2 + y^2} + \frac{r-x}{(r-x)^2 + y^2} \right] \quad (5)$$

Látható, hogy az alábbi feltételek együttes teljesülésekor:

- horizontálisan homogén kétréteges esetben,
- az S-tartományban

az $E_x(x, y)$ függvényből a réteghatár h mélysége az (5) segítségével valóban meghatározható.

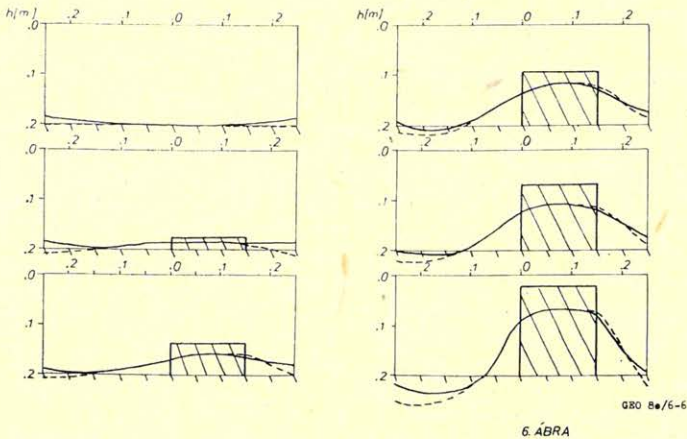
Nyilvánvaló, hogy horizontális inhomogenitás esetén az első feltétel nem teljesül, és a terepen előre nem lehetünk tökéletesen biztosak a második feltétel teljesülésében sem, az általánosan használt mélységszámítási eljárásokban mégis mindkét kikötéssel élünk.

6. Értelmezés

Szembesítsük egymással az anomáliát okozó horizontális inhomogenitásokat és a modellek fölött mért E_x értékekből a mélységszámítási eljárással nyert hatófelületeket!

A 6. ábrán hat, dőlésirányú AB-vonal mentén számított mélységszelvényt mutatunk be. A kétréteges feltér fölött kapott szelvényen kívül a D_1 szélességű sasbérc-sorozat esetére mutatunk be mélységszelvényeket.

A folytonos vonallal kihúzott görbe az (5) alapján számított mélységszelvényt ábrázolja, míg a szaggatott vonallal berajzolt szelvényszakaszoknál figyelembe vettük azt, hogy a kétréteges normálgörbének nem az S-tartománybeli, hanem egy közbülső szakaszát kell érvényesnek venni. Ennek értelmében a szaggatott vonalakat az általánosabb, (3) összefüggésnek az adott esetre alkalmazható közelítésével számítottuk. A 6. ábra szerint is így visszanyerhető a kétréteges feltér h mélységű határfelülete.



6. ábra. A modellmérési adatokból számított, valamint a tényleges szerkezetek sorozata

Рис. 6. Серия высчитанных структур, полученных из измеренных данных и реальных структур

Fig. 6. Series of structures, calculated from modell-measurements and real structures

Látható, hogy a sasbércek magasságának növekedésével mindkét mélységszelvény egyre hamisabb értékeket szolgáltat függetlenül attól, hogy éltünk-e az S-tartomány feltételezéssel (második feltétel) vagy nem.

A növekvő torzulások oka az, hogy a mélységszámítási eljárásban a kétréteges feltér kikötést (az első feltételt) egyre durvábban sértjük meg.

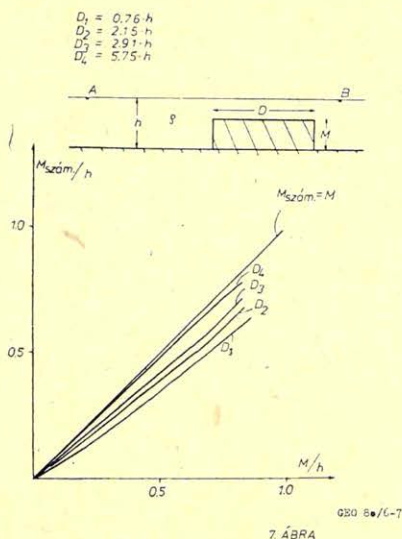
Ennek ellenére a meghatározható mélységek követik a valódi hatófelületet.

A mérési adatok alapján összeállítható egy kiértékelő görbe, ami – a két tápelektroda vonalára merőlegesen elhelyezkedő – kétdimenziósnak tekinthető, nagyellenállású inhomogenitásnak a valódi és a mélységszámítási eljárással kapott magassága közötti összefüggést adja meg a sasbérc szélességének a függvényében.

A 45° -os egyenes jelentené a számított és a valódi magasság azonosságát. Ez csak $D \gg AB$ esetben következne be. A D szélesség csökkenésével a hagyományos kiértékelési eljárással a valódihoz képest egyre kisebb magasságok határozhatók meg.

A tényleges és a számított magasságok összefüggését megadó görbesorozat segítséget nyújthat a szigetelő aljzat realisabb mélységének meghatározásában.

Az egyenáramú PM-modellezés következő programja többek között olyan háromdimenziós hatók (bauxittöbrök) modellezése lesz, amelyek – bizonyos megkötésekkel – numerikusan is modellezhetők.



7. ábra. Az A , B elektródák között elhelyezkedő nagyellenállású kiemelkedések tényleges, valamint a mélységszámítási eljárással meghatározható magasságainak összefüggése

Рис. 7. Связь между реальными толщинами антиклиналей расположенных между электродами A и B и толщинами, полученными по глубино-определяющему методу

Fig. 7. Relation between altitudes of high resistivity structures situated between the A and B electrodes and those determined by a depth-calculating procedure.

A frekvenciaszondázáson túlmenően továbbra is célunk, hogy másfajta – elsősorban egyenáramú – elektromos módszerek modellezésével is kísérletezzünk, mint például a fúróluk-elektroda módszerrel, vagy olyan elrendezésekkel, ahol az összes táp- és mérőelektrodát az oldatba süllyesztjük.

Végezetül köszönetet mondok az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet Szilárd Ásványtelepek Kutatási Főosztályán dolgozó kollégáknak, akik a mérés elvégzésére megbízást adtak és a munkámat konzultációkkal segítették.

IRODALOM

1. Simon A.: A potenciáltérképezések elmélete, néhány feldolgozási módszer. MÁELGI belső jelentés, 1974.
2. Szarka L.: 3. sz. EML-jelentés a MÁELGI részére.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>И. Барат—Л. Морваи Л. Сендрэ:</i> Система интерпретации геофизических данных глубинного бурения на вычислительной машине	161
<i>И. Балог:</i> Модель для определения содержания алюминия в бокситах на основании нейтрон-активационных каротажных измерений	170
<i>Ж. Комлоши:</i> Применение методов математической статистики при геофизической интерпретации данных глубинного бурения	179
<i>П. Егерсегги:</i> Влияние положения электродов и применения двух цепей питания при геоэлектрическом зондировании	185
<i>Л. Сарка:</i> Аналоговое моделирование потенциального картографирования	193

CONTENTS

<i>I. Baráth—L. Morvai—D. Szendrő:</i> Interpretation system of well log geophysical data using a computer of type R—35	161
<i>I. Balogh:</i> Model for alumina content determination of bauxites on the basis of neutron activation well loggings	170
<i>Zs. Komlósi:</i> Application of mathematical statistics with the geophysical interpretation of well logs	179
<i>P. Egerszegi:</i> Effect of the location of electrodes and of the use of two feeding circuits with geoelectric soundings	185
<i>L. Szarka:</i> Analogue modelling of potential mapping	193

MAGYAR GEOFIZIKA

A szerkesztésért felelős: Dr. Sebestyén Károly

A szerkesztőség címe: 1368 Budapest VI., Anker köz 1. Telefon: 429-754

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, 1073 Budapest, Lenin körút 9—11. Telefon: 429-350, Levélcím: 1906 Budapest, Pf. 223

Felelős kiadó: Siklósi Norbert igazgató

80.616. Állami Nyomda, Budapest. Felelős vezető: Bresztovszky Péter igazgató

Terjeszti a MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében

Megjelenik évente hatszor

Index: 26 507

Global