

Természetes gamma-spektrum és termikus neutronokkal gerjesztett gamma-spektrum mérése bizmut–germanát szcintillációs detektoros mérőrendszerrel mélyfúrás geofizikai feladatoknál¹

HENÉZI FERENC², KOLLÁR LÁSZLÓ², LOVAS ANDOR², VÍZVÁRI ZOLTÁN²

Az elmúlt évtizedben fokozatosan egyre nagyobb mértékben teret nyertek a kőzetek természetes gamma-sugárzásának fúrólukokban végrehajtott kvalitatív, valamint kvantitatív vizsgálati módszerei. Az egyik legfontosabb szelvényezési eljárás a kőzetek természetes gamma-sugárzásának sugárösszetétel szerinti meghatározása, a természetes gamma-spektrum mérése.

A digitális technika elmúlt időszakban végbemenő ugrásszerű fejlődése lehetővé teszi egyes technológiai megoldások geofizikai mérőrendszerekben történő alkalmazását. A digitális adatátviteli, a számítástechnikai adatfeldolgozási eljárások teljesen új alapokra helyezték a geofizikai mérések adatátviteli módszereit, illetve a mérés során alkalmazott szoftvereket is teljes mértékben más követelmények elé állították.

Az új geofizikai mérési metodika lehetővé teszi a mérési eredmények feldolgozását, illetve az egyéb szükséges számítási eljárások, a különböző korrekciók elvégzését magában a fúrólukban levő szondában. A feldolgozott mérési eredmények digitális adatcsomagként kerülnek a felszíni adatfeldolgozó és rögzítő egységbe. A feldolgozó szoftver már a terepen lehetővé teszi a mérési eredmények azonnali kiértékelését, értelmezését a megrendelő igényeinek figyelembe vételével. A mérési adatok digitális formában történő tárolása lehetőséget ad a terepi mérési eredmények feldolgozó központba történő azonnali továbbítására, amely lehetővé teszi az eredmények nagyon rövid időn belüli kontrollját. A megrendelő a mérés befejezését követően már megismerheti annak eredményeit.

A fentienek megfelelően kifejlesztettünk egy olyan új mérő, kalibráló és adatfeldolgozó rendszert, amelyet terepi mérések során több alkalommal sikeresen kipróbáltunk.

F. HENÉZI, L. KOLLÁR, A. LOVAS, Z. VÍZVÁRI: Determination of natural gamma spectra and gamma spectra excited by termic neutrons using bismuth–germanat scintillometers at well logging

In past decades the qualitative and quantitative investigations of natural gamma radiation of rocks carried out in boreholes have got more and more widely used. One of their most important logging technique is the determination of natural gamma spectrum.

Recent developments of digital technology render the application of new techniques also in geophysical measuring systems possible. Available digital data transfer and processing techniques reshaped the geophysical data transfer methods and provided entirely new requirements for geophysical softwares applied at measurements.

The new geophysical measuring method makes the necessary correction and processing of measured data in site, within the probe in borehole, possible. The processed data are transferred into the surface processing and recording unit in form of digital data packages. The processing software provides real time data processing and interpretation in site, taking into account the requirements of the customer, too. The digital storage of data serves an instant transfer of field data to the data processing centre, ensuring the immediate control of results. The user can receive the results as soon as the measurement has finished.

With respect to the above written, we have developed a new calibration, measuring and data processing system proved in field applications several times.

1. Bevezetés

A kőzetek radioaktivitását a bennük felhalmozódott természetes eredetű radionuklidok — elsősorban az urán (²³⁵U, ²³⁸U), tórium (²³²Th) és bomlástermékeik, valamint a kálium (⁴⁰K) — okozzák. A radioaktív elemek bomlási formái közül — az α - és β -sugárzások kicsi áthatoló-képessége, illetve gyors elnyelődése miatt — fúrólukban hatékonyan csak a γ -sugárzás mérhető.

Természetes körülmények között a kőzetek radioaktív elemtartalmát legjobban a γ -sugárzása jellemzi. A földtani kutatások során legáltalánosabban alkalmazott radioaktivitáson alapuló geofizikai vizsgálati módszer a γ -

sugárzás integrál dózisintenzitásának mérése, a természetes γ -spektrum szelvényezés.

Az észlelt γ -sugárzás kvalitatív, illetve kvantitatív összetételének megállapítása megmutatja, hogy mely radioaktív elemek milyen arányban járulnak hozzá a vizsgált kőzet természetes radioaktivitáshoz, valamint meghatározható az aktív anyagok mennyiségi aránya is [KISS, QUITNER 1971].

2. Előzmények

A Karotázs Kft. a természetes és neutronforrásokkal gerjesztett γ -sugárzások energiaszelektív detektálására, műszer- és módszerfejlesztési pályázatot nyert (GVOP–3.3.3–05/1–2005–05–0123/3.0), a 2005. október 01. – 2007. szeptember 30. közötti időszakban.

Az elnyert projekt több részből állt:

¹ Beérkezett: 2008. május 6-án; elfogadva: 2009. június 18.

² KAROTÁZS Tudományos Műszaki és Kereskedelmi Kft.
7634 Pécs, Kövirág u. 39. Tel.: 06 72 224 999

1. A γ -spektrum mérés tudományos–technikai alapjai, korszerű eszközei (tanulmány), karotázs szelvényező berendezés tervezése, megvalósítási javaslatok. A γ -spektrum-szelvényező (karotázs) berendezés elkészítése (szonda, felszíni egység), üzembeállítása.
2. Kalibrálási metodika kidolgozása, a szelvényezések minőségbiztosítása.
3. γ -spektrum-szelvényezések, esettanulmányok, integrált értelmezés.
4. Neutronokkal gerjesztett elemek γ -spektrum mérésének kidolgozása, a mérések értelmezése.

3. A gamma-sugárzás tulajdonságainak rövid összefoglalása

A γ -sugárzás során a gerjesztett állapotú atommag alacsonyabb energiájú állapotba kerül, és az energiakülönbség (keV – MeV tartomány) foton kisugárzásával távozik. A gerjesztés lehet természetes, vagy mesterséges. A γ -sugárzás hatótávolsága a levegőben több 100 m, a nagy tömegszámú elemek hatékonyan gyengítik. A sugárzás során nem változik meg a sugárforrás tömegszáma és rendszáma.

A γ -sugárzás vonalas spektrumú, ún. karakterisztikus sugárzás, melynek energiája jellemző a kibocsátó kémiai elemek izotópjaira. Detektálása során a fotonok egy alkalmasan megválasztott közegen (mely spektrális γ -szelvényezés esetén valamilyen szcintillációs detektor) haladnak át, miközben ionizálják azt. A detektor gyakran NaI(Tl), vagy Ge(Li) – Si(Li) detektor. [FEDOR 2007]

4. A mérőrendszer

A mérőrendszer fő elemei:

1. hardver egységek;
2. működtető (kalibráló és mérő) szoftver.

A γ -spektrum szelvényező mérőrendszer hardver egységei a következő fő részekből állnak:

- gamma-spektrummérő szonda;
- karotázs kábel;
- felszíni egység.

A γ -spektrummérő szondánk 80°C-t nem meghaladó talphőmérséklet esetén energiaszelektív szcintillációs detektoros sugárzásmérést tesz lehetővé. A mérés elve: a szcintilláló anyagba (esetünkben bizmut–germanát $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, továbbiakban BGO) behatoló sugárzás (esetünkben γ -fotonok) energiáját részben, vagy egészben leadja, a γ -fotonok energiájával arányosan gerjeszti a szcintillátort. A leadott energia fluoreszcencia fotonok formájában emittálódik. A detektor fontos tulajdonsága, hogy az így felszabaduló fotonokra átlátszó. Az emittált fényjel optoelektronikai erősítése fotoelektron sokszorozóval (FES) történik. A szcintillátorból a fotokatódra érkező fotonok fotoelektronokat hoznak létre, amelyeket úgy irányítanak, gyorsítanak, hogy elérjék a FES első dinódáját. A FES dinódarendszerében a fotoelektronok számától függő töltésimpulzus, ennek hatására az anódján feszültségimpulzus keletkezik. [NAGY, LÁSZLÓ 1997]

Az impulzusok amplitúdóját digitalizáljuk és minden kvantálási szinthez egy memóriarekeszt rendelünk (sokcsatornás amplitúdó analízátor). A vízszintes tengelyen az energiát ábrázoljuk keV-ben, a függőlegesen pedig a ΔE

energiacsatornában begyűjtött relatív impulzusok gyakoriságát. Ily módon ábrázolva kirajzolódik a nukleáris spektrumgörbe, melyeknek csúcsai (maximumai) alapján nuklidazonosítás is történhet.

A DSP (digitális jelfeldolgozás) technika alkalmazásával több száz mintát veszünk a szcintillációs impulzusból és szűrési, csúcskeresési algoritmusokkal határozzuk meg a pontos amplitúdót. Így pontosabban, stabilabban végezhető el a mérés.

A karotázs méréseknél probléma forrása lehet a mérési adatok továbbítása a hosszú kábelén, ezért célszerűen a teljes jelfeldolgozás a szondában történik, majd a felvett spektrumot digitális adatcsomagként a felszíni adatgyűjtő egységbe továbbítjuk. A széles üzemi hőmérséklettartomány miatt automatikus spektrumstabilizálás alkalmazása is szükséges.

Szcintillációs detektorként BGO kristályt alkalmazunk, ugyanis a bizmut–germanát kristály fizikai paraméterei (a NaI(Tl) kristálynál jelentősen nagyobb sűrűsége) miatt a magasabb energiatartományban jobb energiafelbontást, nagyobb hatásfokot biztosít.

A projekt megvalósítása során szoftverfejlesztésre is sor került. Az elkészített program az energiaablak-határok — melyeket a tartalomszámításhoz használ föl — megadásával alkalmas a mérőrendszer automatikus kalibrálására. Továbbá, kalibráló etalon-modellekben történő méréssel határozza meg a spektrális koeficienseket (stripping faktorok), amelyeket digitálisan tárol. A mérések során megjeleníti az energiaablakokban gyűjtött impulzusszámokat, kiszámítja a meghatározni kívánt sugárzóanyag koncentrációkat (K, U, Th, illetve aktivációs mérésnél esetlegesen Na vagy Al), valamint (választhatóan) ezeket szelvényen ábrázolja. Természetesen lehetőséget nyújt a rögzített spektrumok, szelvények utólagos szerkesztésére és exportálására különböző fájlformátumokra.

5. A gamma spektrum mérőrendszer kalibrálása

A kalibrálás célja spektrális koeficiensek meghatározása, amelyek a gyakorlati terepi mérések alkalmával felvett γ -spektrumok kiértékelése során végzendő tartalomszámítások alapvető adatait képezik. A spektrális koeficiensek azt fejezik ki, hogy egységnyi anyagmennyiség (radioelem koncentráció) hatására mekkora impulzusszám jön létre az adott detektor, adott energiaablak esetén.

5.1. Kalibráló tömbök készítése

A gamma spektrum mérőrendszer kalibrálása etalonmodellek segítségével lehetséges. Az alapvetően uránérc-kutatás céljaira készített kalibráló etalon-tömbök radioaktív anyagtartalma többszöröse a környezetvédelmi feladatokhoz célszerűen alkalmas modelleknek, ezért új etalonmodellek elkészítése mellett döntöttünk.

A kalibráló etalon-tömbök határoló felületeit műanyagból alakítottuk ki, ami a felmerülő más etalon-moddal tervezési alternatívákhoz képest tömeg- és költségcsökkenést eredményezett. Az alkalmazott kemény PVC (PVC-U) csövek anyaga vegyszer- és korrózióálló, lágyítószermentes polivinilklorid. Ezáltal a tervezés jelentős mértékben leegyszerűsödött, statikai méretezést nem igényelt.

Az etalon-moddalhoz (1. ábra) felhasznált anyagok:

- PVC henger (átmérő: 315 mm, falvastagság: 7,7 mm);
- PVC cső (átmérő: 75 mm, falvastagság: 3,6 mm);
- műanyag zárólapok (355 × 355 × 20 mm, az átlók metszéspontjában 63 mm átmérőjű furattal);
- a fedőlapokat összekötő 4 db, egyenként műanyag csőbe helyezett fémrúd biztosítja a stabil rögzítést és a mobilizálhatóságot.

A kalibráló etalon-modellek térfogata (külön-külön) $\sim 35 \text{ dm}^3$.

A karotázs mérőműszerek kalibrációja céljából 4 db (egy U–Ra, egy Th, egy K és egy háttér) etalonanyag elkészítésére került sor. Az urán–rádium (U–Ra), és a tórium (Th) alapanyagául szolgáló anyagok radioaktív egyensúlyi állapotban lévő ércörlemények felhasználásával készültek (ezeket korábban a Mecseki Ércbányászati Vállalat által készített etalonanyagok előállítására használták). Az ércörleményeket szárítószekrényben 105°C -on szárították, majd törés, őrlés után tiszta kvarchomokkal keverték és homogenizálták. A keverék egyenletes 1 mm alatti szemcsemérettel jellemezhető homogenitását az anyag szűrőpróbaszerű megmintázását követő fajlagos aktivitásmérésekkel ellenőrizték. A homogenizálást addig folytatták, amíg 3 egymást követő minta fajlagos aktivitásának eltérése 5%-on belül adódott. A kálium (K) etalon alapjául a kereskedelmi forgalomban beszerezhető műtrágya szolgált. A háttér etalon (H) alapanyaga aktív elemeket nem tartalmazó kvarchomok. Az elkészített etalonanyagok radionuklid-összetételét félvezető detektoros γ -spektrometriai eljárással a Mecsekérc Zrt. laboratóriumában mérettük be. Ennek során az U–Ra etalonmintát speciális mintaedényekben hermetikusan lezárták a ^{226}Ra és ^{222}Rn közötti radioaktív egyensúly biztosításához és 3 hét kivárással végezték el a spektrumfelvételt.

A γ -spektrometriai bevizsgálás alapján az etalonanyagokra az 1. táblázatban bemutatott mennyiségi elemkoncentrációkat adták meg $\pm 5\%$ -os relatív hibával:

Etalon-modellek	Elemtartalom		
	Kálium (K) [m/m%]	Urán (U – Ra) [(m/m) ppm]	Tórium (Th) [(m/m) ppm]
Kálium (K)	47,1	0	0
Urán (U – Ra)	< 1,7	106	< 6
Tórium (Th)	< 0,01	0	198
Háttér (H)	< 0,2	< 0,2	< 0,6

1. táblázat. A kalibráló etalon-modelleink radionuklid-tartalom adatai

Table 1. Radionuclide content of standard models used by us

Általánosságban elmondható, hogy a modellek a γ -sugárzás szempontjából telített rétegben készülnek, azaz a rétegvastagság növelésével a mért beütésszám már nem növekszik. A kalibrált műszerek időszakos ellenőrzésére kisebb méretben készült, telítetlen modelleket is alkalmaznak. Ilyenek a gazdaságosságra és mobilizálhatóságra tekintettel a mi kalibráló etalon-modelleink is. Emiatt szükséges a telítetlen modellekben mért impulzusszámok korrekciója, amit a kalibráló szoftver automatikusan elvéggez.

Az általunk megadott fő paraméterek alapján a műszaki terveket és az etalon-modellek tartószerkezetét egy külső cég készítette el (1. ábra).



1. ábra. A mérőrendszer kalibrálásához használt etalon-modell

Fig. 1. Standard model used for the calibration of the measuring system

5.2. Elméleti megfontolások

A kalibrálás első lépéseként méréseket kell végeznünk minden tömbben. A kalibráló mérések elvégzésével rendelkezésünkre állnak az energiaablakokban mért háttérkorrigált, időegységre normált impulzusszám adatok, az etalonok elemkoncentráció értékei ismertek, és ezekből az ismeretlen spektrális koefficiensek kiszámíthatók. Feltételezzük a radionuklid koncentrációk és az energiaablakokban mért beütésszámok (impulzusszámok) lineáris kapcsolatát, valamint az egyes sugárzó elemektől származó hatások szuperpozícióját.

Az általunk alkalmazott energiaablak határokat a 2. táblázat foglalja össze (zárójelben a domináns sugárzást kibocsátó nuklid):

Energia- ablak (izotóp)	Energiaablak szélesség [keV]
K (^{40}K)	1350 – 1602
U (^{214}Bi)	1608 – 2010
Th (^{208}Tl)	2346 – 2850

2. táblázat. Az alkalmazott energiaablak szélességek

Table 2. Energy windows applied

A következőkben a spektrális koefficiensek (stripping faktorok) számításának egyik módját mutatjuk be 4 elem, 4 energiaablak esetében. A 4 elem közül három jelen esetben a K, U, Th, a negyedik pedig tetszőleges nuklid. Az első 3 energiaablak ennek megfelelően került kijelölésre (ld. 2. táblázat), a negyedik energiaablak határait pedig a tetszőleges nuklid radioaktivitásának tulajdonságai határozzák meg. Így például a tórium etalon kálium energiaablakában mért impulzusszám az alábbiakból adódik össze:

$$M_{13} \cdot sp_{11} + M_{23} \cdot sp_{12} + M_{33} \cdot sp_{13} + M_{43} \cdot sp_{14} = I_{13}$$

ahol

M_{ij} a kalibrációs etalonok elemtartalom adatai a laboratóriumi mérések alapján ($i = 1, \dots, 4$; $j = 1, \dots, 4$); i —kalibráló etalon, j —energia ablak száma;

sp_{ij} a kalibráció során az egyes energiaablakokra vonatkozó számítható spektrális koeficiensek (stripping faktorok);

I_{ij} a kalibráció során az egyes energiaablakokban meghatározott impulzusszámok.

Ebben az esetben M_{13} a tórium tömb kálium tartalmát jelenti, továbbá sp_{11} az egységnyi kálium tartalom hatására létrejövő, kálium energiaablakban mért impulzusszám. A két érték szorzata pedig a tórium tömb kálium energiaablakban mért impulzusszámot fejezi ki. Az összeg többi további tagjai ennek megfelelően az adott energiaablakokban adódó impulzusszámot fejezik ki. Mivel etalonként 4 energiaablakot határoztunk meg és 4 darab etalonban mérünk, ezért 16 a fentihez hasonló (egymástól független) egyenlet írható fel, amely 16 ismeretlent (spektrális koeficienseket) tartalmaz. Így az egyenletrendszer megoldható.

A kalibrációs eljárás során alkalmazott lineáris egyenletrendszer mátrix formában:

$$[M_{\bar{u}}] \cdot [sp_{\bar{u}}] = [I_{\bar{u}}]$$

A mátrix formájú lineáris egyenletrendszer (futóindexek nélkül):

$$\begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} sp_{11} & sp_{12} & sp_{13} & sp_{14} \\ sp_{21} & sp_{22} & sp_{23} & sp_{24} \\ sp_{31} & sp_{32} & sp_{33} & sp_{34} \\ sp_{41} & sp_{42} & sp_{43} & sp_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & I_{13} & I_{14} \\ I_{21} & I_{22} & I_{23} & I_{24} \\ I_{31} & I_{32} & I_{33} & I_{34} \\ I_{41} & I_{42} & I_{43} & I_{44} \end{bmatrix}$$

A kalibrálás során a tartalom-mátrix ismeretében és az impulzus-mátrix mérésével a spektrális koeficiensek mátrixát kívánjuk meghatározni.

$$M_1 = \frac{I_1 \cdot [(sp_{22} \cdot sp_{33} \cdot sp_{44} + sp_{23} \cdot sp_{34} \cdot sp_{42} + sp_{24} \cdot sp_{32} \cdot sp_{43}) - (sp_{23} \cdot sp_{32} \cdot sp_{44} + sp_{22} \cdot sp_{34} \cdot sp_{43} + sp_{24} \cdot sp_{33} \cdot sp_{42})]}{D} +$$

$$- \frac{I_2 \cdot [(sp_{12} \cdot sp_{33} \cdot sp_{44} + sp_{13} \cdot sp_{34} \cdot sp_{42} + sp_{14} \cdot sp_{32} \cdot sp_{43}) - (sp_{13} \cdot sp_{32} \cdot sp_{44} + sp_{12} \cdot sp_{34} \cdot sp_{43} + sp_{14} \cdot sp_{33} \cdot sp_{42})]}{D} +$$

$$+ \frac{I_3 \cdot [(sp_{12} \cdot sp_{23} \cdot sp_{44} + sp_{13} \cdot sp_{24} \cdot sp_{42} + sp_{14} \cdot sp_{22} \cdot sp_{43}) - (sp_{13} \cdot sp_{22} \cdot sp_{44} + sp_{12} \cdot sp_{24} \cdot sp_{43} + sp_{14} \cdot sp_{23} \cdot sp_{42})]}{D} +$$

$$- \frac{I_4 \cdot [(sp_{12} \cdot sp_{23} \cdot sp_{34} + sp_{13} \cdot sp_{24} \cdot sp_{32} + sp_{14} \cdot sp_{22} \cdot sp_{33}) - (sp_{13} \cdot sp_{22} \cdot sp_{34} + sp_{12} \cdot sp_{24} \cdot sp_{33} + sp_{14} \cdot sp_{23} \cdot sp_{32})]}{D}$$

ahol

M_1 a kálium tartalom [m/m%];

sp_{ij} a kalibráció során meghatározott spektrális koeficiensek ($i = 1, \dots, 4; j = 1, \dots, 4$);

I_i a mérés során az egyes energiaablakokban meghatározott, időegységre normált impulzusszámok ($i = 1, \dots, 4$);

D az egyenletrendszer determinánsa.

6. Gamma-spektrum mérések — A mérések típusai

A gamma-spektrum mérőrendszer az anomális helyek kutatására használható folyamatos, a szonda vontatásával végzett mérésre és a nagyobb pontosságot igénylő pontmérésre egyaránt alkalmas. Ezeket a következőkben ismertetjük.

6.1. Folyamatos spektrummérés

A mintavételezés megadott időközönként vagy megadott távolságonként történik. Ténylegesen két időpont

A tartalomszámítás során pedig a kalibrálással meghatározott spektrális koeficienseket használjuk fel az alábbi elsőfokú, négy ismeretlenes, lineáris, inhomogén egyenletrendszer megoldására:

$$M_1 \cdot sp_{11} + M_2 \cdot sp_{12} + M_3 \cdot sp_{13} + M_4 \cdot sp_{14} = I_1$$

$$M_1 \cdot sp_{21} + M_2 \cdot sp_{22} + M_3 \cdot sp_{23} + M_4 \cdot sp_{24} = I_2$$

$$M_1 \cdot sp_{31} + M_2 \cdot sp_{32} + M_3 \cdot sp_{33} + M_4 \cdot sp_{34} = I_3$$

$$M_1 \cdot sp_{41} + M_2 \cdot sp_{42} + M_3 \cdot sp_{43} + M_4 \cdot sp_{44} = I_4$$

Ezt mátrix alakban fölírva:

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} sp_{11} & sp_{12} & sp_{13} & sp_{14} \\ sp_{21} & sp_{22} & sp_{23} & sp_{24} \\ sp_{31} & sp_{32} & sp_{33} & sp_{34} \\ sp_{41} & sp_{42} & sp_{43} & sp_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix}$$

Azaz

$$[M_i] \cdot [sp_{ij}] = [I_i]$$

ahol

M_i a méréssel meghatározni kívánt elemtartalmak ($i = 1, \dots, 4$);

sp_{ij} a kalibráció során meghatározott spektrális koeficiensek ($i = 1, \dots, 4; j = 1, \dots, 4$);

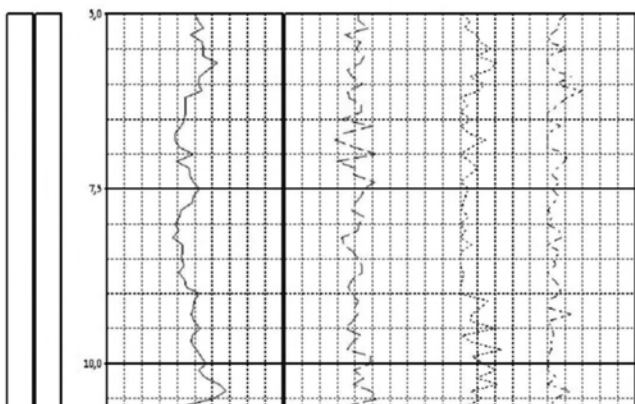
I_i a mérés során az egyes energiaablakokban meghatározott, időegységre normált impulzusszámok ($i = 1, \dots, 4$).

Ezek alapján például a kálium tartalmat (M_1) az egyes energiaablakokban mért időegységre normált impulzusszámok (I_i) és a spektrális koeficiensek (sp_{ij}) segítségével a következőképpen határozzuk meg:

között folyamatosan történik a regisztrálás. Az adatgyűjtés 9 biten zajlik, amely 512 csatornát képes kezelni. A mérés a teljes γ -foton energiatartományban (0–3 MeV) történik. A csatornában mért impulzusszámok a programból az energiaablak határokon belül összevonhatók, így különféle műveleteket lehet velük elvégezni a későbbi értelmezés céljából. A feldolgozó program az egyes energiaablakokra azonnal kiszámolja a tartalom értéket. Egy feldolgozási ciklus az adatsor megjelenítésével zárul, majd új mérés ciklus veszi kezdetét, onnan újra indul az adatgyűjtés (2. ábra). Az általunk használt National Instruments (NI) kártyával történő adatfeldolgozást a bemenő adatok megadását követően a gyárilag fejlesztett szoftver mérés közben végzi el. Egyedi tervezésű kártyánál a külső egységben történik a teljes csatornánkénti számlálás, majd ezt adja tovább a külső egység a számítógép felé, a vezérlő programnak.

G E O L O G I A	G E O F I Z I K A	M E L Y S E G	M	0	TG	18000	0	Kárium	15
					[ppm]			[%]	20
								Uran	
								Tórium	10
								[ppm]	

Méretarány 1:50

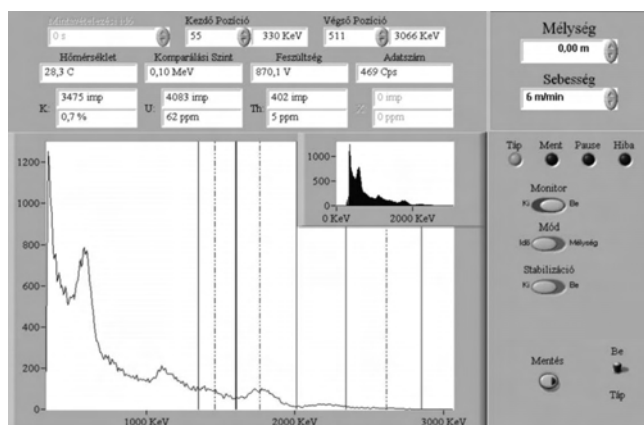


2. ábra. A mérőrendszerrel a III. számú meddőhányón készített tartalom-szelvény (szelvény részlet)

Fig. 2. Radionuclide concentration log registered on waster rock pile No. III

6.2. Spektrum pontmérés

Ennek során a mintavételezés tetszőlegesen megadott pontokban történik tetszőlegesen beállítható ideig. Ez az előző méréstípussal ellentétben nagyobb pontosságú, de időigényesebb. Ebben az esetben is 9 bites felbontást alkalmazunk, vagyis a kijelölt méréstartomány 512 külön csatornára bontható. Az adatfeldolgozás mérés közben folyamatosan történik, a pillanatnyi változásokat grafikusán szemlélítve.



3. ábra. A mérőrendszerrel készített pontmérés (mérési képernyő)

Fig. 3. Point measurement (screen) of measuring system

A függőleges tengelyen a beütésszámot (csatornánként), a vízszintes tengelyen az energiatartományt (3 MeV-ig) ábrázoljuk. Az energiatartományt 512 darab, egyenként 6 keV-es csatornára osztottuk fel. A kalibrálás alkalmával beállított energiaablak-határokat a mérés során különböző színekkel jelenítjük meg (3. ábra).

7. Példák a mérőrendszer alkalmazására

7.1. Bánhida

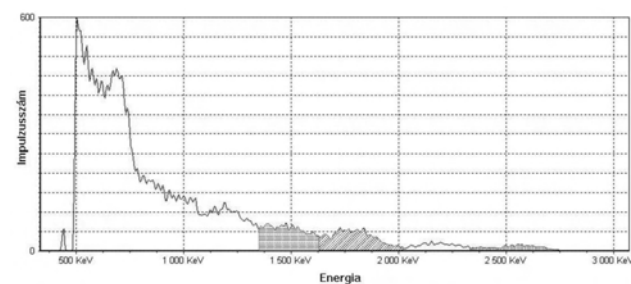
Méréseket végeztünk a Vértesi Erőmű Zrt. Oroszlányi Erőmű, illetve a Bánhidai Erőmű zaggyterén az ott deponált erőműi zaggyok, pernyék feldúsult természetes radioaktív anyagtartalmának vizsgálatára (4. ábra).



4. ábra. Mérési előkészületek a Bánhidai Erőmű zaggyterén, a Bhz-1 megfigyelőkút környezetében

Fig. 4. Preparation for measurement on Bánhida Power Plant tailings pond, near Bhz-1 monitoring well

Egy ilyen pontméréssel fölvert spektrumot mutatunk be a 5. ábrán.



5. ábra. A Bánhidai Erőmű zaggyterén, a Bhz-1 megfigyelőkútban, 4 m mélységben pontméréssel rögzített γ -spektrum

Fig. 5. γ -spectrum recorded in the monitoring well Bhz-1 at 4 m depth on Bánhida Power Plant tailings pond, using point measurement

A rögzített spektrumon az U bomlási sor ^{214}Bi nuklidjának fotocsúcsa jelenik meg a legkarakteresebben (1765 keV). A megadott mélységben volt mérhető az urán koncentrációjának maximuma, melynek értéke 62 ppm. Ezzel megegyező mélységben volt a tórium-tartalom maximuma is, ennek értéke 39 ppm. A kálium koncentrációja 3,1 m/m%.



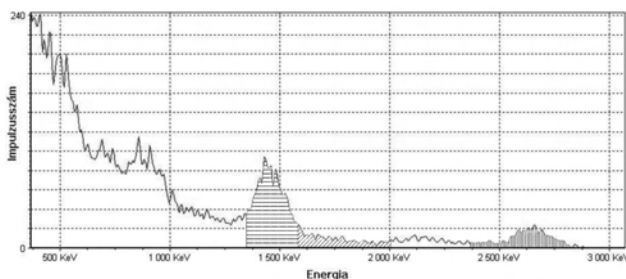
6. ábra. Bábaapáti, a szonda betolása

Fig. 6. Insert of probe, Bábaapáti

5.2. Bábaapáti

Több esetben mélyfúrás-geofizikai vizsgálatokat végeztünk Bábaapátiban a kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezése céljából épülő hulladéktárolóban, amely a Mórágai Gránit Formációban kerül kiépítésre (6. ábra).

A vágattengely előfúrásokban mélyfúrás-geofizikai vizsgálatokat hajtottunk végre a γ -spektrummérő műszeregységgel, amely során — többek között — a 7. ábrán látható γ -spektrumot rögzítettük.



7. ábra. Bábaapáti, BeN-3 vágattengely előfúrás, 38 m mélységben pontméréssel rögzített γ -spektrum

Fig. 7. Bábaapáti tunnel axis drilling BeN-3, γ -spectrum recorded at 38 m depth, using point measurement

A Bábaapáti nyugati lejtőszakna BeN-3 előfúrás 38 m-ben mért elemkoncentrációk ($K = 4,7$ m/m%; $U = 1$ ppm (m/m); $Th = 45$ ppm (m/m)) a monzogranit (Mórágai Gránit Formáció) jellemző sugárzóanyag-összetételét mutatják.

8. Neutronaktivációs fúrólyukvizsgálatok

A mesterséges radioaktív izotópok létrehozását, a felaktiválást úgy végezhetjük, hogy a meghatározandó elemet tartalmazó mintát esetünkben lassú neutronokkal sugározzuk be. A végbemenő magreakciók következtében meghatározott sajátságokkal rendelkező radioizotópok keletkez-

nek, melyek azonosítása alapján a mintában előforduló elemek anyagi minőségére következtetni lehet.

Laboratóriumi vizsgálatoknál a kőzetmintát a megfelelő energiájú neutronok homogén fluxusába helyezik, és annyi ideig sugározzák be, hogy a meghatározandó elem radioaktív izotópjából mérhető mennyiség keletkezzen.

A neutronok hatására keletkező mesterséges izotópok mélyfúrásokban történő vizsgálata számos földtani és geokémiai feladat megoldásához nyújthat segítséget. Fúrólyukakban végezhető neutronaktivációs eljárásokat dolgoztak ki alumínium, mangán, nátrium, kálium, réz elkülönítésére, esetenként koncentrációjuk tájékoztató jellegű értékelésére. [BALOGH 1979, BALOGH, HORVÁTH 1982]

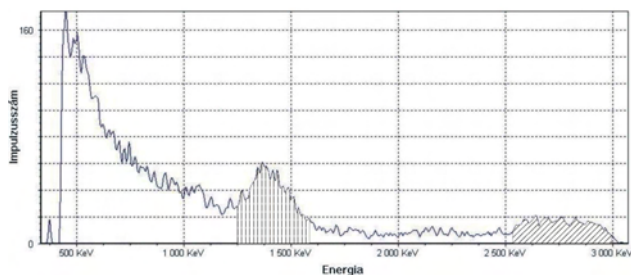
A méréseket Am-Be neutronforrással végeztük. Ennek felezési ideje 458 év, fajlagos neutron-kibocsátása viszonylag nagy ($3,24$ Ci/g, vagy $1,2 \cdot 10^{11}$ n/gs), így a forrás kisméretű, nagy hozamú, gyenge γ -sugárzású neutronforrás. A források préselt AmO_2 -Be tablettákból állnak, az összetevők súlyaránya 1:10. A forrás hegesztett, zárt rozsdamentes acél külső burkolattal és beforrasztott nikkelház csavarmennettel rendelkezik.

8.1. Termikus neutronaktivációval meghatározható elemek

A termikus (alacsony) energiával rendelkező neutronok az atommagokkal kölcsönhatásba lépve nagy valószínűséggel neutron- γ (n, γ) reakciót hoznak létre, mivel nem rendelkeznek akkora energiával, amelyet át tudnának adni a töltött részecskének a Coulomb-gát átlépéséhez (amely az atommagból való kilépéshez szükséges).

Termikus neutronokkal aktiválható elemek, valamint a karakterisztikus (n, γ) reakcióval reagálók közül nagy gyakorlati fontossággal bíró elemek a ^{23}Na , ^{27}Al , ^{37}Cl , és a ^{41}K . A módszer fő alkalmazási területe korábban a bauxitkutatás volt, az $^{27}Al \rightarrow (n, \gamma) \rightarrow ^{28}Al$ reakció alapján, de ezen kívül a módszer lehetőséget kínál a nátriumot tartalmazó kőzetalkotó komponensek kimutatására is a $^{23}Na \rightarrow (n, \gamma) \rightarrow ^{24}Na$ reakció felhasználásával. Jelentős alkalmazási lehetőségként adódott a Bodai Aleurolit Formáció (BAF) kutató-

sa során az albit elkülönítése környezetétől a Na-tartalma alapján. A műszer- és módszerfejlesztést megkezdjük. Egy ezzel kapcsolatos mérést mutat be a 8. ábra, amelyet az előzőekben bemutatott neutronforrással aktivált kősóban hajtottuk végre [TÖLGYESSY 1965].



8. ábra. Aktivált kősó gamma-spektruma

Fig. 8. Gamma-spectrum of activated natural salt

A 8. ábrán jól látható a ^{24}Na gamma-sugárzásának két jellemző fotocsúcsa (1368 keV, 2750 keV).

Az eljárás részletes ismertetését, a gyakorlati mérési eredmények kiértékelésének bemutatását a közeljövőben tervezzük.

Köszönetnyilvánítás

A fejlesztés a GVOP program (GVOP-3.3.3-05/1-2005-05-0123/3.0) támogatásával valósult meg.

A szerzők köszönetüket fejezik ki dr. Baráth István okl. geofizikus mérnöknek, a műszaki tud. kandidátusának és az Orosz Természettudományi Akadémia külső tagjának (ELGI), dr. Majoros György okl. geológusnak (MECSEK-ÉRC Zrt.), dr. Várhegyi András okl. geofizikus mérnöknek, a földtudomány kandidátusának, geofizikus szakértőnek (MECSEK-ÖKO Zrt.) és Szarka Rudolf okl. geofizikus mérnöknek (Dial Bt.) a projekt elkészítésében nyújtott hasznos tanácsaikért és közreműködésükért.

HIVATKOZÁSOK

- BALOGH I. 1979: Modell a bauxitok alumínium tartalmának neutronaktivációs karotázs mérések alapján történő meghatározásához. Magyar Geofizika **20**, 5, 170–178
- BALOGH I., HORVÁTH J. 1982: Az Al_2O_3 tartalom mennyiségi meghatározása bauxitos fúrólukban neutronaktivációs karotázssal. Magyar Geofizika **24**, 3, 111–118
- FEDOR F. 2007: A gamma-spektrometria földtani alkalmazásainak alapjai és lehetséges fejlesztési irányok vázlata. Kézírtos jegyzet
- TÖLGYESSY J. 1965: Magsugárzás a kémiai analízisben. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 432 p
- KISS D., QUITTNER P. 1971: Neutronfizika. Akadémiai Kiadó, Budapest
- NAGY L. GY., NAGYNÉ LÁSZLÓ K. 1997: Radiokémia és izotóptechnika. Egyetemi tankönyv, Műegyetemi Kiadó