

Szelektív gamma-gamma módszer alkalmazása érckutató fúrásban

MORVAI LÁSZLÓ

Ebben a munkában a szerző a szelektív gamma-gamma eljárással foglalkozik érckutató fúrásban műanyag szondához és Se^{75} -ös izotóp felhasználásával. A kísérletek célja a fotoeffektus-hatás detektálása, vagyis a nehézelem-koncentráció változásának kimutatása.

A továbbiakban a neutron aktivációs analízis alkalmazhatóságát vizsgálja a rézérc kimutatása céljából. Áttekintést ad a kiértékelés terén jelentkező problémákról és a kutatás további feladatait vázolja.

В работе рассматриваются вопросы применения метода селективного ГГК в скважинах, бурящихся на руды, с использованием зондов с пластмассовым корпусом и изотопа Se^{75} . Исследования проводятся для выявления фотоэффекта, т. е. для наблюдения над изменениями концентрации тяжелых элементов.

Обсуждается возможность применения нейтронноактивационного анализа для выявления медных руд. Описываются проблемы, связанные с интерпретацией получаемых данных и намечаются направления дальнейших исследований.

Es werden die Fragen der selektiven Gamma-Gamma-Messungen in Erzbohrungen unter Anwendung von Sondenhäusern aus Kunststoff und von Se^{75} -Isotopen beschrieben. Das Ziel der Experimente ist die Detektion des Photoeffektes, d.h., die Nachweisung der Änderungen der Schwerement-Konzentration.

Im Weiteren wird die Anwendbarkeit der Neutronen-Aktivationsanalyse für Kupfererzkerkundung geprüft. Verfasser gibt einen Überblick über die Probleme der Interpretation und die weiteren Aufgaben der Forschungen.

A gamma-gamma szelvényezés az irodalomban kétfelé formában vált ismertté: egyrészt mint formációsűrűség szelvényezés, másrészt mint szelektív gamma-gamma szelvényezés.

A formációsűrűség-szelvényezés, mint ismeretes, a gamma sugaraknak a kőzetben levő atomok elektronjain történő Compton szóródásán alapszik, míg a szelektív gamma-gamma szelvényezés esetén a fotoelektromos hatás játszik döntő szerepet. Ez a hatás a kémiai összetétellel hozható kapcsolatba és lehetővé teszi a nehézelem koncentráció meghatározását.

Ez a két fő kölcsönhatási forma sohasem fordul elő tisztán. A kémiai összetétel mindig bizonyos hatással van a formációsűrűség-szelvényezésre, a kőzet-sűrűség pedig hatást gyakorol a szelektív gamma-gamma mérésre.

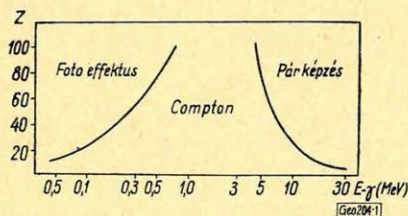
A kísérleti munkák célja olyan méréstechnika, illetve műszer felszerelés kialakítása, mellyel a hatások különválaszthatók.

A továbbiakban a szelektív gamma-gamma eljárás problémáival foglalkozunk.

A szelektív gamma-gamma eljárás fizikai alapjait számos szerző tárgyalja. Megállapítják, hogy különböző Z értékű anyagokban ugyanazon mérőelrendezéssel felvett szórt gammasugárspektrumok közötti különbségek meglehetősen nagyok. Ez lehetővé teszi, hogy a közeg kémiai összetételéről információt nyerjünk. A fotoelektromos effektus a primér gamma foton energiájának növekedésével rohamosan csökken és 1 MeV felett már teljesen valószínűtlen. A rendszám növekedésével azonban nő a fotoeffektus valószínűsége. A fentiek következtében lágy sugarakat kibocsátó izotópokat célszerű alkalmazni, to-

vábbá a szondaházat és a detektorokat úgy kell megválasztani, hogy alkalmasak legyenek a lágyműanyag gamma energiák detektálására.

A gamma foton és az anyag kölcsönhatási formáinak tartományait mutatja összefoglalóan 1. ábránk, ahol a gamma energia és a rendszám függvényében látható az egyes kölcsönhatás típusok valószínű tartománya. Mi kísérleti szelektív gamma méréseinknél az ólomra kimutatására törekedtünk, melynek rendszáma 82. Az ábrából látható, hogy erre a fotoeffektus kihasználásához $0,4 \text{ MeV}$ -nél nem keményebb gamma sugárzás alkalmazása célszerű.



1. ábra. A gamma-sugár és az anyag kölcsönhatásának rendszám- és energiafüggése

Фиг. 1. Зависимость соотношения гамма-лучей и вещества (порядковый номер и энергия)

Abb. 1. Energie-Ordnungszahl-Abhängigkeit der Wechselbeziehung zwischen Gamma-Strahlung und Stoff

A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben folytatott kísérletekhez első időben sugárforrásként Cs^{137} izotópot használtunk. A Cs^{137} sugárforrás és vas szondaház alkalmazásával nem volt lehetőség a fotoeffektus kimutatására. Ugyanez volt a helyzet duralumíniumból készült szondaházzal is. A későbbiek során Se^{75} -ös izotóppal kísérleteztünk, melynek átlagenergiája $0,4 \text{ MeV}$, első időben vasház, majd duralumíniumból készült szondaházzal. Azt tapasztaltuk, hogy ez a kombináció a recski ércutatató fúrásokban, ahol a kőzetek döntő többségének sűrűsége a 2 g/cm^3 értéket meghaladta, jobb rétegtani felbontást adott, mint a Co^{60} -as izotóp felhasználása. A javulás számításaink szerint $30 - 40\%$ volt.

A nehézelem-koncentráció változásával azonban az eredmények még így sem voltak összefüggésbe hozhatók. A detektált sugárzási energia küszöbének még alacsonyabbra való helyezése céljából műanyag szondaházat építettünk. Ezzel biztosítottuk a legkedvezőbb lehetőséget a szelektív gamma-gamma effektus jelentkezésére, és így a nehézelem-koncentráció kimutatására.

A műanyag szondaház előnyeinek tanulmányozására alkalmas a 2. ábra természetes gamma szelvénye műanyag és vasház változatban. A két görbén minden paraméter azonos. Ránézésre is, de számításokkal is megállapítható, hogy a műanyag szondában elhelyezett detektor a lágyműanyag sugárakat is detektálta és ennek következtében jobb felbontást is adott a rétegsorról. Az első rétegre 40 , a másodikra 80 és a harmadik rétegre számítva 50% -kal jobb a felbontás.

A felbontást az alábbi összefüggés szerint számítottuk:

$$\text{Felbontó képesség: } \frac{\frac{I_{\max m}}{I_{\min m}}}{\frac{I_{\max v}}{I_{\min v}}} \cdot 100\%$$

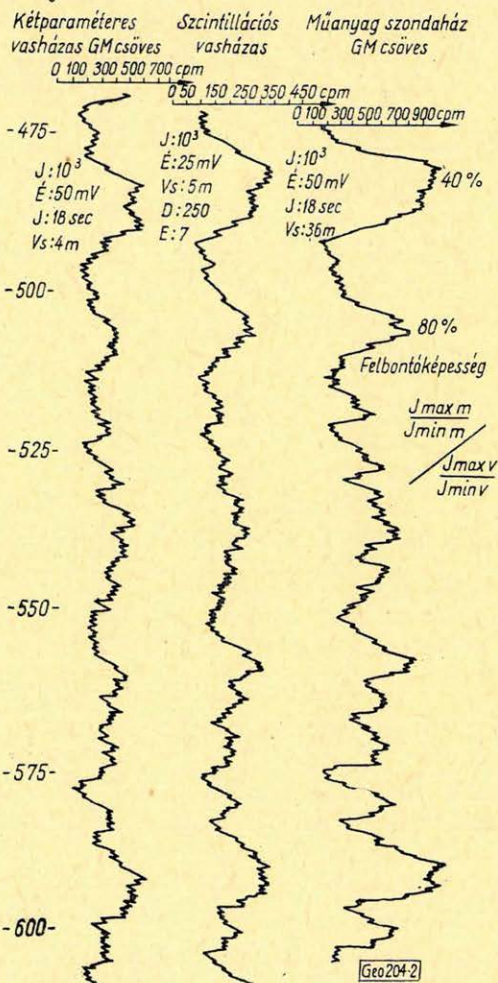
Az első kísérleti szelektív gamma-gamma szelvényünket Rudabányán egyik vasércutatató fúrásban vettük fel. Itt célunk elsősorban nem a vastartalom kimutatása volt, hanem a rétegsorban előforduló néhány %-os ólomérc.

Szelvényünkön (3. ábra) azonban nemcsak az ólomércet, hanem bizonyos mértékig a vasérc határait is ki lehetett jelölni. Érdemes figyelemmel kísérni a szondahossz változásának a hatását; míg a 29 cm-es szondahossz inkább a nehézelem változására volt érzékeny, addig a 9 cm-rel nagyobb, azaz 38 cm-es szondahosszal mért görbe a közetsűrűség változásával hozható összefüggésbe. A hagyományos vasház gamma-gamma szelvény csupán az elbontott pátosodott mézskövet hozta ki. A laboratóriumi elemzés során megállapított 3–6%-ig terjedő ólomtartalom, mely 7%-os vasértartalom kíséretében fordult elő, szelektív gamma-gamma szelvényünkön jól értelmezhető.

A 4. ábrán egy a reeski típusú érckutató fúrásban felvett komplex geofizikai szelvényanyag látható. Megállapíthatjuk, hogy az érces szakasz kijelölésére egyedül a PS szelvény alkalmas, míg a többi mérési paraméter az ércre jellemző anomáliát nem mutat. Természetes azonban, hogy a rétegtani felbontásnál a kőzetanyag felismerésénél ezen mérésekre is szükség van.

Az 5. ábrán több kísérleti görbét találunk:

- szelektív gamma-gamma,
- PS,
- 40 cm-es potenciál,
- indukciós,
- műanyag szondában felvett term.-gamma,
- műanyag szondával felvett gamma-gamma,
- Co^{60} -as izotóppal,
- centírozott állapotban felvett szelektív-gamma Se^{75} -ös izotóppal,
- a további szakaszban falhozszorítva szintén szelektív gamma-gamma szelvény szerepel, míg az utolsó oszlopban folyamatos neutron aktiválással felvett szelvényt tüntettünk fel.



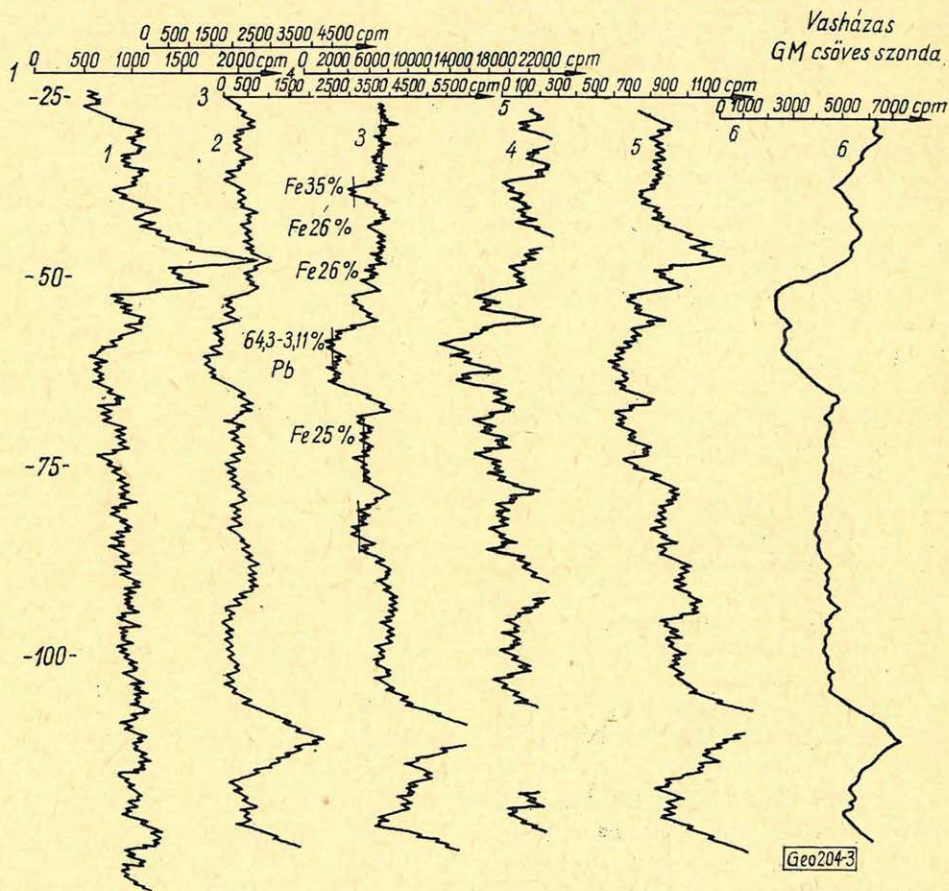
2. ábra. Különböző anyagú szondaházak hatása a természetes-gamma szelvényre

Фиг. 2. Влияние корпусов зондов из различного материала на кривые ГК

Abb. 2. Einfluss der Sondenhäuser aus verschiedenem Stoffe auf die Gamma-Karottagenkurve

Műanyag szondaházazs GM csöves szondával

term- γ	J: $5 \cdot 10^3$	J: $5 \cdot 10^3$	J: 10^4	J: 10^3	J: 10^4
J: 10^3	t: 12 sec	t: 12 sec	t: 6 sec	t: 18 sec	E: 50 mV
É: 25 mV	G: 25 mV	G: 25 mV	G: 50 mV	G: 25 mV	J: 18 sec
J: 10 sec	v: 3,4 m/p	v: 3,4 m/p	v: 3,4 m/p	v: 3,4 m/p	v: 5 m/p
v: 6 m/p	Prep.: 2,5 mC ^{75}Se	Prep.: 5 mC ^{75}Se	Prep.: 2,5 mC ^{60}Co	Prep.: 5 mC ^{75}Se	Prep.: 13 mC ^{60}Co
D: 250	1 cm: 385 imp	1 cm: 385 imp	1 cm: 1540 imp	1 cm: 76,9 imp	Szondahossz: 60 cm
E: 7	Szondahossz: 29 cm	Szondahossz: 29 cm	Szondahossz: 48 cm	Szondahossz: 39 cm	



3. ábra. Kísérleti szelektív gamma-gamma mérés vasérckutató fúrásban (Rudabánya)

Fig. 3. Опытные исследования методом селективного ГГК в скважине, бурящейся на железную руду (Рудабанья)

Abb. 3. Experimente mit selektiven Gamma-Gamma-Messungen in einer Eisenerzbohrung (Rudabánya)

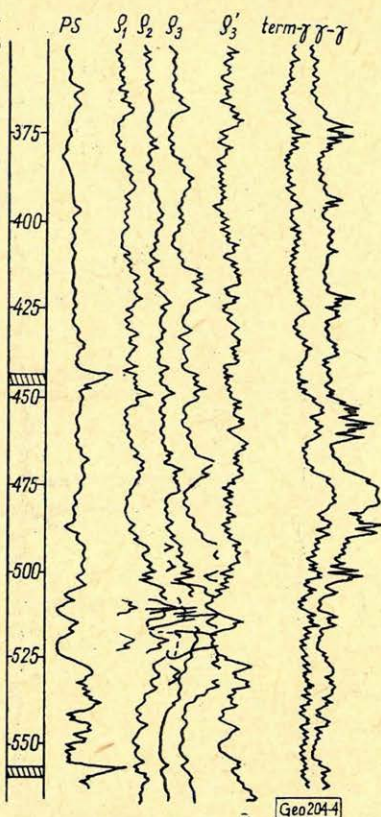
A szelektív gamma-gamma szelvényen az érces szakaszok jól elkülöníthetők, melyet az indukciós, de az aktivációs szelvény is alátámaszt. A centírozott és falhozszorított szelvények a fúrás 260 m körüli szakaszán érdekes jelenséget mutatnak, míg a centírozott gamma-gamma szondával és az aktiválással az érc kimutatható, addig a falhozszorított gamma-gamma szelvényünkön ez az érces zóna nem jelentkezik. A magmintán végzett ellenőrzés során azt tapasztaltuk, hogy az érc hasadék-kitöltés jellegű kifejlődésben fordult elő, így valószínű, hogy a falhozszorítás esetében az ércecel ellenkező oldalon haladt a szondánk, így nem mutatta azt ki. A szelektív gamma-gamma szelvényt nagyon szépen kiegészítette az indukciós szelvényezés. A két szelvény között feltűnően jó az egyezés.

Azonban az indukciós szelvény anomáliáit megfelelő kritikával kell vizsgálni, mert pl. a felső szakaszon 225 m körül jelentkező indukciós anomália nem az érc jelenlétével, hanem az andezitbe ágyazott agyagosodással hozható összefüggésbe.

4. ábra „Klasszikus” mérés-komplexum recki érckutató fúrásban

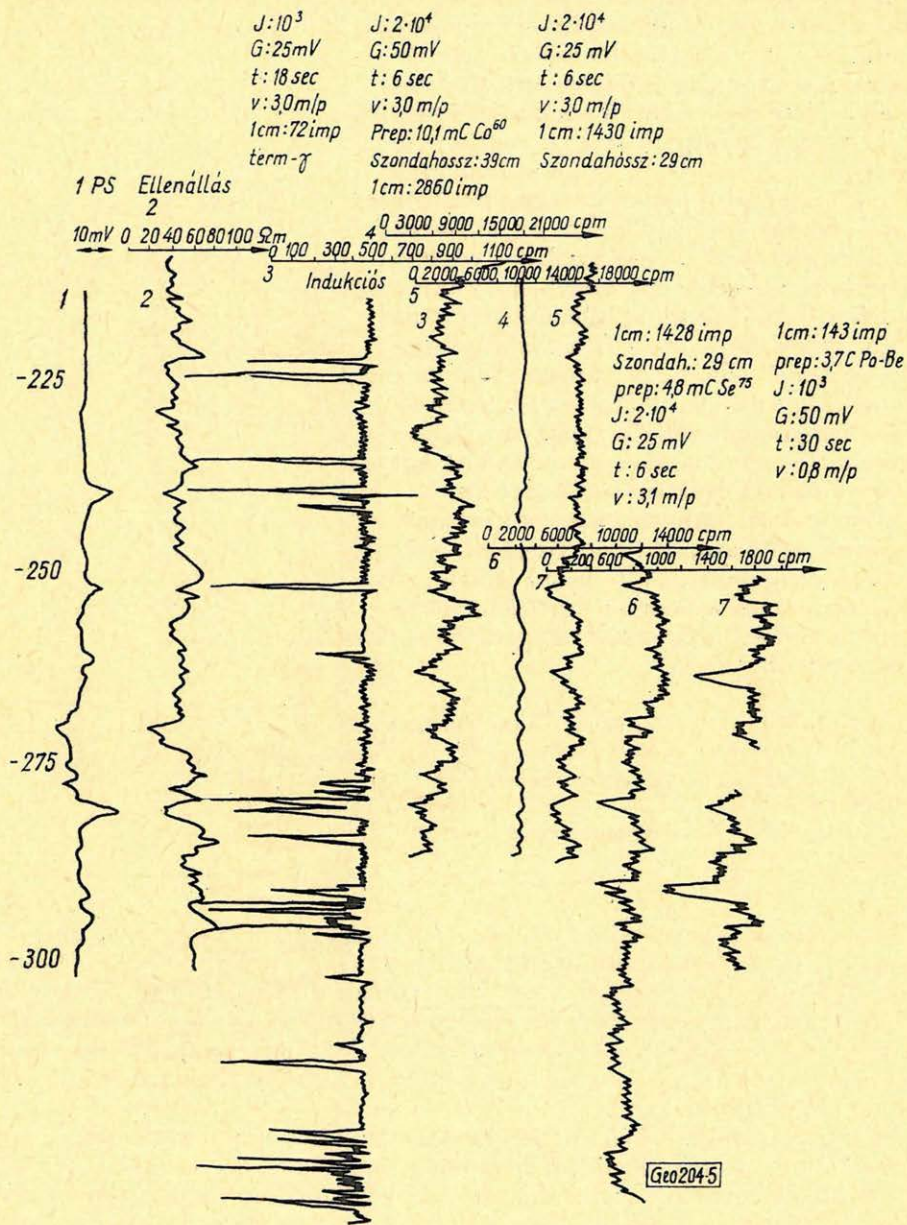
Фиг. 4. „Стандартный” комплекс исследований в скважине Речк

Abb. 4. „Klassischer” Messungskomplex in einer Erzbohrung von Reck



Az értelmezés pontosabbá tételéhez hozzátartozik még a neutron aktivációs analízis is. A recki érckutató fúrásokban a rézérc a legkülönbözőbb kémiai kötésben fordul elő. Fémrézre vonatkoztatva már 0,45 %-os érc-tartalom mérővalóságot jelent. A galenitben az ólom 0–48%-ig terjed, telepre átszámítva átlagosan 0,5–4%-ig. Irodalmi adatokra és saját méréseinkre támaszkodva megállapíthatjuk, hogy ez az ólom-tartalom a szelektív gamma-gamma szelvényel kimutatható.

A neutron aktivációs karottázs kísérleteknél kiindul feltevésünk az volt, hogy a $Po-Be$ neutronforrásból kilépő neutronok hatására a rézben levő 63 és 64-es izotópok termikus neutronokkal való kölcsönhatás folytán felaktiválódnak és 64, ill. 66-os izotópok keletkeznek. A $Po-Be$ forrásból termikus neutronokon kívül gyors neutronok is kilépnek, de külön reakciót nem idéznek elő, hanem a fúróiszapban lefekeződnek termikus szintre és résztvesznek az aktivációs folyamatban. Az így keletkezett Cu^{64} és Cu^{66} -os izotópok aktivációs keresztmetszete 4,3, ill. 1,8 barn, felezési ideje 12,8 óra, ill. 5,1 perc. A rézércben a 63-as izotóp 69,1%-ban, míg a 64-es 30,9%-ban fordul elő. A felezési időkre való tekintettel a felaktiválódott izotópok közül a 66-os izotóp detektálására gondolhattunk.



5. ábra. Kísérleti mérések szelvényei egy recski ércutatató fúrásban

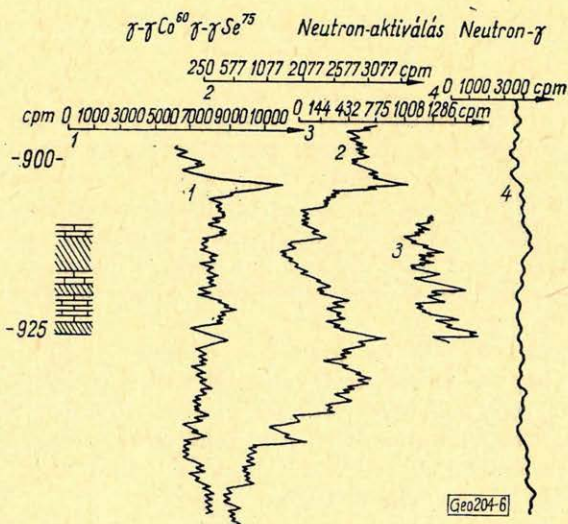
Фиг. 5. Кривые опытных исследований, проведенных в одной из рудопонсковых скважин в Речке

Abb. 5. Kurven der experimentellen Messungen in einer der Recsker Erzbohrungen

A recski kutatási területen megnehezíti a neutron aktiválás értelmezését az a tény, hogy az érc a mészkőben, vagy andezitben, annak repedéseit kitöltve található. Könnyebb neutron aktiváció szempontjából az az eset, ha mészkő ágyazó közzel állunk szemben, mert ez nem tartalmaz olyan elemet, mely a rézérchez közel áll felezési idő szempontjából. Ekkor a rézérces szakasz az aktiválás során amplitudó növekedéssel jár (6. ábra).

Sokkal nehezebb a helyzet akkor, ha az érc andezitben van, ill. annak mállottabb szakaszait tölti ki. Az andezit mállott szakasza ugyanis jelentősebb mennyiségű, és a laboratóriumi elemzések azt mutatták, hogy a benne előforduló alumínium a 10–12%-ot is elérte. Az aktivációs hatásra keletkező Al^{28} -as izotóp 2,3 perces felezési ideje közel áll a rézérc 66-os izotópjának 5,1 perces felezési idejéhez és annál lényegesen nagyobb %-ban fordul elő, így a meddő szakasz aktiválódik fel és az érces szakasz minimummal jelentkezik. Nyilvánvalóan nem teljes minimummal, mert ebben a szakaszban a réz aktiválásából származó gamma-kvantumok is szerepelnek.

A szelektív gamma-gamma eljárás irodalmi adatok és saját tapasztalatok alapján is már néhány százalékos ólomérc kimutatására alkalmas. Volfstein szerint a szelektív gamma-gamma eljárás 4–6%-os ólomtartalomig használható fémkoncentráció számításra. Ezenfelül már a Co^{60} -al felvett gamma-gamma szelvény alkalmazandó, de a detektort ólomárnyékolással kell körülvenni a lágyszögű gamma-sugarak elnyelése céljából, mert így nyílik lehetőség a tiszta sűrűseffektus megközelítésére.



6. ábra. Szelektív gamma-gamma és neutron-aktivációs szelvény recski érces zónában

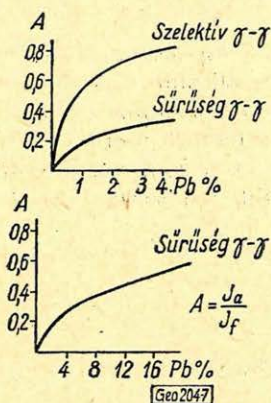
Fig. 6. Кривые селективного ГГК и нейтронно-активационного анализа в рудоносной зоне района Речк

Abb. 6. Kurven der selektiven Gamma-Gamma-Messungen und der Neutronen-Aktivationsanalyse in der Erz-Zone von Reccs

Szerinte az alábbi képlet alkalmazható a beütésszám és az ólomtartalom között:

$$A = \frac{I_a}{I_f}$$

ahol az I_a az érces zóna amplitudója, míg az I_f az ércmentes szakasz amplitudóját jelenti. A 7. ábrából látható, hogy a szelektív gamma-gamma szelvény a kiskoncentrációjú ércre nagyobb mértékben változik, mint a sűrűség-szelvény. Az ábra alsó részén bemutatott görbére az A értéke ugyancsak a fenti összefüggés alapján állapítható meg, de az I_a értékét nem az ércmentes szakasztól, hanem a szelektív gamma-gamma szelvényen már értelmezhető érces szakasztól vesszük, ugyancsak az I_f értékét is. Ez az értéket kb. 4%-ban állapíthatjuk meg.



7. ábra. Kalibrációs összefüggés az ólomtartalomnak szelektív gamma-gamma, ill. sűrűség-szelvényből való meghatározására
 Фиг. 7. Эталонная кривая для определения содержания свинца по кривым селективного ГГК и плотностного каротажа

Abb. 7. Eichkurve für die Bestimmung des Bleigehaltes aus den Kurven der selektiven, bzw. standarden Gamma-Gamma-Messungen

A recski ércutató fúrásokban a rétegtani felbontáshoz, a réteghatárok pontos kijelölésére továbbra is a hagyományos komplex karottázs-szelvényezést kell végezni. A várható érces szakaszban a komplex mérés kiegészítendő a szelektív gamma-gamma, indukciós, és neutron aktivációs szelvényezéssel az érces szakaszra vonatkozó pontosabb információk érdekében.

A kutatások további feladata az érces szakasz összetételére és kvantitatív értelmezésére vonatkozó ismeretek kibővítése. A megoldáshoz az alábbi lépések vihetnek közelebb:

1. El kell érni, hogy 20 cm körüli szondahosszat is biztosítani lehessen, mivel valószínű, hogy a nehéz elem változásra ez adja a legjobb érzékenységet.

2. A kvantitatív kiértékelés érdekében elkészítendő egy kiértékelő táblázat, vagy nomogram a beütésszám és a nehézelem koncentráció között; más problémát jelent a kiértékelés során az, ha az érc állandó sűrűségű szakaszban van, ill. változó sűrűségű szakaszban fordul elő.

3. Szcintillációs energiaszelektív méréssel biztosítani kell a 20–200 KeV közötti gamma-kvantumok regisztrálását a pontosabb értelmezés és jobb felbontás érdekében.