

## Hozzászólás

### Morvai L.—Nyerges L.—Halász P.:

### A neutron-aktivációs módszer lehetőségei a bauxitkutatásban c. tanulmányához\*

SALAMON BATUR\*\*

*A hozzászólás célja az indító tanulmány egyes hiányzó adatainak pótlása és néhány következtetésének elemzése. Ennek során áttekintjük a neutron-aktivációs módszer jellemző irodalmi előzményeit és bemutatjuk egy lehetséges lyukszelvényező eljárás módszertani és műszeres feltételeit.*

*Цель замечания заключается в дополнении отдельных нехватывающих данных открывающей работы и анализе некоторых ее выводов. При этом рассматриваются литературные источники нейтронно-активационного метода и излагаются аппаратурные и методические предпосылки возможного метода скважинных измерений.*

*The purpose of the comments is to supply missing data of the paper concerned and to analyse some of its conclusions. To this end, an outline is given of relevant references of the neutron activation process and the methodological and instrumental conditions of a possible logging procedure are provided.*

Az alumínium és szilícium kimutatásával valóban régóta foglalkozik a mélyfúrású nukleáris geofizika. Mind ez ideig azonban nincs üdvözölhető megoldás, amely egyesítené az egyszerű felszerelést és a szokványos szelvényező eljárást az elfogadható mérési pontossággal. A laboratóriumokból a többé-kevésbé sikeres analíziseket a lyukszelvényező gyakorlat sajátos körülményei közé csak hátrányos kompromisszumok árán lehet átültetni.

A hozzászólás szándéka egyfelől hiánypótlás, másfelől az irodalomból ismert előzmények felelevenítése néhány aktuális kiegészítéssel abból a célból, hogy a tanulmányban közzétett következtetések helytállóak és a fejlesztési szándékok megoldhatók legyenek.

A tanulmány 1. táblázatának teljessé tételére további adatok találhatóak [1, 2, 3, 4, 5]. A későbbi tárgyalás érdekében, kellő átrendezéssel és kibővítéssel a táblázatot célszerű ismét előrebocsátani. (1. táblázat)

A táblázat olvasásához a magától érthetődő mennyiségek mellett az alábbi magyarázat tartozik:

(5) oszlop: a reakciót kiváltó neutronok legkisebb, ún. közöbenergiája (a negatív előjel az exoterm reakció 1 jelzi);

(6) oszlop: a reakció hatáskeresztmetszete termikus neutronokra;

(7) oszlop: a reakció hatáskeresztmetszete ún. reaktortípusú neutronokra;

(8) oszlop: a reakció hatáskeresztmetszete 14 MeV energiájú neutronokra;

(9) oszlop: az aktív nuklid felezési ideje;

(11) oszlop: az aktív nuklidból kilépő gamma sugárzás energiája és százalékos gyakorisága;

(12) oszlop: az ún. fajlagos telítési aktivitás, amelyet legalább öt felezési ideig tartó besugár-

\* Megjelent a Magyar Geofizika, XVIII. évf. 1. sz., 28–34. oldalán

\*\* M. Áll. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest

Sorszám (1)	Elem (2)	Izotóp (előfordulás %) (3)	Reakció (4)	E <sub>nk</sub> (MeV) (5)	Hatáskeresztmetszet (10 <sup>-30</sup> m <sup>2</sup> )			Aktív nuklid (9)	τ <sub>1/2</sub> (10)	E <sub>γ</sub> (MeV) (gyakoriság) (11)	A <sub>∞</sub> (Bq/g) (12)	A <sub>mt</sub> (13)	A <sub>mf</sub> (14)
					σ <sub>t</sub> (6)	σ <sub>r</sub> (7)	σ <sub>14</sub> (8)						
1			n, γ	-8,00	21,5		0,053	<sup>28</sup> Al <sub>13</sub>	2,31 min	1,78 (100)	4,8 · 10 <sup>-3</sup>	2,4 · 10 <sup>-3</sup>	1,3 · 10 <sup>-4</sup>
2	Al	<sup>27</sup> Al (100)	n, p	1,88	0,43	7,9		<sup>27</sup> Mg <sub>12</sub>	9,45 min	0,84 (70) 1,01 (30)	1,8 · 10 <sup>-3</sup>	1,1 · 10 <sup>-3</sup>	1,6 · 10 <sup>-4</sup>
3			n, α	3,24	0,065	12		<sup>24</sup> Na <sub>11</sub>	14,95 óra	1,37 (100) 2,75 (100)			
4			n, p	4,00	0,2	22		<sup>28</sup> Al <sub>13</sub>	2,31 min	1,78 (100)	4,3 · 10 <sup>-3</sup>	2,4 · 10 <sup>-3</sup>	1,3 · 10 <sup>-4</sup>
5		<sup>28</sup> Si (92,18)	n, 2n	17,78	10 <sup>-5</sup>			<sup>27</sup> Si <sub>14</sub>	4,22 s	0,84 (0,2) 1,01 (0,2)			
6	Si	<sup>29</sup> Si (4,71)	n, p	3,14	0,06	10		<sup>29</sup> Al <sub>13</sub>	6,56 min	1,28 (85) 2,43 (15)	1 · 10 <sup>-4</sup>	5,4 · 10 <sup>-5</sup>	5,3 · 10 <sup>-6</sup>
7			n, γ	-6,81	11	0,049		<sup>31</sup> Si <sub>14</sub>	2,65 óra	1,26 (0,07)			
8		<sup>30</sup> Si (3,11)	n, α	4,33	0,01	8		<sup>27</sup> Mg <sub>12</sub>	9,45 min	0,84 (70) 1,01 (30)	5,3 · 10 <sup>-5</sup>	3,3 · 10 <sup>-5</sup>	4,8 · 10 <sup>-6</sup>

zási idő és egységnyi neutronfluxus felvételével az

$$A_{\infty} = \frac{N_A \cdot \sigma \cdot k}{W}$$

képlettel számolunk ki, ahol  $N_A$  az Avogadro-szám,  $\sigma$  a számításba vont hatáskeresztmetszet (az 1. táblázatban **aláhúzott** érték),  $k$  az izotóp előfordulási gyakorisága,  $W$  az atomsúly. Megjegyezzük, hogy az egységnyi neutronfluxussal történő számítás bármilyen tényleges neutronforrás hozamának felvétele nélkül módot nyújt az aktivitások összehasonlítására;

(13) oszlop: az ún. mérhető teljes aktivitás, amely a fajlagos telítési aktivitásból az

$$A_{mt} = A_{\infty} \cdot \eta_t(E) \cdot f \cdot G$$

képlettel számítható, ahol  $G$  a mérés geometriai tényezője (a táblázatban  $G = 1$  értéket vettünk fel, bár a fűrőlyuk-viszonyokra végzett számítások szerint, max. 0,45 lehet [6]),  $f$  a gammasugárzás gyakorisága,  $\eta_t(E)$  tényező általános értelemben a mérőrendszerre megállapítható állandó (energiafüggő detektálási hatások), amelyre egy  $40 \times 40$  mm méretű NaJ(Tl) kristály abszorpciós adatait vettük figyelembe;

(14) oszlop: a scintillációs mérés fotoeffektusában mérhető (az 1. táblázatban **aláhúzott** energiákra kiszámított) aktivitás, amelynek képlete az előzővel teljesen analóg, csupán az  $\eta_t(E)$  tényező helyébe a felvett kristályra megadott fotoeffektus-hatásokat kell behelyettesíteni.

Az 1. táblázatban csak azokat az aktivitás-értékeket számítottuk ki, amelyek egyáltalán szóba jöhetnek. Ezek közül is kiemelkednek az 1., 2. és 4. sorszámúak. Érdeemes felfigyelni arra, hogy bár a 2. sorszámú reakcióban nyerhető fajlagos telítési aktivitás csupán a másik kettő kb. 40%-a, a fotoeffektusban való mérhetősége 20%-al jobb.

Az elemek elkülönítésére alapján három jellemző szolgálhat: a detektálási oldalon a felezési idő és a gammasugárzás energiája, az aktiválási oldalon a besugárzó neutronok energiája. Az egymást zavaró reakciók áthatásának csökkentésére bizonyos lehetőség van a besugárzási idő (szelvényezési sebesség) helyes megválasztásában.

Az alumínium és szilícium kimutatására alkalmazott neutron-aktivációs lyukszelvényező eljárások áttekintésében vegyük sorra a szemléltető 2. táblázat számozott kockáit.

2. táblázat – мабууа – Table

	Integrális		Energiaszelektív	
	pontmérés	folyamatos szelvényezés	pontmérés	folyamatos szelvényezés
zárt neutronforrás	1/	2/	3/	4/
neutrongenerátor	5/	6/	7/	8/

1. Lényegében az első kutatási lépések közé tartozik, a mai gyakorlatban már nem érdemel figyelmet [7].

2. Az 1. táblázatból világosan szembetűnik, hogy az alumínium és szilícium az 1. és 4. sorszámú reakciók szerint csak a gerjesztési oldalon különíthető el. Ebből a célból egy viszonylag kis energiájú neutronokat kibocsátó Po-B, majd egy Po-Be forrással végeztek méréseket [8]. A két forrással kapott számlálási arányokból egyszerű képlettel határozták meg a Si/Al hányados értékét. A mért természetes gammasugárzás és a hidrogéntartalom indikálására, epitermikus

neutron-neutron szelvényezéssel kísérték. A szondában a forrás–detektor távolság 2,5 m, a szelvényezési sebesség 50–60 m/óra volt.

3. Amerikai kutatók vizsgálatokat végeztek az Al–Si interferencia felderítésére különböző  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  tartalmú (nedves) mintákban  $^{252}\text{Cf}$  és Pu–Be forrásokkal [9]. Eredményeik szerint a Californium-252 forrással 10%/90% és 20%/80%  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  arányok között, az 1–2 MeV tartományban mért aktivitásban az alumínium mellett a szilícium hatása csak 6,5–3,5%-ban jelentkezett. Ez összhangban van azzal, hogy a 2,3 MeV átlagenergiájú neutronokat emittáló  $^{252}\text{Cf}$  forrásból 12%-ban lépnek ki 4 MeV feletti energiájú neutronok, amelyek létrehozzák a  $^{28}\text{Si} (n,p)^{28}\text{Al}$  reakciót. A méréseikből az is látható, hogy 100%  $\text{SiO}_2$  tartalom esetén a  $^{252}\text{Cf}$  forrással mért beütésszám kb. 8-szor kisebb, mint Pu–Be forrással.

4. Lényegében az előző, 3. eljárás gyakorlatiasabb változata, amelyet ugyanazon szerzők is ismertetnek a Californium-252 neutronforrás előnyeinek bemutatásával [9, 10]. Egyik érdekes következtetésük szerint bizonyos feltételek mellett, 3 láb/min szelvényezési sebességnél a 0,2 MeV diszkriminációs szint feletti regisztrálással 4,4-szer nagyobb beütésszám nyerhető az 1–2 MeV tartományban végzett mérésel szemben.

5. A karotázs mérésekhez kifejlesztett neutrongenerátorok megjelenésével mód nyílt a nagyobb küszöbenergiájú reakciók (1. táblázatban a 2. és 4. sorszámú) jobb hatásfokú felhasználásra [11]. 2–3 perces besugárzási idő után a szondát felemelik, hogy a detektor szembekerüljön az aktivált réteggel. Grafikonos idő-regisztrálást végeznek kb. 20 percig. A 15. és 20. perc közötti intervallumban – amikor az  $^{28}\text{Al}$  izotóp már lényegében lebomlott – az észlelt beütésszám a  $^{27}\text{Mg}$ -től származik, amiből 0 időpontig extrapolálva meghatározzák az Al tartalmat. Majd ennek hatását kivonják a lebomlási görbe kezdeti szakaszából és a maradékot ismét extrapolálva 0 időpontig megkapják a Si tartalmat.

6. A folyamatos szelvényezésnél ugyancsak az előbb említett reakciókat alkalmazzák [12]. A hagyományos neutron-élettartam-szelvényezésre használt szondában a neutronforrás–detektor távolság 12 láb (kb. 3,6 m), a detektálási küszöb 100 keV. A szilícium-szelvényezés – azaz az  $^{28}\text{Al}$  aktivitás mérés – optimális sebessége 66 m/óra lenne, amit termelékenységi okokból 220 m/óra-ra növeltek. Ekkor a  $^{27}\text{Al} (n, p) ^{27}\text{Mg}$  reakcióból származó interferencia kb. 10%. Az alumínium-szelvényezéshez 16 m/óra optimális sebesség tartozna, ami gyakorlati szempontból előírhatalanul lassú és ebben az esetben is jelentős a szilícium zavaró hatása [13]. A közlemények egyetértenek abban, hogy a szelvényezést porozítás-kontrollal kell végezni.

7. Az alumínium-tartalmat a  $^{27}\text{Mg}$  izotóp 0,84 MeV sugárzásának detektálásával határozzák meg. Egyidejűleg az 1,78 MeV-nál jelentkező fotocsúcs intenzitásával mérik az 1. és 4. sorszámú reakció együttes aktivitását, amely a gyors és termikus neutronfluxus ismeretében szétválasztható. A két energiatartományban mért intenzitások viszonya arányos a Si/Al hányadossal (lásd később a (4) képletben). Az eredményt befolyásoló, termikus neutronfluxus értékének megállapítására élettartam-szelvényezést javasolnak [14].

8. Erre az eljárásra, mint lehetségesre, a hozzászólás további részében még visszatérünk.

Az eljárások számozási sorrendje némileg a fejlődést jellemzi. A jelenlegi hazai gyakorlatban a 2. eljárást alkalmazzák, azaz különféle neutronforrásokkal (Po–Be,  $^{252}\text{Cf}$ ), integrális (nem energiaszelektív) detektálással folyamatos szelvényezést végeznek.

A tanulmányban közölt 6. ábra és az ahhoz fűzött magyarázat alig segíti elő a módszer kibontakozását. Megállapítja ugyanis, hogy a „<sup>252</sup>Cf forrás neutronjai energiájának kis része 2,1 MeV felett van.” Homokmodellben végeztek mérést, tehát a döntő komponens a SiO<sub>2</sub>. A szilíciumon bekövetkező (n, p) és (n, α) reakciók küszöbenergiája 4, ill. 4,33 MeV. Ez utóbbi aktivitása kb. két nagyságrenddel kisebb, mint az előzőé (lásd az 1. táblázat 4. és 8. sorszámú reakcióit). Mérési eredményei szerint a tanulmány arra a következtetésre jut, hogy „árnyékolás esetén (50 mm víz) a felezési idő 10,1 perc, ami a 10. reakció [<sup>30</sup>Si (n, α) <sup>27</sup>Mg] végtermékének 9,45 perces felezési idejét közelíti meg”, továbbá „... a gyors neutronok csökkenése folytán... növekszik a 10. reakció [<sup>30</sup>Si (n, α) <sup>27</sup>Mg] valószínűsége...”. Az árnyékolás nélküli esetben kapott 17,5 perces felezési idővel kapcsolatban megjegyzi, hogy „... valószínűleg szennyező anyagoktól származik.” Így a többi adat sem megbízható és nem tudni, hogy milyen kapcsolatban áll a SiO<sub>2</sub> tartalommal, annál is inkább, mivel a 7. és 8. ábrán bemutatottak alapján azt állítja, hogy a „<sup>252</sup>Cf alkalmazása esetén az aktivitás szintje az alumíniumtartalommal arányos.” A tanulmány 6. ábrájának görbéi grafikailag eléggé bizonytalanok, nem ismerjük a mérési pontosságot és sajnálatosan sehol nem említik meg az alkalmazott neutronforrások intenzitását, ezért a többi ábra is és következtetései sokat veszítenek értékükből. A vitás eredmények eldöntésére ajánlatos lett volna gammasugár-spektrumanalízist végezni. A gondolatmenet lezárásraként idézünk egy korábbi közleményből: „Bauxitmodellvizsgálataink során az Al és Si tartalmat igyekeztünk elkülöníteni. . . . . A mérések nem vezettek eredményre, mert a bauxit Si tartalma kimutatható mértékben nem aktiválódott és a változó nedvességtartalma csökkentette a pontosságot” [15].

*Nézzük át röviden az aktivációs szelvényezés technológiai feltételeit. Feladat:* (1) az Al tartalom, (2) a Si/Al hányados meghatározása, amihez a Si tartalom meghatározása is szükséges. *Cél:* (1) egyfajta neutronforrás használata (az Al tartalom méréséhez használható lassú – ideális esetben csak termikus – neutronokat sugárzó, vagy gyors neutronforrás, a Si tartalom méréséhez csak gyors neutronforrás megfelelő), (2) a jobb időgazdálkodás érdekében folyamatos szelvényezés, ha legalább olyan pontos, mint a megállásos (pontonkénti) mérés.

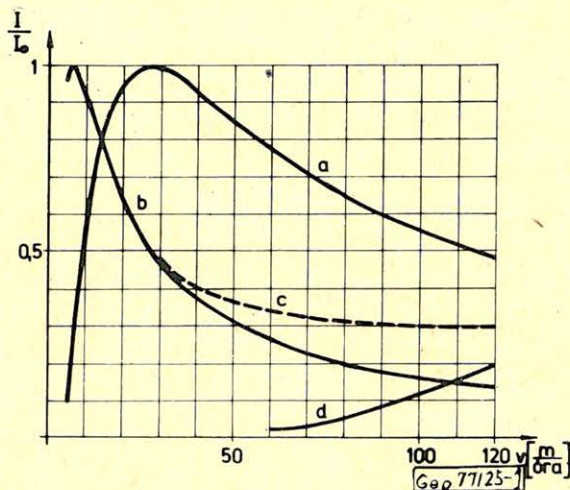
A szonda felépítésében fontos paraméter a neutronforrás – detektor távolság. A közvetlen neutronsugárzás, illetve a prompt gammasugárzás hatásának kiküszöbölésére a detektort a neutronforrástól kb. 1 – 3,5 m távolságra teszik. A pontonkénti méréseknél az lenne az ideális, ha a detektor és a neutronforrás azonos pontban lenne. Ugyanis álló forrásnál az aktivált zóna a forrás körül exponenciális eloszlású  $e^{-d/L}$  függvény szerint, tehát  $d = 0$  távolságban maximuma van és a zóna 90%-a a  $d = 2,3 \cdot L$  sugarú térben van. A folyamatos szelvényezésnél a neutronforrás mozgatásával az eloszlás képe lényegesen megváltozik és a mérhető intenzitás  $d/L \gg 1$  esetén jó közelítéssel az alábbi képlettel számítható [16]:

$$I = I_0 \frac{2 \cdot L \cdot \lambda \cdot v}{v^2 - (L \cdot \lambda)^2} e^{-\frac{\lambda \cdot d}{v}} \quad (1)$$

ahol  $I_0 = A/\lambda$  a telítési aktivitásból származó intenzitás,  $\lambda$  a mérendő aktív nuklid bomlási állandója ( $\lambda = 0,693 \cdot \tau_{1/2}$ ),  $L$  a diffúziós úthossz, amelynek értéke az irodalmi adatok szerint kb. 0,15 m, de ez változik a környező anyag neutronfékítő tulajdonságával, tehát a pontos méréshez ismerni kell a „neutronfelhő” összetételét. Az (1) képlet maximuma az ún. optimális sebességnél,  $v_0 = \lambda \cdot d$ -nél

van. Ahogy az 1. ábráról látható, szerencsére van mód a sebesség növelésére, pl. az  $^{28}\text{Al}$  aktivitás-szelvényezésénél az optimálisnál kb. 4-szer nagyobb sebességgel mérhető szint csupán 50%-ra esik. Azonban fontos a kiválasztott sebesség állandósága, mert a görbe ezen hátsó részén lineáris közelítéssel 1% sebességváltozás 0,7–0,8% számlálási szintváltozást okoz.

Neutrongenerátor alkalmazásával a feladatot a 2. és 4. sorszámú reakciókkal lehet megoldani, miközben a neutronok termalizálódása következtében zavarólag lép fel az 1. sorszámú reakció. Ezekon alapul a felsorolt 5., 6. és 7. eljárás. Ez utóbbinak folyamatos változatához – a 8. eljáráshoz – energiaszelektív szondát kell választani és a regisztrálás tartományát 0,84 és 1,78 MeV-re kell beállítani a fotocsúcsok lefedésével (pl a [14] irodalom szerint 0,74–0,94 és 1,65–1,9 MeV tartományokkal). A hitelesítő méréseknél vizsgálni szükséges a természetes gammasugárzás zavaró hatását is.



1. ábra. Az aktivált intenzitás függése a szelvényezési sebességtől ( $a = ^{28}\text{Si} (n, p) ^{28}\text{Al}$  reakció,  $b = ^{27}\text{Al}(n,p) ^{27}\text{Mg}$  reakció,  $c = b/a$  arány,  $d = ^{16}\text{O}(n,p) ^{16}\text{N}$  reakció).

Рис. 1. Зависимость активированной интенсивности от скорости измерения, [ $a =$  реакция  $^{28}\text{Si} (n, p) ^{28}\text{Al}$ ,  $b =$  реакция  $^{27}\text{Al} (n, p) ^{27}\text{Mg}$ ,  $c =$  отношение  $b/a$ ,  $d =$  реакций  $^{16}\text{O} (n, p) ^{16}\text{N}$ ]

Fig. 1. Dependence of activated intensity on the velocity of logging [ $a =$  reaction  $^{28}\text{Si}(n,p)^{28}\text{Al}$ ,  $b =$  reaction  $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ ,  $c =$  ratio  $b/a$ ,  $d =$  reaction  $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$ ].

A neutrongenerátorból érkező  $\Phi_{14}$  gyors neutronfluxus és a lassítás után kialakuló  $\Phi_t$  termikus neutronfluxus között egyszerűen a  $\Phi_t = k \cdot \Phi_{14}$  arányt lehet felállítani [17]. A 2. sorszámú reakcióból 0,84 MeV-nél érzékelhető intenzitás:

$$I_{0,84} = A_{mf2} \cdot \frac{\Phi_t}{k} \cdot C_{Al} \quad (2)$$

1,78 MeV-nél detektáljuk ugyan a szilíciumtól gyors neutron reakcióval származó  $^{28}\text{Al}$  aktivitást, de a termalizálódott neutronok létrehozzák az  $^{27}\text{Al}(n, \gamma)^{28}\text{Al}$  reakciót, tehát

$$I_{1,78} = A_{mf1} \cdot \Phi_t \cdot C_{\text{Al}} + A_{mf4} \cdot \frac{\Phi_t}{k} \cdot C_{\text{Si}} \quad (3)$$

A két intenzitás aránya:

$$\frac{I_{1,78}}{I_{0,84}} = \frac{A_{mf1}}{A_{mf2}} \cdot k + \frac{A_{mf4}}{A_{mf2}} \cdot \frac{C_{\text{Si}}}{C_{\text{Al}}} \quad (4)$$

A képletekben  $A_{mf}$  műszerkonstansokat (lásd az 1. táblázatban) hitelesítés útján célszerű meghatározni ismert alumínium ( $C_{\text{Al}}$ ) és szilícium tartalmú ( $C_{\text{Si}}$ ) mintákban.

A folyamatos szelvényezésnél az  $I_{0,84}$  értékéből ki kell vonni a nagyobb energiáktól származó Compton-háttér értékét, amelyre kidolgozott módszerek és műszerek vannak [18]. Ennek során figyelembe kell venni a vontatási sebesség és a felezési idő összefüggéséből eredő intenzitás-arányokat.

Ennek az eljárásnak a pontossága, úgy mint a többiének is, legnagyobb-részt a neutronfluxusok értékének ismeretén múlik. Azt feltételezik, hogy a generátorból kilépő gyors neutronok intenzitása a korszerű műszereknél már viszonylag stabil, de ha szükséges, lehet monitorozni. A termikus neutronok sűrűségének mérésére több módszer ismeretes, amelyek használatát az aktivációs célra alkalmazott műszerek teljesítőképessége döntheti el. Egyszerű esetben spektrálisan méri a hidrogén befogási gammasugárzását és ettől függően korrigálják az aktivitás értékét [19]. Ha neutrongenerátorral szelvényeznek, a szokásos elrendezésben méri a termikus neutron-élettartamot, illetve a makroszkópikus hatáskeresztmetszetet, amelyekből porozitás is számítható [9,20].

A bauxitban előforduló egyéb elemek hatására a tanulmányban az olvasható, hogy „a bauxitminták átlagos  $\text{MnO}_2$  tartalma 0,1%, így ennek hatása elhanyagolható, ugyanezt kapjuk a  $V^{52}$  izotóp esetén is.” A mangánra vonatkozóan elfogadható ez az állítás, de a vanádiumra nem. A számítások szerint egy 50%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -t és 0,1%  $V_2\text{O}_5$ -t tartalmazó bauxit aktiválásánál a teljes intenzitás 96%-a az Al-tól és kb. 2%-a a V-től származik.

A tanulmány, noha címében a „neutron-aktivációs módszer” szerepel, röviden kitér a radiációs gammasugárzás regisztrálásának lehetőségére is. Nem helytálló az az állítás, hogy a szilíciumon nem jön létre radiációs gammasugárzás. A szóbanforgó elemekre a 3. táblázatban összefoglaltuk két kölcsönhatás jellemző adatait.

A két elemnél keletkező, sok-komponenses gammasugárzás energiatartománya fedésben van. A radiációs befogás alapján tervezett elválasztás csak energiadiszkriminációval lehetséges. Ezt oldja meg a Scintrex cég METALOG szelvényezési rendszerével, amelyben sokesatornás analizátort és számítógépes kiértékelést használ [21]. A regisztrálásra javasolt, legnagyobb gyakoriságú energiák az alumíniumnál 7,724 MeV (24%), a szilíciumnál 4,934 MeV (25%). Ezeket a nagy energiákat a fotoeffektusban igen rossz hatásfokkal lehet mérni, ezért többnyire a párképződésben fellépő annihilációs csúcsokat méri. Az elem-koncentráció pontos meghatározásához ennél a mérési eljárásnál is gondoskodni kell a termikus neutronfluxus értékének indikálásáról.

Elem	Rugalmatlan szóródás				Radiációs befogás		
	$E_{nk}$ (MeV)	$\sigma_{is}(E_{nk})$ ( $10^{-28}$ m <sup>2</sup> )	$\sigma_{is}(14)$ ( $10^{-28}$ m <sup>2</sup> )	$E_{\gamma}$ (MeV)	$E_{nk}$ (MeV)	$\sigma_c$ ( $10^{-28}$ m <sup>2</sup> )	$E_{\gamma}$ (MeV)
Al	2,3	0,63	1,02	2,20	t	0,23	7,724
							7,694
							6,316
							6,102
							4,79
							3,88
							3,02
Si	1,84	0,4	1,02	1,78	t	0,13	2,84
							8,472
							7,199
							6,380
							4,934
							4,20
							3,55
							2,69
1,28							

Megjegyzések:

- $E_{nk}$  – a kölcsönhatásba lépő neutronok küszöbenergiája ( $t =$  termikus);  
 $\sigma_{is}(E_{nk})$  – a rugalmatlan szóródás hatáskeresztmetszete  $E_{nk}$  energiájú neutronokkal;  
 $\sigma_{is}(14)$  – a rugalmatlan szóródás hatáskeresztmetszete 14 MeV energiájú neutronokkal;  
 $\sigma_c$  – a radiációs befogás hatáskeresztmetszete;  
 $E_{\gamma}$  – a gammasugárzás energiája;

(A táblázatban az egyes forrásmunkák eltérő adatai közül a legjobban valószínűsíthetők szerepelnek).

*A témakör bonyolultsága miatt a hozzászólás terjedelmét a legnagyobb igyekezettel sem lehetett rövidebbre szabni. A felvázolt összes nehézség ellenére is folytatni érdemes a módszerek tökéletesítését és a már kifejlesztett műszerek alkalmazását a bauxitkutatás hatékonyabb támogatására.*

#### IRODALOM

- [1] Béress Béláné: Elemek nukleáris adatai. ELGI, Budapest, 1974. (Kézirat)
- [2] Селинов, И. П.: Изотопы. издат. «Наука», Москва, 1970.
- [3] Dr. Lengyel Tamás – Jász Árpád: Izotóplaboratóriumi zsebkönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966
- [4] Table of Cross Section for Fast Reactions. Texas Nuclear Corporation, Austin, Texas, U.S.A., 1960
- [5] Gillespie, A. S. and Hill, W. W.: Sensitivities for Activation Analysis with 14-MeV Neutrons. Nucleonics, November 1961, pp. 10–14.
- [6] Rhodes, D. F., Stallwood, R. A. and Mott, W. E.: Intensity of Unscattered Gamma Ray inside Cylindrical Self-Absorbing Sources. Nuclear Science and Engineering, Vol. 9, No. 1. January 1961 pp. 41–46.
- [7] Сенько – Булатный, И. Н.: Нейтронометрия скважин на месторождениях марганца и бокситов. Изв. АН СССР, сер. геоф., № 3., 1959, ст. 476–479.
- [8] Филиппов, Г. М.: Ядерная Геофизика II. издат. «Наука», Сибирское отделение, Новосибирск, 1973, ст. 129–130.



- [9] *Scott, H. D. and Smith, M. P.*: The Aluminum Activation Log. Trans. of SPWLA 14th Annual Logging Symposium, May 6 – 9, 1973
- [10] *Keys, W. S. and Boulogne, A. R.*: Well Logging with Californium-252. The Log Analyst, Vol. X, No. 6, November – December, 1969, pp. 11 – 25.
- [11] *Wichman, P. A. and Webb, R. W.*: Neutron Activation Logging for Silicon to Aluminium Ratio, Journal of Petroleum Technology, Vol. XXII, February 1970, pp. 201 – 206.
- [12] *Wichman, P. A.*: Neutron Activation for Elemental Determination in Boreholes. The Log Analyst, Vol. XIII, No. 1, January-February 1972, pp. 10 – 18.
- [13] *Wichman, P. A., Youmans, A. H. and Hopkinson, E. C.*: Advances In Neutron Lifetime Logging. Journal of Petroleum Technology, Vol. XIX, April 1967, pp. 479 – 490.
- [14] Ягерно-физические методы элементного анализа и геофизического опробования, вып. 13, § 9. Оценка качества бокситов в скважинах с помощью активации нейтронами с энергией 14 мэв и спектрометрии гамма-излучения наведенной активности. ВНИИЯГ, Москва, 1972.
- [15] A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1974. évi jelentése. ELGI, Budapest, 1975, p. 67.
- [16] *Булацевич, Ю. П., Сенько-Булатный, И. Н.*: Экспериментальная проверка условий оптимальности непрерывного активационного каротажа. Изв. АН СССР, сер. геоф., № 4, 1961, ст. 541 – 543.
- [17] *Бланков, Е. Б. и др.*: Перспективы использования Ас-Ве и Ро-В нейтронных источников в промысловой и разведочной геофизике. Ядерная Геофизика вып. I. издат. «Недра», Москва, 1968.
- [18] *Quittner, P.*: Gamma-Ray Spectroscopy. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1972, pp. 44., 67.
- [19] *Senftle, F. E. et al.*: Importance of neutron energy distribution in borehole activation analysis in relatively dry, low-porosity rocks. Geoexploration, Vol. 15, No. 2, April 1977, pp. 121 – 135.
- [20] *Threadgold, P.*: Interpretation of Thermal Neutron Die-Away Logs, Some useful Relationships. Trans. SPWLA Twelfth Annual Logging Symposium, May 1971
- [21] *Nargolwalla, S. and Siegel, H. O.*: In-situ mineral deposit evaluation with the Metalog system. Canadian Mining Journal, Vol. 98, No. 4, April 1977, pp. 75 – 89.

### *A szerzők válasza:*

dr. Salamon Batur, az MG XVIII. évf. 1 sz.-ban megjelent cikkünkhöz írt hozzászólásához, szerzőtársaimmal történt konzultáció után, az alábbi megjegyzéseket fűzöm:

Rövid dolgozatunkban – a címben leírtaktól valóban eltérően – nem foglalkoztunk a neutron-aktivációs módszer alkalmazásának egész területével. A dolgozat címe és tartalma közötti eltérés onnan adódik, hogy az eredetileg az 1976. évi Egyesületi Vándorgyűlés egyik előadása volt, mely a hazai középhegységi (bauxitos) támakörben hangzott el, és itt a „lehetőségek” alatt értelemszerűen a hazai lehetőségeket ill. eredményeket kívántuk tárgyalni.

A cikkünk egyes részeire vonatkozó kritikai megjegyzéseket köszönettel nyugtáztuk megjegyezve hogy pl. a  $V^{52}$  izotóp aktiválódásából származó hibát gyakorlatilag továbbra is elhanyagolhatónak tartjuk.

Hiányoljuk viszont, hogy az aktivációs lyukszelvényező eljárások áttekintésénél a külföldi irodalmi adatok mellett nem vették figyelembe a hazai bauxitos méréseket részben megalapozó kísérleti munkák eredményeit tartalmazó „Jelentés az 1963. évi bauxitkutató fúrások neutron aktivációs analízissel végzett karottázs vizsgálatáról” c. (Morvai L. ELGI) kutatási jelentést.

A hozzászólás szerzője avatottan, a bonyolult problémakör ismeretében, irodalmi adatokkal bőségesen alátámasztottan építi fel hozzászólását, vázolja a különböző megoldási lehetőségeket.

Sajnos, az általa taglaltak (és a nyugati és szovjet irodalomban közölt egyéb megoldások) legtöbbjének hazai bevezetése előtt kisebb – nagyobb akadályok vannak.

Végezetül (csak a saját nevemben nyilatkozva!) a hozzászólásként megírt anyagot, akár külön cikként is, megjelentetésre javaslom.

*Nyerges Lajos*

## Lapszemle

*Bányászati és Kohászati Lapok – Kőolaj és Földgáz* 10(110) évf. 12. sz. 1977. december  
Kókai J. – Szalay Á. – Szentgyörgyi K.: A geokémia szerepe a földtani szénhidrogén-prognózisban, 370 – 376 old.

A szerzők vázolják a szénhidrogén-kutatás célkitűzéseit és annak viszonyát a perspektivikus kutatáshoz, körülhatárolják a geokémiai kutatási eredmények értelmezéséhez szükséges földtani modell funkcióit. A nagyalföldi mély, neogén depressziókból származó vizsgálati adatok alapján bemutatják a neogén összletre vonatkozó főbb szénhidrogén-genetikai eredményeket, megállapítják a szerves anyag bomlásának kritikus mélységét és az intenzív szénhidrogénképződés tartományát. Vizsgálják továbbá az elsődleges migráció közetfizikai körülményeit, megállapítják kritikus mélységét és értelmezik a primér migráció hatásmechanizmusát.

*Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat*, 110 évf., 10. sz. 1977. október  
Gidai L.: Reménybeli eocénkorú kőszén és bauxit előfordulások az ÉNY-Gerecsében, 692 – 702 old.

A cikk arra a kérdésre próbál választ adni, hogy a szóban forgó területen milyenek az eocén kőszén és bauxit előfordulások az eddigi fúrásai és geofizikai tevékenység alapján, és további geofizikai és fúrásos munkálatokra tesz javaslatot.

T. G.