

A szilíciumtartalom NAG-karotázssal való mérési lehetőségének vizsgálata bauxitban

BALOGH IVÁN*

A neutronaktivációs analízis laboratóriumi viszonyok között alkalmas a bauxit alumínium és szilícium tartalmának pontos meghatározására.

Hasonló elven működik az NAG-karotázsmódszer, melynek segítségével meghatározható a bauxit alumíniumtartalma fűrőlyukban. Felvetődött a gondolat a szilíciumtartalom mérésének hasonló karotázs adaptációjára. Ennek lehetőségeit vizsgálja a cikk, s megállapítja, hogy a rendelkezésre álló izotóp neutronforrások miatt a módszer nem ültethető át a karotázs gyakorlatba.

Содержание алюминия и кремния боксита можно определять в лабораторных условиях нейтроно-активационным анализом. НАГ каротаж «работает» по подобному принципу, при помощи этого метода можно измерять содержание алюминия в боксите в скважине. Естественно родилась идея адаптации метода для измерения содержания кремния. В докладе описывается исследование возможности внедрения этого метода и устанавливается, что метод не может быть внедрен в практику промышленной геофизики из-за применяемых нейтронных источников.

Method of neutron activation analysis is suitable to measure the precise alumina and silica content of bauxite in lab circumstances. The method of NAG log is working by a similar principle, and the alumina content of bauxite can be measured with it, in bore-holes. One got idea of the adaptation of silica content measuring too. This paper examines the possibility of the adaptation, and proves that this method cant be adapted into log-practice because of the available isotopic neutron sources.

Bevezetés

Laboratóriumi körülmények között a bauxitok alumínium- és szilíciumtartalmának aktivációs meghatározása rutinfeladatnak számít. [1]

Megfelelő célberendezések működnek a Magyar Alumíniumipari Tröszt bányáinál, timföldgyáraiban, kohóinál, s a Bauxitkutató Vállalatnál is. Az eljárás alapjául két magreakció szolgál:

- a) $Al^{27}(\eta, \gamma) Al^{28}$ hatáskeresztmetszet termikus neutronokra: 215 mbarn
 b) $Si^{28}(\eta, p) Al^{28}$ hatáskeresztmetszet 14 Mev-es neutronokra: 220 mbarn
 reakcióküszöb: 3,9 MeV.

A reakciótermék mindkét esetben Al^{28} , mely 2,3 perces felezési idővel 1,78 MeV-es gamma-sugárzást bocsát ki. A reakciók szétválasztása csak a neutronenergia oldaláról lehetséges. Ezt gyakorlatilag úgy oldják meg, hogy egy kemény neutronforrást paraffin edénybe helyeznek, s két besugárzóhelyet alakítanak ki: egyet a forrástól távolabb (itt főleg termikus neutronok lesznek), s egyet a forrás közvetlen közelében (itt viszont a gyors neutronok lesznek többségben). A bauxitmintákat külön-külön felaktiválják mindkét besugárzóhelyen. A két mérésből a szilícium- és alumíniumtartalom az alábbi egyenletrendszer megoldása útján határozható meg. [1]:

$$x_0 = a_0 + b_{02}x_2 + b_{03}x_3 \quad A.$$

$$x_1 = a_2 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 \quad B.$$

* Bauxitkutató Vállalat, Balatonalmádi

ahol: $x_0 = I_0$

$x_1 = I_1$

$x_2 = SiO_2$

$x_3 = Al_2O_3$

$a_0 \ b_{02} \ b_{03}$

$a_1 \ b_{12} \ b_{13}$

a *termikus* besugárzóhelyen végzett aktiválás után mért aktivitás

a *gyors* besugárzóhelyen végzett aktiválás után mért aktivitás

a bauxitminta szilíciumtartalma

a bauxitminta alumíniumtartalma

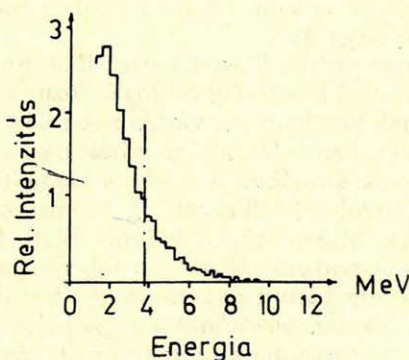
állandók, értéküket ismert összetételű minták mérése alapján lehet meghatározni.

Várakozásaink

Természetesen adódik a gondolat, hogy próbáljunk meg hasonló vizsgálatokat végezni *fűrőlyukban*. A *termikus* besugárzást *Cf-252*, a *gyors* besugárzást pedig a keményebb *PuBe* forrással kísérhetjük megvalósítani.

Mint az 1. és 2. ábrán látható, a *Cf-252* túlnyomórészt a szilícium 3,9 MeV-es energiaküszöbe alatti neutronokat bocsát ki, a *PuBe* spektruma viszont kb.

Cf - 252



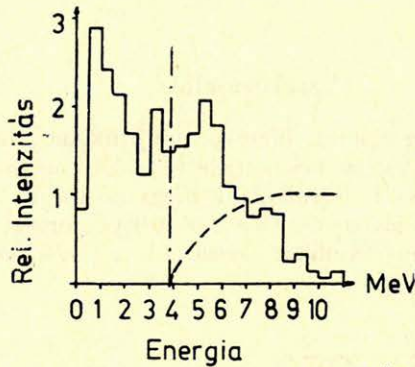
Geo 87/21-1

1. ábra. A Cf-252 neutronforrás spektruma

Рис. 1. Спектр нейтронного источника С - 252

Fig. 1. Spectra of Cf-252 neutron source

Pu-Be



Geo 87/21-2

2. ábra. A PuBe neutronforrás spektruma

Рис. 2. Спектр нейтронного источника РnBe

Fig. 2. Spectra of PuBe neutron source

felelészben e küszöb fölé esik. A két forrásnál két NAG (Neutron aktivációs gamma-karotázs) mérést végezve, az *A.* és *B.* egyenletek segítségével meghatározható lenne a bauxit alumínium- és szilíciumtartalma. Az *A.* egyenletet fúróluk-vizszo-nyok között már vizsgáltuk. [2, 3]. Eredményül kvantitatív alumíniumtar- talom értékelési eljárást dolgoztunk ki. Itt a *Cf-252* spektrum miatt $b_{02} = 0,5$ s az *A.* egyenlet egyenesbe megy át.

Az alábbi rövid tanulmányban a *B.* egyenlettel, illetve a megfelelő gyorsneut- ronos NAG-mérés megvalósítási lehetőségével foglalkozunk.

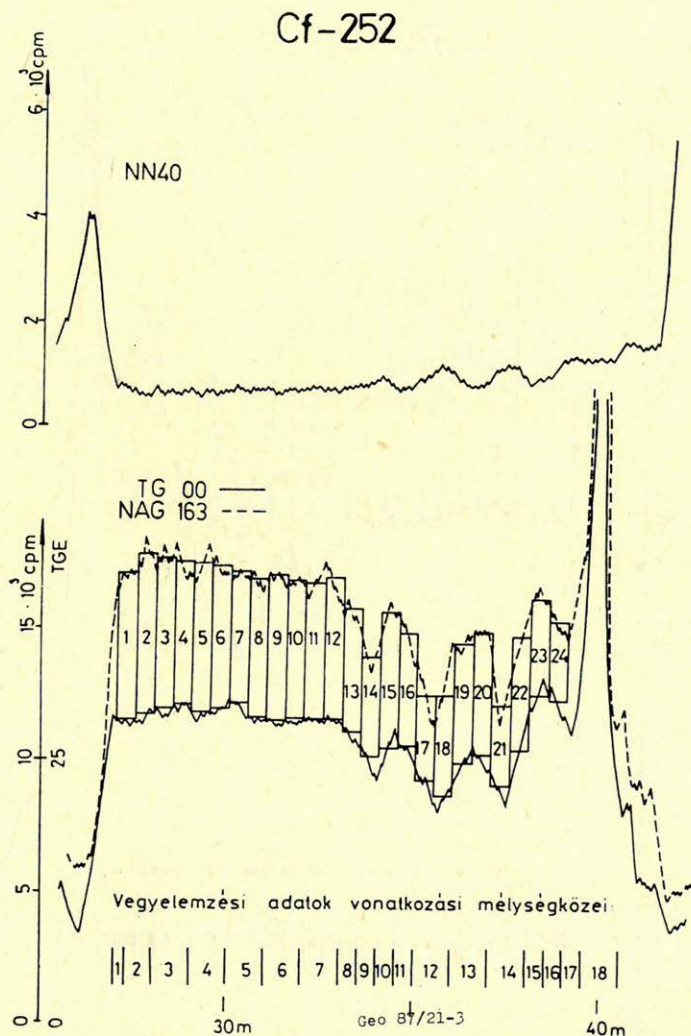
Mindenesetre óvatosságnak kell lennünk várakozásainkat illetően. A $Si^{28}(\eta, p) Al^{28}$ reakció hatáskeresztmetszetét 14 MeV-re adják meg a táblázatok. Ezek az ún. töltött-részecske reakciók általában a 2. ábrán szaggatott vonallal rajzolt- hoz hasonló karakterisztikával rendelkeznek. A fluxus és hatáskeresztmetszet integrált szorzata tehát kisebb, mintha a küszöb fölött állandó hatáskereszt- metszetet tételeznénk fel. A reakció *esélyeit* tovább rontja, hogy a mérési kör- nyezet, azaz a fúróiszap, víz és bauxit nagy hidrogén tartalmú közegek, és ezért a gyors neutronok nagyon hamar lelassulnak a reakcióküszöb alá.

Végül a bauxit szilícium-tartalma általában jóval kisebb az alumíniumtar- talomnál.

Mindezt összevetve, nem várhatunk többet egy *PuBe*-forrással történő NAG- mérés során, mint hogy a kapott jel kb. 10–15%-a származzék a szilíciumtól. *A feladatnak még így is van értelme, hiszen megoldása esetén lehetőség nyílna a kis és nagy szilíciumtartalmak legalább kvalitatív elkülönítésére, a bauxit minőségének megbízhatóbb becslésére.*

Kísérleti mérések

Annak eldöntésére, hogy a szilícium a *PuBe*-forrással történő besugárzásra fúróluk-viszonyok között megszólal-e, kísérleti méréseket végeztünk. A mérésekre a *Gf-2* jelű etalonkutató választottuk ki. Ez egy műanyag bélésűvel állandósított, 101 mm névleges átmérőjű sekély fúrás, egyike azoknak, melyekben az NAG-szelvényezés alumíniumtartalomra való hitelesítését végeztük 1981-ben. A bauxitos öslesztet 26,8–41,7 m között helyezkedik el. A vegyelemzési adatokat az 1. táblázatban közöljük, vonatkozási mélységközeik a 2. és 4. ábrákon láthatók. Jelenlegi méréseink idején a fúrást feltöltöttük vízzel.



3. ábra. A Cf-252 neutronforrással végzett NAG-mérés

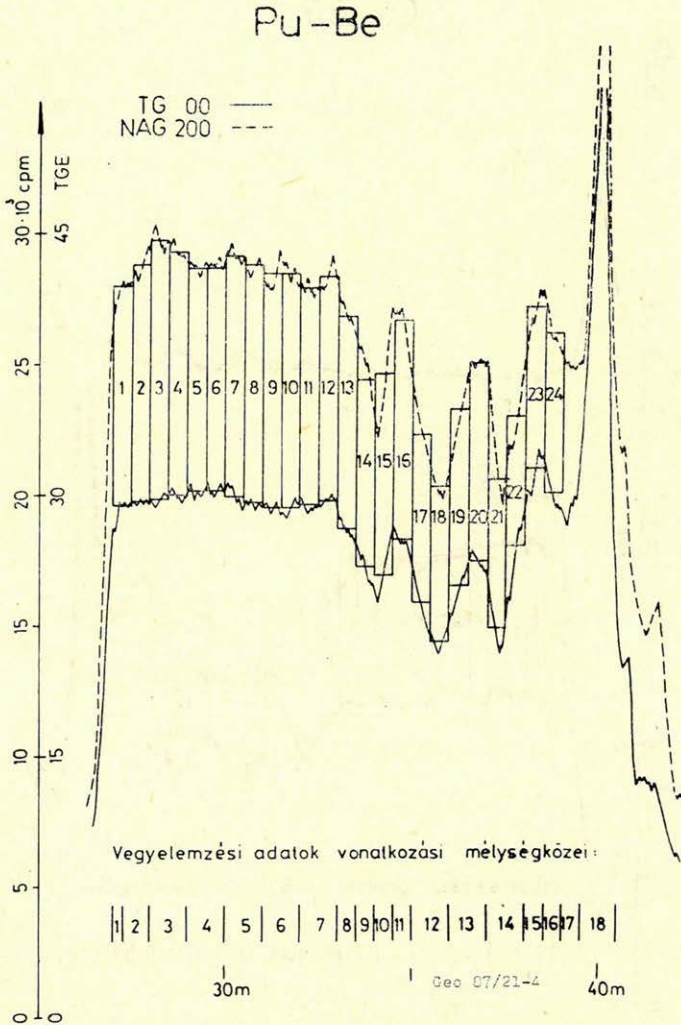
Рис. 3. НАГ каротаж, полученный с нейтронным источником Cf – 252

Fig. 3. NAG log measured with Cf-252

A *Cf-252*, illetve *PuBe* neutronforrásokkal végzett kísérleti NAG-méréseinket, illetve a velük párhuzamosan felvett *NN 40* szelvényt a 3. és 4. ábrákon láthatjuk.

A *Cf-252* neutronforrással végzett NAG-szelvényezés technikai paraméterei a következők voltak: a mérési csatorna érzékenysége $50 \text{ TGE}/140 \text{ mm}$ ($1 \text{ TGE} = 7,16 \cdot 10^{-14} \text{ A/kg}$), a szondahossz $l = 1,63 \text{ m}$, a vontatási sebesség $v = 0,92 \text{ m/perc}$, a neutronforrás erőssége $G = 5,8 \cdot 10^6 \text{ n/s}$.

A sugárforrások méretkülönbségei miatt a *PuBe*-forrással való NAG-szelvényezést másik szondával végeztük. A szelvényezés technikai paraméterei itt az alábbiak voltak:



4. ábra. A *PuBe* neutronforrással végzett NAG-mérés

Рис. 4. NAG каротаж, полученный с нейтронным источником *PuBe*

Fig. 4. NAG log measured with *PuBe*

Laboratóriumi Al_2O_3 és SiO_2 adatok

Лабораторные данные

Lab Al_2O_3 and SiO_2 data

Nö	Hossz m	Al_2O_3 súly %	SiO_2 súly %
1	0,3	46,7	11,7
2	0,7	51,0	4,0
3	1	53,3	3,9
4	1	55,6	4,1
5	1	53,6	4,9
6	1	49,5	5,9
7	1	49,5	6,6
8	0,5	51,8	3,8
9	0,5	51,5	3,0
10	0,5	50,5	4,7
11	0,5	42,8	14,4
12	1	37,5	26,3
13	1	45,9	11,8
14	1	37,2	28,5
15	0,5	44,1	19,5
16	0,5	33,7	36,6
17	0,5	42,6	31,4
18	1	48,4	28,5

a mérési csatorna érzékenysége 30 TGE/140 mm, a szondahossz $l = 2,0$ m, a vontatási sebesség $v = 0,94$ m/perc, a neutronforrás erőssége $Q = 196$ GBq.

A mérési adatok előkészítése a feldolgozáshoz

A NAG-szelvényezések adatait a szondák érzékenységére, a szondahosszra és vontatási sebességre korrigáltuk az alábbi K normáló-koefficiens segítségével [2, 3]:

$$K = \varepsilon \cdot v \cdot \exp(\lambda \cdot l/v)$$

ahol ε szondaérzékenység $\frac{\text{(TGE)}}{\text{mm}}$
 v szondasebesség (m/perc)
 l szondahossz (m)
 λ ln 2/2,3 perc.

A források hozamával nem korrigáltunk, mivel a PuBe -forrás erősségének neutronhozamra való átszámítása a kézikönyvek szerint ([4.] 67. old., illetve [5] 138. old.) nem egyértelmű. A hozammal való normálást a spektrumok különbözősége is megkérdőjelezi. Mindenesetre a hozamok azonos nagyságrendbe esnek (10^6 n/s). A korrigált NAG-adatokat a 2. táblázatban adjuk meg. Az adatok vonatkozási mélységközei a 3–4. ábrákon láthatók. A 39,0 m alatti adatokat kihagytuk a feldolgozásból. Itt ugyanis a természetes gamma-háttér hirtelen, impulzuszerű megnövekedése erősen torzítja a NAG-szelvényezés eredményeit. Ezt a torzítást jelenleg nem áll módunkban korrigálni.

NAG karotáztsadatok a sebesség és a szondahossz korrekció után
 Данные НАГ каротажа после исключения влияния
 скорости и длины зонда
 NAG log data after speed and sonde length correction

№	I (Cf 252) (TGE)	I (PuBe) (TGE)
1	21,9	22,6
2	24,1	24,1
3	22,4	26,4
4	21,3	24,5
5	22,4	22,6
6	21,3	22,6
7	19,6	24,5
8	20,2	23,7
9	21,9	23,7
10	20,7	23,7
11	20,2	22,2
12	20,7	23,0
13	18,5	21,4
14	14,6	19,5
15	20,2	20,3
16	16,8	22,2
17	12,9	17,2
18	15,1	15,7
19	17,9	18,0
20	18,5	20,3
21	11,8	15,3
22	16,8	13,0
23	14,6	16,4
24	11,8	16,1

A mérési adatok feldolgozása

A kísérleti adatok feldolgozásának célja a *B.* egyenlet állandóinak meghatározása. Várakozásunk szerint a b_{12} és b_{13} állandóknak pozitívoknak kell lenniük fizikai jelentésük alapján. A mérési adatok száma nyilván nem lesz elegendő az állandók nagy pontosságú meghatározásához. Az viszont valószínű, hogy eldönthetjük, *megszólalt-e* a szilícium a *PuBe*-forrással való besugárzásra, vagy sem.

Mint az 1. táblázatban látható, a bauxitos összlet egy jó minőségű felső és egy gyengébb alsó szintből áll. Ez előnyt jelentett az *A.* egyenlet állandóinak számításánál. Ott ugyanis $b_{02} = 0$ miatt az egyenletnek egy egyenes felelt meg az x_0, x_3 (azaz I_0, Al_2O_3) síkon, s a két súlypont körül csoportosuló adatok megbízhatóbbá tették az egyenes meghatározását.

A szilíciumtartalmak között is jelentős különbség van a két bauxitszintben. Azonban most a *B.* egyenlet állandóit fogjuk keresni, ezt az egyenletet pedig egy sík ábrázolja. Síkot viszont legalább három pontjával lehet meghatározni. Regressziós számításoknál, ha az adatok csak két csomópont körül tömörülnek, bár lehet számolni a sík paramétereit, azok bizonytalanok lesznek, a sík *billegni* fog. Ezért a feladatot – egyszerű fizikai megfontolások alapján – egészítsük ki egy kényszerfeltétellel: a sík menjen át az origón. Gyakorlatilag alapadatainkhoz még 24 db zérusvektort írunk.

A karotázsadatok mélységközeihez illesztett laboratóriumi adatok
 Лабораторные данные, калиброванные по НАГ каротажу
 Lab data adjusted for NAG log

№	Al ₂ O ₃ súly %	SiO ₂ súly %
1	48,4	8,6
2	51,0	4,0
3	53,3	3,9
4	53,3	3,9
5	55,6	4,1
6	55,6	4,1
7	53,6	4,9
8	53,6	4,9
9	49,5	5,9
10	49,5	5,9
11	49,5	6,6
12	49,5	6,6
13	51,8	3,8
14	51,5	3,0
15	50,5	4,7
16	42,8	14,4
17	37,5	26,3
18	37,5	26,3
19	45,9	11,8
20	45,9	11,8
21	37,2	28,5
22	37,2	28,5
23	44,1	19,5
24	33,7	36,6

Az így kiegészített adatokkal elvégezve a regressziós számításokat, az *A.*, illetve *B.* egyenletek állandóira az alábbiakat kapjuk [6, 7]:

$$I_0(Cf-252) = a_0 + b_{02} SiO_2 + b_{03} Al_2O_3$$

$$a_0 = 0,0123$$

$$b_{02} = -0,0353$$

$$b_{03} = 0,4002$$

$$I_1(PuBe) = a_1 + b_{12} SiO_2 + b_{13} Al_2O_3$$

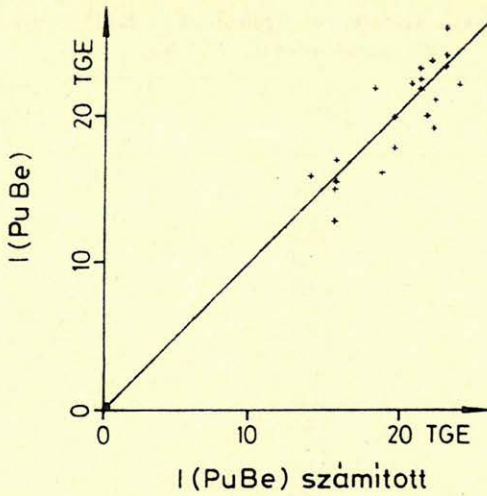
$$a_1 = 0,0158$$

$$b_{12} = -0,0230$$

$$b_{13} = 0,4435$$

A fenti állandókkal jellemzett lineáris függvénykapcsolatok szorosságát a korrelációs tényezők mérik. A regressziós egyenlet segítségével reprodukált függő változó [$I_0(Cf-252)$], illetve az ún. többszörös korrelációs tényező méri. A függő változó és az egyes független változók közötti kapcsolatok szorosságát az ún. parciális korrelációs tényezők mutatják. A parciális korrelációs tényező csak a kiválasztott független változó kapcsolatát vizsgálja, a többi független változó

$$\rho = 0,9922$$



Geo 87/21-5

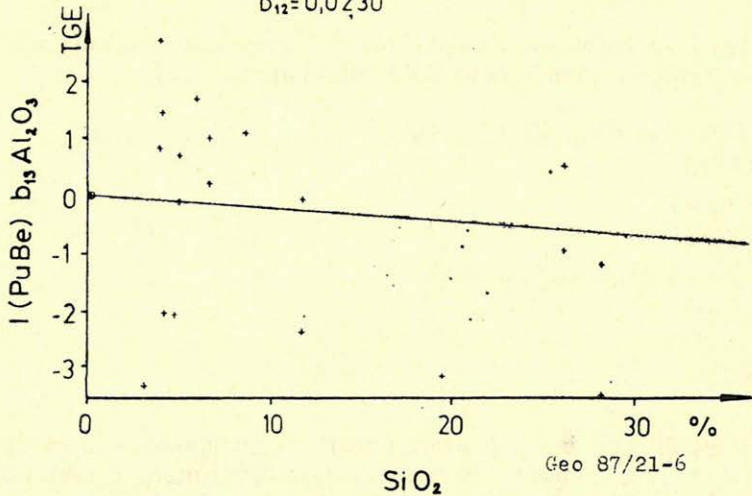
5. ábra. I (PuBe) – I (PuBe) (számított) többszörös korreláció

Рис. 5. I (PuBe) – I (PuBe) /вычисленная/ многократная корреляция

Fig. 5. I (PuBe) – I (PuBe) (calculated) multiple correlation

$$\rho = 0,1365$$

$$b_{12} = 0,0230$$



Geo 87/21-6

6. ábra. (I (PuBe) – $b_{13} \text{Al}_2\text{O}_3$) – SiO_2 parciális korreláció

Рис. 6. [I (PuBe) – $b_{13} \text{Al}_2\text{O}_3$] – SiO_2 частная корреляция

Fig. 6. (I (PuBe) – $b_{13} \text{Al}_2\text{O}_3$) – SiO_2 partial correlation

hatását a kiszámított regressziós együtthatók segítségével kiküszöböli. Végül a hagyományos korrelációs tényező következik, mely nem veszi figyelembe a kiszámított regressziós együtthatókat, s így mindig terheli a többi változó hatása is. (Ezért szokás totális korrelációs tényezőnek nevezni.) Az *A.*, illetve *B.* regressziós egyenletek korrelációs tényezői a 4. táblázatban láthatók. A *B.* egyenlet többszörös és parciális korrelációit az 5–7. ábrák teszik lehetővé.

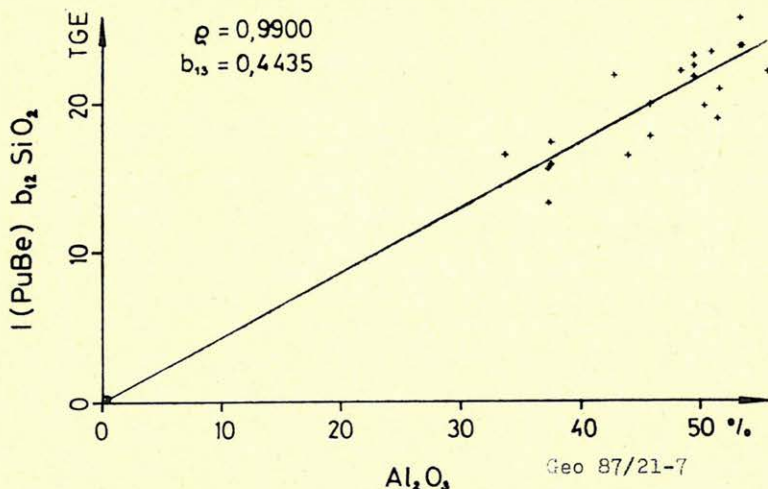
4. táblázat – Таблица 4 – Table. 4.

Az (A) és (B) regressziós egyenletek korrelációs tényezői
 Коэффициенты корреляции уравнений регрессии (A) и (B)
 Correlation coefficients of (A) and (B) regression equations

	A I(Cf 252)	B I(PuBe)
Többszörös korreláció:	0,9889	0,9922
Parciális korrelációk:		
I v.s. SiO ₂	-0,1940	-0,1365
I v.s. Al ₂ O ₃	0,9861	0,9900
Totális korrelációk:		
I v.s. SiO ₂	0,4532	0,4655
I v.s. Al ₂ O ₃	0,9885	0,9920

Végső értékelés

A kísérleti mérés, illetve az adatfeldolgozás célja a *B.* egyenlet állandóinak meghatározása volt. Fizikai jelentésük alapján a b_{12} és b_{13} állandóknak egyaránt



7. ábra. $(I(\text{PuBe}) - b_{12} \text{SiO}_2) - \text{Al}_2\text{O}_3$ parciális korreláció

Рис. 7. $(I(\text{PuBe}) - b_{12}\text{SiO}_2) - \text{Al}_2\text{O}_3$ частная корреляция

Fig. 7. $(I(\text{PuBe}) - b_{12} \text{SiO}_2) - \text{Al}_2\text{O}_3$ partial correlation

pozitívoknak kellett volna lenniük. Ezzel szemben a SiO_2 együtthatója $b_{12} = -0,0230$ -nak adódott, a megfelelő parciális korrelációs tényező pedig $\rho = -0,1365$ (6. ábra). A szilíciumra eső kis beütésszámok miatt eleve nem várunk túl szoros korrelációt, azonban a negatív b_{12} együttható egyértelműen kizárja a lehetőséget, hogy I ($PuBe$) mérése közben a SiO_2 hatása érezhető lenne.

A sikertelenség okait keresve vessük össze a mérési körülményeket az [1] laborbeli viszonyokkal. A leglényegesebb eltérés a laborbeli ún. gyors besugárzóhely kialakításában van: ez közvetlenül a neutronforrás mellett kapott helyet. A fúrólukban viszont erre nem volt lehetőség, s mivel a lyuk vízzel volt töltve, a gyors neutronok lefékeződtek a 3,9 MeV-es reakcióküszöb alá (2. ábra). Így a szilícium nyilván nem tudott megszólalni.

Összefoglalásképpen megállapíthatjuk, hogy a SiO_2 bauxitos fúrólukban való mérésére a NAG-módszer nem alkalmas. A probléma megoldását más úton kell keresnünk, pl. a prompt neutrongamma-reakciók körében. [4, 5].

IRODALOM

- [1] *Tatár J.*: Bauxit minták alumínium és szilícium tartalmának meghatározása neutronaktivációs analízissel. Geofizikai Közlemények XIII. 4. sz. Műszaki Könyvkiadó. Bp. 1964.
- [2] *Balogh I. – Horváth J.*: Az Al_2O_3 tartalom mennyiségi meghatározása bauxitos fúrólukban neutronaktivációs karotázzsal. Magyar Geofizika XXIV. évf. 1983. 3. sz.
- [3] *Balogh I. – Horváth J.*: A bauxitok alumíniumtartalmának fúrólukban végzett mérése neutronaktivációs karotázzsal. Bányászati és Kohászati Lapok-Bányászat 117. évf. 1984. 11. sz.
- [4] *Neutronfizika*: Szerk. Kiss D. – Quitner P. Akadémiai Kiadó Bp. 1971.
- [5] *Szabó E. – Simonits A.*: Aktivációs analízis. Műszaki K. Bp. 1973.
- [6] *Prékopa A.*: Valószínűségelmélet műszaki alkalmazásokkal. Műszaki K. Bp. 1974.
- [7] *Vince J.*: Matematikai statisztika ipari alkalmazásokkal. Műszaki K. Bp. 1975.