

**Lesław Brunarski\***  
**Marian Krawczyk\*\***

## **PROBLEMY POMIAROWE W BADANIACH PROMIENIOTWÓRCZOŚCI NATURALNEJ MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH**

W artykule omówiono wybrane zagadnienia związane z wykonywaniem w ITB przez blisko 30 lat badań kontrolnych promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych. Poruszono takie problemy, jak znaczenie prawidłowego określenia biegu własnego, stosowanego w pomiarach analizatora, dobór czasu pomiarów lub liczby jednostkowych pomiarów, wpływ masy próbki badanej na autoabsorpcję promieniowania gamma próbki i możliwość wprowadzania odpowiednich poprawek, a także wpływ nierównowagi promieniotwórczej w próbce na określane wielkości i ich całkowitą niepewność, wymaganą w Instrukcji ITB 234/2003.

### **1. Wprowadzenie**

Nowa instrukcja ITB 234/2003 „Badania promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych” [1] uwzględnia zmiany w przepisach prawnych, które nastąpiły w kraju od roku 2000, a przede wszystkim wymagania zawarte w dokumencie [2]. W instrukcji uwzględniono obowiązującą klasyfikację wyrobów, wprowadzono nowo zdefiniowane wskaźniki aktywności do oceny stężenia naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w badanych surowcach i wyrobach oraz rozszerzono zakres stosowania instrukcji na wyroby budowlane przeznaczone do wszelkich obiektów budowlanych (nie tylko do budynków mieszkalnych, jak było w wersji poprzedniej).

W opublikowanym komentarzu [3] do instrukcji omówiono wszystkie wprowadzone zmiany formalne i merytoryczne, podano przykłady interpretacji i szereg wskazań praktycznych, odnoszących się do procedur kalibracji i kontroli aparatury, przygotowywania próbek do badań i szacowania niepewności pomiarów, kontroli zgodności wyników badań z wymaganiami i oceny partii wyrobów budowlanych. W publikacji tej – z uwagi na jej ograniczoną objętość – nie analizowano jednak bardziej szczegółowych zagadnień pomiarowych, jakie wyłoniły się w wyniku wieloletniego prowadzenia w ITB badań kontrolnych promieniotwórczości naturalnej wyrobów budowlanych. Do zagadnień tych

---

\* prof. dr inż. – Zakład Konstrukcji i Badań Wytrzymałościowych ITB

\*\* st. specjalista, jw. (em.)

należy między innymi optymalizacja warunków pomiarów ze względu na geometrię, stan równowagi promieniotwórczej, korelację między liczbami zliczeń biegu własnego analizatora i masą próbki badanej, jak również wymagania odnośnie do niepewności pomiarów stężeń pierwiastków promieniotwórczych, określenia wskaźników aktywności, procedur kalibracyjnych, pomiarów biegu własnego, niepewności określenia wartości współczynników kalibracyjnych, a także problem szczególnych procedur pomiarowych i warunków ich stosowania, na przykład w przypadku nietypowych wyrobów budowlanych – z tworzyw o bardzo małej gęstości lub szczególnie ciężkich.

Procedury obsługi i kalibracji aparatury pomiarowej oraz metodyka wykonywania badań promieniotwórczości naturalnej są zawarte w dokumentacji (instrukcji obsługi) dołączonej przez producenta aparatury. W zasadzie więc ściśle stosowanie się do zaleceń zawartych w dokumentacji aparatury powinno być wystarczające do wykonywania badań i uzyskiwania poprawnych wyników, pod warunkiem, że aparatura jest sprawna, badane materiały należą zaś do typowych materiałów pochodzenia mineralnego (np. beton, ceramika).

W praktyce występuje wiele problemów pomiarowych, których nie przewidziano w instrukcjach obsługi aparatury. Problemy takie napotkano w okresie ponad trzydziestoletniego prowadzenia badań promieniotwórczości naturalnej materiałów i wyrobów budowlanych w Instytucie Techniki Budowlanej.

W ramach prac związanych z nowelizacją instrukcji 234 (temat NW-61/03) wykonano szereg analiz zgromadzonego materiału doświadczalnego, których wyniki mogą być przydatne badaczom prowadzącym tego rodzaju badania kontrolne. W artykule przestawiono wnioski z tych analiz, dotyczące następujących wybranych zagadnień:

- wpływ biegu własnego analizatora na wyniki pomiarów stężenia oznaczanych pierwiastków promieniotwórczych i na zależność biegu własnego od masy badanej próbki wyrobu oraz na całkowitą niepewność pomiarów stężenia potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 oraz na niepewność określenia wskaźników aktywności badanych wyrobów,
- zależność niepewności określenia stężeń pierwiastków promieniotwórczych i wskaźników aktywności od całkowitego czasu pomiaru (liczby powtórzeń pomiarów jednostkowych),
- zależność współczynnika poprawkowego ze względu na autoabsorpcję promieniowania gamma pierwiastków promieniotwórczych zawartych w badanym materiale lub wyrobie od masy próbki i niepewność jego określenia,
- ocena stopnia nierównowagi promieniotwórczej badanej próbki wyrobu i jej wpływu na niepewność oznaczanie stężenia naturalnych pierwiastków promieniotwórczych i wskaźników aktywności.

## **2. Bieg własny trzykanałowego analizatora zanieczyszczeń promieniotwórczych**

Zalecana w Instrukcji ITB 234/2003 [1] metoda określania stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych jest metodą porównawczą. Polega na określaniu w trzech kanałach pomiarowych tzw. liczby zliczeń fotonów promieniowania gamma, emitowa-

nych z badanej próbki oraz z trzech objętościowych wzorców promieniotwórczych: potasowego, radowego i torowego. Przedziały energii fotonów zliczanych w zakresach pomiarowych zostały wybrane w taki sposób, aby w każdym z nich występowała linia widmowa promieniowania gamma, charakterystyczna w odniesieniu do energii fotonów potasu K-40 oraz radionuklidów rodziny uranowo-radowej i rodziny torowej.

Wartości stężeń pierwiastków promieniotwórczych: potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w badanych materiałach uzyskuje się w wyniku analizy średnich liczb zliczeń uzyskanych w wybranych trzech zakresach pomiarowych w serii  $n$  powtórzeń pomiarów wykonanych w ustalonym czasie jednostkowym.

Oznaczanie stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w materiałach budowlanych polega na określeniu intensywności promieniowania gamma, emitowanego przez pierwiastki promieniotwórcze zawarte w odpowiednio przygotowanej próbce, i porównanie jej z intensywnością promieniowania gamma wzorców promieniotwórczych. Aby określić stężenie trzech pierwiastków promieniotwórczych: potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 pomiary wykonuje się w trzech przedziałach energii promieniowania gamma, wybranych w taki sposób, aby w każdym z nich występowała linia promieniowania gamma najbardziej charakterystyczna dla wymienionych trzech nuklidów promieniotwórczych.

Określenie intensywności promieniowania gamma polega na zliczaniu impulsów z detektora promieniowania gamma w trzech przedziałach amplitudy odpowiednich do trzech przedziałów energii i obliczeniu wartości średnich liczb zliczeń w poszczególnych kanałach w ustalonym jednostkowym czasie. Otrzymane średnie liczby zliczeń ( $N_j$ ) w poszczególnych przedziałach zawierają w sobie impulsy tzw. biegu własnego analizatora ( $N_{ij}$ ). Do obliczenia stężeń pierwiastków promieniotwórczych przyjmuje się liczby zliczeń netto ( $N'_j$ ), tzn. po odjęciu liczby zliczeń biegu własnego ( $N_{ij}$ )

$$N'_j = N_j - N_{ij} \quad (1)$$

Bieg własny analizatora, bez obecności próbki w komorze pomiarowej, jest efektem rejestrowania przez detektor promieniowania gamma przenikającego z zewnątrz przez osłonę detektora lub pochodzącego z elementów samej osłony i obudowy sondy. Próbka materiału o masie  $m$ , umieszczona w komorze pomiarowej sondy, powoduje więc osłabienie zewnętrznego promieniowania gamma (w tym z obudowy sondy) i tym samym zmniejszenie liczby impulsów biegu własnego. Tak więc bieg własny zależy też od masy badanej próbki. Wynika stąd wniosek, że przy opracowywaniu wyników pomiarów nie można przyjmować biegu własnego aparatury mierzonego z pustą komorą pomiarową.

Bieg własny trzykanałowego analizatora z licznikiem scyntylicyjnym stosowanego w Polsce do oznaczania stężenia pierwiastków promieniotwórczych: potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 mierzy się za pomocą aluminiowych symulatorów masy próbek badanych materiałów. Symulatory takie mają kształt zbliżony do kształtu naczynia pomiarowego (walec z wnątką w dolnej części, umieszczony w komorze pomiarowej licznika i osłaniający scyntylator na całej powierzchni bocznej i czołowej). Stosuje się w praktyce dwa takie symulatory o różnej masie (np. o masie 1,88 kg i o masie 1,58 kg), co pozwala w pewnym stopniu dobierać wartość biegu własnego do masy próbek badanych materiałów i wyrobów budowlanych.

W przypadku przyjęcia programu zapewnienia jakości w akredytowanym laboratorium badawczym oznacza to konieczność częstego wykonywania czasochłonnych pomiarów biegu własnego za pomocą obu symulatorów. Taka korekcja biegu własnego analizatora jest wystarczająca tylko w pewnym zakresie masy próbki. W przypadku próbek o masie poniżej 1 kg i większej od 2,5 kg bieg własny analizatora ma zauważalny wpływ na niepewność całkowitą oznaczenia stężeń pierwiastków promieniotwórczych.

Rozwiązaniem korzystnym może być korygowanie biegu własnego za pomocą poprawki będącej funkcją masy próbki. Dopuszczając pewne uproszczenia, można przyjąć wzór do korekcji biegu własnego w postaci

$$N_{ii} = N_{si} \exp \left[ \xi_i (m_s - m_p) \right] \quad (2)$$

gdzie:  $N_{ii}$  – wartość poprawiona liczby zliczeń biegu własnego w  $i$ -tym kanale analizatora,  
 $N_{si}$  – wartość biegu własnego w  $i$ -tym kanale określana z symulatorem o masie  $m_s$ ,  
 $m_s$  – masa symulatora, kg,  
 $m_p$  – masa próbki, kg,  
 $\xi_i$  – współczynnik osłabienia biegu własnego w kanale  $i$ -tym,  $\text{kg}^{-1}$ .

Wspomnianym uproszczeniem jest tu założenie praktycznie stałej wartości współczynnika osłabienia biegu własnego  $\xi$ . Słuszność tego założenia potwierdziły wyniki badań zależności biegu własnego od masy stosowanego symulatora. W badaniach tych wykorzystano dwa standardowe symulatory znajdujące się w wyposażeniu analizatora, o masie 1,58 kg i 1,88 kg, ponadto trzy symulatory dodatkowe o masie 0,8 kg, 2,29 kg i 2,47 kg oraz naczynie pomiarowe – puste (0,2 kg) i wypełnione lekkim tworzywem sztucznym nie zawierającym zanieczyszczeń promieniotwórczych (0,23 kg). Pomiaru wykonano również przy pustej komorze pomiarowej.

W analizach wyników pomiarów nie brano pod uwagę pomiarów o małej statystyce, wykonanych z pustą komorą pomiarową ( $m = 0$  kg) i z naczyniem pomiarowym wypełnionym tworzywem sztucznym ( $m = 0,23$  kg). W przypadku symulatorów standardowych oprócz pomiarów wykonanych w założonym programie wykorzystano wyniki pomiarów biegu własnego z okresu poprzedzających kilku lat, uzyskując w ten sposób lepszą wiarygodność statystyczną. W pozostałych przypadkach liczba powtórzeń była równa 80 lub przekraczała 100. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawiono w tablicy 1.

Tablica zawiera wartości średnie biegu własnego w poszczególnych kanałach analizatora i przedziały wartości uzyskiwanych w kolejnych pomiarach (powtórzeniach) odnoszące się do danej masy symulatora próbki. Zależność liczb zliczeń biegu własnego analizatora od masy symulatora próbki przedstawiają wykresy na rysunku 1.

Współczynniki osłabienia biegu własnego  $\xi_j$  (gdzie  $i$  – numer kanału analizatora) obliczono z zależności (2) przekształconej do postaci

$$\xi_i = \frac{1}{m_{sj} - m_{sk}} \ln \left( \frac{N_{ski}}{N_{sji}} \right), \text{ kg}^{-1} \quad (3)$$

gdzie:  $m_{sj}$  i  $m_{sk}$  – masy dwóch różnych symulatorów ( $j$  i  $k$ ), kg,

$N_{sji}$  i  $N_{ski}$  – określone w wyniku pomiarów liczby zliczeń biegu własnego w  $i$ -tym kanale analizatora, odpowiadające tym masom symulatorów.

Biorąc pod uwagę kombinacje różnych symulatorów, obliczono 12 wartości współczynników osłabienia tła w każdym kanale analizatora. Średnie wartości współczynników osłabienia biegu własnego  $\xi_i$  oraz przedziały wartości, w których one się zawierają, zamieszczono na dole tablicy 1.

Tablica 1. Wartości średnie i zakresy wartości biegu własnego analizatora naturalnych zanieczyszczeń promieniotwórczych w materiałach w zależności od masy symulatora próbki

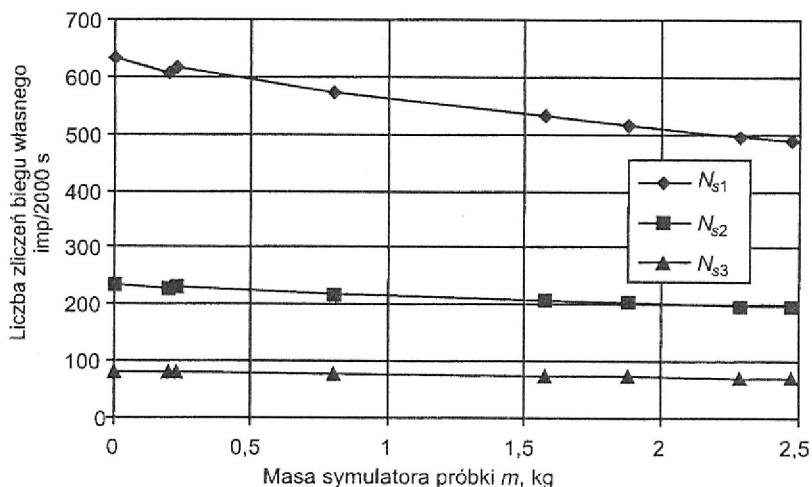
Table 1. Mean values and ranges of the analyzer background count rates as a function of a sample phantom mass in case of natural radioactive impurities in building materials

Masa symulatora kg	Średnie jednostkowe liczby zliczeń biegu własnego analizatora i zakres wartości w 3 kanałach analizatora, imp/2000 s						Liczba pomiarów (powtórzeń)
	kanał 1		kanał 2		kanał 3		
0,00	633,8	626,7–437,6	235,1	228,4–239,2	80,1	78,4–81,5	10
0,20	607,1	598,3–612,8	228,7	220,7–236,8	80,5	77,9–82,0	80
0,23	615,4	611,8–618,4	229,7	220,1–235,4	80,6	78,0–83,1	40
0,80	573,1	568,2–577,4	219,1	212,7–126,3	77,9	76,2–78,4	80
1,58	531,5	526,2–534,6	207,9	204,9–210,5	74,9	72,5–78,1	> 100
1,88	516,2	512,0–518,1	203,8	199,2–207,7	73,7	71,6–77,7	> 100
2,29	496,8	488,3–506,7	198,1	192,3–201,4	71,9	69,8–73,1	> 100
2,47	487,8	478,5–493,5	196,5	191,9–198,5	71,2	69,6–73,5	> 100
Wartość średnia i przedział $\xi_i$ , kg <sup>-1</sup>	0,0960*	0,0934– –0,0968	0,0655*	0,0618– –0,0686	0,0548*	0,0503– –0,0585	
* średnia z 12 wartości							

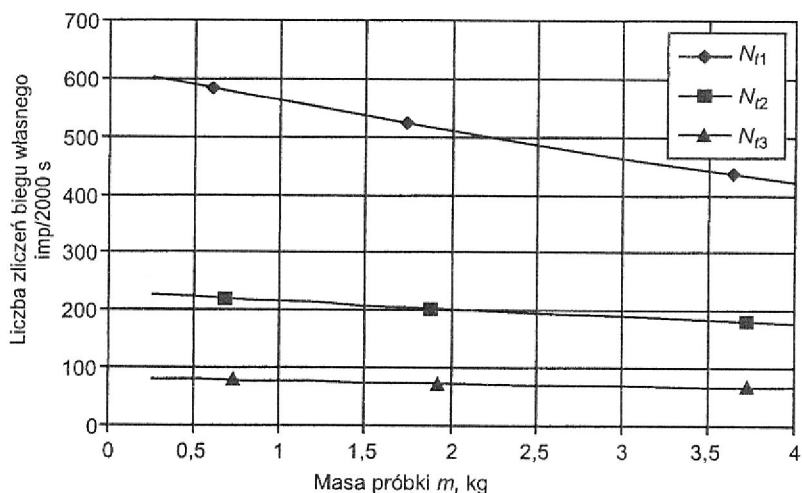
Wykorzystując otrzymane wartości średnie współczynników osłabienia  $\xi_i$ , obliczono ze wzoru (2) wartości liczb zliczeń biegu własnego jako funkcję masy próbki badanej, przy ustalonych na podstawie pomiarów liczbach zliczeń z symulatorem o masie 1,88 kg (rys 2). Na rysunku 3 pokazano zależność obliczonych poprawek do pomierzonych liczb zliczeń biegu własnego od masy próbki badanej, przy masie symulatora równej 1,88 kg.

Jednostkowe liczby zliczeń biegu własnego analizatora, określone na podstawie pomiarów z symulatorem próbki o masie 1,88 kg, wynoszą w poszczególnych kanałach: 516,2; 203,8; 73,7 (imp/2000 s). Wartości poprawek wynoszą odpowiednio: 73,1 (14,2%), 19,3 (9,5%) i 5,8 (7,9%) – przy masie próbki równej 0,5 kg; 34,8 (6,7%), 9,3 (4,6%), 2,8 (3,8%) – przy masie próbki 1,2 kg; –29,8 (–5,8%), –8,1 (–4,0%), –2,5 (–3,4%) – przy masie równej 2,5 kg; –52,6 (–10,2%), –14,4 (–7,1%), –4,4 (–6,0%) – przy masie 3,0 kg; –74,3 (–14,4%), –20,5 (–10,1%), –6,3 (–8,6%) – przy masie próbki wynoszącej 3,5 kg. Wykonując przykła-

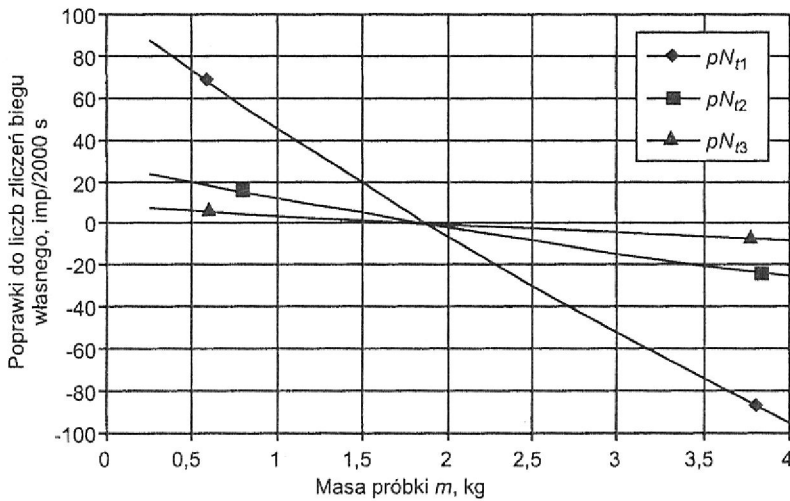
dowo 10 pomiarów jednostkowych próbki o masie 1,88 kg, uzyskano średnie liczby zliczeń brutto: 2886,4; 1181,5 i 429,4 imp/2000 s. Liczby zliczeń biegu własnego, obliczone liczby zliczeń netto i niepewność określenia liczb zliczeń netto są zawarte w tabelicy 2.



Rys 1. Zależność liczb zliczeń biegu własnego trzykanałowego analizatora naturalnych zanieczyszczeń promieniotwórczych od masy symulatora próbki  
 Fig. 1. Three channel natural radioactive impurities analyzer background count rates in relation to sample phantom mass



Rys. 2. Zależność biegu własnego analizatora od masy próbki wg zależności (2), przy wartościach pomierzonych z symulatorem o masie 1,88 kg  
 Fig. 2. Analyzer background count rates as a function of sample mass, calculated from Equation (2) in case of the values measured with 1,88 kg phantom



Rys. 3. Zależność poprawek do liczb zliczeń biegu własnego od masy próbki badanej, masa symulatora próbki 1,88 kg

Fig. 3. Plot of the correction values to the background count rates as a function of a sample mass; sample phantom mass 1,88 kg

Tablica 2. Relacja między masą próbki, biegiem własnym analizatora i niepewnością określenia częstości zliczeń promieniowania gamma w badaniach materiałów budowlanych

Table 2. Relationship between sample mass, analyzer background count rate and gamma radiation count rate uncertainty, when measuring natural radioactive isotopes content in building materials

Parametr	nr kanału	Masa próbki, kg							
		0,50	1,20	1,88	2,50	3,00	3,50	2,00*	2,90**
Liczby zliczeń brutto, $N'$ imp/2000 s	1			<b>2886,4</b>				2625,0	1887,7
	2			<b>1181,5</b>				1335,0	582,4
	3			<b>429,4</b>				413,3	186,2
Bieg własny z poprawką imp/2000 s	1	589,3	551,0	<b>516,2</b>	486,4	463,6	441,9	510,3	468,0
	2	223,0	213,0	<b>203,8</b>	195,6	189,3	183,2	202,2	190,6
	3	79,5	76,5	<b>73,7</b>	71,2	69,3	67,4	73,2	69,7
Liczby zliczeń netto, $N$ imp/2000 s	1	2287,1	2335,4	<b>2370,2</b>	2400,0	2422,8	2444,5	2104,7	1419,7
	2	958,5	968,5	<b>977,7</b>	985,9	992,2	998,3	1134,8	391,8
	3	349,6	352,9	<b>355,7</b>	358,2	360,1	362,0	340,1	117,5
Niepewność liczb zliczeń $u(N)_{0,95}$ , %	1	1,63	1,59	<b>1,56</b>	1,53	1,51	1,49	1,68	2,16
	2	2,47	2,44	<b>2,41</b>	2,38	2,36	2,34	2,19	5,04
	3	4,08	4,03	<b>4,00</b>	3,95	3,92	3,89	4,10	8,61

\* mieszanka popiołowo-żużłowa:  $S_K = 421,5 \pm 35,1$ ;  $S_{Ra}(f_2) = 100,5 \pm 6,6$ ;  $S_{Th} = 69,4 \pm 2,4$ , Bq/kg;  $f_1 = 0,28 \pm 0,02$

\*\* zaprawa cementowa:  $S_K = 374,2 \pm 29,8$ ;  $S_{Ra}(f_2) = 24,6 \pm 3,8$ ;  $S_{Th} = 17,0 \pm 2,0$ , Bq/kg;  $f_1 = 0,82 \pm 0,05$

Zakładając, że takie same liczby zliczeń brutto uzyskano w pomiarach próbek o masach 0,5; 1,2; 2,5; 3,0 i 3,5 kg, po wprowadzeniu obliczonych z zależności (2) poprawek do biegu własnego analizatora otrzymamy liczby zliczeń netto większe w przypadkach masy mniejszej od 1,88 kg, mniejsze zaś, gdy masa próbki jest większa od 1,88 kg. W podobny sposób rośnie lub maleje niepewność wyznaczenia liczb zliczeń netto w poszczególnych kanałach analizatora (tablica 2). Dwie ostatnie kolumny tablicy zawierają przykładowe dane dwóch realnych próbek mieszanki popiołowo-żuźlowej i zaprawy cementowej.

W podsumowaniu rozdziału 2 można więc stwierdzić, że wykazano istotne znaczenie prawidłowego określania biegu własnego trzykanałowego analizatora promieniowania gamma z licznikiem scyntylacyjnym, zależność biegu własnego od masy badanych próbek oraz możliwość korygowania biegu własnego stosownie do masy badanej próbki. Ponadto określono współczynniki osłabienia biegu własnego przez próbkę materiału i zaproponowano sposób obliczania skorygowanych wartości biegu własnego w poszczególnych kanałach analizatora w zależności od masy próbki.

### 3. Czas pomiarów i niepewność wyników w badaniach próbek

Czas pomiarów jednostkowych liczb zliczeń w poszczególnych kanałach analizatora przy badaniu próbek materiałów ma istotne znaczenie z uwagi na niepewność określenia stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych i wskaźników aktywności materiału. W przypadku wskaźników aktywności ( $f_1$  i  $f_2$ ) jest wymagane, aby niepewność całkowita ich określenia nie była większa od 20%, jeżeli wartości tych wskaźników stanowią 80% lub więcej wartości granicznych [1], [2]. W badaniach promieniotwórczości naturalnej przyjęto 2000 s jako jednostkowy czas pomiaru liczb zliczeń. Zazwyczaj wykonuje się kilka lub kilkanaście pomiarów (powtórzeń) i do obliczeń przyjmuje się wartości średnie.

Niepewność standardowa liczby zliczeń  $u_s(N_i)$  zależy od wartości bezwzględnej liczby zliczeń  $N_i$  uzyskanej w całkowitym czasie pomiaru  $t$  (określonym przez liczbę  $n$  powtórzeń czasu jednostkowego  $t_0$ ). Odnosi się to również do niepewności liczb zliczeń biegu własnego aparatury. Nie wchodząc bardziej szczegółowo w procedury pomiarów jednostkowych liczb zliczeń oraz obliczeń stężeń pierwiastków promieniotwórczych i wskaźników aktywności badanych materiałów, należy zaznaczyć, że niepewność mierzonych i określanych wielkości zależy w dużym stopniu od całkowitego czasu pomiarów [2]. W celu zilustrowania tego faktu analizowano wyniki wielokrotnie powtarzanych badań materiałów charakteryzujących się różnymi wartościami stężeń pierwiastków promieniotwórczych. Wyniki rutynowych pomiarów trzech materiałów, oznaczonych symbolami literowymi a, b i c, zawarte są w tablicy 3. Badania dotyczyły:

- żuźła paleniskowego z elektrociepłowni, o typowych wskaźnikach promieniotwórczości,
- glinki kaolinowej o dużej zawartości potasu K-40,
- gipsu naturalnego o niewielkiej zawartości pierwiastków promieniotwórczych.

Pomiary próbek powtarzano 10 razy (całkowity czas pomiaru 20000 s), liczby zliczeń biegu własnego określono na podstawie 20 pomiarów jednostkowych, przy uwzględnieniu poprawek ze względu na różnicę mas próbki i symulatora. Niepewność wszystkich mierzonych i obliczanych wielkości określono przy poziomie ufności 0,95.

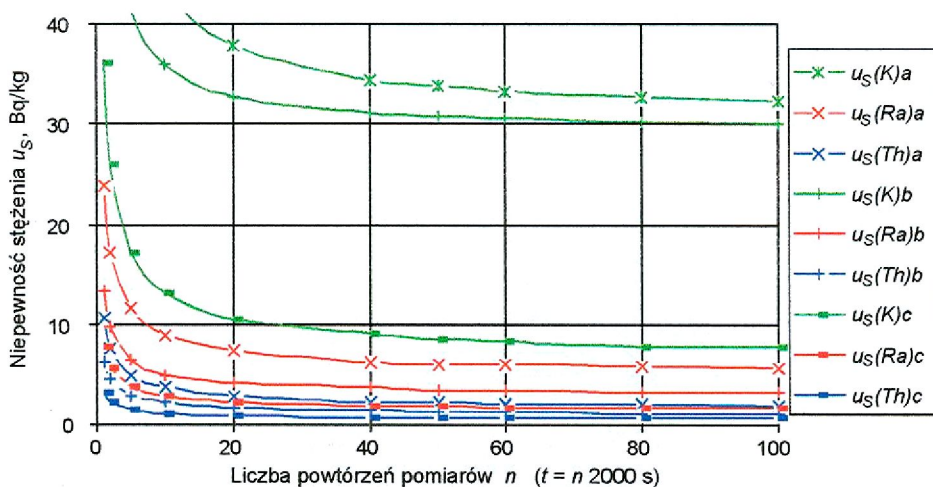


Tablica 3. Wskaźniki aktywności  $f_1$ : żużla paleniskowego (a), glinki kaolinowej (b), gipsu (c), przyjęte do analizy niepewności wyników pomiarów w zależności od czasu pomiaru

Table 3. Natural radioactivity characteristics of a slag (a), kaolin clay (b) and gypsum (c) for the measurements results uncertainty analysis in relation to the duration of measurements

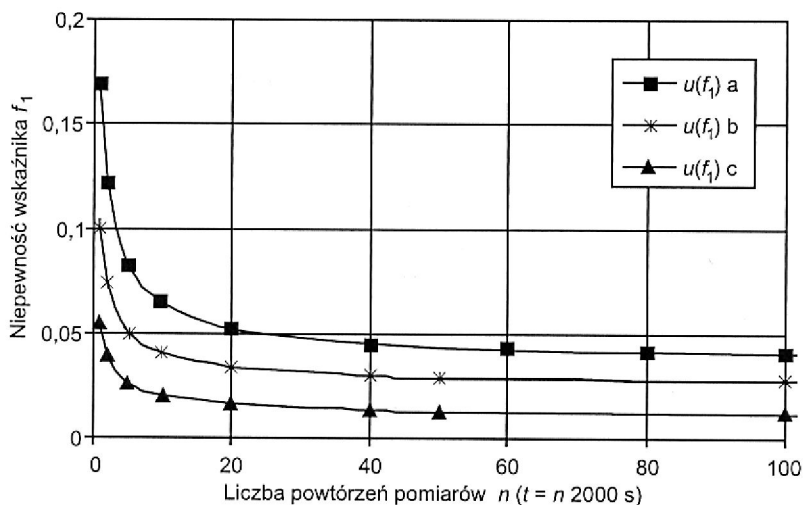
Symbol próbki	Masa próbki $m$ , kg	Czas $t$ $t = n t_0$	Stężenie pierwiastków promieniotwórczych Bq/kg						Wskaźnik aktywności	
			K-40		Ra-226		Th-228		$f_1$	$u(f_1)$
			$S(K)$	$u_S(K)$	$S(Ra)$	$u_S(Ra)$	$S(Th)$	$u_S(Th)$		
a	1,8	$10 t_0$	646,96	31,61	90,97	5,50	66,72	1,84	0,792	0,038
b	3,1	$10 t_0$	1208,53	36,02	25,08	5,06	35,61	2,21	0,664	0,040
c	3,2	$10 t_0$	50,36	13,19	23,95	2,85	1,61	1,20	0,105	0,020

Przygotowane próbki posłużyły do dalszych badań przy wzrastającym czasie pomiarów (tj. rosnącej liczbie powtórzeń) od 2000 s do 200 000 s. Pomiaru wykonywano w ten sposób, że w kolejnych stadiach sumowano czas i liczby zliczeń z wszystkich poprzednich pomiarów – do uzyskania założonej liczby powtórzeń (w przedziale od 1 do 100). Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów liczb zliczeń określono, stosując standardowe procedury, stężenia pierwiastków promieniotwórczych potasu, radu i toru oraz wskaźniki aktywności  $f_1$  i  $f_2$ , a także niepewność całkowitą wymienionych wielkości przy poziomie ufności 0,95. Częściowe wyniki analiz przedstawiono na rysunkach 4, 5 i 6.

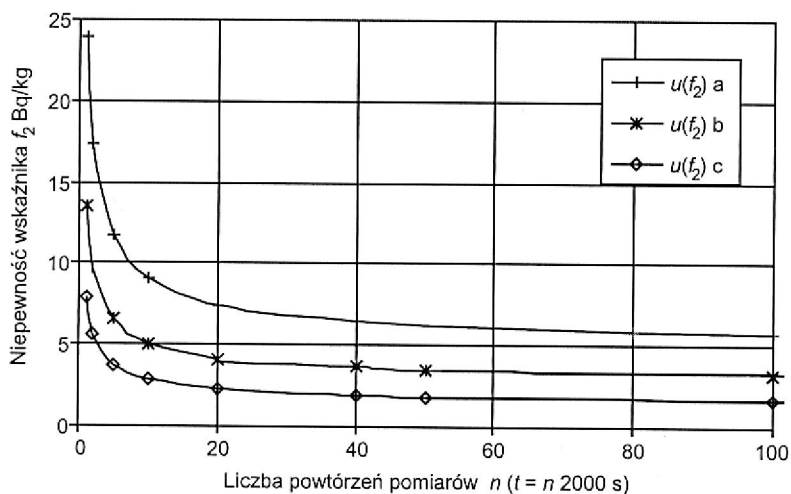


Rys 4. Niepewność określenia stężenia K-40, Ra-226 i Th-228 jako funkcja czasu pomiaru w przypadku trzech różnych materiałów

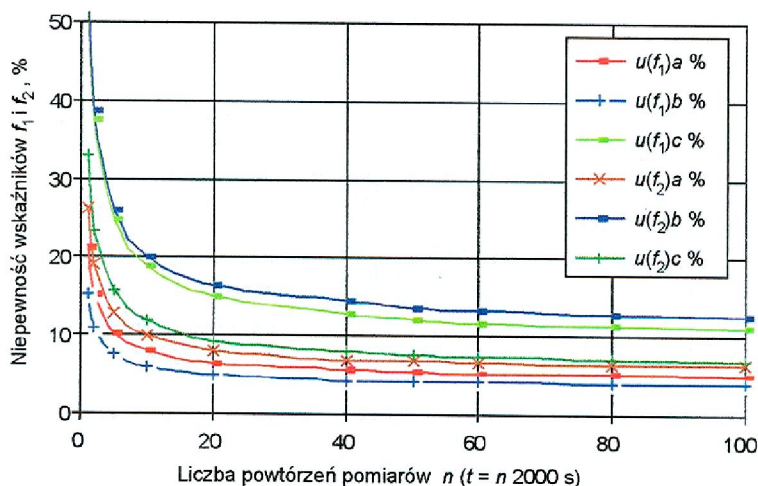
Fig. 4. Uncertainty of the K-40, Ra-226 and Th-228 activity concentration as a function of the entire time of measurements for three different materials



Rys 5. Zależność niepewności wskaźnika aktywności  $f_1$  od czasu pomiaru: a – żużel paleniskowy, b – glina kaolinowa, c – gips naturalny;  $f_1(a) = 0,792$ ,  $f_1(b) = 0,66$ ,  $f_1(c) = 0,105$   
 Fig. 5 Relationship between  $f_1$  activity coefficient uncertainty and the time of measurements: (a) slag, (b) kaolin clay, (c) gypsum;  $f_1(a) = 0,792$ ,  $f_1(b) = 0,66$ ,  $f_1(c) = 0,105$



Rys 6. Zależność niepewności wskaźnika aktywności  $f_2$ , Bq/kg, od czasu pomiaru: a – żużel paleniskowy, b – glina kaolinowa, c – gips naturalny;  $f_2(a) = 90,97$  Bq/kg,  $f_2(b) = 25,09$  Bq/kg,  $f_2(c) = 23,95$  Bq/kg  
 Fig. 6. Relationship between  $f_2$  activity coefficient uncertainty and the time of measurements: (a) slag, (b) kaolin clay, (c) gypsum;  $f_2(a) = 90,97$  Bq/kg,  $f_2(b) = 25,09$  Bq/kg,  $f_2(c) = 23,95$  Bq/kg



Rys 7. Porównanie zależności względnych wartości niepewności wskaźników aktywności  $f_1$  i  $f_2$ , %, od czasu pomiaru próbek: a – żużła paleniskowego, b – glinki kaolinowej, c – gipsu naturalnego Fig. 7. A comparison between  $f_1$  and  $f_2$  activity coefficients relative uncertainties in relation to the entire time of measurements: slag (a), kaolin clay (b) and gypsum (c)

Na rysunku 4 porównano zależności niepewności określenia stężeń pierwiastków promieniotwórczych od czasu pomiaru w przypadku trzech analizowanych próbek materiałów. Niepewność jest tu wyrażona w jednostkach stężenia, Bq/kg.

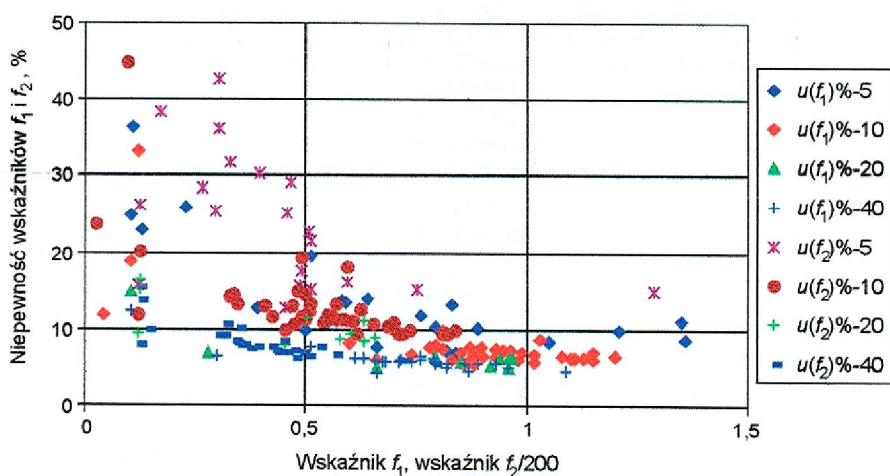
Rysunki 5 i 6 ilustrują zależność niepewności określenia wskaźników aktywności  $f_1$  i  $f_2$  od czasu pomiaru. Niepewność wskaźnika  $f_1$  jest wyrażona jako wartość bezwzględna,  $f_2$  zaś w jednostkach stężenia Bq/kg. Porównanie względnych wartości niepewności wskaźników aktywności  $f_1$  i  $f_2$  wyrażonych w procentach, w zależności od czasu pomiaru, przedstawia rysunek 7.

Z rysunku 7 wynika, że w przypadku próbki żużła paleniskowego (a), wartości względne niepewności wskaźników aktywności maleją poniżej 20% już przy dwóch powtórzeniach pomiarów ( $2 \times 2000$  s). W przypadku glinki kaolinowej (b) niepewność wskaźnika  $f_1$  jest mniejsza od 20% już przy jednym pomiarze, zaś wskaźnika  $f_2$  dopiero po 10 pomiarach jednostkowych. Aby spełnić wymaganie nieprzekroczenia 20% progu niepewności w przypadku gipsu (c) potrzeba 8 pomiarów ze względu na wskaźnik  $f_1$  i 3 pomiarów ze względu na wskaźnik  $f_2$ . Z uwagi na wartości wskaźników aktywności badanych próbek jest oczywiste, że wymaganie nieprzekroczenia 20% niepewności odnosi się tylko do próbki żużła paleniskowego (a).

W praktyce liczba pomiarów jednostkowych jest zazwyczaj większa niż trzy i powinna być dobierana w zależności od rodzaju materiału oraz przewidywanych wartości stężeń pierwiastków promieniotwórczych oraz wskaźników aktywności danego materiału. Przy braku informacji potrzebnej do określenia liczby pomiarów celowym jest wykonanie jednostkowego pomiaru próbnego i określenie przybliżonych wartości wskaźników aktywności danej próbki. Biorąc pod uwagę przybliżone wartości stężeń pierwiastków i wskaź-

ników aktywności, można ocenić z zależności przedstawionych na rysunku 7 potrzebną liczbę pomiarów, przy której niepewność określenia wskaźników aktywności będzie mniejsza od granicznej (20%). Należy przy tym podkreślić, że warunek ograniczający niepewność określenia wskaźników aktywności do 20% dotyczy próbek materiałów i wyrobów, których wskaźniki aktywności są większe od 80% wartości granicznych według pracy [3], a więc materiałów o relatywnie podwyższonych stężeniach pierwiastków promieniotwórczych. Tym niemniej w przypadku próbek materiałów o mniejszych wartościach wskaźników aktywności uzyskiwanie mniejszych niepewności jest kwestią wiarygodności wykonywanych w laboratorium akredytowanym badań.

W celu porównania przedstawionych tu wyników analiz z rzeczywistymi wynikami pomiarów wybrano losowo wyniki badań 97 próbek materiałów, wykonywanych w kilku ośrodkach w Polsce. Brano pod uwagę badania, w których pomiary powtarzano 5, 10, 20 i 40 razy. Analizowano tylko wartości wskaźników aktywności i niepewność ich określenia. Na rysunku 8 naniesiono względną niepewność wskaźników aktywności, w procentach, jako funkcję względną wartości tych wskaźników, liczonych względem wartości granicznych  $f_1 = 1$  i  $f_2 = 200$  Bq/kg.



Rys.8. Relacja między niepewnością wskaźników aktywności  $f_1$  i  $f_2$  ( $f_2/200$ ) oraz wartościami tych wskaźników przy liczbie powtórzeń pomiarów 5, 10, 20 i 40; licznosc próbek 97

Fig. 8. Relationship between  $f_1$  and  $f_2$  ( $f_2/200$ ) activity coefficients uncertainties and the alues of these coefficients when measurements repeated 5, 10, 20 and 40 times; sample population number 97

Z rysunku 8 wynika, że w przypadku wskaźnika aktywności  $f_1$  niepewność określenia  $u(f_1)\%$  ma przeważnie mniejszą wartość niż odpowiednia względna wartość niepewności wskaźnika aktywności  $u(f_2)\%$ . Przy wartościach wskaźników aktywności w przedziale od 0 do 50% wartości granicznych (1 i 200 Bq/kg) niepewności ich określenia przekraczają na ogół 10% nawet w przypadku 20 powtórzeń pomiarów. Przy 5 powtórzeniach pomiarów jest możliwe nieprzekroczenie progu 20% niepewności wskaźników aktywności, jeżeli ich wartości są większe od 50% wartości granicznych.

Podsumowując rozdział 3, warto zauważyć wyraźną zależność niepewności określania stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych i wskaźników aktywności od całkowitego czasu pomiaru jednostkowych liczb zliczeń, odpowiadających intensywności promieniowania gamma w poszczególnych kanałach analizatora. Wskazano na możliwość spełnienia wymagania nie przekroczenia 20% progu niepewności określenia wskaźników aktywności, przy wartościach wskaźników większych od 80% ich wartości dopuszczalnych, poprzez odpowiednie wydłużenie całkowitego czasu pomiaru liczb zliczeń, dzięki zwiększeniu liczby powtórzeń pomiaru jednostkowego.

#### 4. Współczynnik autoabsorpcji

Współczynnik autoabsorpcji  $k$  jest współczynnikiem poprawkowym do obliczania stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych na podstawie pomiarów próbki o masie  $m$  i objętości około  $1,6 \text{ dm}^3$ , umieszczonej wraz z naczyniem pomiarowym w komorze pomiarowej licznika scyntylicyjnego. Konieczność stosowania tej poprawki wynika z faktu, że część promieniowania gamma pochodzącego z badanej próbki materiału jest pochłaniana lub też rozpraszana przez próbkę i nie jest rejestrowana przez licznik scyntylicyjny. W badaniach promieniotwórczości naturalnej kształt i wymiary naczynia pomiarowego oraz sposób jego wypełnienia nie zmieniają się, zmienna jest natomiast masa badanych próbek. Wartość poprawki na autoabsorpcję promieniowania gamma w próbce zależy więc tylko od masy próbki. Wzorce objętościowe do kalibracji analizatora mają masę  $2,4 \text{ kg}$ . Stąd poprawki stosowane przy opracowywaniu wyników pomiarów odnoszone są do masy  $2,4 \text{ kg}$ , przy której współczynnik  $k$  jest równy jedności.

Do obliczania współczynnika  $k$  wykorzystuje się zależność typu wykładniczego

$$k = \exp [\kappa (m - 2,4)], \text{ kg}^{-1} \quad (4)$$

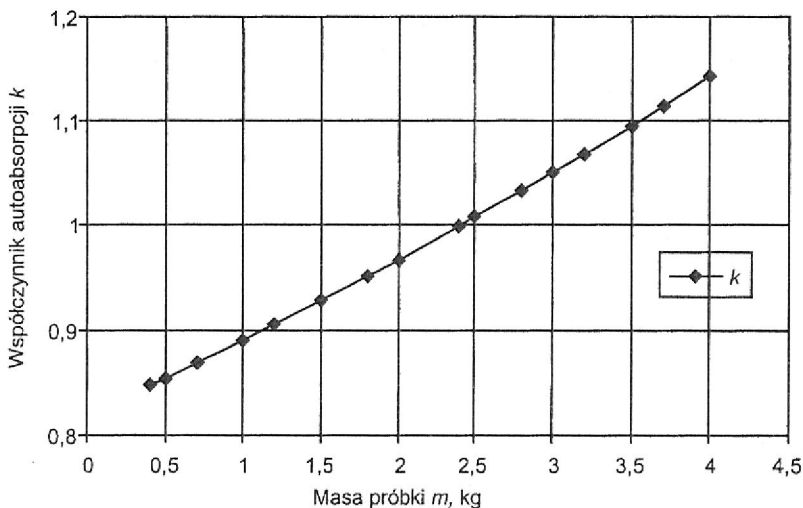
gdzie:  $\kappa$  – stały współczynnik liczbowy, określony doświadczalnie, równy  $0,0829 \text{ kg}^{-1}$ ,  
 $m$  – masa badanej próbki,  $\text{kg}$ .

Zależność współczynnika autoabsorpcji  $k$  od masy próbki, obliczonego ze wzoru (4), przedstawia rysunek 9. W niektórych przypadkach do obliczania współczynnika  $k$  stosuje się przybliżoną zależność liniową w postaci [2], [4]:  $k = 0,812 + 0,0783 m$ , w której współczynniki liczbowe określono analitycznie metodą najmniejszych kwadratów.

Wartość współczynnika  $\kappa$  określono [4], stosując po dwa wzorce o takiej samej aktywności i o różnych masach. W przypadku wzorca potasu K-40 aktywność wynosiła  $10000 \text{ Bq}$ , masy zaś  $m_1 = 1,0 \text{ kg}$  i  $m_2 = 2,4 \text{ kg}$ . Po wykonaniu pomiarów w analizatorze określono średnie liczby zliczeń netto oraz ich niepewność, a następnie obliczono wartość współczynnika z przekształconej zależności (4) do postaci

$$\kappa = \frac{\ln N_2 - \ln N_1}{m_2 - m_1} \quad (5)$$

W podobny sposób określono także wartość współczynnika  $\kappa$ , używając po dwa wzorce radu Ra-226 oraz toru Th-228, i stwierdzono dużą zbieżność otrzymanych trzech wartości. Przyjęto więc do stosowania wartość średnią równą  $0,0829 \text{ kg}^{-1}$  [4].



Rys. 9. Zależność współczynnika autoabsorpcji  $k$  od masy próbki  
 Fig. 9. Plot of the self-absorption coefficient  $k$  as a function of sample mass

Niepewność określenia wartości współczynnika  $\kappa$  oszacowano z zależności

$$u(\kappa) = 2 \left[ \frac{1}{(m_2 - m_1)^2} \left\{ \left( \frac{u^2(N_1)}{N_1^2} \right) + \left( \frac{u^2(N_2)}{N_2^2} \right) + 2 \kappa^2 u^2(m) \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Zakładając na przykład liczbę powtórzeń pomiarów 16 i niepewność określenia masy równą 0,005 kg, niepewność wartości współczynnika  $\kappa$  przy poziomie ufności 0,95 wynosi około  $0,0055 \text{ kg}^{-1}$ , co stanowi 6,7%.

Niepewność określenia wartości współczynnika autoabsorpcji  $k$ , przy założeniu niepewności ważenia próbki równej 0,005 kg i niepewności współczynnika  $\kappa$ , jak podano wyżej, można obliczyć z zależności

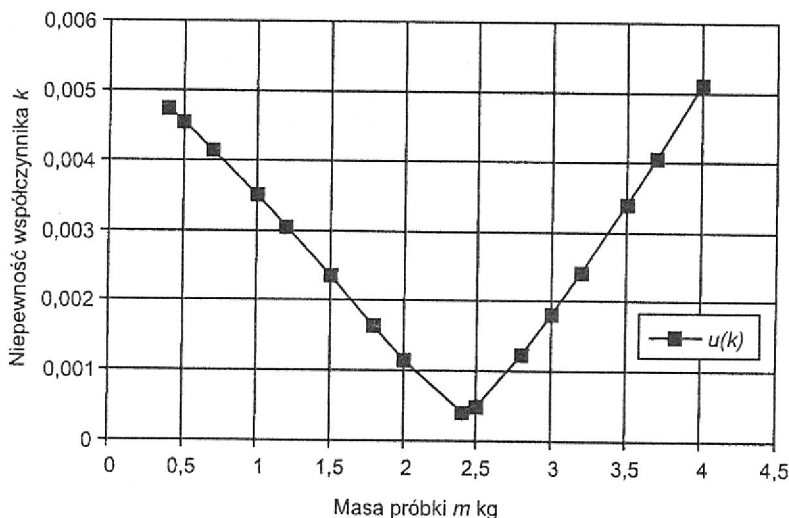
$$u(k) = 2 \left[ \left( \frac{\partial k}{\partial \kappa} \right)^2 u^2(\kappa) + \left( \frac{\partial k}{\partial m} \right)^2 u^2(m) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

która sprowadza się do wyrażenia:

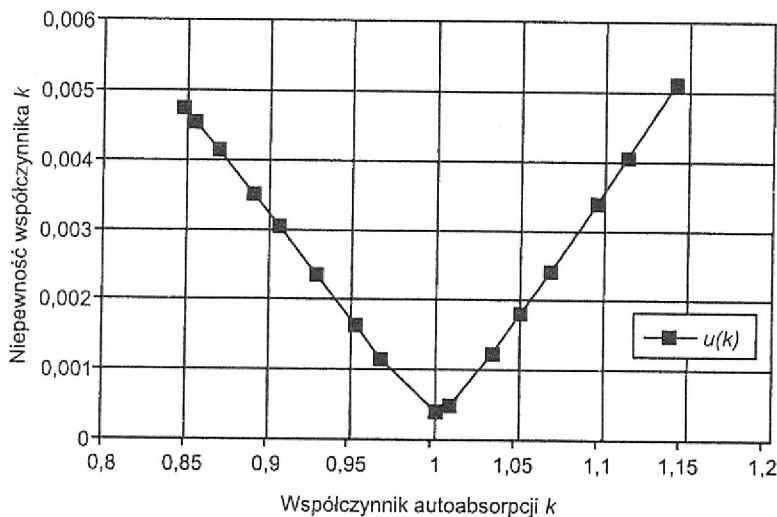
$$u(k) = 2k \left[ (m - 2,4)^2 u^2(\kappa) + \kappa^2 u^2(m) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

Zależność niepewności współczynnika autoabsorpcji, obliczonego z zależności (8) w przedziale masy próbki odpowiadającym wartościom współczynnika  $k$  pokazanym na rysunku 9, przedstawiono na rysunku 10. Niepewność ta jest najmniejsza, gdy masa

próbki jest równa 2,4 kg, tzn. jest taka sama, jak masa wzorców kalibracyjnych. W miarę jak masa próbki zmniejsza się lub zwiększa w porównaniu do 2,4 kg, niepewność współczynnika autoabsorpcji wzrasta w sposób podobny.



Rys. 10. Zależność niepewności współczynnika autoabsorpcji  $u(k)$  od masy próbki  
 Fig.10. Plot of the self-absorption coefficient  $k$  uncertainty  $u(k)$  as a function of sample mass



Rys. 11. Zależność niepewności współczynnika autoabsorpcji  $u(k)$  od wartości liczbowej współczynnika  $k$   
 Fig. 11. Relationship between self-absorption coefficient uncertainty  $u(k)$  and the value of coefficient  $k$

Na rysunku 11 przedstawiono podobną zależność niepewności współczynnika autoabsorpcji  $u(k)$  od wartości współczynnika autoabsorpcji  $k$ . Z wykresu na rysunku 11 można określić w przybliżeniu wartość niepewności określenia współczynnika autoabsorpcji przy ocenie niepewności pomiarów stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych i wskaźników aktywności badanych próbek. Zależność ta wskazuje też, że w celu uzyskania możliwie dużej precyzji określenia wskaźników aktywności materiałów o małej gęstości należy w miarę możliwości dobrze zagęszczać próbki w naczyniu pomiarowym, w przeciwieństwie do materiałów ciężkich, które powinny być luźno nasypane do naczynia.

Podsumowując rozdział 4, warto pamiętać o istnieniu pewnej zależności współczynnika autoabsorpcji od masy próbki, mającej wpływ na niepewność jego określenia i odpowiednio dobierać sposób przygotowywania próbek do badań w zależności od gęstości badanego materiału.

## 5. Równowaga promieniotwórcza

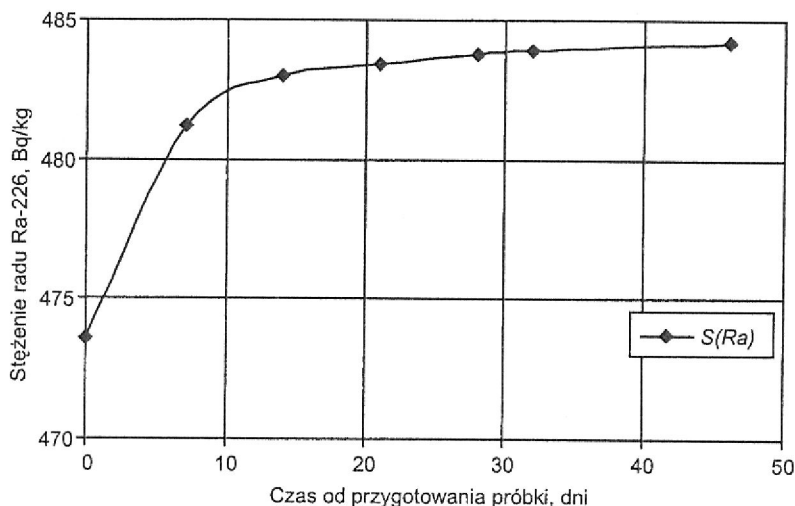
W badaniach promieniotwórczości naturalnej materiałów i wyrobów budowlanych nie można mówić o właściwej, tzw. wiekowej równowadze promieniotwórczej, występującej w skałach położonych w głębszych warstwach skorupy ziemskiej. W surowcach i materiałach pochodzenia mineralnego stosowanych w budownictwie, w tym do produkcji materiałów przetworzonych i wyrobów budowlanych, przez pojęcie nierównowagi promieniotwórczej badanych próbek rozumie się uwolnienie z materiału gazowych izotopów radonu Rn-222 i Rn-220 (toronu), powstających z rozpadu izotopów radu Ra-226 i Ra-224, znajdujących się odpowiednio w szeregu promieniotwórczym uranowo-radowym i szeregu torowym. Uwolnienie izotopów radonu jest spowodowane procesami technologicznymi, jakim materiał badany był poddawany, poczynając od pozyskiwania jego pierwotnej formy, poprzez procesy przetwórcze, do pobierania próbki i przygotowania jej do badań. Od stopnia wyptukania radonu i toronu zależą wartości stężenia radu Ra-226 i toru Th-228, określane w trakcie pomiarów próbki materiału. Ponieważ stężenie radu i toru określa się na podstawie aktywności nuklidów promieniotwórczych pochodnych z rozpadu radonu i toronu, niedobór tych izotopów w stosunku do zawartości radu i toru w badanej próbce, umieszczonej w komorze pomiarowej, jest przyczyną uzyskiwania zaniżonych wartości jednostkowych liczb zliczeń promieniowania gamma i tym samym stężenia radu Ra-226 i toru Th-228.

Z uwagi na szybkość promieniotwórczego rozpadu izotopów radonu i toronu, w przygotowanej do pomiarów próbce szybko ustala się zadowalający stan równowagi w szeregu torowym i nie obserwuje się istotnych zmian określanego stężenia toru. W przypadku radonu Rn-222 czas połowicznego rozpadu wynosi około 3,5 doby, stąd jego narastanie w naczyniu pomiarowym trwa znacznie dłużej, co oznacza, że stężenie radu Ra-226 określane na podstawie kolejnych pomiarów, narasta do wartości stałej po upływie wielu okresów połowicznego rozpadu radonu.

Zmiany oznaczanego stężenia radu w próbkach badanych materiałów w czasie, jaki upłynął od przygotowania próbki do wykonania pomiaru, ilustrują wykresy na rysunkach 12 i 13. Wykres na rysunku 12 dotyczy próbki mieszaniny preparatów o dużych zawartościach



naturalnych izotopów promieniotwórczych, charakteryzującej się wskaźnikami aktywności  $f_1 = 1,76$  i  $f_2 = 484$  Bq/kg. Z wykresu wynika, że w początkowym okresie około 10 dni przyrosty stężenia radu są duże, w dalszym zaś czasie stopniowo maleją. Podobny przebieg mają zmiany wskaźnika  $f_1$ . Nie stwierdzono jednak istotnych zmian wartości stężeń potasu i toru.

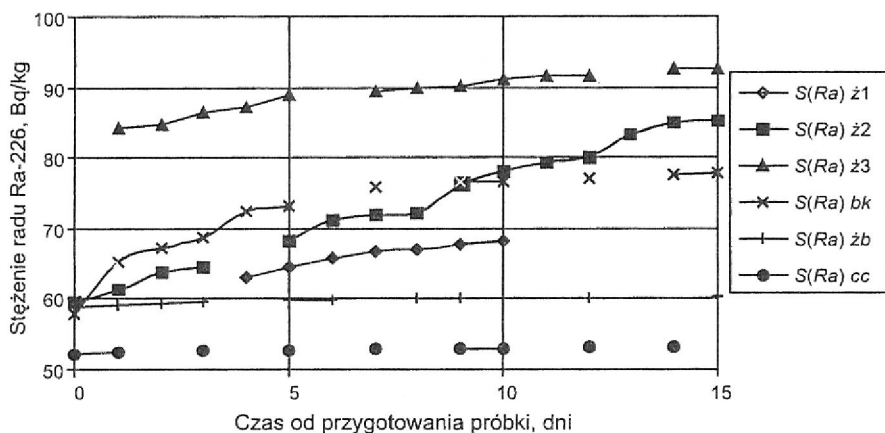


Rys. 12. Zmiany w czasie stężenia radu określanego w próbce mieszaniny sproszkowanych materiałów o dużej zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych; pomiar powtarzano po 7, 14, 21, 28, 32 i 46 dniach od przygotowania próbki  
 Fig. 12. Changes in time of radium activity concentration in the sample of the mixture of materials with high natural radioactive elements content; the measurements have been repeated after 7, 14, 21, 28, 32 and 46 days since the sample preparation

Na rysunku 13 przedstawiono zmiany stężenia radu w trzech próbkach żużla, w próbce betonu komórkowego z popiołu lotnego, w próbkach żużlobetonu i cegły ceramicznej. Próbki żużlobetonu i cegły były przez długi czas składowane w pomieszczeniu laboratorium. Przed przygotowaniem próbki do badań materiały te nie były poddawane żadnym innym procesom oprócz zmielenia. Próbkę betonu komórkowego sporządzono z typowego bloczka o wymiarach  $24 \times 24 \times 50$  cm, pobranego bezpośrednio po autoklawizacji w wytwórni. Próbkę suszono w temperaturze  $105^\circ\text{C}$  i mielono do granulacji około 0,3 mm. Próbki żużla suszono i mielono jak beton komórkowy. Żużle pobierane były ze składowiska elektrociepłowni lub z urządzeń transportujących na składowisko. W laboratorium pomiarowe z próbkami uszczelniano na obwodzie zakrętki za pomocą elastycznej taśmy klejącej.

Przebieg zmian stężenia radu w próbkach żużli i betonu komórkowego wskazują na znaczne zakłócenie równowagi między zawartością radu i produktów rozpadu radonu, co jest przejawem uwolnienia radonu z powstających odpadów w procesie spalania węgla, oraz z materiałów wytworzonych przy udziale tych odpadów w niedługim czasie

od ich powstania. W przypadku gotowych wyrobów i materiałów przez długi czas magazynowanych lub po upływie długiego czasu od ich wbudowania nie obserwuje się istotnych zmian stężenia radu w zależności od czasu sezonowania próbki przed wykonaniem badania.



Rys. 13. Zmiany w czasie stężenia radu w próbkach żużla (ż1, ż2, ż3), betonu komórkowego (bk), żużlobetonu (żb) i cegły ceramicznej (cc); pomiary powtarzano w przedziale od 0 do 15 dni od przygotowania próbek do badań

Fig. 13. Changes in time of radium activity concentration in samples of slags (ż1, ż2, ż3), cellular concrete (bk), slag aggregate concrete (żb) and brick (cc); measurements have been repeated within the range of 15 days since the samples preparation

W podsumowaniu rozdziału 5 należy więc podkreślić wpływ stopnia nierównowagi promieniotwórczej badanych próbek materiałów pochodzenia mineralnego na wyniki pomiarów, obserwowane z upływem czasu liczonego od przygotowania próbek, szczególnie w przypadku pomiarów stężenia radu (wartość współczynnika  $f_2$ ). W konsekwencji nierównowaga promieniotwórcza spowodowana ucieczką radonu ma znaczenie również przy określeniu wskaźnika aktywności  $f_1$ .

Wynika stąd jednak wniosek, aby ze względu na program zapewnienia jakości, przy planowaniu badania danego surowca lub materiału brać pod uwagę jego historię, tzn. pochodzenie i „dzieje” przed przyjęciem do laboratorium. Mając takie informacje, można lepiej określić czas przechowywania przygotowanej i zamkniętej próbki oraz czas pomiaru odpowiedni do zakładanej lub wymaganej niepewności wyników badań.

## 6. Wnioski końcowe

W poprzedniej publikacji autorów [3], stanowiącej komentarz do znowelizowanej Instrukcji ITB 234/2003, omówiono podstawowe problemy związane z badaniami promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych, w szczególności genezę nowelizacji, definicje wskaźników aktywności i ich ograniczenia, kwestie kalibra-

cji i kontroli aparatury pomiarowej, przygotowania próbek i realizacji pomiarów, opracowywania wyników pomiarów, ich interpretacji i szacowania niepewności oraz kontroli zgodności wyników pomiarów z wymaganiami i oceny partii wyrobów.

W artykule – w nawiązaniu do wieloletnich doświadczeń nabytych w wyniku prowadzonych w Instytucie Techniki Budowlanej prac badawczych w tym zakresie oraz wdrażania badań kontrolnych promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych – poddano analizie wybrane zagadnienia szczegółowe dotyczące weryfikacji, aktualizacji i optymalizacji metody badań i procedur pomiarowych stosowanych przy badaniach kontrolnych zanieczyszczeń promieniotwórczych surowców i materiałów budowlanych.

Omówiono kwestie określania biegu własnego trzykanałowego analizatora promieniowania gamma z licznikiem scyntylicyjnym, zależność biegu własnego od masy badanych próbek, potrzebę korygowania biegu własnego stosownie do masy badanej próbki, określono współczynniki osłabienia biegu własnego przez próbkę materiału i zaproponowano sposób obliczania skorygowanych wartości biegu własnego w poszczególnych kanałach analizatora w zależności od masy próbki.

Analizowano również zależność niepewności oznaczenia stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych i wskaźników aktywności od całkowitego czasu pomiaru jednostkowych liczb zliczeń, odpowiadających stężeniom radionuklidów w badanej próbce, określanym w poszczególnych zakresach analizatora. Wskazano na możliwość spełnienia wymaganego [1], [2] nieprzekroczenia 20% proggu niepewności określenia wskaźników aktywności, przy wartościach wskaźników większych od 80% ich wartości dopuszczalnych, poprzez odpowiednie wydłużenie czasu pomiarów jednostkowych liczb zliczeń.

W artykule omówiono zależność współczynnika autoabsorpcji od masy próbki i określono niepewność jego określenia, sugerując sposób przygotowywania próbek do badań w zależności od gęstości badanego materiału.

Na zakończenie omówiono znaczenie wpływu stopnia nierównowagi promieniotwórczej badanych próbek materiałów pochodzenia mineralnego na wyniki badań kontrolnych. Na przykładach wybranych materiałów pokazano zmiany wartości stężenia radu obserwowane z upływem czasu liczonego od przygotowania próbek. Nierównowaga promieniotwórcza spowodowana ucieczką radonu może więc mieć znaczenie przy określeniu wskaźników aktywności  $f_1$  i  $f_2$ . Wynika stąd wniosek, aby ze względu na program zapewnienia jakości, przy planowaniu badania danego surowca lub materiału brać pod uwagę jego „historię” oraz w zależności od niej w przybliżeniu określać czas pomiaru odpowiedni do zakładanej lub wymaganej niepewności wyników badań.

## Bibliografia

- [1] Brunarski L. i in.: Instrukcja ITB 234 Badania promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych. ITB, Warszawa 2003
- [2] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów (Dz.U. z 19 grudnia 2002 r., nr 220, poz. 1850)

- [3] Brunarski L., Krawczyk M.: Badania promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych. Komentarz do Instrukcji ITB 234/2003. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik*, 4 (128), 2003
- [4] Żak A., Michałowski W., Dudek T.: Prototyp doświadczalny trójkanałowego analizatora i wyniki badań kwalifikacyjnych. Metoda badań radionuklidów za pomocą ww. analizatora. Opracowanie nr 2/89/Z-II. CLOR, Warszawa 1989

## MEASUREMENT PROBLEMS IN NATURAL RADIOACTIVITY TESTING OF BUILDING MATERIALS

### Summary

The paper deals with some problems connected with the natural radioactivity testing of mineral raw materials and building products, in the context of the newly edited, altered ITB Instruction 234/2003. There were treated such questions like a meaning of the background count rates correct determination for the analyzer in use, establishing the right time for the sample count rates measurements with regard to an uncertainty of the test results obtained, the influence of a sample mass upon gamma radiation self-absorption coefficient, and finally the problem of radioactive nonequilibrium in sample and its influence on the measuring results.

*Praca wpłynęła do Redakcji 25 IV 2004*