

dr inż. Grzegorz Ludwik Golewski*

Ocena promieniotwórczości naturalnej krzemionkowych popiołów lotnych i betonów z ich dodatkiem

Evaluation of natural radioactivity of siliceous fly ash and concretes made with their addition

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań promieniotwórczości naturalnej popiołów lotnych i betonów wykonanych z ich dodatkiem. Oceniano stężenie pierwiastków promieniotwórczych – potasu, radu i toru, wskaźniki aktywności f_1 i f_2 oraz moc dawki promieniowania. Badania wykonano na podstawie instrukcji ITB 455/2010 za pomocą miernika promieniotwórczości naturalnej typu MAZAR-01. Wykazano, że krzemionkowe popioły lotne stosowane jako dodatek do betonów w ilości do 30% masy cementu nie wpływają w istotny sposób na wzrost wskaźników radioaktywności w tych materiałach. Materiały te nie stanowią więc zagrożenia radiologicznego i mogą być bez obaw stosowane w budownictwie.

Słowa kluczowe: popiół lotny, beton, promieniotwórczość naturalna, wskaźniki aktywności.

Abstract. This paper presents the results of natural radioactivity of the fly ash and concrete made with their addition. During the study of radioactivity were evaluated: the concentration of radioactive elements: potassium, radium and thorium, radioactivity coefficients f_1 and f_2 , and the radiation dose. The tests were made on the instruction of the ITB 455/2010 with the help of natural radioactivity meter type MAZAR-01. It has been shown that siliceous fly ash used as a concrete additive in an amount up to 30% by weight of the cement does not significantly affect the growth rates of radioactivity in these materials. It follows that these materials do not pose a threat of radiological and can be used with confidence in the construction industry.

Keywords: fly ash, concrete, natural radioactivity, radioactivity coefficients.

Przeszło 50% popiołów lotnych (*pl*) wykorzystywanych w budownictwie używa się jako dodatków do cementu [1]. Betony zawierające *pl* charakteryzują się m.in.: podwyższoną odpornością na chemiczne czynniki korozyjne i wysoką temperaturę. Dodatek *pl* w ilości do 20% masy cementu powoduje ponadto wyraźnie korzystne zmiany w mikrostrukturze matrycy cementowej oraz zmniejszenie uszkodzeń w obszarze warstw stykowych kruszywa grubego [2]. W efekcie betony wykazują podwyższoną odporność na pękanie przy I, II i III modelu pękania [2 – 4].

Promieniotwórczość popiołów lotnych

Duże wykorzystanie *pl* w budownictwie wpisuje się niewątpliwie w strategię zrównoważonego rozwoju, ale pojawia się pytanie, czy ten uboczny produkt spalania jest surowcem bezpiecznym dla ludzi przebywających w bu-

dynkach, do zbudowania których użyto materiałów z dodatkiem *pl*. Wiele publikacji, np. [5], mówi o dużej ilości pierwiastków promieniotwórczych, głównie uranu i toru, występujących w węglu kamiennym oraz produktach jego spalania. Trzeba więc mieć świadomość, że *pl* jako materiał odpadowy, a jednocześnie surowiec budowlany pochodzenia mineralnego zawiera naturalne pierwiastki promieniotwórcze, których obecność wpływa na moc dawki promieniowania otrzymywaną przez człowieka. Zazwyczaj poziom radioaktywności *pl* jest wyższy niż węgla, ponieważ węgiel w trakcie spalania ulega utlenieniu do postaci gazowej. Izotopy promieniotwórcze oraz zanieczyszczenia pozostają w produktach spalania w postaci stałej, dlatego odpady charakteryzują się podwyższoną zawartością naturalnych izotopów promieniotwórczych w porównaniu z materiałem wyjściowym. W związku z tym przed podjęciem decyzji o dopuszczeniu ich do stosowania należy ocenić, czy dany odpad może być wykorzystany w przemyśle oraz czy materiał budowlany z dodatkiem *pl*

spełnia wymagania dotyczące ograniczenia promieniotwórczości naturalnej. W Polsce [6] i na świecie [7] od wielu lat prowadzone są badania oceniające możliwość wykorzystania betonu komórkowego na bazie *pl*. Wykazały one, że z punktu widzenia radiologicznego materiał jest bezpieczny. Podobne wnioski uzyskano w przypadku kruszyw w postaci mikrosfer popiołowych [8] i materiałów ceramicznych na bazie popiołów z 70% ich dodatkiem [9]. Na podstawie [9] wykazano, że poziom radioaktywności popiołów lotnych występujących w węglach z Górnosląskiego Zagłębia Węglowego jest na poziomie dopuszczalnym i może być bez obaw stosowany do produkcji ceramicznych materiałów budowlanych.

Obecnie w literaturze polskiej mało jest prac dotyczących analizy wielkości promieniowania radioaktywnego betonów cementowych z dodatkiem *pl*. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w publikacjach zagranicznych. W [10] opisano badania dopuszczalnego poziomu promieniotwórczości betonów z dodatkiem 10, 20 i 30%

* Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury

pl pochodzących z jedenastu różnych tureckich elektrowni węglowych. Wyniki wykazały, że poza jednym betonem z 30% dodatkiem *pl* wskaźniki promieniotwórczości były w dopuszczalnych granicach. W [11] oceniono koncentrację pierwiastków promieniotwórczych w betonach z dodatkiem *pl* oraz współczynnik rozchodzenia się radonu w powietrzu, czyli emanację radonu. Ustalono, że wartość analizowanego współczynnika była wyższa w przypadku betonu na bazie czystego cementu portlandzkiego niż betonu, który zawierał popiół.

W przypadku badań dotyczących oceny poziomu radioaktywności betonów z dodatkiem odpadów przemysłowych pochodzących z polskich elektrowni, w dwóch publikacjach przedstawiono wyniki eksperymentów, przy czym w jednej podano rezultaty badań radioaktywności i eshalacji radonu w betonach cementowych wykonanych z dodatkiem żużli. W [12] zaprezentowano natomiast wyniki badań poziomu radioaktywności betonów na bazie trzech rodzajów cementów: portlandzkiego (CEM I), popiołowego (CEM II/B-V) i hutniczego (CEM III/A) o stałej zawartości spoiwa 350 kg/m³. W związku z tym, że analizowane betony zawierały cementy normowe dostarczone bezpośrednio z cementowni, we wszystkich przypadkach wskaźniki radioaktywności były w dopuszczalnych granicach. Często jednak dodatek *pl* stosuje się w różnych ilościach jako substytut części cementu bezpośrednio w procesie wytwarzania mieszanki. Wówczas poziom promieniotwórczości takiego betonu, przy większej ilości dodatku, może okazać się dosyć wysoki [10] i w związku z tym należałoby przeprowadzić badania oceniające stopień radioaktywności.

Badanie promieniotwórczości naturalnej

Zawartość naturalnych izotopów promieniotwórczych ⁴⁰K, ²²⁶Ra oraz ²²⁸Th, jaka może się znajdować w surowcach oraz materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi, inwentarza żywego oraz w odpadach przemysłowych, podlega ograniczeniom prawnym [14]. Ilość izotopów ustala się na podstawie wartości wskaźników aktywności

f_1 i f_2 [13]. Wskaźnik f_1 uwzględnia zawartość naturalnych izotopów promieniotwórczych, a jego wartość informuje o narażeniu organizmu na promieniowanie gamma emitowane przez radionuklidy naturalne: ⁴⁰K, ²²⁶Ra oraz ²²⁸Th. Wskaźnik f_2 informuje natomiast o zawartości radu, który jest izotopem macierzystym radonu, dlatego jego wartość określa stopień narażenia na promieniowanie alfa radonu. Wzory do wyznaczenia wskaźników aktywności f_1 i f_2 znajdują się w [6, 13, 15]. W przypadku surowców i materiałów budowlanych wartości f_1 i f_2 wynoszą odpowiednio 1 i 200 Bq/kg i nie mogą przekraczać o więcej niż 20% dopuszczalnego poziomu [15]. Oznacza to, że graniczne stężenia radionuklidów wynoszą $f_1 = 1,2$ oraz $f_2 = 240$ Bq/kg. Oprócz wytycznych dotyczących stężenia pierwiastków promieniotwórczych w materiałach, rozporządzenie Rady Ministrów [14] ogranicza również poziom tzw. dawki pochłoniętej promieniowania do wartości 300 nGy/h.

Celem badań własnych była ocena poziomu promieniotwórczości naturalnej *pl* oraz betonów wykonanych z ich dodatkiem w ilości: 0% (P-00), 20% (P-20) i 30% (P-30) masy. Na podstawie uzyskanych wyników ustaliłem przydatność badanego *pl* jako bezpiecznego składnika betonu z punktu widzenia ochrony radiologicznej. Szczegółową charakterystykę *pl* wykorzystanych w badaniach przedstawiono w [1]. Badanie prowadzono zgodnie z instrukcją ITB 455/2010 [13] i wykorzystano w nim miernik promieniotwórczości naturalnej typu MAZAR-01, który spełnia wymagania rozporządzenia [14]. Biorąc pod uwagę wszystkie wymagania zawarte w rozporządzeniu [14], w **badaniach własnych oceniano:**

- stężenie pierwiastków promieniotwórczych potasu, radu i toru;

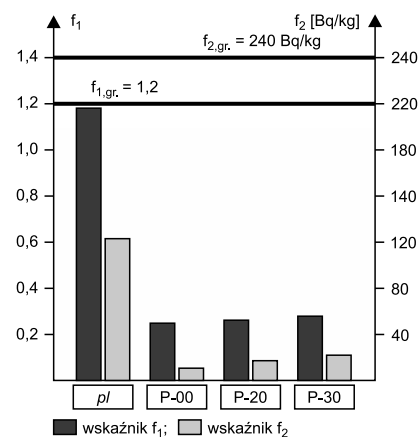
Wyniki badań promieniotwórczości naturalnej

Materiał	Stężenie pierwiastków [Bq/kg]			Wskaźniki		Moc dawki [nGy/h]
	potasu	radu	toru	f_1	f_2 [Bq/kg]	
<i>pl</i>	778,26	125,98	103,91	1,18	122,59	156,94
P-00	516,30	11,02	9,31	0,25	11,02	33,34
P-20	472,97	16,62	10,29	0,26	16,62	34,54
P-30	471,12	16,90	13,35	0,28	16,90	36,61

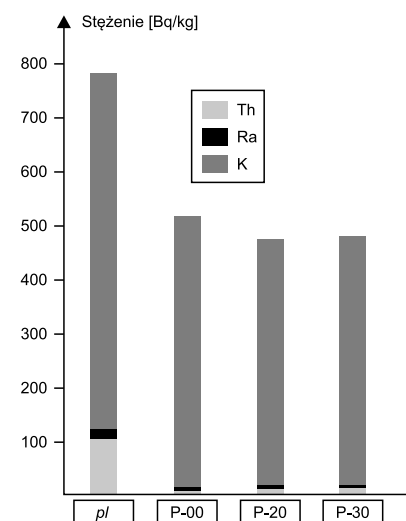
- wskaźniki radioaktywności f_1 i f_2 ;
- moc dawki promieniowania.

Wyniki badań i ich analiza

W tabeli zestawiono średnie wyniki (6 próbek) badań promieniotwórczości naturalnej *pl* i betonów z ich dodatkiem. Rysunki 1 i 2 pokazują, że *pl* cechuje kilkakrotnie wyższy poziom promieniotwórczości w porównaniu z wynikami uzyskanymi w przypadku betonów. W sześciu przebadanych prób-



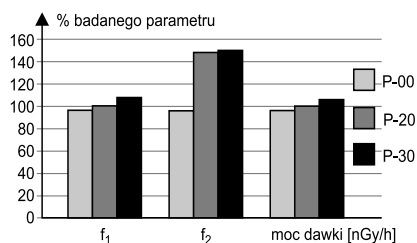
Rys. 1. Wskaźniki radioaktywności f_1 i f_2 badanych materiałów



Rys. 2. Poziom stężenia radionuklidów w badanych materiałach

kach popiołów wartość **wskaźnika aktywności f_1** wynosiła $1,17 \div 1,20$ i nie przekroczyła o więcej niż 20% wartości dopuszczalnej rozporządzeniem [14]. Ich średni wynik 1,18 oznacza, że był bliski wartości granicznej. **Wskaźnik f_2** wyniósł $113,08 \div 125,98$ Bq/kg, a jego wartość średnia – 122,59 Bq/kg, co świadczy, że również w tym przypadku uzyskany wynik znajdował się w dopuszczalnych granicach. **Moc dawki promieniowania** oscylowała od 154,58 do 158,24 nGy/h, przy czym jej wartość średnia była równa 156,94 nGy/h. W przypadku wszystkich przebadanych próbek zaobserwowano wysokie stężenie potasu w porównaniu z kilkakrotnie niższym stężeniem radu i toru (rysunek 2), co wykazano również w [11]. Na wartość wskaźnika f_1 decydujący wpływ ma jednak stężenie radu i toru, dzięki czemu w żadnym z analizowanych materiałów nie została przekroczona dopuszczalna wartość f_1 . Wyniki uzyskane w badaniach własnych są zbliżone do wartości podanych w [12].

Na rysunku 3 przedstawiono zmiany procentowe poszczególnych wskaźników w zależności od ilości dodatku. Za 100% przyjęto wartości parametrów uzyskane w badaniach promieniotwórczości betonu referencyjnego, tzn. P-00. Z analizy tabeli i rysunku 3 wynika, że wskaźnik aktywności f_1 badanych betonów zmienił się od 0,25 dla P-00 do 0,28 dla P-30. Zaobserwowano zatem nieznaczny wzrost wartości tego parametru w przypadku betonów modyfikowanych, który wyniósł: 4% dla betonu z 20% dodatkiem *pl* i 12% w przypadku betonu P-30. Podobna niska tendencja wzrostowa została odnotowana w przypadku analizy mocy dawki promieniowania, która zmieniała się od 33,34 nGy/h dla betonu na czystym CEM I do 36,61 nGy/h dla kompozytu z 30% zawartością *pl*.



Rys. 3. Względne zmiany parametrów radioaktywności w analizowanych betonach

Największy wzrost tego parametru w przypadku betonu P-30 wyniósł tylko 10% w porównaniu z betonem referencyjnym. Najbardziej istotny wpływ na zmianę promieniotwórczości betonów z dodatkiem krzemionkowych *pl* zaobserwowano przy analizie wskaźnika f_2 , którego wartości wynosiły $11,02 \div 16,90$ Bq/kg. Zwiększenie tego wskaźnika w przypadku betonów z popiołami było bardzo wyraźne i wyniosło odpowiednio 51% dla P-20 i 53% dla P-30, ale nadal było wyraźnie poniżej wartości dopuszczalnej podanej w [13, 14].

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

- krzemionkowe popioły lotne charakteryzują się wysokim poziomem promieniotwórczości, ale w dopuszczalnych granicach;
- betony z dodatkiem popiołów do 30% masy cementu mają wskaźniki radioaktywności na bardzo niskim poziomie i mogą być stosowane jako bezpieczny materiał budowlany;
- popioły lotne i betony wykonane z ich dodatkiem charakteryzują się wysokim stężeniem izotopu potasu oraz niskim stężeniem izotopów radu i toru;
- wskaźniki radioaktywności betonów rosną proporcjonalnie do ilości dodatku *pl*;
- dodatek *pl* ma największy wpływ na wzrost wskaźnika f_2 (rysunek 3);
- dodatek popiołów lotnych powoduje niewielki (kilkunastoprocentowy) wzrost mocy dawki promieniowania i wskaźnika f_1 betonów (rysunek 3).

Przedstawione wyniki dowodzą, że w przypadku badanych *pl* zostały spełnione kryteria dotyczące odpadów przemysłowych, które mogłyby być użyte w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego.

Literatura

- [1] Czarniecki L., Więclawski R.: Możliwości wykorzystania popiołów lotnych w budownictwie, *Materiały Budowlane*, 9, 2005, 83 – 85.
- [2] Golewski G. L.: Odporność na pęknięcie a mikrostruktura w betonach z dodatkiem popiołów lotnych, *Materiały Budowlane*, 10, 2013, 28 – 30.
- [3] Golewski G. L.: Analiza procesów pęknięcia w kompozytach betonowych z dodat-

kiem popiołów lotnych, *Materiały Budowlane*, 11, 2011, 39 – 42.

[4] Golewski G. L. Analiza odporności na pęknięcie, przy trzecim modelu pęknięcia betonów z dodatkiem popiołów lotnych, *Budownictwo i Architektura*, 12 (3), 2013, 145 – 152.

[5] Olkusiński T., Stala-Szlugaj K.: Pierwiastki promieniotwórcze w węglu oraz w produktach odpadowych powstających podczas jego spalania, *Rocznik Ochrona Środowiska*, 11, 2009, 913 – 922.

[6] Zapotoczna-Sytek G., Mamont-Cieśla K., Rybarczyk T.: Mit o promieniotwórczości autoklawizowanego betonu komórkowego, *Materiały Budowlane*, 5, 2012, 54 – 56.

[7] Nisnevich M., Sirotin G., Schlesinger T., Eshel Y.: Radiological safety aspects of utilizing coal ashes for production of lightweight concrete, *Fuel*, 87, 2008, 1610 – 1616.

[8] Dohojda M., Rubin J. A.: Promieniotwórczość naturalna wybranych kruszyw budowlanych, *Materiały Ceramiczne (Ceramic Materials)*, 61, 1, 2009, 55 – 58.

[9] Wyszomirski P., Brylska E.: Fly ash in Polish buildings ceramics-threat or proecology?, *Applied Geochemistry*, 11, 1996, 351 – 353.

[10] Turhan S., Arkan I. H., Yucel B., Varinlioglu A., Kose A.: Evaluation of the radiological safety aspects of utilization of Turkish coal combustion fly ash in concrete production, *Fuel*, 89, 2010, 2528 – 2535.

[11] Kovler K.: Does the utilization of coal fly ash in concrete construction present a radiation hazard?, *Construction and Building Materials*, 29, 2012, 158 – 166.

[12] Giergiczyński Z., Król A.: Beton a środowisko naturalne, IX Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Infrastruktura podziemna miast”, Wrocław 2005, 132 – 141.

[13] Brunarski L., Dohojda M.: Badania promieniotwórczości naturalnej wyrobów budowlanych. Poradnik ITB 455/2010, Wydawnictwo ITB, Warszawa 2010.

[14] Rozporządzenie Rady Ministrów z 2 stycznia 2007 r. (Dz. U. z 2007 r., nr 4, poz. 29) w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 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.

[15] Dohojda M., Rzeszutko M.: Wyniki badań promieniotwórczości naturalnej wyrobów budowlanych, *Materiały Budowlane*, 9, 2014, 65 – 67.