

Promieniotwórczość naturalna ceramiki budowlanej badanej w Polsce w latach 2021–2024

Natural Radioactivity of Building Ceramics Studied in Poland in 2021–2024

Patrycja Styka¹, Barbara Piotrowska², Krzysztof Isajenko²

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Chemii, Ludwika Pasteura 1, 02-093 Warszawa, Polska

² Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa, Polska

Streszczenie: W latach 2021–2024 wykonano w Polsce badania naturalnej promieniotwórczości ceramiki budowlanej obejmujące 390 próbek płytek, mozaiki, ceramiki sanitarnej, bloków i blatów ceramicznych zarówno producentów polskich jak i sprowadzanych z zagranicy. Ocenę prowadzono zgodnie z wymaganiami prawnymi określonymi w rozporządzeniu Rady Ministrów z 17 grudnia 2020 r. [1], wykorzystując wskaźnik stężenia promieniotwórczego (I), który uwzględnia stężenie izotopów ⁴⁰K, ²²⁶Ra i ²³²Th.

Analiza wyników wskazuje, że dominująca część materiałów ceramicznych w Polsce mieści się w dopuszczalnych granicach określonych przez przepisy. Warto podkreślić, że wartość wskaźnika I powyżej 1 nie oznacza automatycznie, że materiał jest niebezpieczny — jest to jedynie wskaźnik orientacyjny stosowany w ocenie narażenia na promieniowanie. Średnie wartości wskaźnika I wahały się od 0,57 dla ceramiki ogólnej do 1,11 dla ceramiki sanitarnej. W przypadku bloków ceramicznych oraz ceramiki sanitarnej część próbek osiągnęła wartości graniczne lub przekraczające wartość 1. Łącznie **97,69% badanych próbek charakteryzowało się wskaźnikiem I 1,0**, natomiast **2,31% próbek przekroczyło dopuszczalny poziom**, co wyklucza je z wprowadzenia do obrotu na terenie Polski.

Uzyskane wyniki pokazują, że większość ceramiki budowlanej stosowanej w Polsce spełnia obowiązujące rozporządzenia i przepisy, a odnotowane przekroczenia wskazują na potrzebę systematycznej kontroli wyrobów przed wprowadzeniem ich na rynek.

Słowa kluczowe: Ceramika, promieniotwórczość naturalna, potas ⁴⁰K, rad ²²⁶Ra, tor ²³²Th.

Abstract: Between 2021 and 2024, studies on the natural radioactivity of building ceramics in Poland were carried out on 390 samples, including tiles, mosaics, sanitary ceramics, blocks, and ceramic countertops both Polish producers and those imported from abroad. The assessment was conducted in accordance with the legal requirements set out in the Regulation of the Council of Ministers of 17 December 2020 [1], using the radioactivity concentration index (I), which takes into the account the concentration of ⁴⁰K, ²²⁶Ra and ²³²Th.

The analysis of the results indicates that the majority of ceramic materials in Poland fall within the permissible limits established by regulations. It should be emphasized that an index I above 1 does not automatically mean that the material is hazardous — it is merely an indicative parameter used to assess radiation exposure. Average radioactivity concentration index (I) values ranged from 0.57 for general ceramics to 1.11 for sanitary ceramics. For ceramic blocks and sanitary ceramics, some samples reached or exceeded the permissible threshold. Overall, **97.69% of the tested samples showed an index I 1.0**, while **2.31% exceeded the allowable level**, disqualifying them from trade and therefore from safe use in construction.

The results show that most construction ceramics used in Poland comply with the applicable regulations, and the observed exceedances highlight the need for systematic control of products before their introduction to the market.

Keywords: Ceramics, natural radioactivity, potassium ⁴⁰K, radium ²²⁶Ra, thorium ²³²Th.

Pochodzenie próbek

W Polsce badania dotyczące promieniotwórczości naturalnej różnych surowców i materiałów budowlanych, w tym materiałów ceramicznych, prowadzone są od wielu lat, w szczególności w kontekście ich zastosowania w budownictwie. Na podstawie wyników analiz przeprowadzonych przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) oraz inne wyspecjalizowane placówki utworzono ogólnopolską bazę danych zawierającą wyniki badań dotyczące promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych. W bazie tej gromadzone są od 1980 r. wyniki analiz materiałów ceramicznych ponad 3000 próbek, w tym 390 próbek badanych w latach 2021–2024.

Wprowadzenie

Współczesna ceramika wytwarzana jest głównie z naturalnych surowców mineralnych, przede wszystkim z różnych rodzajów glin ilastych, ilów oraz dodatków takich, jak szamoty, piaski kwarcowe, skalenie i kaoliny [2]. W Polsce materiały te pochodzą bezpośrednio z kopalni ilastych wydobywanych na terenie kraju i są wykorzystywane zarówno do produkcji ceramiki budowlanej, jak i użytkowej. Zawierają one w swoim składzie naturalne pierwiastki promieniotwórcze, takie jak potas, uran czy tor, które występują w przyrodzie powszechnie, choć w bardzo małych ilościach. To właśnie ich obecność sprawia, że każdy materiał pochodzenia naturalnego, w tym także ceramika, wykazuje śladową aktywność promieniotwórczą.

Dodatkowo, w procesie produkcji stosuje się różne materiały pomocnicze, takie jak barwniki i szkliwa. Szkliwa są przygotowywane z mieszanin tlenków metali i pełnią funkcję powłok ochronnych lub dekoracyjnych [3]. W przeszłości do ich barwienia używano związków metali ciężkich, a nawet tlenków uranu, jednak obecnie stosuje się bezpieczne zamienniki [4], które nie wnoszą istotnych dawek promieniowania. Także pigmenty ceramiczne produkowane są dziś z zachowaniem odpowiednich norm, bez dodatku materiałów radioaktywnych.

W artykule przedstawiono wyniki badań promieniotwórczości naturalnej wybranych próbek ceramiki budowlanej i sanitarnej, w tym mozaiki oraz płytek ceramicznych, które są powszechnie wykorzystywane w budownictwie mieszkaniowym. Ocena ta obejmuje stężenia promieniotwórcze izotopów potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th , które mają znaczący wpływ na poziom promieniowania jonizującego w pomieszczeniach mieszkalnych.

Przepisy prawne

W Polsce podstawowym aktem prawnym jest ustawa „Prawo atomowe” [5] i wydane do niego rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2020 r. w sprawie mate-

riałów budowlanych, w przypadku których oznacza się stężenie promieniotwórcze izotopów promieniotwórczych potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th , wymagań dotyczących dokonywania tych oznaczeń oraz wartości wskaźnika stężenia promieniotwórczego, o której przekroczeniu informuje się właściwe organy (Dz.U. z 2021 r., poz. 33).

Zgodnie z art. 5b ustawy „Prawo atomowe” [5] przed wprowadzeniem do obrotu materiałów budowlanych na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej oznacza się stężenie promieniotwórcze naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th . Oznaczenia stężenia promieniotwórczego izotopu toru ^{232}Th można dokonać przez oznaczenie stężenia promieniotwórczego kolejnych produktów jego rozpadu. Wynika to z faktu, że ^{232}Th jest izotopem alfa-promieniotwórczym, który nie może być wykrywany za pomocą detektora rejestrującego promieniowanie gamma.

Maksymalne dopuszczalne poziomy stężenie naturalnych izotopów promieniotwórczych określa rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2020 r. [1]. Rozporządzenie to ujednoliciło dotychczasowe przepisy, w których dopuszczalna ilość zależała od przeznaczenia materiału. Obecnie standard, którego nie należy przekraczać, jest dany równaniem:

$$I \frac{C_{^{40}\text{K}}}{3000 \text{ Bq/kg}} \frac{C_{^{226}\text{Ra}}}{300 \text{ Bq/kg}} \frac{C_{^{232}\text{Th}}}{200 \text{ Bq/kg}}$$

gdzie $C_{^{40}\text{K}}$, $C_{^{226}\text{Ra}}$ i $C_{^{232}\text{Th}}$ – oznaczają odpowiednio stężenia promieniotwórcze izotopów potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th , wyrażone w bekerelach na kilogram (Bq/kg).

Aby dany materiał wprowadzić do obrotu na terenie Polski (zgodnie z wytycznymi rozporządzenia), wskaźnik stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych nie może przekraczać wartości 1. Nałożony został również warunek na całkowitą niepewność, a mianowicie niepewność wyznaczenia wartości tego wskaźnika, przy poziomie ufności 0,95, nie może przekraczać 20% jego wartości, jeżeli wskaźnik ten wynosi co najmniej 0,8.

Metoda pomiaru

Materiał budowlany, w którym dokonywano oznaczeń, przed umieszczeniem w naczyniu pomiarowym wysuszono do suchej masy, rozdrobniono i przesiano przez sito do wymiaru ziaren o średnicy poniżej 2 mm. Pomiar stężenia izotopów promieniotwórczych w materiałach budowlanych przeprowadzono z użyciem specjalistycznej aparatury – analizatora typu MAZAR z sondą scyntylacyjną NaI(Tl), która pozwala na precyzyjne określenie stężenia poszczególnych izotopów promieniotwórczych [6]. Do stabilizacji widma promieniowania gamma użyto źródła ^{137}Cs .

Analizator typu MAZAR ma wydzielone trzy zakresy pomiarowe, które obejmują kanały o następujących energiach:

- kanał 1, o zakresie 1,26–1,65 MeV, który rejestruje fotony promieniowania gamma ^{40}K ,
- kanał 2, o zakresie 1,65–2,30 MeV, który rejestruje fotony promieniowania gamma ^{214}Bi , będący w równowadze z radem ^{226}Ra ,
- kanał 3, o zakresie 2,30–2,85 MeV, który rejestruje fotony promieniowania gamma ^{208}Tl .

Kanały rejestrują również widma Comptonowskie i tło aparatury. Istotne są zarówno właściwa stabilizacja widma, jak i odpowiednia kalibracja.

Po dokonaniu pomiarów przeprowadzono analizę, a na podstawie uzyskanych danych wykonano obliczenia, które pozwalają stwierdzić, czy materiał budowlany spełnia wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu narażenia na promieniowanie gamma.

Wyniki badań radioaktywności naturalnej ceramiki badanej w latach 2021–2024

Na podstawie wyników badań przeprowadzonych w latach 2021–2024, w tabeli 1 przedstawiono średnie wartości stężeń promieniotwórczych ^{40}K , ^{226}Ra i ^{232}Th wraz z zakresami dla wybranych materiałów ceramicznych.

Przeprowadzona porównawcza analiza stężeń izotopów promieniotwórczych: potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra oraz toru ^{232}Th w różnych materiałach ceramicznych i budowlanych wykazała istotne zróżnicowanie aktywności promieniotwórczej w zależności od rodzaju próbki. Dodatkowo na wykresie 1 przedstawiono wielkość stężeń promieniotwórczych ^{40}K , ^{226}Ra oraz ^{232}Th dla wybranych materiałów ceramicznych.

Największe stężenia promieniotwórcze izotopu ^{40}K odnotowano w próbkach mozaiki ceramicznej, gdzie osiągały one wartość średnią 772 Bq/kg. Podwyższone wartości występowały również w ceramice sanitarnej, cera-

mice oraz płytkach ceramicznych. Ich stężenia oscylowały w granicach 600–700 Bq/kg. Najmniejsze stężenie potasu ^{40}K zaobserwowano w blatach ceramicznych, wynoszące średnio 375 Bq/kg.

W przypadku radu ^{226}Ra największe stężenie promieniotwórcze wykazały bloki ceramiczne, w których stężenie tego izotopu wynosiło średnio 226,5 Bq/kg. Stosunkowo wysokie wartości odnotowano również w wyrobach ceramicznych, blatach ceramicznych oraz ceramice sanitarnej (około 100–130 Bq/kg). Najmniejsze stężenie radu ^{226}Ra wystąpiło w zwykłej ceramice – poniżej 45 Bq/kg.

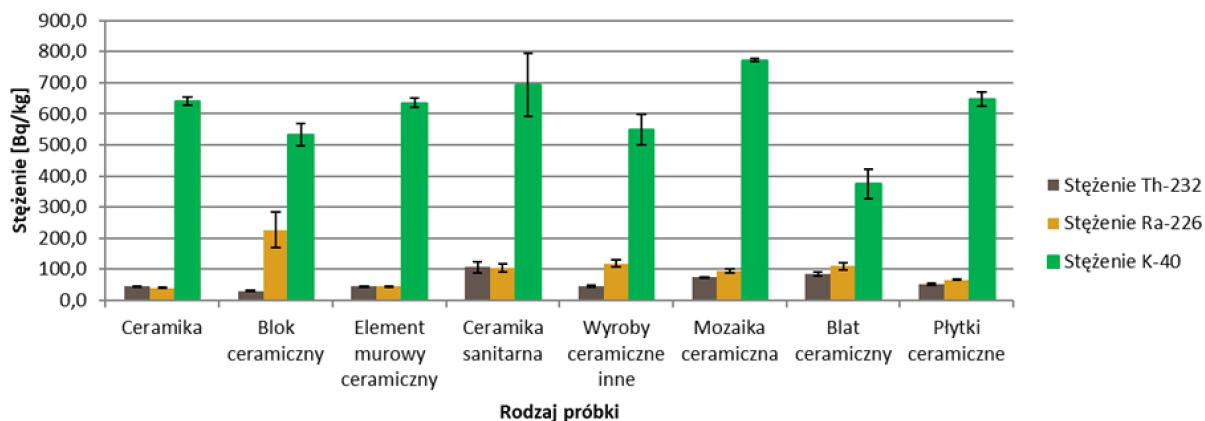
Najwyższe stężenie promieniotwórcze ^{232}Th stwierdzono w próbkach ceramiki sanitarnej – średnio 107,0 Bq/kg. Wysokie stężenia (przekraczające 70 Bq/kg) występowały również w mozaikach ceramicznych oraz blatach ceramicznych. Najniższe wartości ^{232}Th zaobserwowano w blokach ceramicznych, zwykłej ceramice oraz ceramicznych elementach murowanych – poniżej 45 Bq/kg.

Różnice w poziomach radioaktywności w próbkach ceramicznych są determinowane składem chemicznym. Natomiast skład chemiczny ceramiki zależy od pochodzenia i geologicznych uwarunkowań surowców oraz procesu produkcji. Ceramika, zwłaszcza ta produkowana z gliny i minerałów zawierających uran, tor czy inne materiały promieniotwórcze, może wykazywać różne poziomy radioaktywności w zależności od zawartości tych izotopów. ^{40}K jest powszechnie obecny w materiałach ziemskich [7], takich jak glina, co sprawia, że ceramika naturalnie zawiera ten izotop. Z kolei ^{226}Ra i ^{228}Th , będące produktami rozpadu uranu i toru, występują głównie w minerałach takich, jak monacyt, apatyt czy inne związki uranowe [8], które mogą znajdować się w surowcach używanych do produkcji ceramiki. Ocena różnic w poziomach radioaktywności musi uwzględniać niepewność wyników pomiarów, która zawiera się w granicach od kilku do nawet kilkuset Bq/kg.

Tabela 1. Średnie wartości stężeń promieniotwórczych wraz z ich zakresami podanymi w Bq/kg w zależności od materiału.
Table 1. Mean values of radionuclide concentrations with their ranges given in Bq/kg depending on the material.

Rodzaj badanej próbki	Liczba próbek	^{40}K		^{226}Ra		^{232}Th	
		Wartość średnia [Bq/kg]	Zakres [Bq/kg]	Wartość średnia [Bq/kg]	Zakres [Bq/kg]	Wartość średnia [Bq/kg]	Zakres [Bq/kg]
Ceramika	185	639±13	38–1323	40,5±0,6	4,0–0,7	44,9±0,1	7,5–85,5
Blok ceramiczny	2	533±37	496–569	226,5±57,5	169,0–284,0	30,3±1,3	29,0–31,6
Element murowy ceramiczny	109	635±14	242–938	44,6±1,6	11,8–125,5	44,0±0,9	12,1–70,8
Ceramika sanitarna	9	692±101	276–977	103,7±13,3	49,3–160,0	107,0±18	41,2–162,0
Wyroby ceramiczne inne	1	548±49*	–	119±10*	–	45,4±4,2*	–
Mozaika ceramiczna	2	772±5	766–777	95,5±6,3	89,2–101,78	73,4±3,1	73,4–79,4
Blat ceramiczny	1	375±48*	–	109,6±11,7*	–	84,0±7,0*	–
Płytki ceramiczne	81	646±23	50–990	65,9±2,2	15,0–133,3	52,0±2,1	10,0–132,8

*) – wartości wynikają z bezpośrednich badań wielkości stężeń promieniotwórczych i ilości przebadanych materiałów.



Wykres 1. Zależności stężeń izotopów potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th w Bq/kg od rodzaju próbki (opracowanie własne).

Chart 1. Dependence of potassium ^{40}K , radium ^{226}Ra and thorium ^{232}Th isotope concentration in Bq/kg on the type of sample (own study).

Dla każdego materiału budowlanego obliczono wartość wskaźnika stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych w celu ustalenia, czy spełnia on wymagania określone w rozporządzeniu [1].

Analiza danych przedstawionych w tabeli 2 wskazuje, że w badanych próbkach materiałów ceramicznych poziomy stężeń radionuklidów są zróżnicowane. Najwięcej próbek przebadanych zostało określonych ogólnym mianem ceramiki. Pozwala to na szeroką ocenę tego rodzaju materiałów. Średnia wartość wskaźnika stężenia promieniotwórczego w ceramice wynosi 0,57, z zakresem od 0,06 do 1,08, co świadczy o dużej rozpiętości wyników.

W przypadku bloków ceramicznych średnia wartość wskaźnika stężenia promieniotwórczego I jest wyższa od jedności i wynosi 1,09, z zakresem od 0,89 do 1,28. Elementy murowe ceramiczne wykazują średnią wartość wskaźnika stężenia promieniotwórczego I na poziomie 0,58, z zakresem od 0,20 do 0,98. Wśród wyrobów ceramicznych sanitarnych średnia wartość wskaźnika stężenia promieniotwórczego jest jeszcze wyższa niż w przypadku bloków ceramicznych i wynosi 1,11, z zakresem od 0,46 do 1,65. W przypadku ceramiki innych

rodzajów odnotowano jedną próbkę z wartością 0,81 zmierzoną z dokładnością 0,06, natomiast mozaika ceramiczna charakteryzuje się średnią wartością wskaźnika stężenia promieniotwórczego I równą 0,96, z zakresem od 0,92 do 1,00. W przypadku blatów ceramicznych odnotowano jedną próbkę z wartością $I = 0,91$ zmierzoną z dokładnością 0,06. Dla płytek ceramicznych, które stanowią najliczniejszą grupę (81 próbek), wartość wskaźnika stężenia promieniotwórczego wyniosła 0,70, z zakresem od 0,12 do 1,39.

Wyniki dla większości próbek materiałów ceramicznych wskazują, że wskaźnik stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych nie przekracza wartości 1,00 (97,69%). Niestety w przypadku 9 na 381 próbek (2,31%) zostaje on przekroczony.

Chociaż w niektórych przypadkach stwierdzono przekroczenie ustalonej wartości wskaźnika stężenia promieniotwórczego, ogólny poziom promieniotwórczości w materiałach ceramicznych pozostaje poniżej wartości 1. Zaleca się jednak kontynuowanie badań tego typu, aby monitorować parametry materiałów i utrzymywać zgodność z obowiązującymi przepisami.

Tabela 2. Średnie wartości wskaźnika stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych wraz z ich zakresami w zależności od rodzaju próbki.

Table 2. Mean values of the activity concentration index of natural radionuclides with their ranges depending on the type of sample.

Rodzaj próbki	Liczba próbek	Wartość średnia	Zakres
Ceramika	185	0,57±0,10	0,06–1,08
Blok ceramiczny	2	1,09±0,20	0,89–1,28
Element murowy ceramiczny	109	0,58±0,12	0,20–0,98
Ceramika sanitarna	9	1,11±0,16	0,46–1,65
Wyroby ceramiczne inne	1	0,81±0,06*	–
Mozaika ceramiczna	2	0,96±0,06	0,92–1,00
Blat ceramiczny	1	0,91±0,06*	–
Płytki ceramiczne	81	0,70±0,18	0,12–1,39

*) podane wartości wraz z dokładnością w tabeli 2 wynikają z ilości przebadanych materiałów i są wynikiem bezpośrednich badań naturalnej promieniotwórczości.

Podsumowanie

Badania przeprowadzone w latach 2021–2024 obejmujące 390 próbek ceramiki budowlanej i sanitarnej w Polsce materiałów zarówno polskich producentów jak i eksportowanych wykazały różnicowane stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych ^{40}K , ^{226}Ra i ^{232}Th w zależności od rodzaju materiału. Najwyższe wartości ^{40}K stwierdzono w mozaikach ceramicznych, natomiast ^{226}Ra w blokach ceramicznych, a ^{232}Th w ceramice sanitarnej. Średnie wartości wskaźnika stężenia promieniotwórczego (I) w badanych próbkach mieściły się w przedziale 0,57–1,11, a większość materiałów (97,69%) nie przekroczyła wartości granicznej równej 1,0 określonej w obowiązującym rozporządzeniu.

Otrzymane wyniki potwierdzają, że w większości przypadków ceramika stosowana w Polsce spełnia wymagania określone w rozporządzeniu Rady Ministrów i jest zgodna z przepisami dotyczącymi promieniotwórczości. Nieliczne przekroczenia wartości wskaźnika I podkreślają znaczenie kontynuacji systematycznych badań, które umożliwiają monitorowanie parametrów materiałów i utrzymywanie zgodności z przepisami.

Informacje o autorach

Patrycja Styka – studentka trzeciego roku Chemii jądrowej i Radiofarmaceutyki na Uniwersytecie Warszawskim (UW), oraz pierwszego roku Automatyki i Robotyki Stosowanej na Politechnice Warszawskiej (PW). Działa w Laboratory of Technology of Organic Functional Materials (LAB PTOMF UW). Odbiła praktyki studenckie w Zakładzie Dozymetrii Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR), gdzie zajmowała się pracami związanymi z naturalną promieniotwórczością materiałów budowlanych. Członek Koła Naukowego Chemików „ProbUWka” (od 2023 r.) – uczestniczy w pracy badawczej pt. „Sondy molekularne oparte na nanocząstkach złota sfunkcjonalizowanych prostymi pochodnymi chinolin i pirydyn”.
Barbara Piotrowska – absolwentka Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (specjalność: fizyka jądrowa). Pracownik Wojskowe-

go Instytutu Chemii i Radiometrii w latach 1996-2009. Od 2009 roku pracownik Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej, zastępca kierownika Zakładu Dozymetrii i kierownik ds. technicznych w akredytowanym Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej CLOR. Od wielu lat zajmuje się spektrometrią promieniowania gamma. Prowadzi badania i szkolenia w zakresie pomiarów promieniotwórczości naturalnej w surowcach i materiałach budowlanych. Przeprowadza ekspertyzy radiologiczne.

Krzysztof Isajenko – kierownik Zakładu Dozymetrii Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) w Warszawie, z-ca Dyrektora CLOR w latach 2006–2019, Kierownik akredytowanego Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej, Absolwent Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej, wieloletni członek Komisji Badania Morza Polskiej Akademii Nauk, wykładowca na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej, uczestnik wielu szkoleń dotyczących ochrony radiologicznej i bezpieczeństwa jądrowego (zarówno krajowych jak i zagranicznych), autor lub współautor wielu publikacji związanych z tą tematyką.

Literatura

1. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2020 r. (Dz.U. z 2021 r., poz. 33).
2. Zintegrowana Platforma Edukacyjna (ZPE). <https://zpe.gov.pl/a/przeczytaj/DMZg1Odjv> [dostęp: 8 sierpnia 2025].
3. Stephani, „Wszystko o szklwie ceramicznym!”. <https://stephanihome.pl/wszystko-o-szkliwie-ceramicznym>. [dostęp: 8 sierpnia 2025].
4. Ceramiczne ABC, „Związki chemiczne do wyrobu szkliv”. <https://ceramiczneabc.wordpress.com/category/zwiazki-do-szkliv> [dostęp: 8 sierpnia 2025].
5. Ustawa z dnia 22 sierpnia 2024 r. – Prawo atomowe (Dz.U. z 2024 r., poz. 1277 t.j).
6. Poradnik ITB 455/2010 „Promieniotwórczość naturalna materiałów budowlanych”.
7. HPS Chapters North Carolina. (n.d.). Potassium. <http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/potassium.pdf> [dostęp: 11 sierpnia 2025].
8. World Nuclear Association „Naturally-Occurring Radioactive Materials”. <https://world-nuclear.org/Information-Library/Safety-and-Security/Radiation-and-health/Naturally-Occurring-Radioactive-Materials-NORM> [dostęp: 8 sierpnia 2025].