

OCENA STĘŻEŃ RADONU W PLACÓWKACH OŚWIATOWO-WYCHOWAWCZYCH NA TERENACH, NA KTÓRYCH STĘŻENIE RADONU W ZNACZNEJ LICZBIE BUDYNKÓW MOŻE PRZEKRACZAĆ POZIOM ODNIESIENIA: WYNIKI POMIARÓW KOMERCYJNYCH

ASSESSMENT OF RADON CONCENTRATIONS
IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS IN AREAS
WHERE RADON LEVELS IN A SIGNIFICANT NUMBER OF BUILDINGS
MAY EXCEED THE REFERENCE LEVEL:
RESULTS FROM COMMERCIAL MEASUREMENTS

Karolina Bulewicz, Joanna Domienik-Andrzejewska

Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr med. Jerzego Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland
Zakład Ochrony Radiologicznej / Radiation Protection Department

INFORMACJE KLUCZOWE

- Podwyższone stężenia radonu w placówkach mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia.
- Istnieje potrzeba implementacji strategii redukcji narażenia i działań remediacyjnych.
- Wskazane jest rozszerzenie monitoringu i aktualizacja obszarów podwyższonych stężeń radonu.

HIGHLIGHTS

- Elevated radon levels in facilities may pose a health risk.
- Implementation of exposure reduction strategies and remedial measures is needed.
- Expansion of monitoring and update of high-radon areas is recommended.

STRESZCZENIE

Wstęp: Celem pracy była analiza stężeń radonu w powietrzu w placówkach oświatowo-wychowawczych na obszarach Polski objętych obowiązkiem jego monitorowania w odniesieniu do poziomu odniesienia 300 Bq/m^3 , przyjętego dla celów optymalizacji ochrony radiologicznej. **Materiał i metody:** Podstawę opracowania stanowiły wyniki komercyjnych pomiarów stężenia radonu realizowanych przez Instytut Medycyny Pracy w Łodzi im. prof. dr med. Jerzego Nofera w latach 2022–2025. Badania prowadzono w 9 województwach, obejmując placówki, tj. szkoły podstawowe, ponadpodstawowe, zespoły szkół, żłobki oraz przedszkola. Pomiary wykonywano w sezonie grzewczym (październik–marzec). Zastosowano detektory śladowe umieszczane w kasetach dozymetrycznych, przekazywane placówkom wraz z instrukcją. Po zakończeniu ekspozycji detektory poddawano obróbce chemicznej, a następnie analizie gęstości śladów z wykorzystaniem systemu analizy obrazu, zgodnie z akredytowaną procedurą badawczą. **Wyniki:** Największą liczbę pomiarów przeprowadzono w szkołach podstawowych i średnich. Przekroczenia poziomu 300 Bq/m^3 najczęściej odnotowywano w przedszkolach oraz szkołach podstawowych. W pozostałych typach placówek występowały one rzadziej, jednak miały charakter lokalny i zróżnicowany regionalnie. **Wnioski:** Uzyskane wyniki wskazują na potrzebę systematycznego monitorowania stężeń radonu w placówkach oświatowo-wychowawczych. W >20% pomieszczeń objętych pomiarami odnotowano przekroczenie poziomu odniesienia, a w niektórych z nich stężenia były $>1000 \text{ Bq/m}^3$ (tzw. poziom interwencyjny), co świadczy o pilnej potrzebie opracowania strategii działania oraz wdrażania działań naprawczych. Med Pr Work Health Saf. 2026;77(6)

Słowa kluczowe: radon, powietrze wewnątrz pomieszczeń, placówki oświatowo-wychowawcze, poziom odniesienia, monitoring radonu, działania remediacyjne

ABSTRACT

Background: The aim of the study was to analyze radon concentrations in the air in educational and childcare institutions located in regions of Poland subject to mandatory monitoring, in relation to the reference level of 300 Bq/m^3 adopted for the optimization of radiological protection. **Material and Methods:** The analysis was based on the results of commercial measurements conducted by the Nofer Institute

of Occupational Medicine in Łódź 2022–2025. The study covered 9 voivodships and included primary schools, secondary schools, school complexes, nurseries, and kindergartens. Measurements were performed during the heating season (October–March). Track detectors placed in dosimetric holders were distributed to the facilities together with instructions for use. After the exposure period, the detectors were chemically processed, and track density was analyzed using an image analysis system in accordance with an accredited measurement procedure. **Results:** The largest number of measurements was carried out in primary and secondary schools. Exceedances of the 300 Bq/m^3 reference level were most frequently observed in kindergartens and primary schools. In other types of facilities, exceedances were less frequent but showed local occurrence and regional variability. **Conclusions:** The obtained results indicate the need for systematic monitoring of radon concentrations in educational institutions. In >20% of the surveyed rooms, the reference level was exceeded, and in some cases concentrations were $>1000 \text{ Bq/m}^3$ (the so-called intervention level), which demonstrates an urgent need to develop a strategic framework and implement remedial actions. *Med Pr Work Health Saf.* 2026;77(6)

Key words: radon, indoor air, educational facilities, reference level, radon monitoring, remedial actions

Autor/ka do korespondencji / Corresponding author: Karolina Bulewicz, Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr med. Jerzego Nofera, Zakład Ochrony Radiologicznej, ul. Świętej Teresy od Dzieciątka Jezus 8, 91-348 Łódź, e-mail: karolina.bulewicz@imp.lodz.pl
Nadesłano: 4 marca 2026, zatwierdzono: 23 września 2026

WSTĘP

Zagadnienie występowania radonu w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i miejscach pracy jest istotne dla zdrowia publicznego. Najnowsze badania epidemiologiczne [1] wskazują, że ryzyko zachorowania na raka płuc związane z długotrwałą ekspozycją na podwyższone stężenie tego gazu jest większe, niż przypuszczano. Ryzyko to rośnie liniowo wraz ze stężeniem radonu, bez poziomu uważanego za w pełni bezpieczny.

W celu zminimalizowania zagrożeń dla zdrowia wynikających z długookresowego narażenia na radon wewnątrz pomieszczeń Światowa Organizacja Zdrowia (World Health Organization – WHO) sugeruje, by poziom odniesienia wynosił 100 Bq/m^3 . Jeżeli jednak nie można osiągnąć takiego poziomu stężenia radonu w budynkach w warunkach panujących w danym kraju, WHO dopuszcza jego wyższą wartość, przy czym nie powinna ona wynosić $>300 \text{ Bq/m}^3$ [2]. Z kolei Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (International Commission on Radiological Protection – ICRP) w Oświadczeniu dotyczącym radonu [3] zaktualizowała wcześniejsze zalecenia zawarte w Publikacji 65 ICRP [4], ustanawiając górny poziom odniesienia dla stężenia radonu w budynkach mieszkalnych na poziomie 300 Bq/m^3 . Zalecenia te zostały następnie wdrożone do prawa europejskiego [5], a w dalszej kolejności do przepisów krajowych, m.in. w Polsce poprzez nowelizację ustawy Prawo atomowe [6]. W obowiązujących regulacjach przyjęto poziom odniesienia wynoszący 300 Bq/m^3 dla wszystkich typów budynków, w tym placówek oświatowo-wychowawczych.

W państwach Unii Europejskiej przyjęto najczęściej wartość 300 Bq/m^3 , choć w krajach nordyckich oraz w części państw o podwyższonym tle radonowym stosuje się niższe wartości poziomu lub dodatkowe poziomy zalecane. Niektóre kraje różnicują także poziomy odniesienia dla nowych budynków.

Poziomy odniesienia służą identyfikacji obiektów wymagających podjęcia działań naprawczych. Skuteczność i koszt zastosowanych metod zależą od wysokości stężenia radonu – w przypadkach wielokrotnego przekroczenia poziomu odniesienia konieczne mogą być działania złożone. Analiza rozkładu stężeń w budynkach stanowi podstawę oceny skali zagrożenia, oceny kosztów i korzyści oraz planowania lub weryfikacji strategii zdrowotnych [7–9].

Szczegółnej uwagi wymagają budynki, w których przebywają dzieci i młodzież – grupa bardziej wrażliwa na promieniowanie jonizujące i objęta konstytucyjną ochroną zdrowia [10]. W Polsce obowiązek prowadzenia pomiarów stężeń radonu wynika m.in. z ustawy Prawo atomowe [6] oraz rozporządzenia wskazującego powiaty o podwyższonym ryzyku radonowym [11], gdzie realizacja pomiarów jest obligatoryjna. Obowiązek ten dotyczy też placówek oświatowych i wychowawczych znajdujących się na terenach powiatów wymienionych w tym rozporządzeniu. W przypadku stwierdzenia przekroczenia poziomu odniesienia radonu wymagane jest wdrożenie działań ograniczających narażenie użytkowników obiektu, zgodnie z przepisami ustawy Prawo atomowe (art. 23c) [6]. Szczegółowe omówienie obowiązków kierowników jednostek oświaty względem uczniów na gruncie ustawy Prawo atomowe można znaleźć w artykule Bobkier [12].

Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr med. Jerzego Nofera (IMP) zrealizował w latach 2022–2025 ok. 1000 pomiarów radonu (w >130 jednostkach), głównie w południowych województwach, które – zgodnie z rozporządzeniem ministra – zostały zaklasyfikowane jako obszary zwiększonego występowania radonu [11]. Celem niniejszej pracy jest analiza stężeń radonu w jednostkach oświatowych i wychowawczych w tych regionach kraju wobec poziomu odniesienia 300 Bq/m^3 . Jest ona w pewnym sensie kontynuacją tematyki radonowej pod-

jętej w pracy Bulewicz i wsp. [13] z tą różnicą, że posiadane dane pozwoliły skoncentrować się na analizach i wnioskach wynikających z pomiarów przeprowadzonych wyłącznie w placówkach oświatowych i wychowawczych. Wyniki pozwalają ocenić skalę koniecznych działań prewencyjnych oraz oszacować wstępnie, w ilu pomieszczeniach wystarczą proste metody obniżenia stężeń, a gdzie potrzebne będą bardziej złożone rozwiązania. Analizy te stanowią pierwszy etap procesu optymalizacji ochrony radiologicznej dzieci i młodzieży, a także pracowników.

MATERIAŁY I METODY

Podstawą analizy były wyniki wszystkich badań zrealizowanych w latach 2022–2025 przez IMP, na zlecenie kierowników placówek oświatowo-wychowawczych, w szczególności tych zobowiązanych do zapewnienia pomiarów radonu zgodnie z art. 23c ustawy Prawo atomowe [6]. Obowiązek ten dotyczy budynków, w których pomieszczenia stanowiące miejsca pracy znajdują się na poziomie parteru lub piwnicy na terenach, na których w znacznej większości budynków istnieje ryzyko przekroczenia poziomu odniesienia (300 Bq/m^3) [11].

Dane z pomiarów stężenia promieniotwórczego radonu pochodzą z terenów 9 województw w Polsce, z których 5 znajduje się na obszarach wymienionych w rozporządzeniu [11]. Badania zostały zrealizowane w sezonie grzewczym, obejmującym miesiące październik–marzec, zgodnie z wytycznymi zawartymi w Obwieszczeniu Ministra Zdrowia z dnia 22 stycznia 2021 r. w sprawie ogłoszenia Krajowego planu działania w przypadku długoterminowych zagrożeń wynikających z narażenia na radon w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi oraz w miejscach pracy [14]. Wytyczne te są również rekomendowane przez Główny Inspektorat Sanitarny (GIS) bezpośrednio na jego stronach [15], jak również przez przedstawicieli Polskiego Centrum Radonowego [16] jako optymalny okres prowadzenia pomiarów ze względu na ograniczoną wentylację naturalną budynków w miesiącach zimowych.

Minimalny okres ekspozycji detektorów wynosił 30 dni, przy czym czas pomiaru był dostosowany do potrzeb poszczególnych placówek. W pomiarach wykorzystano dozymetry pasywne, tj. detektory typu CR-39 (Mi.am, Piacenza, Włochy), umieszczone w komorach dyfuzyjnych. Zostały one przesłane do placówek wraz z instrukcją instalacji i obsługi.

Po zakończeniu okresu ekspozycji mierniki były odsyłane do laboratorium IMP, gdzie poddawano je ob-

róbce chemicznej, tzw. procesowi trawienia, w wyniku którego ślady przejścia cząstek α w materiale detekcyjnym są widoczne pod mikroskopem. Następnie, zgodnie z akredytowaną procedurą badawczą, przeprowadzano odczyt i analizę danych.

Dla celów analizy dane pomiarowe pogrupowano według kategorii wiekowej osób przebywających w budynkach, uwzględniając również czas ekspozycji, czyli średni czas przebywania w nich dzieci, młodzieży lub studentów, a także pracowników.

Łącznie zidentyfikowano 6 głównych kategorii placówek ze względu na typowy zakres wieku dzieci/młodzieży, które do nich uczęszczają, tj. żłobki, przedszkola, szkoły podstawowe, średnie, wyższe, aż po pozostałe formy edukacji dla dorosłych. Dodatkowo wyróżniono 2 kategorie specjalne: placówki wychowawcze, w których dzieci i młodzież spędzają często znaczną część dnia pod opieką opiekunów, oraz placówki oferujące zajęcia dodatkowe, takie jak szkoły językowe, muzyczne, świetlice środowiskowe czy ośrodki prowadzące kursy kwalifikacyjne i policealne.

Dla każdego województwa i każdej kategorii jednostki wyznaczono rozkład stężeń radonu, liczbę wykonanych pomiarów, a także określono liczbę przypadków, w których stwierdzono przekroczenie poziomu odniesienia.

Wyniki przedstawione w niniejszej publikacji zostały opracowane i poddane analizie na podstawie danych uzyskanych za zgodą oraz we współpracy z podmiotami zlecającymi wykonanie pomiarów. Niepewności pomiarowe wyników przedstawionych w niniejszej pracy zostały oszacowane zgodnie z przyjętą metodyką i we wszystkich analizowanych przypadkach nie przekraczały 50%.

Szacowanie obciążającej dawki skutecznej wykonano na podstawie:

- zmierzonego stężenia radonu,
- odpowiedniego współczynnika konwersji wynoszącego $1,4 \text{ Sv/Jhm}^{-3}$ na stanowisku pracy (zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 11 sierpnia 2021 r. [17] w sprawie wskaźników pozwalających na wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego stosowanych przy ocenie narażenia na promieniowanie jonizujące),
- zalecanej w publikacjach ICRP [18,19] wartości współczynnika równowagi $F = 0,4$,
- założonego czasu przebywania w pomieszczeniu [20,21].

W niniejszej pracy, korzystając z zasady pesymizacji często stosowanej w ochronie radiologicznej, przyjęto dla dzieci i młodzieży tę samą wartość współczynnika konwersji, co dla pracowników (czyli zamiast warto-

Tabela 1. Charakterystyka placówek oświatowych i wychowawczych objętych komercyjnymi pomiarami stężenia radonu w latach 2022–2025, zlokalizowanych głównie na obszarach Polski wskazanych w rozporządzeniu wskazującym powiaty o podwyższonym ryzyku radonowym, z uwzględnieniem wieku dzieci oraz czasu ich przebywania w placówce

Table 1. Characteristics of educational and childcare facilities included in commercial radon concentration measurements conducted in 2022–2025, located predominantly in areas of Poland identified as radon pron areas in the relevant regulation, including children's age and daily time spent at the facility

Placówki Facilities	Wiek dziecka Child's age	Czas przebywania Daily attendance (min.–maks. / min–max)
Żłobki / Nurseries	0–3 lata / years	5–10 godz./dzień / h/day, 1500–2500 godz./rocznie ^a / h/year ^a
Przedszkola / Preschools	3–6 lat / years	5–9 godz./dzień / h/day, 1250–2250 godz./rocznie ^a / h/year ^a
Zespoły szkół i przedszkoli / School and preschool complexes	3–15 lat / years	4–9 godz./dzień / h/day, 1000–2250 godz./rocznie ^a / h/year ^a
Szkoły / Schools		
podstawowe / primary	7–15 lat / years	4–8 godz./dzień / h/day, 667 godz./rocznie ^a / h/year ^a [21]
średnie / secondary	15–19 lat / years	4–10 godz./dzień / h/day, 728 h/rocznie ^a / h/year ^a
wyższe / universities	>18 lat / years	w zależności od trybu studiów / depending on the type of study program, 854 godz./rocznie ^a / h/year ^a
Placówki wychowawcze i opiekuńcze / internaty / / Educational and care institutions/boarding schools	każdy / all ages	w niektórych przypadkach 24/7 / in some cases, 24/7, 3950–8760 ^b godz./rocznie ^a / h/year ^a
Placówki zajęć dodatkowych / Extracurricular activity centers	każdy / all ages	ok. 4 godz./tydzień / around 4 h/week, 200 godz./rocznie ^a / h/year ^a

^a Podana liczba godzin dotyczy czasu przebywania dzieci i młodzieży w poszczególnych kategoriach placówek; w przypadku nauczycieli założono pensum 600 godz. jako dolną granicę oraz całkowity czas pracy 1600 godz. (uwzględniający dodatkowo przygotowanie do lekcji, sprawdzanie prac, zebrania z rodzicami itp.) jako górną granicę czasu przebywania, a w przypadku opiekunów w żłobkach oraz placówkach wychowawczych, a także pracowników szkół wyższych – 2000 godz. / The given number of hours refers to the time spent by children and young people in particular categories of facilities; in the case of teachers, a working load of 600 h was assumed as the lower limit and a total working time of 1600 h (including preparation for lessons, marking work, meetings with parents etc.) as the upper limit of the time spent, and in the case of caregivers in nurseries and educational facilities, as well as workers of universities 2000 h.

^b Czas 3950 godz. zakłada pobyt dziecka w placówce opiekuńczo-wychowawczej z jednoczesnym uczęszczaniem do szkoły, natomiast czas 8760 godz. odnosi się do całodobowego pobytu w placówce przez cały rok / The 3950-hour estimate assumes the child stays in a care and educational facility while also attending school, whereas the 8760-hour estimate refers to full-time, round-the-clock care throughout the entire year.

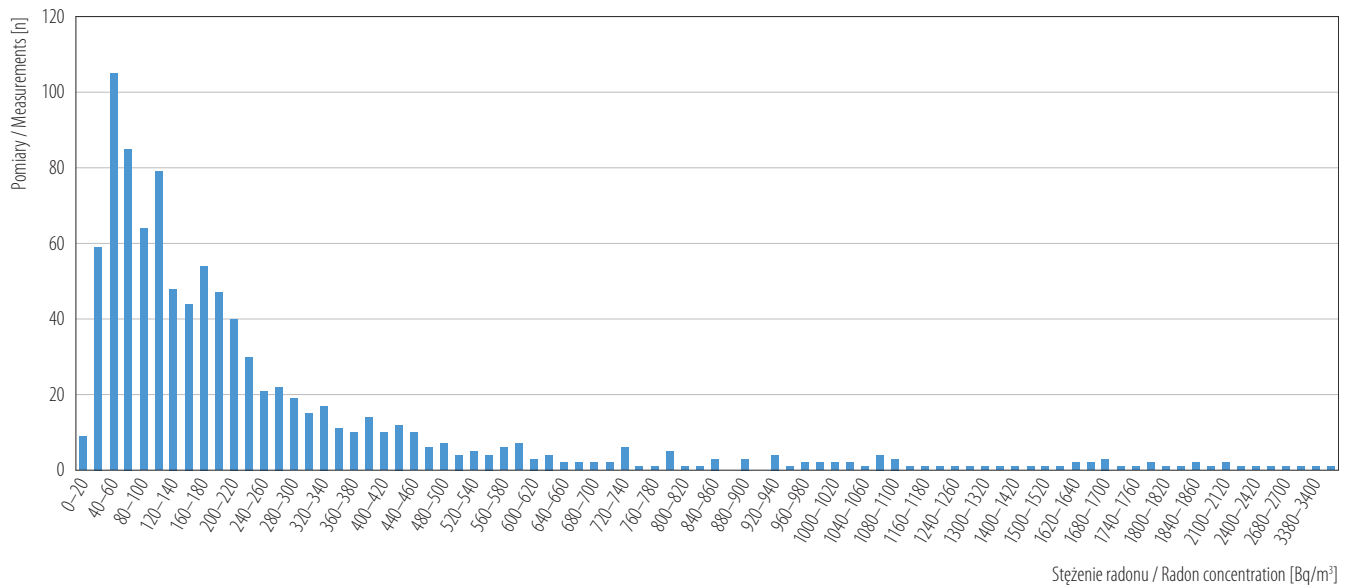
ści 1,1 Sv/Jhm⁻³ obowiązującej dla osób z ogółu ludności wartość 1,4 Sv/Jhm⁻³). Uzasadnieniem takiego założenia jest również fakt, że w najnowszej Publikacji 158 ICRP [19] dotyczącej uaktualnionych współczynników konwersji dla osób z ogółu ludności (a więc również dzieci i młodzieży) zrównano wartości stosowane dla pracowników i populacji ogólnej. Należy jednak podkreślić, że zgodnie z najnowszymi wynikami badań naukowych wartość współczynnika dla pracowników została zwiększona ponad 2-krotnie (do 3 Sv/Jhm⁻³ zgodnie z Publikacją 137 ICRP [18]) w stosunku do współczynnika wciąż obowiązującego w polskim prawie i zastosowanego w niniejszej pracy. Na podstawie danych z literatury [22–24] oszacowano również procent pomieszczeń, w których mogą sprawdzić się najprostsze i najtańsze rozwiązania obniżające stężenie radonu.

WYNIKI

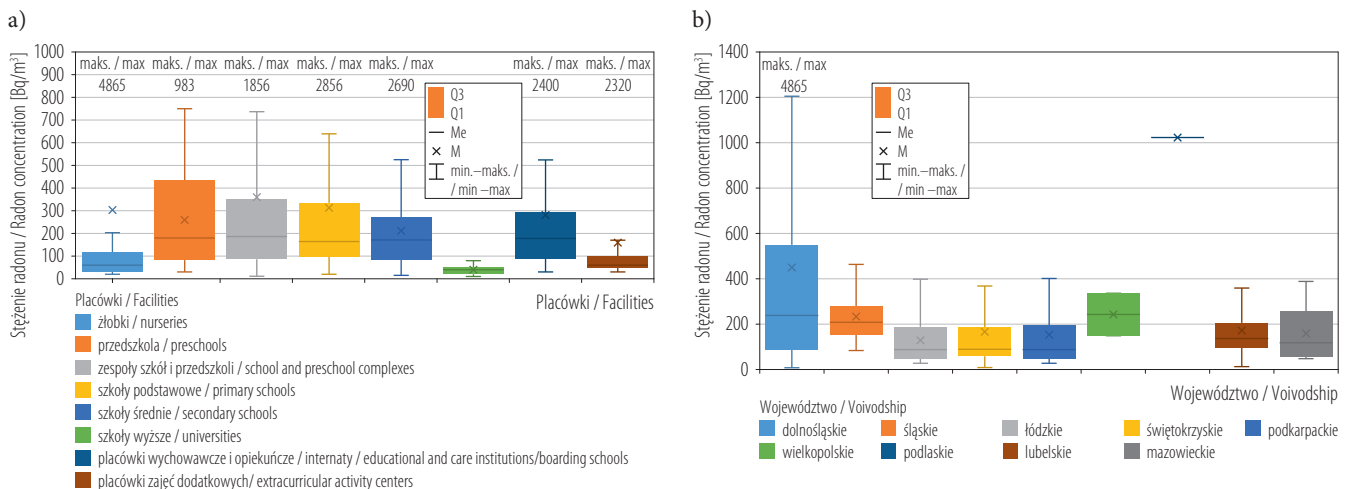
W tabeli 1 zamieszczono kategorie placówek oświatowych i wychowawczych, uwzględniając w niej informacje na temat średniego czasu przebywania w nich

dzieci i/lub młodzieży, który stanowi również czas narażenia na radon.

W latach 2022–2025 przeprowadzono łącznie 956 pomiarów stężenia radonu w różnych typach placówek oświatowych i wychowawczych zlokalizowanych na terenie 9 województw znajdujących się w większości na południowym obszarze Polski. Spośród wszystkich pomiarów 94% zrealizowano na terenach wymienionych w rozporządzeniu [11], a pozostałe na terenie woj. łódzkiego (35 pomiarów), mazowieckiego (7 pomiarów), wielkopolskiego (2 pomiary) i podlaskiego (1 pomiar). Największy udział w badanej próbie stanowiły pomiary wykonane w woj.: dolnośląskim (37%), lubelskim (26%) i świętokrzyskim (18%), co odpowiadało, kolejno, 349, 246 i 170 pomiarom (18% pomiarów). Na rycinie 1 przedstawiono rozkład wszystkich zmierzonych stężeń radonu, dla którego średnia arytmetyczna i geometryczna wynosiły, odpowiednio, 276 Bq/m³ oraz 160 Bq/m³. Jest to rozkład bliski rozkładowi logarytmiczno-normalnemu. Statystyki opisowe dla rozkładów stężeń radonu dla pomieszczeń z poszczególnych kategorii placówek, a także różnych województw zaprezentowano, odpowiednio,



Rycina 1. Rozkład stężenia radonu dla wszystkich pomiarów zrealizowanych w latach 2022–2025 w jednostkach edukacyjno-wychowawczych zlokalizowanych głównie na obszarach Polski wskazanych w rozporządzeniu jako obszary priorytetowe pod względem występowania radonu
Figure 1. Distribution of radon concentration for all measurements conducted in 2022–2025 in educational and care facilities located predominantly in areas of Poland identified in the relevant regulation as radon priority areas



Rycina 2. Porównanie stężeń radonu: a) w placówkach edukacyjnych i b) w województwach na podstawie pomiarów przeprowadzonych w latach 2022–2025 w jednostkach edukacyjno-wychowawczych zlokalizowanych głównie na obszarach Polski wskazanych w rozporządzeniu jako obszary priorytetowe pod względem występowania radonu
Figure 2. Comparison of radon concentrations: a) in educational facilities and b) across voivodeships, based on measurements conducted in 2022–2025 in educational and childcare facilities located predominantly in areas of Poland designated as radon priority areas

na rycinie 2a i 2b w formie wykresów pudełkowych wraz z zaznaczonym poziomem odniesienia. W sumie w przypadku 24% wyników stężenie radonu było wyższe niż poziom odniesienia, przy czym (pomijając województwa, w których wykonano tylko kilka pomiarów) największy procent przekroczeń poziomu odniesienia odnotowano w woj. dolnośląskim (45%), śląskim (21%) i świętokrzyskim (11%). Większość z przekroczeń (23%) odnotowano na terenach wymienionych w rozporządzeniu [11] (na terenach nieujętych w rozporządzeniu 1%).

Wyniki pogrupowano w 6 kategorii odnoszących się do wieku przebywających tam dzieci i młodzieży oraz 2 kategorii dodatkowe. Najwięcej pomiarów (tabela 2) przeprowadzono w szkołach podstawowych (tj. 341), szkołach średnich oraz zespołach szkolno-przedszkolnych (odpowiednio: 198 i 131) oraz w przedszkolach (107). Najwyższy odsetek przekroczeń, tj. na poziomie 30%, odnotowano w przedszkolach, w zespołach szkół i przedszkoli oraz w szkołach podstawowych. W placówkach wychowawczych przekroczenia wystąpiły w 24% przypadków, natomiast w szkołach

Tabela 2. Podział wykonanych w latach 2022–2025 pomiarów radonu według placówek zlokalizowanych w poszczególnych województwach – zlokalizowanych głównie na obszarach Polski wskazanych w rozporządzeniu jako obszary priorytetowe pod względem występowania radonu wraz z procentową liczbą przekroczeń poziomu odniesienia
Table 2. Distribution of radon measurements conducted within 2022–2025 in facilities located in respective voivodships located predominantly in areas of Poland identified in the relevant regulation as radon priority areas and the corresponding percentage of exceedance of the reference levels

Miejsce pomiaru Measurement location	Województwo Voivodship														Ogółem Total			
	dolnośląskie		śląskie		łódzkie		świętokrzyskie		podkarpackie		wielkopolskie		podlaskie				lubelskie	
	1 [n]	2 [%]	1 [n]	2 [%]	1 [n]	2 [%]	1 [n]	2 [%]	1 [n]	2 [%]	1 [n]	2 [%]	1 [n]	2 [%]	1 [n]	2 [%]	1 [n]	2 [%]
Placówki / Facilities																		
żłobki / nurseries	23	9	0	0	0	0	9	0	3	0	0	0	0	0	0	0	35	6
przedszkola / preschools	53	47	0	0	1	100	16	6	14	50	0	0	0	0	22	0	107	32
zespoły szkół i przedszkoli / school and preschool complexes	57	65	0	0	7	0	32	6	9	11	0	0	0	0	26	0	131	31
szkoły / schools																		
podstawowe / primary	100	60	0	0	21	10	87	18	13	23	0	0	0	0	114	13	341	28
średnie / secondary	44	23	61	21	6	0	17	0	0	0	2	50	0	0	68	18	0	198
wyższe / universities	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
placówki wychowawcze i opiekuńcze / internaty / educational and care institutions/boarding schools	46	33	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	13	8	67	24
placówki zajęć dodatkowych / extracurricular activity centers	15	47	0	0	0	0	1	0	46	0	0	0	1	100	3	0	66	12
Ogółem / Total	349	45	61	21	35	9	170	11	85	13	2	50	1	100	246	11	956	24

1 – pomiary / measurements, 2 – przekroczenie poziomu odniesienia / exceedance of the reference level.

średnich – w 18%. Znacznie niższy odsetek przekroczeń odnotowano w żłobkach (6%) oraz podczas zajęć dodatkowych (12%), niemniej to właśnie w kategorii „żłobki” odnotowano najwyższe stężenie radonu, wynoszące 4865 Bq/m^3 . W zespołach szkolno-przedszkolnych maks. stężenie wyniosło 1856 Bq/m^3 , natomiast w szkołach podstawowych 2856 Bq/m^3 . W szkołach średnich, placówkach wychowawczych oraz podczas zajęć dodatkowych najwyższe zmierzone wartości sięgały 2500 Bq/m^3 . Spośród wszystkich pomiarów zrealizowanych w szkołach wyższych, które przeprowadzono jedynie w woj. dolnośląskim, żaden nie przekroczył poziomu 300 Bq/m^3 .

OMÓWIENIE

Największą liczbę pomiarów stężenia radonu przeprowadzono w szkołach podstawowych, średnich oraz w zespołach szkolno-przedszkolnych, co odzwierciedla znaczenie tych placówek pod względem ich liczby, liczby pracowników oraz dzieci i młodzieży w nich przebywających. Niemal w co czwartym pomieszczeniu (tj. w 24%) spośród wszystkich, w których zrealizowano pomiary, zaobserwowano przekroczenie 300 Bq/m^3 . W odniesieniu do wcześniejszej publikacji autorów [13], w której przekroczenia stwierdzono w 9% szkół, odsetek ten znacząco wzrósł po rozszerzeniu zbioru danych o wyniki kolejnych pomiarów. Tendencja ta budzi niepokój, ponieważ w jednostkach oświatowo-wychowawczych regularnie przebywają dzieci i młodzież, należące do grupy szczególnie wrażliwej na działanie promieniowania jonizującego. Obliczone dla wszystkich pomieszczeń średnie arytmetyczna i geometryczna są relatywnie wysokie, odpowiednio, 276 Bq/m^3 i 160 Bq/m^3 , a średnia arytmetyczna dla zbioru wyników przekraczających poziom odniesienia wynosi prawie 750 Bq/m^3 . Wartość mediany dla wszystkich wyników jest z kolei zbliżona do średniej geometrycznej i wynosi 153 Bq/m^3 , przy czym najwyższa jest w przedszkolach oraz w zespołach szkół i przedszkoli, odpowiednio, 180 Bq/m^3 i 186 Bq/m^3 .

Analiza wyników wykazała, że w wielu klasach lekcyjnych oraz w salach dydaktycznych stężenia radonu znacznie przekraczają przyjęty poziom odniesienia 300 Bq/m^3 . W 4 kategoriach placówek, łącznie w 4 pomieszczeniach, zarejestrowano wartości bliskie 3000 Bq/m^3 , a dodatkowo w przypadku 1 z sal znajdującej się na terenie żłobka stężenie radonu osiągało wartość sięgającą niemal 4900 Bq/m^3 . Są to poziomy znacznie podwyższone, które mogą stanowić zagrożenie radiologiczne przy długim przebywaniu w danym pomieszczeniu.

Czas przebywania w danym środowisku jest obok stężenia radonu jednym z najważniejszych czynników wpły-

wających na wielkość narażenia. Nauczyciele spędzają min. 600 godz. [20] rocznie w szkole, a pozostali pracownicy jednostek oświatowych i wychowawczych standardowo 8 godz. dziennie. Z kolei uczniowie są tam średnio 4–8 godz. dziennie przez większość dni roboczych w roku szkolnym. W przedszkolach i żłobkach czas przebywania dzieci bywa nawet dłuższy, do 10 godz. dziennie. Biorąc pod uwagę intensywność i regularność tej ekspozycji, tak wysokie stężenia radonu w powietrzu mogą prowadzić do istotnego wzrostu szacowanej obciążającej dawki skutecznej, a nawet przekroczeń dawek granicznych. Na przykład przy maksymalnych stężeniach radonu zmierzonych podczas realizowanych pomiarów (ok. 3000 Bq/m^3) oraz przy założeniu 8-godz. dziennego pobytu w pomieszczeniu roczna dawka skuteczna wynosiłaby ok. 19 mSv, czyli byłaby zbliżona do dawki granicznej obowiązującej pracowników narażonych na promieniowanie jonizujące (20 mSv/rok), choć należy zaznaczyć, że sytuacje takie dotyczyły jedynie pojedynczych pomieszczeń.

Niemniej otrzymane wyniki jednoznacznie wskazują na pilną potrzebę wdrażania działań prewencyjnych zarówno organizacyjnych, takich jak skrócenie czasu przebywania w pomieszczeniu, jak i technicznych, np. poprawę wentylacji, uszczelnienie pęknięć w fundamentach i stropach piwnic oraz okresowe kontrole stężeń radonu w znaczącej liczbie ok. 230 pomieszczeń użytkowanych przez pracowników, w tym nauczycieli/opiekunów, a także przez dzieci i młodzież. Jest to obowiązkiem kierowników tych placówek.

W celu redukcji stężenia radonu stosuje się tzw. metody remediacyjne, które pozwalają skutecznie obniżyć poziom radonu wewnątrz budynku. W zależności od warunków technicznych i poziomu stężenia możliwe jest zastosowanie 1 konkretnej metody lub kombinacji kilku rozwiązań jednocześnie, co często zwiększa efektywność działań. Szacunkowe wartości współczynników redukcji dla wybranych metod obniżających stężenie radonu w budynkach na podstawie różnych badań [22–24] zaprezentowano w tabeli 3.

Najskuteczniejszą metodą redukcji stężenia radonu w dużych budynkach, takich jak np. szkoły, jest zastosowanie aktywnego systemu depresuryzacji podłogowej. W przypadku stężeń $>1000 \text{ Bq/m}^3$ (co przy założeniu 8-godz. czasu pracy/przebywania odpowiada rocznej obciążającej dawce skutecznej wynoszącej ok. 6 mSv) rozwiązanie to pozwala nawet na 50-krotne obniżenie stężenia radonu. System wpływa na obniżenie stężenia radonu w budynku poprzez:

- rozrzedzenie stężenia radonu w obszarze pod płytą podłogową,
- wytworzenie ujemnego ciśnienia pomiędzy tym obszarem a wnętrzem budynku.

Tabela 3. Współczynniki redukcji dla poszczególnych metod remediacji w zależności od początkowego stężenia radonu [22–24]
Table 3. Reduction factors for different radon remediation methods according to initial radon concentration [22–24]

Metoda remediacyjna Remediation method	Współczynnik redukcji Reduction factor			
	<300 Bq/m ³	300–600 Bq/m ³	601–1000 Bq/m ³	>1000 Bq/m ³
Aktywny system depresuryzacji podłogowej / Active sub-slab depressurization system	9,1	8,3	20,0	50,0
Wentylacja / Ventilation				
nawiewna / positive-pressure	1,7	2,3	2,7	3,3
pasywna / passive	1,2	1,2	1,8	2,8
Uszczelnianie / Sealing	1,2	1,2	2,4	2,9

Wdrożenie tej technologii jest raczej kosztowne, ponieważ wymaga zaawansowanej infrastruktury i specjalistycznej wiedzy.

Porównywalną skuteczność w obniżaniu stężenia radonu w budynkach wykazuje również zastosowanie studni radonowej, której działanie opiera się na depresuryzacji gruntu i przechwytywaniu gazów glebowych przed ich migracją do wnętrza obiektu. Zgodnie z danymi przedstawionymi przez Wołoszczuk i Pałowską [24] skuteczność tego rozwiązania może wynosić 80–90%. Autorzy wskazują jednak na istotne ograniczenia stosowania tej metody, wynikające przede wszystkim z zależności efektywności od przepuszczalności gruntu, zasięgu oddziaływania instalacji oraz poprawności jej zaprojektowania i wykonania. Dodatkowym czynnikiem ograniczającym jest powierzchnia skutecznego oddziaływania studni, która może być niewystarczająca w przypadku obiektów o dużym rzucie poziomym lub złożonej konstrukcji fundamentów.

W kontekście analizowanych w publikacji budynków oświatowo-wychowawczych, które zazwyczaj mają wielokondygnacyjną i złożoną strukturę, zastosowanie studni radonowej jako jedyne środka remediacyjnego może okazać się niewystarczające. Z tego względu metoda ta powinna być rozpatrywana jako element kompleksowej strategii remediacyjnej łączonej z innymi działaniami technicznymi ograniczającymi napływ radonu do wnętrza budynku.

Alternatywą dla aktywnego systemu podłogowej depresuryzacji czy studni radonowej, choć mniej efektywną, jest uszczelnianie pęknięć, szczelin oraz innych miejsc potencjalnej infiltracji radonu w fundamentach i stropach piwnic. Metoda ta jest relatywnie tańsza, ale jej skuteczność jest ograniczona, zwłaszcza przy wysokich stężeniach radonu (znacznie >1000 Bq/m³). Dla tego przedziału wartości uszczelnienie może zmniejszyć stężenie radonu średnio 2,9-krotnie, jednak nie zapewnia tak dużej efektywności, jak aktywny system depresury-

zacji podłogowej. Uszczelnianie może być dobrym rozwiązaniem w budynkach, w których stężenie radonu nie jest wyjątkowo wysokie, ale należy pamiętać, że nie zawsze wyeliminuje ono całkowicie problem.

Inną popularną metodą remediacyjną jest wentylacja, która działa na zasadzie wymiany powietrza w pomieszczeniach, co skutkuje usuwaniem radonu z wnętrza budynku. W zależności od rodzaju wentylacji jej efektywność może skutkować nawet 3,3-krotną redukcją stężenia radonu (np. w przypadku wentylacji nawiewnej przy stężeniach znacznie >1000 Bq/m³).

Zgodnie z wartościami współczynników redukcji przedstawionymi w tabeli 3 najprostsze i najtańsze metody, takie jak uszczelnienie lub wentylacja pasywna, mogą być skuteczne w przypadku stężeń <360 Bq/m³, co dotyczy zgodnie z prezentowanymi danymi ok. 19% pomieszczeń. Z kolei wentylacja nawiewna teoretycznie mogłaby obniżyć stężenie radonu w 53% pomieszczeń, gdzie wartości mieszczą się w zakresie 360–810 Bq/m³.

Dla szerokiego przedziału stężeń 810–2000 Bq/m³ (obejmującego 24% pomieszczeń z przekroczeniem poziomu odniesienia) konieczne wydaje się zastosowanie 2 metod jednocześnie, np. wentylacji nawiewnej oraz uszczelnienia fundamentów. Proces ten należałoby przeprowadzić w 3 krokach:

- w pierwszej kolejności zidentyfikować miejsca występowania nieszczelności z udziałem wyspecjalizowanych ekip,
- następnie wykonać prace uszczelniające lub instalację wentylacji nawiewnej,
- wykonać pomiar kontrolny stężenia radonu i wdrożyć drugą metodę, która pozwoli na redukcję stężenia poniżej poziomu odniesienia przy możliwie najniższym koszcie.

Przy stężeniach >2000 Bq/m³ niezbędne jest zainstalowanie systemu podłogowej depresuryzacji (zdecydowanie zalecane w przypadku dużych budynków), który pozwoli obniżyć stężenie do pożądanego poziomu (tj. znacznie

$<300 \text{ Bq/m}^3$) również przy maksymalnie odnotowanym w powyższej pracy stężeniu wynoszącym 4865 Bq/m^3 . Należy podkreślić, że są to jedynie szacowania oparte na istniejących danych dotyczących efektywności rozwiązań remediacyjnych wdrażanych w innych krajach, a ich zastosowanie nie daje gwarancji powodzenia całego procesu optymalizacji.

Zgodnie z Publikacją 103 ICRP [25] optymalizacja jest procesem iteracyjnym i wielostopniowym, a więc rozciągającym w czasie. Powinna być prowadzona aż do wyczerpania wszystkich dostępnych środków organizacyjnych (np. ograniczenia czasu przebywania) oraz technicznych (m.in. wymienionych w tabeli 3). Pojedyncza próba remediacji zakończona niepełnym sukcesem (stężenie nadal $>300 \text{ Bq/m}^3$) lub nawet niepowodzeniem (w wyniku podjętych działań wartość stężenia radonu wzrosła) nie powinna prowadzić do przerwania procesu optymalizacji. Jeżeli pomimo podjęcia wszystkich dostępnych i rozsądnych z punktu widzenia ALARA (*as low as reasonably achievable*) działań zapobiegawczych (uwzględniających również aspekt społeczny i ekonomiczny) nie uzyskano oczekiwanego obniżenia stężenia poniżej poziomu odniesienia i nie ma możliwości wycofania pomieszczenia z użytkowania, kierownik jednostki powinien zakwalifikować do odpowiedniej kategorii narażenia na promieniowanie jonizujące (A lub B) osoby wykonujące swoje obowiązki w tych pomieszczeniach. Kwalifikację należy przeprowadzić na podstawie oszacowanej dawki, wyznaczonej z uwzględnieniem aktualnego stężenia radonu oraz czasu przebywania w pomieszczeniu. Osoby, dla których oszacowana dawka jest $<6 \text{ mSv}$ rocznie, należy zaliczyć do kategorii B, natomiast w przypadku wyższych wartości do kategorii A.

Pomiary przeprowadzone na obszarach nieobjętych rozporządzeniem (stanowiące ok. 6% pomiarów objętych analizą) wykazały 12 przypadków przekroczenia poziomu odniesienia, a maks. zarejestrowane stężenie wynosiło $>1000 \text{ Bq/m}^3$, co wskazuje na istotne ryzyko radiologiczne także na obszarach uznanych za relatywnie bezpieczne i niewymagających monitoringu radonowego zgodnie z obowiązującym prawem.

Wyniki przeglądu literatury na temat narażenia na radon dzieci i młodzieży w europejskich przedszkolach oraz jednostkach edukacyjnych [26] pokazują szeroką rozpiętość rejestrowanych stężeń, przy medianach wynoszących $10\text{--}1478 \text{ Bq/m}^3$ dla pomiarów aktywnych oraz $6\text{--}360 \text{ Bq/m}^3$ dla pomiarów pasywnych, w zależności od badania. Przeanalizowane dane wskazują, że w 56% badań wartości median przekraczały zalecany przez WHO poziom odniesienia 100 Bq/m^3 , a w 5% eu-

ropejski limit 300 Bq/m^3 , co potwierdza istotne ryzyko dla zdrowia dzieci. Dodatkowo w 79% badań maks. wartości zmierzonych stężeń radonu wynoszą $>300 \text{ Bq/m}^3$, co sugeruje, że lokalne piki mogą być znacznie wyższe, niż wskazują mediany. Wyniki i konkluzje przeglądu literaturowego [26] pozostają w zgodzie z analizą przeprowadzoną w niniejszej pracy prezentującą wyniki z polskich jednostek oświatowo-wychowawczych. Mediana dla rozkładu stężeń radonu przekracza zalecany przez WHO poziom odniesienia i wynosi 153 Bq/m^3 , przy czym jest ona najwyższa w przedszkolach oraz w zespołach szkół i przedszkoli (wynosi, odpowiednio, 180 Bq/m^3 i 186 Bq/m^3).

Ograniczenia badania

Należy podkreślić, że liczba pomiarów nie odpowiada liczbie skontrolowanych placówek, co oznacza, że wyniki nie są zupełnie niezależne. W 1 jednostce wykonuje się zwykle kilka pomiarów, a w większych nawet kilkanaście, aby ocenić zróżnicowanie stężeń radonu w budynku.

Pomiar miesięczny wykonany w okresie grzewczym może zawyżać średnioroczne stężenie radonu. Najbardziej miarodajny jest pomiar prowadzony przez pełny rok, jak zaleca się m.in. w Niemczech i Czechach. Aby skrócić ten czas i jednocześnie uzyskać bardziej wiarygodny wynik, można – wzorem Austrii – prowadzić nieprzerwany pomiar przez pół roku, obejmujący zarówno miesiące letnio-jesienne (niegrzewcze i grzewcze), jak i zimowo-wiosenne (grzewcze i niegrzewcze, tj. np. od stycznia do czerwca).

Drugim czynnikiem, który może przyczyniać się do przeszacowania wyników, jest fakt, iż pomiary realizowane są w trybie nieprzerwanym, a więc również po godzinach pracy, kiedy stężenia są zwykle wyższe ze względu na ograniczoną wentylację (zamknięte drzwi, okna) i wyłączone systemy klimatyzacji nawiewnej.

Istotne jest, że mimo iż przedstawione wyniki pochodzą z pomiarów komercyjnych (a więc o charakterze nienadzorowanym), rzeczywiste stężenia mogą być jedynie wyższe od wartości raportowanych, które już na obecnym etapie należy uznać za relatywnie wysokie. Komercyjny charakter pomiarów nie zmienia więc ostatecznej konkluzji o konieczności ciągłej optymalizacji oraz realizacji systematycznych pomiarów stężeń radonu. Należy również podkreślić, że procent przekroczeń wyliczony w niniejszej pracy odnosi się do liczby pomieszczeń, a nie do liczby budynków. Oznacza to, że faktyczna liczba budynków, w których dyrektorzy są zobligowani do podjęcia działań remediacyjnych, jest prawdopodobnie mniejsza, gdyż zaprezentowane wyniki nie są w pełni niezależne.

WNIOSKI

Badania objęły różnorodne instytucje edukacyjne i opiekuńczo-wychowawcze, co pozwoliło uzyskać przekrojowy obraz narażenia dzieci, młodzieży i pracowników na radon na obszarach, gdzie średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu wewnątrz pomieszczeń w znacznej liczbie budynków może przekraczać poziom odniesienia. Wyniki jednoznacznie wskazują na to, że problem ten nie może być bagatelizowany. W przedszkolach i szkołach, w których przebywają dzieci i młodzież szczególnie podatne na skutki działania promieniowania jonizującego, stężenia radonu są często wysokie: w połowie placówek przekraczają niemal 2-krotnie zalecany przez WHO poziom 100 Bq/m^3 , a niekiedy kilkakrotnie przewyższają krajowy poziom odniesienia.

Pomiary umożliwiły określenie liczby pomieszczeń wymagających działań naprawczych zgodnie z krajowym planem radonowym. W ok. 72% z nich wystarczające mogą być proste i niskokosztowe rozwiązania, takie jak poprawa wentylacji czy uszczelnienia techniczne. W 24% konieczne byłoby zastosowanie ≥ 2 metod, a w ok. 4% miejsc o stężeniach $>2000 \text{ Bq/m}^3$ – bardziej złożonych systemów, np. aktywnej depresuryzacji podpodłogowej.

Obecnie w ok. 20% pomieszczeń odnotowano stężenia $>1000 \text{ Bq/m}^3$; stanowią one niespełna 4% wszystkich miejsc objętych pomiarami i przy 8-godz. czasie przebywania wiążą się z narażeniem na poziomie ok. 6 mSv .

Podkreśla to konieczność priorytetowego traktowania najmłodszych grup wiekowych w polityce zdrowia publicznego oraz wdrażania działań ograniczających stężenie radonu równoległe z bardziej reprezentatywnymi strategiami pomiarowymi uwzględniającymi zmienność dobową i sezonową.

Dodatkowo należy wskazać, że stężenia $>300 \text{ Bq/m}^3$ zostały również odnotowane na obszarach poza terenami objętymi rozporządzeniem, co może wskazywać na zasadność rozszerzenia systemu monitoringu oraz konieczność uwzględnienia tych obszarów w ocenie narażenia na radon. Przekroczenia poziomu odniesienia zarejestrowano w woj.: mazowieckim (powiat radomski), dolnośląskim (powiat świdnicki oraz miasto Wrocław), podkarpackim (powiat przemyski), łódzkim (powiaty wieluński i poddębicki), lubelskim (powiaty lubelski i puławski), wielkopolskim (powiat leszczyński) oraz podlaskim (powiat augustowski). Wyniki te wskazują na to, że podwyższone stężenia radonu mogą występować również poza obszarami uznanymi za priorytetowe w obowiązujących regulacjach, co przemawia za okresową weryfikacją zasięgu obszarów objętych monitoringiem oraz uwzględ-

nianiem nowych danych pomiarowych przy aktualizacji krajowej polityki ochrony radiologicznej.

WYKORZYSTANIE SI

Przeprowadzono redakcję tekstu obejmującą jego skrócenie.

WKŁAD AUTORÓW

Koncepcja badań: Karolina Bulewicz,

Joanna Domienik-Andrzejewska

Metodyka badań: Karolina Bulewicz,

Joanna Domienik-Andrzejewska

Zbieranie materiału: Karolina Bulewicz

Analiza statystyczna: Karolina Bulewicz

Interpretacja wyników: Karolina Bulewicz,

Joanna Domienik-Andrzejewska

Piśmiennictwo: Karolina Bulewicz,

Joanna Domienik-Andrzejewska

PIŚMIENNICTWO

1. International Commission on Radiological Protection. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. ICRP Publication 115. Ann ICRP. 2010;40(1): 1–64. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2011.08.011>.
2. World Health Organization. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants [Internet]. Geneva: WHO; 2010 [cited 2026 Oct 16]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789289002134>.
3. International Commission on Radiological Protection. Radiological protection against radon exposure. ICRP Publication 126. Ann ICRP. 2014;43(3):5–73. <https://doi.org/10.1177/0146645314542212>.
4. International Commission on Radiological Protection. Protection against Radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65. Ann ICRP. 1993;23(2):1–45.
5. Dyrektywa Rady 2013/59/EURATOM z dnia 5 grudnia 2013 r. ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylająca dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom. DzUrz UE L 13 z 2014 r., p. 1–73.
6. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 7 listopada 2025 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo atomowe. DzU z 2026 r., poz. 1.
7. Petersen ML, Larsen T. Cost-benefit analyses of radon mitigation projects. J Environ Manag. 2006;8:19–26. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.10.005>.
8. Trevisi R, Antignani S, Botti T, Buresti G, Carpentieri C, Leonardi F, et al. Cost-effectiveness analysis to assess the protection of workers from exposure to radon at work: a first ap-

- plication to Italian retail shops. *J Environ Radioact.* 2022; 242:106780. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106780>.
9. Svensson M, Barregård L, Axelsson G, Andersson E. A cost-effectiveness analysis of lowering residential radon levels in Sweden – results from a modelling study. *Health Policy.* 2018;122(6):687–92. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2018.03.009>.
 10. Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r., DzU z 1997 r., nr 78, poz. 483.
 11. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 18 czerwca 2020 r. w sprawie terenów, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu wewnątrz pomieszczeń w znacznej liczbie budynków może przekraczać poziom odniesienia. DzU z 2020 r., poz. 1139.
 12. Bobkier R, Czech EK. Radon w jednostkach systemu oświaty. Część I: obowiązki kierowników jednostek systemu oświaty względem uczniów na gruncie art. 23c ust. 1–2 Prawa atomowego. *Bezp Jądr Ochr Radiol.* 2025;(1):40–60.
 13. Bulewicz K, Olszewski J, Domienik-Andrzejewska J. Analiza wyników komercyjnych pomiarów radonu w latach 2022–2023. *Med Pr Work Health Saf.* 2025;76(1):31–40. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.01591>.
 14. Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 22 stycznia 2021 r. w sprawie ogłoszenia Krajowego planu działania w przypadku długoterminowych zagrożeń wynikających z narażenia na radon w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi oraz w miejscach pracy. M.P. z 2021 r., poz. 169.
 15. Główny Inspektorat Sanitarny [Internet]. Warszawa: GIS; 2021 [cited 2026 Oct 19]. Informacje dotyczące pomiarów średniorocznego stężenia radonu. Available from: <https://www.gov.pl/web/gis/informacje-dotyczace-pomiarow-sredniorocznego-stezenia-radonu>.
 16. Kozak K, Mazur J, Bończyk M, Wołoszczuk K, Wysocka M, Olszewski J. Radon w miejscach pracy i w budynkach mieszkalnych. Dobre praktyki pomiarowe i zalecane działania. Łódź: Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr med. Jerzego Nofera; 2026.
 17. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 11 sierpnia 2021 r. w sprawie wskaźników pozwalających na wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego stosowanych przy ocenie narażenia na promieniowanie jonizujące, DzU z 2021 r., poz. 1657.
 18. International Commission on Radiological Protection. Occupational intakes of radionuclides: part 3. ICRP Publication 137. *Ann ICRP.* 2017;46(3/4). <https://doi.org/10.1177/0146645317734963>.
 19. International Commission on Radiological Protection. Dose coefficients for intakes of radionuclides by members of the public: part 1. ICRP Publication 158. *Ann ICRP.* 2024; 53(4–5). <https://doi.org/10.1177/01466453241248229>.
 20. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 12 marca 2026 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Karta Nauczyciela. DzU z 2026 r., poz. 515.
 21. Organisation for Economic Co-operation and Development. Education at a glance 2021: OECD Indicators. Paris: OECD Publishing; 2021. <https://doi.org/10.1787/b35a14e5-en>.
 22. Health Canada. Summary report on Active Soil Depressurization (ASD) field study [Internet]. Ottawa: Government of Canada; [cited 2026 Oct 16]. Available from: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/health-risks-safety/radiation/radon/summary-report-active-soil-depressurization-field-study.html>.
 23. Hodgson SA, Zhang W, Bradley EJ, Green BMR, McColl NP. An analysis of radon remediation methods. Chilton: Health Protection Agency; 2011.
 24. Wołoszczuk K, Pawłowska Z. Analiza dostępnych rozwiązań technicznych służących ograniczeniu stężeń radonu oraz środków ochrony pracowników. Warszawa: Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej; 2025.
 25. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann ICRP.* 2007;37(2–4). Available from: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>.
 26. Salonen H, Salthammer T, Alapieti T, Shirazi A, Mikola R, Morawska L. Indoor radon concentrations in European kindergartens and other educational facilities. *Environ Int.* 2025;205:109877. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109877>.