



ANALIZA WYNIKÓW KOMERCYJNYCH POMIARÓW RADONU W LATACH 2022–2023

ANALYSIS OF COMMERCIAL RADON MEASUREMENT RESULTS IN 2022–2023

Karolina Bulewicz, Jerzy Olszewski, Joanna Domienik-Andrzejewska

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Polska
Zakład Ochrony Radiologicznej / Radiation Protection Department

INFORMACJE KLUCZOWE

- Zagrożenie radonem: wysokie stężenia w miejscach pracy zagrażają zdrowiu.
- Konieczność monitorowania: należy poszerzyć listę powiatów z wysokim stężeniem radonu.
- Działania prewencyjne: potrzebne są skuteczniejsze strategie ochrony przed radonem.

HIGHLIGHTS

- Radon risk: elevated concentrations in workplaces present significant health risks.
- Need for monitoring: the list of counties with high radon levels needs expansion.
- Preventive measures: more effective strategies for radon mitigation are essential.

STRESZCZENIE

Wstęp: Celem analizy była ocena stężeń promieniotwórczego radonu w powietrzu w miejscach pracy znajdujących się w różnych obszarach Polski i identyfikacja rejonów zagrożonych możliwością występowania podwyższonych wartości tych stężeń. W pracy przeanalizowano liczby zarejestrowanych przekroczeń poziomu odniesienia wynoszącego 300 Bq/m³ (becquerel – Bq), a także obserwowane różnice w stężeniach radonu w powietrzu wewnątrz różnych budynków. **Materiał i metody:** Podstawę analizy stanowiły wyniki pomiarów komercyjnych realizowanych przez Instytut Medycyny Pracy w Łodzi w latach 2022–2023. Pomiary prowadzono w 6 województwach w miejscach pracy związanych z różnymi rodzajami działalności. Realizowano je w okresie grzewczym trwającym od października do marca. Detektory śladowe umieszczano w kasetach dozymetrycznych i wysłano do zleceniodawców wraz z instrukcją użytkowania. Odesłane dozymetry poddawano obróbce chemicznej i odczytywano gęstość śladów przy użyciu automatycznego systemu analizy obrazu detektorów śladowych zgodnie z akredytowaną procedurą. **Wyniki:** Najwięcej pomiarów wykonano w woj. świętokrzyskim i dolnośląskim. Najwyższe średnie wartości stężeń radonu zmierzono w budynkach na terenie uzdrowisk, a najniższe – w halach produkcyjnych. **Wnioski:** Uzyskane wyniki potwierdzają potrzebę dalszego monitorowania stężeń radonu w Polsce i konieczność realizacji badań wpływu różnych czynników na jego poziom. W pracy zaproponowano również strategie prewencyjne dla obszarów o największym narażeniu. *Med Pr Work Health Saf.* 2025;76(1)

Słowa kluczowe: Polska, radon, środowisko pracy, stężenie radonu, ekspozycja na radon, kontrola radonu

ABSTRACT

Background: The aim of the analysis was to evaluate the concentrations of radioactive radon in the air in workplaces located in various regions of Poland and to identify areas at risk of elevated radon levels. The study analyzed the number of instances where the reference level of 300 Bq/m³ (becquerel – Bq) was exceeded, as well as the observed differences in radon concentrations across different buildings. **Material and Methods:** The analysis was based on the results of commercial measurements carried out by the Institute of Occupational Medicine in Łódź in 2022–2023. Measurements were taken in 6 provinces, across workplaces associated with various types of activities. The measurements were conducted during the heating season October–March. Track detectors were placed in dosimetric cassettes and sent to the clients with instructions for use. The returned dosimeters were subjected to chemical processing, followed by reading the track density using an automated image analysis system, in accordance with the accredited procedure. **Results:** The majority of measurements were conducted in the Świętokrzyskie and Dolnośląskie voivodeships. The highest average radon concentrations were found in buildings located in spa areas, while the lowest levels were recorded in production halls. **Conclusions:** The results confirm the need for ongoing monitoring of radon concentrations in Poland and highlight the importance of further studies on the factors influencing its levels. The study also proposes preventive strategies for areas with the highest radon exposure. *Med Pr Work Health Saf.* 2025;76(1)

Key words: Poland, radon, working environment, radon concentration, radon exposure, radon control

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Karolina Bulewicz, Instytut Medycyny Pracy, Zakład Ochrony Radiologicznej, ul. św. Teresy od Dzieciątka Jezus 8, 91-348 Łódź, e-mail: karolina.bulewicz@imp.lodz.pl
Nadesłano: 10 października 2024, zatwierdzono: 21 stycznia 2025

WSTĘP

Występowanie radonu w powietrzu w pomieszczeniach mieszkalnych i miejscach pracy – do tej pory zarówno tych związanych, jak i niezwiązanych z narażeniem na promieniowanie jonizujące w rozumieniu ustawy Prawo atomowe (p.a.) [1] – zostało uznane za istotne w kontekście zdrowia publicznego za sprawą wyników badań epidemiologicznych dotyczących częstszego występowania nowotworów płuc u osób narażonych na relatywnie wysokie stężenia radonu. Badania te, szczególnie wśród górników, mają długą historię. Już w XVI w. odnotowano zwiększoną zapadalność na choroby układu oddechowego wśród górników pracujących w kopalniach, jednak dopiero późniejsze analizy potwierdziły, że były to przypadki nowotworów płuc [2,3].

Odkrycie promieniotwórczości naturalnej i identyfikacja radonu jako istotnego czynnika ryzyka oraz wyniki badań z połowy XX w. wskazujące na to, że to nie sam radon, lecz jego krótkożyciowe produkty rozpadu emitujące promieniowanie α są główną przyczyną wzrostu liczby przypadków raka płuc wśród osób długotrwale narażonych na wysokie stężenia tego gazu, stały się podstawą opracowanych przez Międzynarodową Komisję Ochrony Radiologicznej (International Commission on Radiological Protection – ICRP) wytycznych w Publikacjach 115 z 2010 r. [5] i 126 z 2014 r. [6]. Stały się one fundamentem ogólnie przyjętych norm i standardów ochrony radiologicznej. W tych dokumentach ICRP podkreśla znaczenie nie tylko monitorowania stężeń radonu, ale także stosowania odpowiednich środków zapobiegawczych w celu minimalizacji ryzyka zachorowania na nowotwory płuc. Te wytyczne są dziś powszechnie stosowane przez wiele państw do opracowywania i realizacji krajowych strategii przeciwdziałania narażeniu na radon w budynkach przeznaczonych do przebywania ludzi i w miejscach pracy [5,6]. Zalecenia ICRP wdrożono do prawa europejskiego Dyrektywą Rady 2013/59/Euratom [7], a następnie transponowano do ustawodawstwa państw członkowskich.

W konsekwencji w Polsce na mocy znowelizowanego p.a. określono poziom odniesienia dla optymalizacji ochrony w sytuacji narażenia istniejącego związanego z występowaniem promieniotwórczego radonu wyrażony wartością jego średniorocznego stężenia w powietrzu [300 Bq/m^3 (bekerel – Bq)] w miejscach pracy wewnątrz pomieszczeń i w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi (art. 23b p.a.). Z kolei minister właściwy do spraw zdrowia został zobowiązany do określenia, w drodze rozporządzenia, terenów, na których

średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu wewnątrz pomieszczeń w znacznej liczbie budynków może przekraczać poziom odniesienia, mając na względzie konieczność zapewnienia odpowiedniej ochrony radiologicznej pracownikom wykonującym pracę w warunkach zwiększonego narażenia na radon (art. 23c, pkt 1, ppkt 7 p.a.) [1].

Zgodnie z art. 23f p.a. [7] minister zdrowia ogłosił również krajowy plan działania w przypadku narażenia na radon określający cele i działania w zakresie ochrony osób z ogółu ludności i pracowników, w tym strategię prowadzenia badań „w celu oszacowania rozkładu stężeń radonu w budynkach”, a także możliwość określenia „rodzajów: a) miejsc pracy, b) budynków dostępnych publicznie, w szczególności szkół, szpitali, w których konieczne są pomiary na podstawie ryzyka” [1]. Zgodnie z art. 23c p.a. „kierownicy jednostek wykonujących działalność, w której występują miejsca pracy: 1) zlokalizowane wewnątrz pomieszczeń na poziomie parteru lub piwnicy na terenach, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu w znacznej liczbie budynków może przekroczyć poziom odniesienia, 2) pod ziemią, 3) związane z uzdatnianiem wód podziemnych na terenach, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu w znacznej liczbie budynków może przekroczyć poziom odniesienia”, zostali zobowiązani do zapewnienia pomiaru stężenia radonu lub stężenia energii potencjalnej α krótkożyciowych produktów rozpadu radonu.

Zgodnie z rozporządzeniem ministra zdrowia z dnia 18 czerwca 2020 r. [8] lista obszarów, na których poziom odniesienia dla stężenia radonu może być przekroczony w znacznej liczbie budynków, obejmuje 27 powiatów i miast na prawach powiatów, zlokalizowanych w 6 województwach. Na zlecenie kierowników jednostek realizujących różnego typu działalności, zgodnie z art. 23c p.a., w latach 2022–2023 Instytut Medycyny Pracy (IMP) w Łodzi przeprowadził łącznie ok. 1900 pomiarów stężenia radonu w powietrzu na terenie Polski. W 2022 r. wykonano ich 378, a obszar badań obejmował głównie 4 województwa: świętokrzyskie, dolnośląskie, podkarpackie i mazowieckie. Szczególnie dużą liczbę pomiarów zrealizowano w woj. świętokrzyskim i dolnośląskim, znajdujących się na liście obszarów wymienionych w rozporządzeniu [8], na których może występować podwyższone stężenie radonu, a także ze względu na wynikający z tego obowiązek realizacji pomiarów (art. 23c p.a.).

W woj. dolnośląskim aż 14 powiatów zidentyfikowano jako obszary, na których stężenie radonu może prze-

kraczać poziom odniesienia wynoszący 300 Bq/m³. Dla porównania w woj. świętokrzyskim wskazano zaledwie 3 takie powiaty.

W 2023 r. przeprowadzono większą liczbę pomiarów, tj. łącznie 1528, w 5 województwach: dolnośląskim, świętokrzyskim, podkarpackim, łódzkim i opolskim. Najwięcej pomiarów wykonano w woj. dolnośląskim. Badania objęły 14 powiatów, z których 12 znajduje się na liście powiatów wskazanych w rozporządzeniu Ministra Zdrowia [8].

Pomiary przeprowadzono w różnych miejscach pracy, obejmujących miejsca działalności zawodowej niezwiązanej z narażeniem na promieniowanie jonizujące, a więc niepodlegających zgłoszeniu w rozumieniu p.a., takich jak hale produkcyjne, biura, szkoły, przedszkola, żłobki, placówki medyczne, lokale usługowe, hotele, uzdrowiska, sklepy i podziemne trasy turystyczne.

Kopalnie jako miejsca pracy znajdujące się pod ziemią (które zgodnie z Obwieszczeniem Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 28 lipca 2021 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych [9] są związane z zagrożeniem radiacyjnym na promieniowanie γ oraz wchłonięcie produktów rozpadu radonu) nie zostały uwzględnione w niniejszej pracy. Uwzględniono natomiast miejsca pracy znajdujące się na powierzchni w częściach biurowych, na parterach budynków lub przed wejściem do kopalni. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych [10] pomiar stężenia energii potencjalnej α w powietrzu, w odniesieniu do krótkotrwałych produktów rozpadu radonu, powinien być przeprowadzany w następujących miejscach pracy:

- w rejonie wylotu powietrza z wyrobisk ścianowych,
- w rejonie wylotu powietrza w wyrobiskach korytarzowych z wentylacją odrębną,
- na stacjonarnych stanowiskach pracy, takich jak komory, warsztaty i rozdzielnie.

Różnorodność uwzględnionych w analizie miejsc pracy pozwoliła na lepsze określenie potencjalnych obszarów zwiększonego ryzyka i skali potrzeb w zakresie konieczności podejmowania odpowiednich czynności prewencyjnych.

Podobne działania optymalizujące narażenie na radon w miejscach pracy i w lokalach mieszkalnych prowadzone są w wielu państwach (Norwegii, Czechach, Austrii itd.). W ich ramach regularnie są publikowane materiały informacyjne na temat minimalizacji ryzyka

związanego z radonem i opracowywane strategie mające na celu ochronę zdrowia publicznego. Publikacje te często zawierają wytyczne dotyczące pomiarów stężenia radonu, metod jego redukcji oraz najlepszych praktyk w zakresie budowy i wentylacji budynków, aby mieszkańcy oraz pracownicy mogli lepiej zrozumieć zagrożenia związane z radonem i wdrożyć skuteczne środki zapobiegawcze [11–13].

Podstawą optymalizacji jest określenie charakterystyki źródeł narażenia. W przypadku radonu są nimi np. pomieszczenia wewnątrz budynków. Kontrolę ekspozycji z danego źródła realizuje się w pierwszej kolejności poprzez pomiar mierzalnych wielkości fizycznych, takich jak stężenie radonu, lub energii potencjalnej α krótkożyłowych pochodnych radonu w powietrzu. Na podstawie jej wyników w ramach procesu optymalizacji są podejmowane odpowiednie działania ograniczające narażenie na radon.

Celem niniejszej pracy było przeanalizowanie wartości stężeń radonu w powietrzu na różnych obszarach Polski w stosunku do ustalonego poziomu odniesienia. Analiza ta ma zasadnicze znaczenie dla identyfikacji potencjalnych terenów wymagających szczególnej uwagi i działań prewencyjnych, a także dla oceny skuteczności dotychczasowych środków regulacyjnych w zakresie ograniczania ekspozycji pracowników i innych osób na promieniotwórczy radon. Stanowi też pierwszy i niezbędny etap w procesie optymalizacji ochrony, tj. analizę charakterystyki źródeł narażenia.

MATERIAŁ I METODY

Pomiary stężenia promieniotwórczego radonu przeprowadzono w 6 wybranych województwach w Polsce. Zostały one zrealizowane w okresie grzewczym obejmującym miesiące od października do marca, zgodnie z wytycznymi zawartymi w Obwieszczeniu 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 [8], rekomendowanymi przez Główny Inspektorat Sanitarny.

Podstawą analizy były wyniki badań zleconych w latach 2022–2023 IMP w Łodzi przez kierowników różnych jednostek w związku z ustawowym obowiązkiem zapewnienia pomiarów stężenia radonu w miejscach pracy zlokalizowanych wewnątrz pomieszczeń na poziomie parteru lub piwnicy na terenach, na których średnioroczne stężenie promieniotwórczego radonu w powie-

trzu w znacznej liczbie budynków może przekroczyć poziom odniesienia (art. 23c, pkt 1, ppkt 7 p.a.) [1].

Chociaż długość pomiarów była uzależniona od wymogów poszczególnych firm zlecających badania, to minimalny okres ekspozycji dozymetrów wynosił 30 dni. Detektory śladowe CR-39 (Tastrak, Bristol, Anglia; Mi.am, Piacenza, Włochy) o wymiarach $35 \times 25 \times 1$ mm umieszczono w specjalnie przygotowanych kasetach dozymetrycznych i wysłano do firm zlecających wraz z instrukcją użytkowania.

Po zakończeniu określonego czasu ekspozycji dozymetry były odsyłane do laboratorium IMP, gdzie poddano je procesowi obróbki chemicznej (tzw. trawienie), w wyniku której na detektorze śladowym CR-39 ujawniają się ślady po przejściu cząstek α , i odczytu zgodnie z akredytowaną procedurą badawczą.

Uzyskane dane dotyczące stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu poddano stratyfikacji w zakresie: roku, województwa, powiatu i rodzaju miejsca pracy, z których pochodziły. Dla różnych kategorii przeanalizowano wartość średnią i maksymalną stężenia radonu, liczbę zrealizowanych pomiarów i przypadków, dla których średnie stężenie radonu wynosiło >300 Bq/m³. Należy podkreślić, że wartość średniorocznego stężenia radonu, dla której określony został poziom odniesienia (300 Bq/m³), może być wyznaczona na drodze pomiarowej jedynie w przypadku analiz zrealizowanych w ciągu roku kalendarzowego. Z tego powodu w niniejszej pracy wyniki, dla których średnie stężenie radonu wynosi >300 Bq/m³, należy interpretować jako wskazujące na możliwość przekroczenia poziomu odniesienia.

Wyniki zaprezentowane w niniejszej publikacji zostały starannie opracowane oraz przeanalizowane za zgodą firm, które zleciły przeprowadzenie pomiarów, oraz we współpracy z nimi.

WYNIKI

W 2022 r. przeprowadzono 378 pomiarów w 15 powiatach 4 województw. W 2023 r. liczba pomiarów i obszar, w którym były realizowane, wzrosły znacząco – do, odpowiednio, 1528 w 29 powiatach 5 województw.

Rycina 1 przedstawia województwa, w których realizowano pomiary stężenia radonu w powietrzu, a także, dla każdego z nich, informacje uwzględniające rok, liczbę badań, powiatów i miejscowości, których dotyczą, oraz liczbę wyników wskazujących na możliwość przekroczenia poziomu odniesienia.

Najwięcej pomiarów stężenia radonu przeprowadzono w woj. dolnośląskim i świętokrzyskim. W 2022 r. wy-

konano je w 33 miejscowościach, a w 2023 r. liczba ta wzrosła do 81.

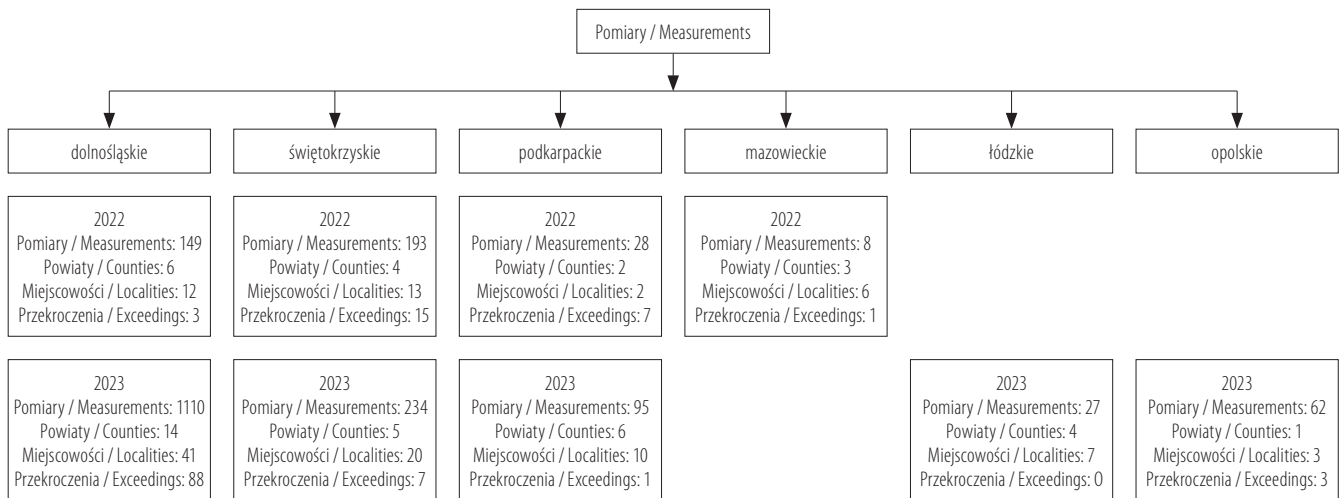
Ze względu na dużą liczbę pomiarów zrealizowanych w 2022 r. w woj. świętokrzyskim i dolnośląskim uzyskane dane pogrupowano dodatkowo względem powiatów. W celu ułatwienia analizy wyników pomiarów Rycina 2a przedstawia stężenia radonu z podziałem na województwa w roku 2022, co umożliwi porównanie danych w kontekście regionalnym. W woj. świętokrzyskim wykonano najwięcej badań. Przedstawiono wyniki z 4 powiatów, tj. kieleckiego, koneckiego, opatowskiego i skarżyskiego, w którym zleconych pomiarów było najwięcej. Analiza obserwowanych wartości stężenia radonu wykazała, że tylko w 2 przypadkach (w pow. kieleckim i koneckim) wartość wyniosła >300 Bq/m³.

Choć danych z pow. kieleckiego i koneckiego jest najmniej, to jednak zmierzone tam wartości stężenia radonu wykroczały znacznie poza wartość poziomu odniesienia – największe stężenia zaobserwowano w pow. koneckim w miejscowości Końskie. Co istotne, powiat ten nie jest wymieniony w Rozporządzeniu 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.

W woj. dolnośląskim pomiary przeprowadzono w 6 powiatach – pow. karkonoskim (dawniej jeleniogórski), kłodzkim, lubańskim, lwóweckim, polkowickim i ząbkowickim. Największą liczbę pomiarów, tj. 54, wykonano w pow. ząbkowickim, jednak tylko w 3 z nich wyniki wynosiły >300 Bq/m³. Największy odsetek pomiarów przekraczających tę wartość – aż 60% – wykonano w pow. karkonoskim, a drugim co do częstości występowania potencjalnych przekroczeń okazał się pow. polkowicki (23%).

W pow. lubańskim przeprowadzono 5 pomiarów w miejscowości Świeradów-Zdrój. Wartości stężenia radonu w przypadku 3 pomiarów znacznie przekraczały wartość poziomu odniesienia. Wyższe stężenia zaobserwowano dla pow. kłodzkiego, w którym w 2 miejscowościach odnotowano wartości >300 Bq/m³.

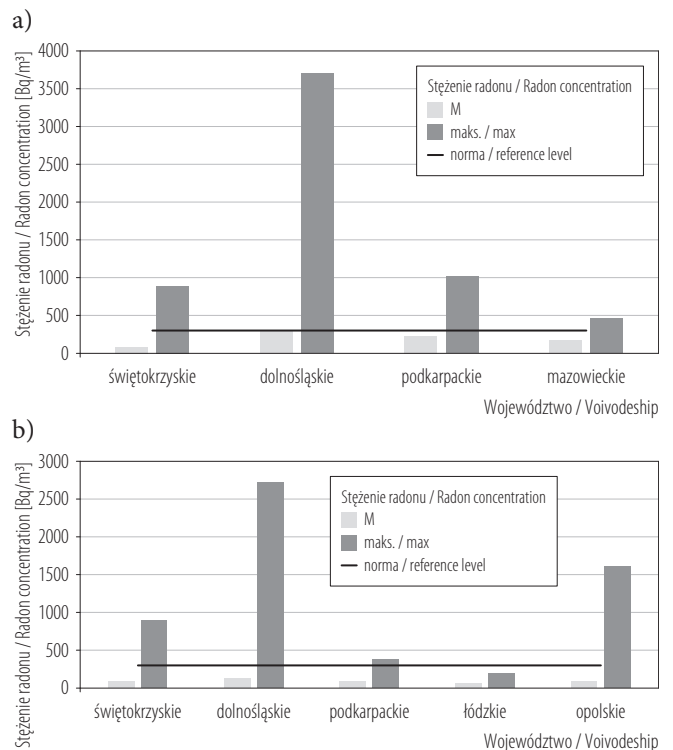
W miejscowości Łądek-Zdrój zwiększone wartości stężenia radonu zmierzono w budynkach uzdrowiskowych. Wynika to głównie z obecności w wodach wykorzystywanych przez uzdrowisko do celów leczniczych radonu, który w naturalny sposób przenika do powietrza. Pomiary w pow. lubańskim również wykonano w uzdrowisku, a wartość stężenia wynosząca 5970 Bq/m³ została zmierzona w pomieszczeniu, w którym znajduje się basen z wodą radonową.



Rycina 1. Pomiary radonu w województwach w Polsce w latach 2022–2023
Figure 1. Radon measurements in the voivodeships in Poland in 2022–2023

W 2023 r. największą liczbę pomiarów przeprowadzono w woj. dolnośląskim (41 miejscowości aż w 14 powiatach). Rycina 2b ilustruje stężenia radonu z podziałem na województwa w roku 2023, umożliwiając szczegółową analizę przestrzennego rozkładu wyników pomiarów w skali regionalnej. Badania obejmowały pow. karkonoski, kłodzki, lubański, lwówecki, polkowicki, bolesławiecki, kamiennogórski, świdnicki, trzebnicki, zgorzelecki, złotoryjski, wałbrzyski, dzierzoniowski i ząbkowicki. W 6 z nich (w pow. karkonoskim, kłodzkim, lubańskim, polkowickim, wałbrzyskim i ząbkowickim) łącznie w 12 miejscowościach stwierdzono przypadki wskazujące na możliwość przekroczenia poziomu odniesienia dla stężenia radonu w powietrzu. Najwyższe stężenie (2720 Bq/m^3) zarejestrowano w pow. karkonoskim w Jeleniej Górze. Wysokie stężenie radonu ($>1000 \text{ Bq/m}^3$) zarejestrowano również w miejscowościach Podgórzyn, Szklarska Poręba, Lądek-Zdrój, Stronie Śląskie i Świeradów-Zdrój.

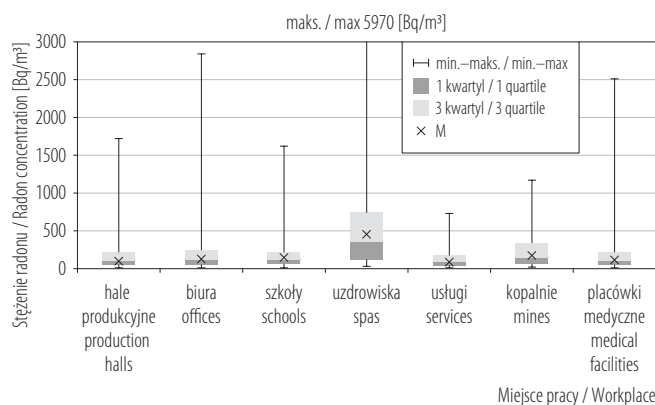
W analizie danych z woj. świętokrzyskiego uwzględniono 5 powiatów, tj. pow. starachowicki, skarżyski, opatowski, konecki i kielecki. Łącznie przeprowadzono w nich 234 pomiary, z których najwięcej w pow. skarżyskim. Średnia wartość stężenia radonu w tym powiecie była $<100 \text{ Bq/m}^3$ i wyniosła 88 Bq/m^3 . W całym województwie odnotowano jedynie 7 przypadków wskazujących na wartości $>300 \text{ Bq/m}^3$. W pow. kieleckim stężenia przewyższające tę wartość zmierzono w 2 szkołach, natomiast w pow. opatowskim w 1 pomiarze zrealizowanym w budynkach na terenie kopalni. W pow. skarżyskim w 4 badaniach przeprowadzonych w halach produkcyjnych odnotowano stężenia $>300 \text{ Bq/m}^3$.



Rycina 2. Średnia i maksymalna wartość stężenia radonu
a) w 2022 r. i b) w 2023 r.
Figure 2. Average and maximum radon concentration value
a) in 2022 and b) in 2023

W woj. podkarpackim pomiary przeprowadzono w 6 powiatach, przy czym tylko w 1 z nich – zrealizowanym w aptece w Sanoku – wartość stężenia radonu wyniosła $>300 \text{ Bq/m}^3$.

W woj. łódzkim przeprowadzono łącznie 27 pomiarów w 4 różnych powiatach i w żadnym z nich nie stwierdzono przekroczenia wartości stężenia radonu od-



Rycina 3. Pomiary radonu w miejscach pracy w latach 2022–2023
Figure 3. Radon measurements in workplaces in 2022–2023

powiadającej poziomowi odniesienia. W woj. opolskim analizy przeprowadzono tylko w pow. nyskim. W 3 badaniach spośród 62 zmierzono stężenie radonu wskazujące na przekroczenie poziomu odniesienia. Wszystkie potencjalne przekroczenia dotyczyły pomiarów zrealizowanych w halach produkcyjnych (2 z nich wykonano w miejscowości Głębinów, a 1 – w mieście Nysa).

W niniejszej pracy przeprowadzono również analizę poziomów stężeń radonu mierzonych w powietrzu w odniesieniu do 7 różnych rodzajów miejsc pracy określonych ze względu na charakter wykonywanych w nich czynności. Najwięcej pomiarów (871 – łącznie w latach 2022–2023) wykonano w halach/pomieszczeniach produkcyjnych i magazynach zaklasyfikowanych jako „hale produkcyjne”. W kategorii „placówki medyczne” (344 pomiary) uwzględniono m.in. gabinety lekarskie, stomatologiczne i szpitale, a do „usług” (195 pomiarów) przypisano: parki rozrywki, muzea, restauracje, baseny, stacje paliw, salony kosmetyczne i sklepy. W pozostałych typach miejsc pracy sklasyfikowanych jako „biura”, „szkoły”, „uzdrowiska” i „kopalnie” wykonano w latach 2022–2023, odpowiednio, 386, 164, 76 i 44 pomiary.

Ze zbiorczej analizy danych zebranych w latach 2022–2023 wynika, że odsetek przypadków wskazujących na możliwość przekroczeń poziomu odniesienia, w zależności od rodzaju miejsca pracy, mieścił się w zakresie 3–38% i był najwyższy w budynkach w uzdrowiskach. Ta wysoka wartość jest niewątpliwie związana z naturalnymi podwyższonymi stężeniami radonu w glebach i w wodach mineralnych występujących na ich obszarach.

Drugim co do częstości występowania potencjalnych przekroczeń miejscem pracy były „kopalnie”, które generalnie są uznawane za obiekty związane z narażeniem na radon. Należy jednak podkreślić, że badania nie były wykonywane w wyrobiskach, a jedynie na powierzch-

ni, w częściach biurowych, na parterach budynków lub przed wejściem do kopalni. Mimo to w obiektach należących do kopalni aż 18% wyników przekraczało ustalony poziom odniesienia, co wskazuje na istotne zagrożenie narażenia na radon w tych lokalizacjach.

Chociaż w pozostałych miejscach pracy odsetek wyników >300 Bq/m³ wyniósł $\leq 10\%$, to najwięcej odnotowano ich w „szkołach” i placówkach wychowawczych (9%), co jest szczególnie istotne, biorąc pod uwagę dużą liczbę osób spędzających tam czas, w tym dzieci i nastolatki, które są wrażliwsze na szkodliwe skutki działania promieniowania jonizującego. Podobny odsetek wyników wskazujących na przekroczenia (8%) obserwuje się w „biurach”. Z kolei w „halach produkcyjnych”, „usługach” i „placówkach medycznych” odsetek takich wyników wyniósł, odpowiednio, 3%, 6% i 6% przeprowadzonych pomiarów. Może to sugerować, że te miejsca pracy są zlokalizowane w nowszych budynkach wyposażonych w lepszą izolację zapobiegającą wnikaniu radonu do pomieszczeń lub w wentylację zmniejszającą ryzyko akumulacji radonu albo w których zastosowano odpowiednie środki zapobiegawcze.

Analiza rozkładów stężeń radonu przedstawiona na rycinie 3 jest zgodna z zaprezentowanymi wnioskami dotyczącymi liczby przekroczeń poziomu odniesienia. W szczególności w „uzdrowiskach” i „kopalniach”, gdzie była ona najwyższa, rozrzut uzyskanych stężeń radonu jest również największy (w „uzdrowiskach” 3 kwantyl wynosił prawie aż 400 Bq/m³, czyli powyżej poziomu odniesienia, a w „kopalniach” – prawie 200 Bq/m³). Dla porównania, w żadnym z pozostałych miejsc pracy 75% wyników nie wyniosło >130 Bq/m³. Co więcej, w przypadku „uzdrowisk” wartość maksymalna w rozkładzie stężeń radonu wyniosła ok. 6000 Bq/m³ i była najwyższą wartością stężenia zmierzoną we wszystkich miejscach pracy, dla których zakres obserwowanych wartości maksymalnych wyniósł 640–5970 Bq/m³.

OMÓWIENIE

Analiza przeprowadzonych pomiarów stężeń promieniotwórczego radonu pozwoliła zarówno na potwierdzenie wskazanych w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 18 czerwca 2020 r. województw i powiatów jako terenów, w których w niektórych miejscach pracy istnieje realna możliwość przekroczenia określonego w p.a. poziomu odniesienia wynoszącego 300 Bq/m³, jak również na identyfikację nowych. Większość takich miejsc pracy lub przebywania dotyczy powiatów leżących w woj. dolnośląskim, świętokrzyskim i podkarpackim.

Z jednej strony należy zauważyć, że w ramach niniejszej pracy przeprowadzono pomiary stężenia promieniotwórczego radonu w 6 województwach, z których 2, tj. woj. łódzkie i mazowieckie, to te dodatkowe, spoza listy terenów wskazanych w rozporządzeniu. Z drugiej strony w 2 województwach, które zostały na tej liście uwzględnione, tj. w woj. lubelskim i śląskim, nie realizowano pomiarów w ogóle (z uwagi na brak zleceń). Powiatów, w których dokonano oceny stężenia radonu w powietrzu, było jednak łącznie znacznie więcej niż w rozporządzeniu, co pozwoliło zidentyfikować potencjalnie nowe obszary.

Z przeprowadzonej analizy wynika m.in. to, że należałoby dodatkowo rozważyć rozszerzenie listy obszarów wymienionych w rozporządzeniu ministra zdrowia o powiaty, takie jak pow. bolesławiecki i świdnicki w woj. dolnośląskim, pow. starachowicki i konecki w woj. świętokrzyskim oraz pow. przemyski i jarosławski w woj. podkarpackim, w których rejestrowano wyniki wskazujące na możliwość przekroczenia poziomu odniesienia w miejscach pracy znajdujących się w budynkach. Decyzję o uzupełnieniu tej listy należałoby podjąć po potwierdzeniu występowania takich przypadków w znacznej liczbie obiektów na wymienionych obszarach również przez inne akredytowane laboratoria realizujące pomiary stężeń radonu w powietrzu w ramach świadczonych przez nie usług. W najbliższym czasie taka wspólna analiza będzie realizowana w ramach działań Polskiego Centrum Radonowego. W szczególności przeprowadzenie zbiorczej analizy wszystkich danych pomiarowych pozwoli na określenie kryteriów kwalifikujących dany obszar jako teren, na którym w znacznej liczbie budynków średnioroczne stężenie radonu w powietrzu może przekraczać poziom odniesienia, zgodnie z definicją zawartą w rozporządzeniu ministra zdrowia. Na jej podstawie, z uwzględnieniem częstości występowania przekroczeń poziomu odniesienia, w wymienionych w rozporządzeniu powiatach można zaproponować kryterium kwalifikujące do włączenia na tę listę nowych terenów, potencjalnie istotnych z punktu widzenia zagrożeń dla zdrowia.

Zgodnie z pkt. 22 Dyrektywy Rady 2013/59/Euratom z dnia 5 grudnia 2013 r. [7] istnieje statystycznie istotny wzrost ryzyka zachorowania na nowotwór płuc w wyniku przedłużonego narażenia na radon wewnątrz pomieszczeń, gdy jego stężenie wynosi >100 Bq/m³. Artykuł 54 ww. dyrektywy wskazuje, że średnie roczne stężenie radonu w powietrzu w miejscach pracy nie powinno wynosić >300 Bq/m³.

W 25 pomiarach opisanych w niniejszym artykule stężenie radonu przekraczało poziom nawet 1000 Bq/m³.

Wysokie stężenie tego promieniotwórczego gazu może stanowić istotne zagrożenie dla zdrowia pracowników, zwłaszcza jeśli związane z nim narażenie na promieniowanie jonizujące jest długotrwałe. Zakładając średnią roczną liczbę godzin przepracowanych na pełnym etacie wynoszącą 2008 oraz wartości współczynników przeliczeniowych ze stężenia radonu w powietrzu na dawkę efektywną (wykorzystując współczynniki przeliczeniowe zawarte w Publikacji 137 ICRP zgodnie z zaleceniem Komisji UE 2024/440, a nawet ponaddwukrotnie niższe współczynniki z obowiązującego rozporządzenia w sprawie wskaźników pozwalających na wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego stosowanych przy ocenie narażenia na promieniowanie jonizujące) [14–16], można wykazać, że istnieje realna możliwość przekroczenia dawki 6 mSv w ciągu roku, co stanowi kryterium do zakwalifikowania pracownika do kategorii A narażenia zgodnie z art. 23c, pkt 1, ppkt 5 p.a. W przypadku pracy w warunkach, gdzie występuje podwyższone stężenie radonu, należy podjąć działania zmierzające do ograniczenia jego stężenia albo/i ograniczyć czas ekspozycji do poziomu gwarantującego bezpieczne warunki pracy.

W niniejszym artykule istotne są również wnioski wynikające z analizy obserwowanych stężeń radonu w różnych rodzajach miejsc pracy. Szczególnie wysokie wartości zarejestrowano w obiektach znajdujących się w uzdrowiskach (co, jak już wspomniano, jest związane z wykorzystywaniem w nich wód bogatych w radon do celów leczniczych), ale także w budynkach kopalni, co potwierdza konieczność monitorowania narażenia [17] i wdrażania działań naprawczych w obu rodzajach miejsc pracy.

W odniesieniu do uzdrowisk konkretne zalecenia wskazali autorzy badania dotyczącego ekspozycji na radon w spa Niška Banja w Serbii [18]. Chociaż terapia wodami mineralnymi jest korzystna dla pacjentów odwiedzających takie miejsca, to dla pracowników spędzających tam codziennie 8 godz. wysokie stężenie radonu może stanowić zagrożenie. Dla zapewnienia odpowiedniej ochrony personelu autorzy badania zasygnalizowali konieczność wydzielenia w tych miejscach pracy dobrze wentylowanych obszarów, w których pracownicy mogliby przebywać w czasie, gdy nie znajdują się w pomieszczeniach terapeutycznych, a także potrzebę stosowania odpowiednich rozwiązań technicznych zapobiegających rozprzestrzenianiu się znacznych ilości radonu z obszarów terapeutycznych do innych części uzdrowiska. Podjęcie tych środków mitygujących w tej sytuacji jest niezwykle istotne, jeśli dodatkowo weźmie się pod uwagę,

że pracownicy ci mogą być narażeni na wysokie stężenia radonu również w swoich domach, szczególnie jeśli ich miejsce zamieszkania znajduje się na terenie o wysokiej koncentracji tego gazu.

Warto zauważyć, że w Polsce pomiar stężenia radonu w mieszkaniach i budynkach mieszkalnych nie jest rozpowszechnioną praktyką, co może prowadzić do niedostatecznego monitorowania i potencjalnego narażenia przebywających tam ludzi na szkodliwe efekty długotrwałej ekspozycji na radon. Optymalizacja narażenia to proces, w którym istotne są nie tylko poziomy otrzymywanych dawek indywidualnych wynikających z wchłonięć radonu i jego pochodnych, ale także dawka kolektywna uwzględniająca również liczbę potencjalnie narażonych osób. W tym kontekście implementacja procesu optymalizacji będzie istotna w takich miejscach jak uzdrowiska, ale przede wszystkim w szkołach i placówkach wychowawczych, gdzie – oprócz pracowników – w relatywnie małych pomieszczeniach przez znaczną część roku przebywa często duża liczba dzieci i nastolatków.

W ramach niniejszej pracy w placówkach edukacyjnych – szkołach, przedszkolach, żłobkach – wykonano 164 pomiary. W 15 z nich zmierzone wartości stężenia radonu wskazywały na możliwość przekroczenia poziomu odniesienia, a najwyższe stężenie wynosiło 1500 Bq/m^3 . W publikacji Vaupotić i wsp. [19] autorzy szczegółowo opisują wyniki pomiarów stężeń radonu przeprowadzonych w jednej ze szkół, które ujawniły, że w wielu pomieszczeniach tego obiektu stężenie radonu wyniosło znacznie $>1000 \text{ Bq/m}^3$, osiągając w niektórych miejscach wartości nawet kilka razy wyższe. W szczególności wysokie poziomy radonu obserwowano w piwnicy, gdzie stężenia mogły wynosić nawet $>26\,000 \text{ Bq/m}^3$, co stanowiło poważne zagrożenie nawet dla okresowo przebywających tam osób. Badania wykazały, że uczniowie i personel szkoły otrzymują ok. 60% rocznej dawki skutecznej radonu w szkole, a pozostałe 40% w domu. W odpowiedzi na te wyniki tamtejszy Inspektorat Zdrowia nakazał podjęcie działań mających na celu obniżenie stężenia radonu w szkole.

Jeśli chodzi o miejsca rozrywki, takie jak baseny czy restauracje, to mierzone tam stężenia radonu w niektórych przypadkach również wyniosły znacznie $>300 \text{ Bq/m}^3$, co wymaga uwagi i dalszych analiz. Dla przykładu Alharbi i Akber [20] w badaniach przeprowadzonych w Brisbane w Australii wykazali, że w takich miejscach jak galerie handlowe, podziemne parkingi, biblioteki czy laboratoria stężenia radonu były stosunkowo niskie. Wynika to z tego, że pomieszczenia te są zazwyczaj dobrze wentylowane, co skutecznie mini-

malizuje nagromadzenie radonu. Warto również zauważyć, że efektywność wentylacji często zależy od wielkości budynku i nowoczesności zastosowanych w nim rozwiązań technicznych – w dużych i współczesnych obiektach dzięki zastosowaniu zaawansowanych systemów wentylacyjnych stężenie radonu jest skutecznie kontrolowane. Regularne monitorowanie jakości powietrza i utrzymywanie właściwej wentylacji mają fundamentalne znaczenie dla zapewnienia bezpiecznych stężeń radonu w takich miejscach.

W szczególności dla przyszłych analiz ważne będzie uwzględnienie charakterystyki geologicznej terenów (zawartość uranu, przepuszczalność skał i gleby), na których znajdują się budynki, a także lokalizacji geograficznej, charakterystyki samych obiektów (ich wieku, materiałów, z jakich są zbudowane, rodzaju budynku – jednorodzinny lub wielorodzinny itd.), które mogą wpływać na różnice w mierzonych poziomach stężenia radonu. Kontynuacja badań uwzględniająca analizę innych wymienionych czynników, obok monitorowanych stężeń radonu w powietrzu, wydaje się niezbędna dla opracowania skutecznych strategii prewencyjnych i działań mających na celu ochronę zdrowia publicznego przed szkodliwymi skutkami ekspozycji na radon.

WNIOSKI

Analiza wyników pomiarów stężenia radonu w latach 2022–2023 stanowi istotny wkład w zrozumienie problematyki radonowej, zwłaszcza w kontekście obowiązującego rozporządzenia ministra zdrowia z dnia 18 czerwca 2020 r. Określa ono obszary, na których stężenie radonu może przekroczyć poziom odniesienia, obejmując 27 powiatów i miast na prawach powiatów w 6 województwach.

Wyniki pracy sugerują konieczność ustalenia kryteriów włączających inne potencjalne tereny na listę powiatów objętych rozporządzeniem w sprawie terenów, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu wewnątrz pomieszczeń w znacznej liczbie budynków może przekraczać poziom odniesienia. Wskazują również na możliwość występowania stężeń radonu $>300 \text{ Bq/m}^3$ w kilku powiatach spoza wykazu, co sugeruje istnienie potencjalnego ryzyka dla pracowników zatrudnionych na tych obszarach.

Ich ewentualne uwzględnienie we wspomnianym rozporządzeniu pozwoliłoby na wprowadzenie odpowiednich działań prewencyjnych i monitorowanie stężenia radonu w miejscach pracy, przyczyniając się do zwiększenia bezpieczeństwa pracowników.

Analizowane pomiary przeprowadzono w różnych miejscach pracy, a ich wyniki wskazują na konieczność monitorowania stężeń radonu w odmiennych środowiskach zawodowych. Wskazują również na zróżnicowanie sytuacji w różnych regionach i sugerują potrzebę monitorowania stężeń radonu w miejscach pracy na terenie całego kraju.

Z przeprowadzonych badań wynika, że stężenie promieniotwórczego radonu w niektórych miejscach pracy w Polsce może stanowić istotne zagrożenie dla zdrowia zarówno pracowników, jak i innych osób z otoczenia. Najwyższe stężenia odnotowano w woj. dolnośląskim i świętokrzyskim, a w odniesieniu do miejsc pracy – w kopalniach i uzdrowiskach. Pomimo podjętych działań prewencyjnych, takich jak poprawa wentylacji i izolacji, oraz edukacji personelu nadal istnieje potrzeba monitorowania i ograniczania stężenia radonu w miejscach pracy. Wskazane jest dalsze badanie wpływu różnych czynników na stężenie radonu oraz uwzględnienie w analizie dodatkowych informacji dotyczących liczby zatrudnionych pracowników w miejscach pracy o szczególnie wysokich poziomach stężenia radonu oraz czasu, jaki w nich spędzają. Pozwoli to na opracowanie racjonalnych oraz skutecznych strategii prewencyjnych dla potrzeb optymalizacji ochrony radiologicznej w celu ograniczenia ryzyka do możliwie niskiego poziomu przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych i społecznych.

WKŁAD AUTORÓW

Koncepcja badań: Karolina Bulewicz, Jerzy Olszewski, Joanna Domienik-Andrzejewska

Metodyka badań: Karolina Bulewicz, Jerzy Olszewski, Joanna Domienik-Andrzejewska

Zbieranie materiału: Karolina Bulewicz, Jerzy Olszewski

Analiza statystyczna: Karolina Bulewicz

Interpretacja wyników: Karolina Bulewicz, Joanna Domienik-Andrzejewska

Piśmiennictwo: Karolina Bulewicz, Joanna Domienik-Andrzejewska

PIŚMIENICTWO

1. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 11 maja 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo atomowe. DzU z 2023 r., poz. 1173.
2. Robison RF, Mould RF. St. Joachimstal: pitchblende, uranium and radon-induced lung cancer. Nowotwory. J Oncol. 2006;56(3): 344–350.
3. Wysocka M. Zależność stężeń radonu od warunków geologiczno-górnicznych na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Prace Naukowe GIG. Górn Środ. 2002;3: 25–41.
4. Reddy A, Conde C, Peterson C, Nugent K. Residential radon exposure and cancer. Oncol Rev. 2022;16(1). <https://doi.org/10.4081/oncol.2022.558>.
5. Clement CH, Tirmarche M, Harrison JD, Laurier D, Paquet F, Blanchardon E, et al. ICRP Publication 115: Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. Ann ICRP. 2010;40(1):1–64. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2011.08.011>.
6. Lecomte JF, Solomon S, Takala J, Jung T, Strand P, Murith C, et al. ICRP Publication 126: Radiological Protection against Radon Exposure. Ann ICRP. 2014;43(3): 5–73. <https://doi.org/10.1177/0146645314542212>.
7. 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. DUrz UE z 2014 r.
8. 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.
9. Obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 28 lipca 2021 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych. DzU z 2021 r., poz. 1617.
10. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych. DzU z 2017 r., poz. 1118.
11. Strategy for the reduction of radon exposure in Norway [Internet]. Oslo: Norwegian Government Administration Services Publication; 2010 [cited 2024 Jul 17]. Available from: <https://dsa.no/en/publications/strategy-for-the-reduction-of-radon-exposure-in-norway/strategy%20for%20the%20reduction%20of%20radon%20exposure%20in%20norway.pdf>.
12. Petrová K, Pravdová E. Radon program of the Czech Republic. Radiat Prot Dosim. 2014;160(1–3): 27–29. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncu113>.
13. Gruber V, Ringer W, Wurm G, Friedmann H. Radon mapping strategies in Austria. Radiat Prot Dosim. 2015; 167(1–3):65–69. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv208>.

14. 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.
15. Paquet F, Bailey MR, Leggett RW, Lipsztein J, Marsh J, Fell TP, et al. ICRP Publication 137: Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. *Ann ICRP*. 2017;46(3–4):1–486. <https://doi.org/10.1177/0146645317734963>.
16. Zalecenie Komisji (Euratom) 2024/440 z dnia 2 lutego 2024 r. w sprawie stosowania współczynników dawki na potrzeby oszacowania dawki skutecznej i dawki równoważnej do celów dyrektywy Rady 2013/59/Euratom (notyfikowana jako dokument nr C(2024) 563). DzUz UE z 2024 r.
17. Olszewski J, Chodak M, Jankowski J. Rozpoznanie aktualnego stanu narażenia na radon pracowników uzdrowisk w Polsce. *Med Pr*. 2008;59(1):35–38.
18. Nikolov J, Todorovic N, Pantic TP, Forkapic S, Mrdja D, Bikit I, et al. Exposure to radon in the radon spa Niška Banja, Serbia. *Radiat Meas* 2012;47(6):443–450. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2012.04.006>.
19. Vaupotič J, Hunyadi I, Baradács E. Thorough investigation of radon in a school with elevated levels. *Radiat Meas*. 2001;34(1–6):477–482. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(01\)00210-4](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(01)00210-4).
20. Alharbi SH, Akber RA. Radon and thoron concentrations in public workplaces in Brisbane, Australia. *J Environ Radioact*. 2015;144:69–76. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.03.008>.