CC BY ND

Zrecenzowany artykuł naukowy

DOI: 10.54215/BP.2025.9.17.Woloszczuk

Pomiary stężenia radonu oraz postępowanie po stwierdzeniu przekroczenia poziomu odniesienia w miejscu pracy

dr inż. Katarzyna Wołoszczuk[a] (ORCID: 0000-0002-6380-2241)

dr hab. inż. Mirosław Szyłak-Szydłowski[b] (ORCID: 0000-0003-3605-0109)



Fot. Francesco Scatena/Bigstockphoto

W artykule przedstawiono procedurę pomiaru stężenia radonu w miejscach pracy zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa oraz wytycznymi krajowymi i międzynarodowymi. Opisano metodykę przeprowadzania pomiarów, dobór lokalizacji, czas trwania pomiarów oraz sposób interpretacji wyników. Szczególną uwagę poświęcono postępowaniu w przypadku stwierdzenia przekroczenia poziomu odniesienia wynoszącego 300 Bq/m³. Omówiono wymagane działania naprawcze oraz ocenę narażenia pracowników. Celem publikacji jest wsparcie pracodawców i specjalistów z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy w zapewnieniu bezpiecznych warunków pracy poprzez skuteczny monitoring i ograniczanie ekspozycji na radon.

Słowa kluczowe: radon, promieniowanie jonizujące, detektory śladowe

Measurements of radon activity concentration and procedures following the exceedance of the reference level in the workplace

This publication outlines a procedure for measuring radon concentrations in workplaces that complies with applicable laws and national and international guidelines. It describes the methodology for taking measurements, selecting locations, determining measurement duration, and interpreting results. Particular attention is given to the steps to take if the reference level of 300 Bq/m³ is exceeded. The required corrective actions and workers' exposure assessment are also discussed. The publication aims to support employers and occupational health and safety professionals in ensuring safe working conditions by effectively monitoring and limiting radon exposure.

Keywords: radon, ionization radiation, track detectors

[a] Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, kontakt: woloszczuk@clor.waw.pl.
[c] Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska.

Wstęp

Pomiary stężenia radonu w miejscach pracy są obowiązkowe od 2019 r., zgodnie z przepisami ustawy – Prawo atomowe [1]. Wprowadzenie tego obowiązku wiąże się z licznymi wyzwaniami organizacyjnymi i technicznymi, zwłaszcza że temat radonu oraz jego wpływu na zdrowie człowieka wciąż pozostaje mało znany – zarówno wśród ogółu społeczeństwa, jak i w środowisku służb bhp. Do tej pory specjaliści ds. bezpieczeństwa i higieny pracy rzadko mieli styczność z problemem narażenia na promieniowanie jonizujące pochodzące od naturalnych źródeł, takich jak radon.

W niniejszym artykule przedstawiono procedury pomiaru stężenia radonu-222 w środowisku pracy, omówiono sugerowane dobre praktyki oraz zaprezentowano zalecane sposoby postępowania w przypadku przekroczenia poziomu odniesienia dla średniorocznego stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu wynoszącego 300 Bq/m^3. Publikacja ma nie tylko wesprzeć pracodawców i służby bhp w realizacji obowiązków prawnych, lecz także podnieść świadomość na temat zagrożeń związanych z radonem i konieczności systematycznego monitorowania jego stężenia w celu ochrony zdrowia pracowników.

Promieniowanie jonizujące

Promieniowanie jonizujące, czyli takie, które jest w stanie wywołać jonizację materii – oderwanie elektronów od atomów i cząsteczek, w wyniku czego powstają jony – dzieli się na elektromagnetyczne (gamma, promieniowanie X) i cząsteczkowe (alfa, beta). Pierwiastki, które emitują taki rodzaj promieniowania, są nazywane pierwiastkami promieniotwórczymi. Naturalne źródła promieniowania jonizującego mają swój początek w Wielkim Wybuchu. W glebie występują naturalne izotopy promieniotwórcze, które powstały w okresie formowania się skorupy ziemskiej. Jednym z nich jest np. tor-232 – czas połowicznego rozpadu, czyli okres, po którym liczba atomów tego promieniotwórczego izotopu spadnie o połowę wartości początkowej, wynosi aż 14 miliardów lat. Pierwiastki te wchodzą w skład trzech naturalnych szeregów promieniotwórczych: uranowo-radowego, uranowo-aktynowego i torowego. Do naturalnych źródeł promieniowania zalicza się także promieniowanie kosmiczne oraz promieniowanie emitowane przez radionuklidy naturalnego pochodzenia, które dostają się do organizmu człowieka wraz z powietrzem, pożywieniem i wodą.

Bez stosowania odpowiednich osłon promieniowanie jonizujące może być niebezpieczne dla człowieka, a zmiany, jakie wywołuje w organizmach, zależą w dużej mierze od:

- rodzaju narażenia (wewnętrznego lub zewnętrznego),
- rodzaju promieniowania,
- wielkości otrzymanej dawki promieniowania,
- rozkładu otrzymanej dawki w czasie,
- cech osobniczych (np. wieku lub płci osoby narażonej).

Jednostką, która określa skutki biologiczne promieniowania (ilość energii pochłoniętej przez tkanki, z uwzględnieniem ich wrażliwości na dany rodzaj promieniowania), jest siwert (Sv).

Roczna całkowita dawka skuteczna promieniowania jonizującego otrzymana przez statystycznego mieszkańca Polski w 2024 r. wynosiła 4,86 mSv. Na tę wartość składa się promieniowanie zarówno od źródeł naturalnych, jak i sztucznych, w tym od tych stosowanych w diagnostyce medycznej.

Ponad połowa (52,52%) całkowitej dawki skutecznej – ok. 2,55 mSv/rok – pochodzi od źródeł naturalnych, natomiast największy udział w tym narażeniu ma radon i produkty jego rozpadu, od których statystyczny mieszkaniec Polski otrzymuje dawkę ok. 1,20 mSv/rok (rys. 1).

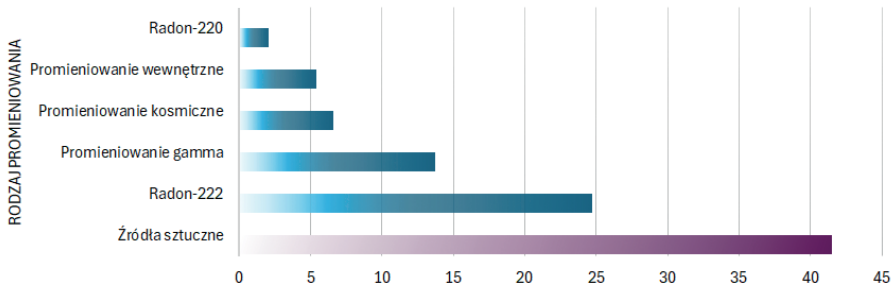
Podstawowe informacje o radonie

Radon-222 jest bezwonnym gazem szlachetnym, który powstaje podczas łańcucha rozpadów radioaktywnych, zaczynającego się od uranu-238 zawartego w materiałach geologicznych, ropie naftowej i węglu. Przenika do powietrza atmosferycznego również z wód powierzchniowych, materiałów budowlanych oraz gazu ziemnego, niemniej to warunki geologiczne są głównym czynnikiem wpływającym na stężenie radonu wewnątrz pomieszczeń i stanowią istotną przyczynę różnic geograficznych w lokalnym zróżnicowaniu jego stężeń [3].

Badania wykazały, że globalnie stężenie radonu na zewnątrz budynków mieści się, z nielicznymi wyjątkami, w zakresie od 5 do 15 Bq/m^3, co nie stanowi zagrożenia dla zdrowia [4]. Natomiast wysokie stężenie radonu wewnątrz budynków, przekraczające 300 Bq/m^3, może znacząco wpływać na jakość powietrza i jest czynnikiem ryzyka zachorowania na raka płuc. Gaz ten może się bowiem kumulować w zamkniętych przestrzeniach, np. w budynkach, jaskiniach i kopalniach [5]. Wnika do budynków przez szczeliny i pęknięcia w fundamentach lub piwnicach. Stężenie radonu wewnątrz budynków jest uzależnione od układu pomieszczeń, konstrukcji oraz systemu wentylacji [6].

Głównymi źródłami radonu wewnątrz budynków są: gleba wokół fundamentów, woda użytkowa, materiały budowlane, paliwa oraz infiltracja radonu z zewnątrz. Tak zwany efekt kominowy odpowiada nawet za 75% ilości radonu gromadzącego się wewnątrz budynków. Jest to zjawisko przepływu mas powietrza wywołane różnicą ciśnień, powstającą z kolei w wyniku różnicy temperatury sąsiadujących warstw powietrza. Gaz radonowy jest wówczas zasysany do wnętrza budynku przez nieszczelności w przegrodach budowlanych oraz przez pęknięcia i nieszczelności w strukturze budynku [7].

Poziomy radonu mogą być wyższe w domach dobrze izolowanych, szczelnie zamkniętych lub zbudowanych na glebie bogatej w pierwiastki, takie jak uran i rad. Zwykle najwyższe poziomy radonu występują w piwnicach oraz na parterze – ze względu na ich bliskość do gruntu.



	Źródła sztuczne	Radon-222	Promieniowanie gamma	Promieniowanie kosmiczne	Promieniowanie wewnętrzne	Radon-220
Dawka (mSv)	2,31	1,20	0,67	0,32	0,26	0,10
Udział procentowy	41,48	24,72	13,74	6,59	5,41	2,06

Rys. 1. Udział poszczególnych źródeł promieniowania jonizującego w przeciętnej rocznej dawce promieniowania (opracowanie własne na podstawie [2])

Fig. 1. Contribution of individual sources of ionizing radiation in the average annual radiation dose (own study based on [2])

Wpływ radonu na zdrowie człowieka

Wskutek promieniotwórczego rozpadu radonu powstają niebezpieczne dla człowieka produkty rozpadu: polon-218 oraz polon-214, bizmut-214 i ołów-214 – promieniotwórcze metale ciężkie. Promieniowanie alfa nie jest w stanie przeniknąć nawet przez papier, a tym bardziej przez ubranie czy skórę, ale największe zagrożenie występuje po jego wniknięciu do organizmu człowieka. Wówczas – pozbawione wszelkich barier ochronnych – oddziałuje bezpośrednio na organy, uszkadzając materiał genetyczny [8].

Radon, wraz ze swoimi pochodnymi, dostaje się do układu oddechowego poprzez inhalację, a do układu pokarmowego – poprzez spożywanie wody pitnej [9]. Pozostaje w płucach stosunkowo krótko, ale człowiek jest stale narażony na jego działanie. Mimo że szybko się rozpada (czas półrozpadu wynosi 3,8 dnia), pochodne tego rozpadu łączą się z pyłami obecnymi w powietrzu, wnikają do układu oddechowego i płuc. Cząstki promieniowania jonizującego uszkadzają DNA organizmów żywych, powodując poważne zagrożenia zdrowotne. Aerozole znajdujące się we wdychanym powietrzu często są zatrzymywane w górnych częściach układu oddechowego lub nabłonku płucnym, skąd mogą być usunięte w ciągu kilku godzin. Jedynie najmniejsze cząstki (o średnicy poniżej 0,1 μm) trafiają do pęcherzyków płucnych. Tam mogą pozostawać miesiące lub lata, prowadząc do napromieniowania organów wewnętrznych. Badania epidemiologiczne wykazały, że długoterminowe działanie nawet niskich dawek promieniotwórczego radonu jest jednym z głównych czynników ryzyka rozwoju raka płuc [10].

Ponadto zwiększona ekspozycja na radon w domach jest powszechnie uważana za czynnik ryzyka rozwoju raka płuc, czerniaka, nowotworów nerek, nowotworów hematologicznych oraz nowotworów mózgu [11]. Związek pomiędzy radonem a rakiem skóry jest biologicznie prawdopodobny, ponieważ produkty rozpadu radonu mogą osiadać na skórze i emitować cząstki alfa, które napromieniają jej zewnętrzne warstwy. Skóra jest drugim (po płucach) narządem najbardziej narażonym na działanie radonu i jego pochodnych.

Przepisy prawne dotyczące pomiaru radonu w miejscach pracy

Dyrektywa Rady UE 2013/59/Euratom [12] zastąpiła pięć poprzednich dyrektyw Rady i jedno zalecenie. Uwydatniono w niej rolę procesu optymalizacji w odniesieniu do określonego źródła promieniowania, czyli postępowania w celu ograniczenia wartości dawek indywidualnych, zminimalizowania liczby narażonych oraz zmniejszenia prawdopodobieństwa potencjalnego narażenia na promieniowanie do tak niskiego poziomu, jak jest to rozsądnie osiągalne. Oznacza to poziom poniżej odpowiedniego ogranicznika dawek, ustalonego przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych i socjalnych. Priorytetami są tu: ocena sytuacji narażenia (uwzględniająca wszystkie potencjalne źródła), wybór odpowiednich wartości dla ogranicznika dawki lub poziomów odniesienia wyrażonych jako dawka skuteczna roczna, identyfikacja możliwych opcji ochrony i wybór najlepszej z nich, a także implementacja wybranej opcji. W przypadku radonu kryterium optymalizacji stanowiło średnie roczne stężenie, które nie mogło przekraczać 300 Bq/m^3 zarówno w przypadku narażonych zawodowo – w miejscach pracy wewnątrz pomieszczeń – jak i w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi.

Już w Kodeksie pracy [13] wskazano, że pracodawca jest obowiązany chronić pracowników przed promieniowaniem jonizującym pochodzącym ze źródeł sztucznych i naturalnych, występujących w środowisku pracy. Niemniej pokłosiem dyrektywy Euratom było dokonanie zmian w Prawie atomowym [1], gdzie m.in. wprowadzono określenie wyżej wymienionego poziomu odniesienia oraz określono jego poziom jako 300 Bq/m^3. Jak stanowi art. 3 Prawa atomowego, średnioroczne stężenie radonu to wartość stężenia radonu oszacowana na podstawie pomiarów tego stężenia w okresie nie krótszym niż miesiąc, odpowiadająca średniemu stężeniu radonu w powietrzu w okresie roku kalendarzowego. Dawki graniczne, stanowiące sumę dawek pochodzących od narażenia zewnętrznego i wewnętrznego, w przypadku pracowników obejmują sumę: rocznego narażenia ze wszystkich rodzajów działalności związanych z narażeniem, narażenia na radon w miejscach pracy wymagającego powiadomienia oraz narażenia w sytuacji narażenia istniejącego. Zgodnie z art. 4 pkt 1a Prawa atomowego [1] powiadomienie – w zakresie ochrony radiologicznej – odnosi się do:

- wykonywania pracy w miejscach pracy, w których – mimo podjęcia działań zgodnie z zasadą optymalizacji – stężenie radonu wewnątrz pomieszczeń przekracza poziom odniesienia 300 Bq/m^3;
- wykonywania pracy w miejscach pracy pod ziemią, w których – mimo podjęcia działań zgodnie z zasadą optymalizacji – poziom stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu wskazuje na możliwość otrzymania przez pracownika dawki skutecznej (efektywnej) większej niż 1 mSv rocznie.

Istotne jest zwłaszcza, że zgodnie z art. 23c pkt 1 Prawa atomowego [1] kierownicy jednostek wykonujących działalność, w której występują miejsca pracy:

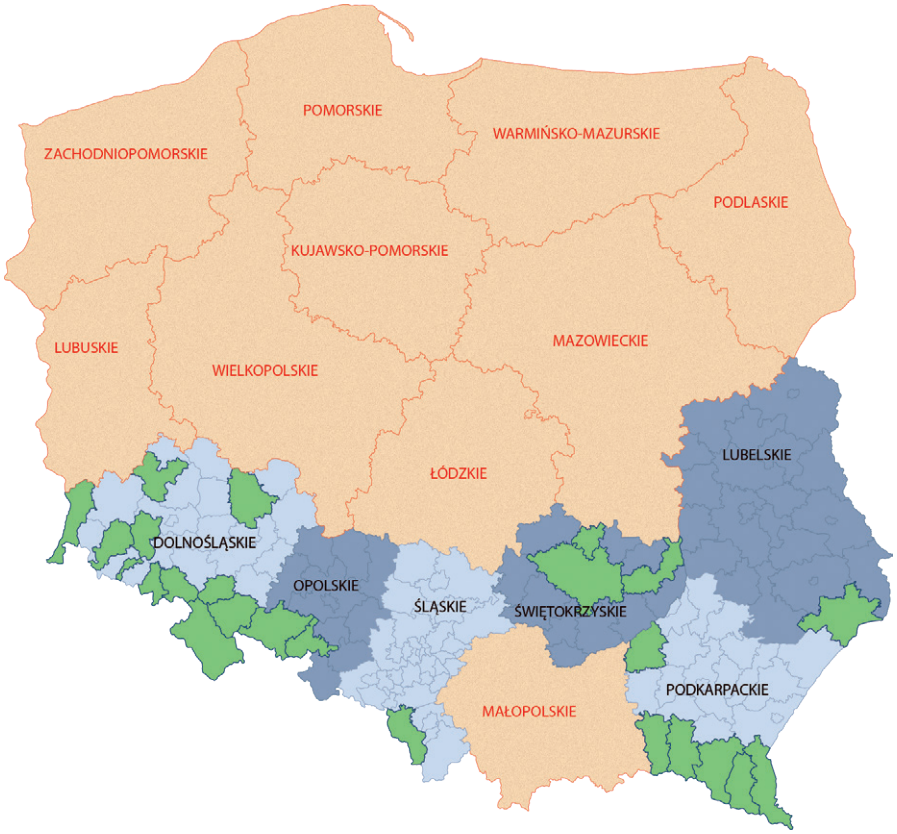
- zlokalizowane wewnątrz pomieszczeń na poziomie parteru lub piwnicy na terenach wskazanych przez Ministra Zdrowia, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu w znacznej liczbie budynków może przekroczyć poziom odniesienia 300 Bq/m^3;
- pod ziemią;
- związane z uzdatnianiem wód podziemnych na terenach wskazanych przez Ministra Zdrowia, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu w znacznej liczbie budynków może przekroczyć ww. poziom odniesienia;

są zobowiązani do zapewnienia w tych miejscach pracy pomiaru stężenia radonu lub stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu.

Według art. 23e Prawa atomowego [1] pomiary te powinny być prowadzone przez laboratoria mające akredytację Polskiego Centrum Akredytacji, Główny Inspektor Sanitarny prowadzi zaś działania mające na celu identyfikację terenów, na których wewnątrz pomieszczeń w znacznej liczbie budynków poziom średniorocznego stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu może przekroczyć poziom odniesienia.

Minister właściwy ds. zdrowia określił w drodze rozporządzenia [14] tereny, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu wewnątrz pomieszczeń w znacznej liczbie budynków może przekraczać poziom odniesienia 300 Bq/m^3. Tereny te obejmują 27 powiatów zlokalizowanych w województwach: dolnośląskim, opolskim, podkarpackim, świętokrzyskim, lubelskim i śląskim. Są to powiaty, w których stwierdzono stężenie uranu U-238 w strukturach geologicznych powyżej 4 g/t, a także powiaty, w których stwierdzono w badanych ujęciach wody stężenie radonu powyżej 100 Bq/l (rys. 2) [15].

Krajowy plan działania w przypadku długoterminowych zagrożeń wynikających z narażenia na radon w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi oraz w miejscach pracy [15] znacznie rozszerza listę rodzajów miejsc pracy i budynków potencjalnie narażonych na występowanie podwyższonego stężenia radonu,



Rys. 2. Powiaty (oznaczone kolorem zielonym) wskazane w rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie terenów, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu wewnątrz pomieszczeń w znacznej liczbie budynków może przekraczać poziom odniesienia (źródło: opracowanie własne)

Fig. 2. Counties (marked in green) indicated in the Regulation of the Minister of Health on areas where the average annual radioactive concentration of radon in indoor air in a significant number of buildings may exceed the reference level (source: own study)

m.in. o: podziemne trasy turystyczne, jaskinie, sanatoria i ośrodki spa wykorzystujące radon w celach leczniczych, miejsca wydobywania ropy naftowej, gazu ziemnego lub rud metali, budynki użyteczności publicznej, stacje uzdatniania wody, podziemne parkingi, magazyny, stacje metra i tunele, jeśli stanowią miejsce pracy.

Rola kierowników jednostek organizacyjnych

Przepisy Prawa atomowego [1] obligują kierowników jednostek organizacyjnych do zapewnienia optymalizacji narażenia pracowników wykonujących pracę w tych miejscach oraz informowania na bieżąco na piśmie swoich pracowników o:

- zwiększonym narażeniu na radon,
- wynikach pomiarów stężenia radonu lub stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu w miejscu pracy,
- otrzymanych przez nich dawkach promieniowania,
- działaniach podejmowanych w celu ograniczenia narażenia na radon w miejscu pracy.

Jeżeli wspomniany wynik pomiaru wskazuje na możliwość przekroczenia poziomu odniesienia 300 Bq/m^3, kierownik musi podjąć działania zapewniające ograniczenie narażenia pracowników na radon. Podobne działania należy podjąć, gdy narażenie pracowników na otrzymanie dawki skutecznej (efektywnej) jest większe niż 1 mSv rocznie w miejscach pracy pod ziemią lub w miejscu związanym z uzdatnianiem wód podziemnych. O ile podjęte działania wciąż nie ograniczają stężenia radonu w miejscu pracy, pracownika narażonego na otrzymanie dawki skutecznej (efektywnej) w przedziale 1–6 mSv/rok należy zakwalifikować jako pracownika kategorii B, a pracownika narażonego na otrzymanie dawki skutecznej powyżej 6 mSv/rok – jako pracownika kategorii A. Schemat postępowania przedstawiono na rys. 3.

Zgodnie z art. 13 Prawa atomowego [1] dawki graniczne nie obejmują narażenia na promieniowanie naturalne, jeżeli narażenie to nie zostało zwiększone w wyniku działalności człowieka, a zwłaszcza nie obejmują narażenia pochodzącego od radonu w budynkach mieszkalnych.

Procedura pomiaru radonu w miejscach pracy

Jak wspomniano wcześniej, zgodnie z przepisami Prawa atomowego [1] obowiązek przeprowadzania pomiarów stężenia radonu dotyczy miejsc pracy znajdujących się wewnątrz budynków, na poziomie parteru lub w piwnicach, a także stacji uzdatniania wody oraz stanowisk pracy zlokalizowanych pod ziemią. Dwa pierwsze przypadki odnoszą się wyłącznie do miejsc pracy położonych na terenie 27 powiatów w południowej Polsce, wskazanych w przepisach wykonawczych [14] jako obszary o podwyższonym potencjale radonowym.

Pomiary stężenia radonu w miejscach pracy zlokalizowanych pod ziemią, ze względu na charakterystykę rozprzestrzeniania się tego gazu, obowiązują na terenie całej Polski.

W związku z tym, że w przepisach Prawa atomowego [1] nie podano definicji „pomieszczenia pracy", przyjmuje się definicję zawartą w ogólnych przepisach bhp [16]. Zgodnie z nią za pomieszczenie pracy uznaje się miejsce, w którym łączny czas przebywania tych samych pracowników podczas jednej zmiany roboczej przekracza dwie godziny, a wykonywane czynności mają charakter stały – tj. nie są pracą dorywczą ani krótkotrwałym przebywaniem związanym wyłącznie z dozorem, konserwacją urządzeń czy utrzymaniem czystości i porządku.

W pomieszczeniach pracy stosuje się zasadę rozmieszczenia co najmniej jednego detektora radonu na każde pomieszczenie. Jeśli powierzchnia danego pomieszczenia przekracza 150 m^2, zaleca się umieszczenie co najmniej jednego detektora na każde 150 m^2 lub – w przypadku bardzo dużych obiektów – rozmieszczenie detektorów w miejscach, w których rzeczywiście znajdują się stanowiska pracy.

Inaczej wygląda sytuacja w przypadku podziemnych tras turystycznych. Tam detektory rozmieszczane są w równych odstępach wzdłuż trasy lub w punktach, w których przewodnik zatrzymuje się na dłużej, np. przy eksponatach lub punktach informacyjnych.

Obecnie brak jest obowiązujących przepisów prawnych, które jednoznacznie określałyby, kiedy należy przeprowadzać pomiary stężenia radonu w miejscach pracy. Istnieją jednak zalecenia, zawarte w „Krajowym planie działania w przypadku długoterminowych zagrożeń wynikających z narażenia na radon w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi oraz w miejscach pracy" [9, 15]. Zalecenia te wskazują na tzw. miesiące grzewcze, obejmujące okres od października do końca marca. Wybór tego terminu nie jest przypadkowy – wynika on z faktu, że głównym źródłem radonu w Polsce jest powietrze glebowe, które przenika



Rys. 3. Schemat postępowania (źródło: opracowanie własne)
Fig. 3. Procedure diagram (source: own study)

do wnętrza budynków w wyniku wspomnianego wcześniej efektu kominowego. Zjawisko to jest szczególnie intensywne w miesiącach zimowych, gdy różnica pomiędzy temperaturą wewnątrz budynku a temperaturą powietrza na zewnątrz jest największa. W związku z tym pomiary wykonywane w okresie grzewczym dają najbardziej reprezentatywne wyniki, ponieważ to właśnie wtedy stężenie radonu wewnątrz budynków osiąga najwyższe wartości.

Bardzo istotne jest to, aby pomiary stężenia radonu prowadzić w czasie rutynowego użytkowania budynku – czyli z wyłączeniem okresów świątecznych, ferii (np. w przypadku szkół), remontów oraz innych przerw w normalnym funkcjonowaniu obiektu. W czasie, gdy budynek nie jest użytkowany, stężenie radonu może być znacznie wyższe. Wynika to głównie z ograniczonej wentylacji – rzadziej otwierane są okna i drzwi, a w wielu przypadkach system wentylacyjny jest całkowicie wyłączany. Brak odpowiedniej wymiany powietrza sprzyja gromadzeniu się radonu w pomieszczeniach. Wyniki pomiarów wykonanych w takich warunkach mogą nie być miarodajne, ponieważ nie odzwierciedlają rzeczywistego narażenia użytkowników budynku i – co więcej – mogą skutkować niepotrzebnymi kosztami związanymi z wdrażaniem działań naprawczych mających na celu obniżenie stężenia radonu (mimo że podczas codziennego użytkowania budynku poziom radonu mieściłby się w dopuszczalnych granicach).

Pomiary stężenia radonu w miejscach pracy zazwyczaj przeprowadza się za pomocą detektorów śladowych (zob. fot. na s. 16). Choć metoda ta nie jest bezpośrednio określona w przepisach prawnych, to jej stosowanie wynika z zaleceń zawartych w krajowym planie radonowym [15]. Biorąc pod uwagę, że Prawo atomowe [1] wskazuje, iż pomiar powinien trwać co najmniej miesiąc, stosowanie detektorów śladowych wydaje się obecnie najbardziej uzasadnionym podejściem, zważywszy na ich niski koszt, prostotę obsługi i możliwość uzyskania za ich pomocą wysokiej jakości danych. Detektory te są wykonane z poliwęglanu allilo-diglikolowego (PADC) i występują pod różnymi nazwami handlowymi, np. CR-39 czy TASTRAK. Są to cienkie płytki z tworzywa sztucznego, czułe na promieniowanie alfa. W momencie gdy cząstka alfa uderza w powierzchnię płytki, powoduje uszkodzenie wiązań chemicznych, tworząc tzw. utajony tor. Po zakończeniu ekspozycji płytki poddaje się procesowi wytrawiania w roztworze wodorotlenku sodu, co umożliwia uwidocznienie śladów torów alfa. Są one następnie analizowane pod mikroskopem – widoczne jako ciemne kropki. Jeśli system pomiarowy został prawidłowo skalibrowany, to na podstawie liczby zarejestrowanych śladów możliwe jest wyliczenie średniego stężenia radonu w okresie ekspozycji.

Prawo atomowe [1] wskazuje, że czas pomiaru stężenia radonu nie powinien być krótszy niż miesiąc, jednak w praktyce większość akredytowanych laboratoriów rekomenduje pomiar trwający trzy miesiące lub nawet dwanaście miesięcy (najczęściej wykonywany w czterech pomiarach kwartalnych). Dłuższy okres ekspozycji pozwala na uzyskanie bardziej reprezentatywnych i miarodajnych wyników, ponieważ uwzględnia naturalne wahania stężenia radonu występujące w różnych porach roku. Zmiany te zależą od wielu czynników, w tym od warunków środowiskowych, tj. temperatury, wilgotności, ciśnienia atmosferycznego czy intensywności wentylacji budynku.

Istotne jest, że w celu wyznaczenia średniorocznego stężenia radonu trzeba wykonać pomiar trwający dwanaście miesięcy. W przypadku krótszych pomiarów należy się spodziewać, że w świadectwie z badań zostanie umieszczona informacja, iż uzyskane wyniki wskazują lub nie wskazują na możliwość przekroczenia poziomu odniesienia, jeśli warunki ekspozycji nie ulegną znaczącej zmianie.



Fot. Detektory śladowe (fot. Zuzanna Pawłowska, CLOR)
Photo. Trace detectors (photo: Zuzanna Pawłowska, CLOR)

Pomiary radonu w miejscach pracy są wykonywane przez akredytowane laboratoria. Aktualną listę akredytowanych przez Polskie Centrum Akredytacji (PCA) laboratoriów oferujących pomiary radonu w powietrzu metodą pasywną można znaleźć na stronie internetowej PCA (www.pca.gov.pl). W lipcu 2025 r. na tej liście figurowały (kolejność alfabetyczna): Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (Warszawa), Główny Instytut Górnictwa (Katowice), Instytut Fizyki Jądrowej PAN (Kraków), Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera (Łódź) oraz Narodowe Centrum Badań Jądrowych (Otwock/Świerk).

Detektory należy rozmieszczać w pomieszczeniach pracy zgodnie z instrukcją dostarczoną przez laboratorium, które je udostępnia. Prawidłowe rozmieszczenie detektorów jest kluczowe dla uzyskania wiarygodnych wyników pomiaru. Po zakończeniu okresu ekspozycji detektory trzeba niezwłocznie odesłać do laboratorium w celu analizy. Zaleca się skorzystanie z usług firmy kurierskiej, ponieważ zapewnia ona krótszy czas dostawy i tym samym ogranicza ryzyko dodatkowej, niekontrolowanej ekspozycji detektorów. W miarę możliwości powinno się unikać nadawania przesyłki w piątki lub tuż przed dniami wolnymi od pracy – pozwoli to zminimalizować czas, w którym detektory przebywają poza kontrolowanym środowiskiem, np. w sortowniach lub w magazynach przewoźników.

Postępowanie po przekroczeniu poziomu odniesienia 300 Bq/m³

Po uzyskaniu wyników pomiarów wskazujących na przekroczenie poziomu 300 Bq/m³ kierownik jednostki organizacyjnej powinien w pierwszej kolejności pisemnie poinformować pracowników o zwiększonym narażeniu na radon. Następnie należy podjąć działania mające na celu ograniczenie tego narażenia. Aby skutecznie wdrożyć odpowiednie środki, konieczne jest zidentyfikowanie źródła radonu w budynku. W tym celu przeprowadza się tzw. wizję lokalną, czyli szczegółową ocenę warunków panujących na miejscu. Wizja lokalna realizowana jest przy użyciu monitorów radonu, które umożliwiają identyfikację potencjalnych dróg przenikania gazu do wnętrza obiektu. Cennym uzupełnieniem procesu diagnostycznego są również kamery termowizyjne. Choć nie pozwalają one na bezpośredni pomiar stężenia radonu, umożliwiają wykrycie nieszczelności w konstrukcji budynku, przez które radon może się przedostawać do wnętrza. Warto jednak pamiętać, że nie zawsze da się jednoznacznie wskazać przyczyny podwyższonego stężenia – w niektórych przypadkach eksperci mogą jedynie nakreślić najbardziej prawdopodobne scenariusze.

Należy zaznaczyć, że wartość poziomu odniesienia wynosząca 300 Bq/m³ nie stanowi bezwzględnej granicy stężenia, której w żadnym wypadku nie wolno przekroczyć. Jest to wartość, przy której zaleca się podjęcie działań mających na celu ograniczenie narażenia na radon. W praktyce zdarza się jednak, że obniżenie stężenia radonu w miejscu pracy jest technicznie niemożliwe lub niewskazane ze względów środowiskowych. Przykładem mogą być jaskinie, gdzie zastosowanie systemów wentylacyjnych mogłoby naruszyć delikatny mikroklimat i prowadzić do degradacji unikalnych formacji skalnych. W takich przypadkach kluczowe staje się zastosowanie odpowiednich środków organizacyjnych i ochronnych, aby pracownikom zapewnić bezpieczeństwo mimo utrzymującego się wysokiego stężenia radonu.

W miarę możliwości podejmowane są działania mające na celu obniżenie stężenia radonu w środowisku pracy. Dobór odpowiednich rozwiązań technicznych w zakresie ograniczania jego poziomu powinien być poprzedzony:

- identyfikacją źródła radonu,
- określeniem wartości stężenia radonu wewnątrz budynku,
- rozpoznaniem mechanizmów transportu, czyli dróg wnikania radonu do wnętrza obiektu.

W zależności od technicznych możliwości oraz specyfiki danego obiektu stosuje się dwa główne podejścia:

- działania mające na celu ograniczenie lub eliminację źródła radonu poprzez zapobieganie jego przedostawaniu się do budynku lub spowolnienie tego procesu (działania prewencyjne),
- środki techniczne służące redukcji stężenia radonu już obecnego wewnątrz budynku (działania zaradcze).

Skuteczna strategia ograniczania narażenia zazwyczaj opiera się na połączeniu obu podejść, dostosowanych do warunków konkretnego miejsca [17].

Po zakończeniu działań naprawczych lub prewencyjnych należy przeprowadzić ponowny pomiar stężenia radonu w celu zweryfikowania skuteczności wdrożonych rozwiązań. Tylko w ten sposób można ocenić, czy podjęte środki rzeczywiście doprowadziły do obniżenia poziomu narażenia pracowników do akceptowalnego poziomu.

W sytuacji gdy nie udaje się skutecznie zoptymalizować narażenia pracowników poprzez obniżenie stężenia radonu, zaleca się przeprowadzenie obliczeń rocznej dawki efektywnej w celu oszacowania rzeczywistego poziomu narażenia. Jeśli dawka ta przekracza 1 mSv w ciągu roku, pracowników należy zakwalifikować do odpowiedniej kategorii narażenia na promieniowanie jonizujące. W przypadku wartości mieszczących się w przedziale od 1 do 6 mSv/rok pracownicy

zaliczani są do kategorii B, natomiast jeśli dawka przekracza 6 mSv/rok, zostają oni zakwalifikowani do kategorii A. Przynależność do danej grupy wiąże się z konkretnymi wymaganiami formalnymi i organizacyjnymi, m.in. w zakresie nadzoru i monitorowania narażenia. W takich przypadkach konieczne jest zwłaszcza zapewnienie wsparcia inspektora ochrony radiologicznej oraz wdrożenie dodatkowych procedur mających na celu ochronę zdrowia pracowników.

Rola inspektora ochrony radiologicznej

Inspektor ochrony radiologicznej jest osobą posiadającą odpowiednie kwalifikacje i uprawnienia określone w rozporządzeniu w sprawie inspektorów ochrony radiologicznej [18]. Do jego głównych zadań należą m.in.: nadzór nad przestrzeganiem przepisów i procedur w zakresie ochrony przed promieniowaniem jonizującym, opracowanie programu pomiarów dozymetrycznych, prowadzenie wykazu źródeł promieniowania jonizującego, informowanie i szkolenie pracowników w zakresie ochrony radiologicznej, współpraca ze służbą bhp oraz wydawanie kierownikowi jednostki organizacyjnej opinii w zakresie ochrony przed promieniowaniem jonizującym. Zakres uprawnień inspektora ochrony radiologicznej obejmuje również: występowanie do kierownika z wnioskiem o zmianę warunków pracy pracowników, sprawdzanie kwalifikacji pracowników w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz występowanie do kierownika jednostki o wprowadzenie zmian w instrukcjach pracy [1].

W kontekście nowych obowiązków wynikających z wdrożenia dyrektywy 2013/59/Euratom [12] oraz krajowego planu radonowego [15] rola inspektora ochrony radiologicznej zyskuje szczególne znaczenie. W wielu przypadkach – głównie wtedy, gdy pracodawcy nie mają wcześniejszego doświadczenia z zagadnieniami ochrony radiologicznej – inspektor stanowi kluczowe ogniwo w zapewnieniu zgodności z wymaganiami bhp oraz w ocenie ryzyka radiacyjnego związanego z obecnością radonu w środowisku pracy i zarządzaniu tym ryzykiem.

Podsumowanie

Oszacowanie narażenia pracowników na radon w środowisku pracy jest złożonym procesem, który wymaga interdyscyplinarnego podejścia oraz współpracy ekspertów z różnych dziedzin. Niezbędne jest zaangażowanie nie tylko specjalistów od ochrony radiologicznej i pomiarów radonu, lecz także ekspertów w zakresie konstrukcji budynków, systemów wentylacyjnych, geologii czy bezpieczeństwa i higieny pracy.

Warto podkreślić, że pomiary stężenia radonu są kluczowe dla oceny ryzyka zdrowotnego – to one stanowią podstawę do podejmowania decyzji o działaniach technicznych i organizacyjnych oraz o ewentualnej klasyfikacji pracowników do odpowiednich kategorii narażenia na promieniowanie jonizujące. Pomiary te powinny być wykonywane przez akredytowane laboratoria badawcze, dysponujące odpowiednim sprzętem, wiedzą i doświadczeniem.

Ze względu na fakt, że Prawo atomowe [1] nie precyzuje wszystkich procedur i wymagań w sposób szczegółowy, a wiele zagadnień ujęto jedynie w formie zaleceń i rekomendacji, w razie wątpliwości warto się skonsultować z lokalną stacją sanitarno-epidemiologiczną. Jednostki te udzielają fachowego wsparcia w interpretacji przepisów oraz w planowaniu działań zgodnych z obowiązującym stanem prawnym. Pomoc merytoryczną oferują również wspomniane wcześniej akredytowane laboratoria, które nie tylko wykonują pomiary, lecz także wspierają w analizie wyników i planowaniu działań naprawczych.

Zrealizowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy", finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Projekt nr III.PN.09 pt. „Analiza skuteczności dostępnych środków służących ograniczaniu stężeń radonu oraz identyfikacja dedykowanych środków ochrony pracowników". Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

BIBLIOGRAFIA

[1] Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe (t.j. Dz.U. z 2024 r. poz. 1277 z późn. zm.).

[2] *Raport Roczny 2024. Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2024 r.*, Warszawa: PAA, 2025; https://www.gov.pl/web/paa/raport-roczny-prezesa-paa.

[3] Manawi Y. i in., *Overview of Radon Gas in Groundwater around the World: Health Effects and Treatment Technologies*, „Journal of Environmental Management", 2024, 368: 122176; doi: 10.1016/j.jenvman.2024.122176.

[4] Gunning G.A., Pollard D., Finch E.C., *An Outdoor Radon Survey and Minimizing the Uncertainties in Low Level Measurements Using CR-39 Detectors*, „Journal of Radiological Protection", 2014, 34(2): 457–467; doi: 10.1088/0952-4746/34/2/457.

[5] Kubiak A., Zimnoch M., *Assessment of the Nocturnal Boundary Layer Height Based on Long-Term Atmospheric Radon Measurements*, „Frontiers in Earth Science", 2022, 10: 955791; doi: 10.3389/feart.2022.955791.

[6] López-Abente G. i in., *Residential Radon and Cancer Mortality in Galicia, Spain*, „Science of The Total Environment", 2018, 610–611: 1125–1132; doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.144.

[7] Hung L.C. i in., *Investigation of Sub-Slab Pressure Field Extension in Specified Granular Fill Materials Incorporating a Sump-Based Soil Depressurisation System for Radon Mitigation*, „Science of The Total Environment", 2018, 637–638; doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.401.

[8] Riudavets M. i in., *Radon and Lung Cancer: Current Trends and Future Perspectives*. „Cancers", 2022, 14: 3142; doi: 10.3390/cancers14133142.

[9] Grządziel D. i in., *The Influence of Air Conditioning Changes on the Effective Dose Due to Radon and Its Short-Lived Decay Products*. „Nukleonika", 2016, 61(3): 239–244; doi: 10.1515/nuka-2016-0040.

[10] Bräuner E.V. i in. *Residential Radon and Brain Tumour Incidence in a Danish Cohort*. „PLOS", 2013, 8(9): e74435; doi: 10.1371/journal.pone.0074435.

[11] Henshaw D.L., Eatough J.P., Richardson R.B., *Radon as a Causative Factor in Induction of Myeloid Leukaemia and Other Cancers*, „Lancet", 1990, 335(8696): 1008–1012; doi: 10.1016/0140-6736(90)91071-h.

[12] 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 (Dz.Urz. UE L z 17 stycznia 2014 r., s. 1–73).

[13] Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy (t.j. Dz.U. z 2025 r. poz. 277).

[14] 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 (Dz.U. z 2020 r. poz. 1139).

[15] 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).

[16] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (t.j. Dz.U. z 2003 r. nr 169, poz. 1650 z późn. zm.).

[17] Pawłowska Z. i in., *Dostępne rozwiązania techniczne służące ograniczaniu stężeń radonu*, „Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna", 2024, 2(132): 7–13; https://www.gov.pl/web/paa/biuletyn-bezpieczenstwo-jadrowe-i-ochrona-radiologiczna-22024.

[18] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 marca 2021 r. w sprawie inspektorów ochrony radiologicznej (Dz.U. z 2021 r. poz. 640).