



PAŃSTWOWA
AGENCJA
ATOMISTYKI

RADON W BUDYNKACH

*Materiał informacyjno-edukacyjny przygotowany
został przez Państwową Agencję Atomistyki*

Warszawa 2025

www.gov.pl/web/paa

Opracowanie:

Łukasz Koszuk

Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej

Konsultacja prawna:

Robert Bobkier

Abraham & Ben Hadar Law and Audit

© Państwowa Agencja Atomistyki, Warszawa 2025

Spis treści

Rozdział 1 Wprowadzenie do problematyki radonu	6
1.1 Zadania i działalność Państwowej Agencji Atomistyki w zakresie radonu.....	7
1.2 Naturalne źródła promieniowania jonizującego	7
1.3 Czym jest radon i dlaczego nim się zajmujemy?.....	11
1.4 Naturalne źródła radonu	13
1.5 Jak radon przenika do wnętrza budynków i co wpływa na jego koncentrację?	17
Rozdział 2 Metody detekcji i monitorowania radonu	19
2.1 Metody pomiaru radonu	19
2.1.1 Metody pasywne	19
2.1.2 Metody aktywne.....	20
2.1.3 Specjalistyczne pomiary	20
2.1.4 Kryteria wyboru metody pomiarowej	20
2.2 Zasada działania detektorów pasywnych i aktywnych.....	21
2.2.1 Detektory pasywne.....	21
2.2.2 Detektory aktywne	24
2.3 Inne techniki pomiarowe	25
2.3.1 Metody pomiaru stężenia radonu w powietrzu glebowym	25
2.3.2 Metody pomiaru stężenia aktywności radonu w wodzie	26
2.4 Techniki monitorowania poziomu radonu w nowych budynkach	26
2.4.1 Projektowanie prewencyjne i monitorowanie na etapie budowy.....	26
2.4.2 Pierwsze pomiary w nowych budynkach.....	26
2.4.3 Długoterminowe monitorowanie poziomu radonu	27
2.4.4 Specjalistyczne techniki monitorowania.....	27
2.5. Częstotliwość i metody prowadzenia pomiarów	27
2.5.1 Obowiązki wynikające z ustawy – Prawa atomowego	27
2.5.2 Zalecana częstotliwość pomiarów	28
2.5.3 Metody prowadzenia pomiarów	28
2.6 Jak odczytywać i interpretować wyniki pomiarów?.....	29
2.6.1 Jednostki i zakres wyników pomiarów	29
2.6.2. Czynniki wpływające na odczyt i interpretację wyników	29
2.6.3 Dawka skuteczna od radonu	29
2.6.4 Interpretacja wyników pomiarów w kontekście zdrowotnym oraz procedura postępowania.....	30
2.6.5 Znaczenie dokumentacji wyników.....	30

2.7 Identyfikacja potencjalnych zagrożeń	31
2.8 Znaczenie akredytacji	31
Rozdział 3 Metody minimalizacji ryzyka związanego z radonem.....	33
3.1 Nowe budynki.....	34
3.1.1 Projektowanie budynków w strefach o wysokim poziomie radonu	34
3.1.2 Inżynierskie rozwiązania przeciwradonowe w nowym budownictwie.....	35
3.1.4 Monitorowanie poziomu radonu w nowych budynkach.....	39
3.2 Zmniejszanie radonu w budynkach z podwyższonym poziomem radonu	40
3.2.1 Identyfikacja źródeł radonu i ocena problemu.....	40
3.2.2 Uszczelnianie budynków	42
3.2.3 Wentylacja w istniejących budynkach	43
3.2.4 Systemy aktywnego odprowadzania radonu.....	44
3.2.4 Inne techniki redukcji radonu	46
3.2.5 Monitorowanie długoterminowe po wdrożeniu działań	46
Rozdział 4 Akty prawne dotyczące radonu – krajowe i międzynarodowe regulacje.....	48
4.1 Dyrektywa Rady 2013/59/Euratom	48
4.2 Zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia dotyczące radonu.....	49
4.2.1 WHO Handbook on Indoor Radon	50
4.2.2 Global Health Observatory (GHO).....	50
4.3. Zalecenia Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej dotyczące ochrony przed promieniowaniem w kontekście radonu	51
4.4 Przepisy krajowe – ustawa – Prawo atomowe.....	53
4.4.1 Artykuły ustawy – Prawo atomowe dotyczące radonu	53
4.5 Krajowe przepisy wdrażające międzynarodowe regulacje dotyczące radonu.....	54
4.5.1 Krajowy plan działania w przypadku długoterminowych zagrożeń wynikających z narażenia na radon w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi oraz w miejscach pracy.....	54
4.5.2 Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi	55
4.5.3 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. poz. 1139).....	55
4.6 Ogólne zobowiązania państwowe wynikające z omówionych regulacji.....	55
Rozdział 5 Szczegółowe regulacje prawne dotyczące radonu – obowiązki i konsekwencje... 57	57
5.1 Poziom odniesienia dla średniorocznego stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu (art. 23b P.a.).....	57

5.1.1 Poziom odniesienia	58
5.1.2 Pomiary średniorocznego stężenia radonu w powietrzu.....	58
5.1.3 Miejsce pracy	59
5.1.4 Pomieszczenia.....	59
5.1.5 Pomieszczenia przeznaczone na pobyt ludzi	59
5.2 Obowiązki kierowników jednostek o charakterze powszechnym	60
5.2.1 Obowiązek pomiaru stężenia radonu	60
5.2.2 Obowiązki optymalizacyjno-informacyjne kierowników jednostek	62
5.2.3 Powszechność obowiązków z art. 23c ust. 1 i 2 P.a.....	63
5.3 Następstwa przekroczenia poziomu odniesienia	63
5.3.1 Kwalifikacja pracowników jako pracowników kategorii B.....	63
5.3.2 Kwalifikacja pracowników jako pracowników kategorii A.....	65
5.3.3 Powiadomienie w zakresie ochrony radiologicznej.....	66
5.4 Radon a jednostki systemu oświaty	67

Rozdział 1 Wprowadzenie do problematyki radonu

Radon to naturalny, radioaktywny gaz szlachetny, który w szczególnych warunkach może stanowić zagrożenie dla zdrowia człowieka. Choć otacza nas wiele źródeł promieniowania jonizującego – od przestrzeni kosmicznej, przez glebę, po nasze własne ciała – większość z nich nie wpływa negatywnie na nasze życie. Radon jest jednak wyjątkiem. Powstaje w wyniku naturalnych procesów zachodzących w skorupie ziemskiej i może przedostawać się do wnętrza budynków, gromadząc się w powietrzu, którym oddychamy.

Najważniejsze informacje o radonie:

- Radon to naturalny, radioaktywny gaz szlachetny, powstający w wyniku rozpadu uranu i toru w skorupie ziemskiej. Jest bezbarwny, bezwonny i bez smaku, co czyni go trudnym do wykrycia bez specjalistycznych narzędzi.
- Najważniejszym izotopem jest radon-222, którego okres połowicznego rozpadu wynosi 3,824 dnia. Powstaje w łańcuchu rozpadu uranu-238.
- Radon emituje promieniowanie alfa, które charakteryzuje się dużą zdolnością jonizacji, ale krótkim zasięgiem. Produkty rozpadu radonu, takie jak polon, bizmut i ołów, również są promieniotwórcze.
- Radon uwalnia się z podłoża (gleba, skały, woda gruntowa) oraz materiałów budowlanych zawierających śladowe ilości uranu i toru.
- Radon odpowiada za 3–14% przypadków raka płuc na świecie. Jest drugim po paleniu tytoniu czynnikiem ryzyka.
- Radon przedostaje się przez szczeliny w fundamentach, nieszczelności instalacyjne, a także przez materiały budowlane i wodę gruntową.
- Na otwartej przestrzeni stężenie radonu wynosi 5–15 Bq/m³, ale w zamkniętych pomieszczeniach może osiągać setki Bq/m³.
- Czynniki wpływające na stężenie radonu to: geologia podłoża, stan techniczny fundamentów, konstrukcja budynku, materiały budowlane i warunki atmosferyczne.
- Najwyższe stężenia radonu występują zimą i wiosną, a najniższe latem i jesienią, co wynika z różnic w wymianie powietrza i warunków geologicznych.
- W Polsce istnieją regiony o podwyższonym potencjale radonowym, szczególnie w Sudetach, na Podkarpaciu i w województwie dolnośląskim.
- Państwowa Agencja Atomistyki monitoruje, prowadzi działania edukacyjne i promuje dobre praktyki budowlane, aby ograniczyć ryzyko związane z radonem.

1.1 Zadania i działalność Państwowej Agencji Atomistyki w zakresie radonu

Państwowa Agencja Atomistyki (PAA) jest centralnym organem administracji publicznej, którego nadrzędnym celem jest zapewnienie bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej w Polsce. Działania PAA obejmują szeroki zakres obowiązków – od nadzoru nad wykorzystaniem promieniowania jonizującego, po prowadzenie działań edukacyjnych i kontrolnych związanych z ochroną zdrowia i środowiska przed skutkami promieniowania. Agencja działa na podstawie ustawy Prawo atomowe¹, która szczegółowo reguluje zakres jej kompetencji i odpowiedzialności.

W kontekście radonu, PAA pełni kluczową rolę w realizacji polityki państwa mającej na celu ograniczenie zagrożeń związanych z tym gazem. Zgodnie z zapisami ustawy Prawo atomowe (art. 23g), do zadań Agencji należy między innymi organizacja kampanii informacyjnych promujących stosowanie rozwiązań technicznych, które zapobiegają przenikaniu radonu do budynków. PAA prowadzi również działania edukacyjne i szkoleniowe, których celem jest zwiększenie świadomości społecznej na temat dostępnych środków zapobiegawczych.

Ponadto Agencja monitoruje wdrażanie praktyk budowlanych minimalizujących ryzyko związane z radonem, opracowuje dobre praktyki w tej dziedzinie i upowszechnia je wśród projektantów, specjalistów branży budowlanej oraz inwestorów.

Aktywności te wpisują się w Krajowy plan działania w przypadku narażenia na radon², którego realizacja ma na celu ograniczenie narażenia na radon, szczególnie w budynkach mieszkalnych i miejscach pracy. Współpraca PAA z innymi instytucjami, zarówno naukowymi, jak i administracyjnymi, pozwala na skuteczniejsze monitorowanie i redukcję tego zagrożenia. Dzięki tym inicjatywom Polska systematycznie dąży do poprawy ochrony zdrowia mieszkańców przed negatywnymi skutkami radonu.

1.2 Naturalne źródła promieniowania jonizującego

Promieniowanie jonizujące jest wszechobecnym zjawiskiem, którego źródła możemy podzielić na naturalne i sztuczne. W niniejszym opracowaniu skoncentrujemy się na naturalnych źródłach promieniowania, które otaczają nas od zarania dziejów. Główne źródła naturalnego promieniowania jonizującego to: przestrzeń kosmiczna, radionuklidy w skorupie ziemskiej oraz organizm człowieka i żywność.

Promieniowanie kosmiczne docierające do Ziemi to zjawisko o fascynującej historii odkryć. Jego istnienie zostało potwierdzone w 1912 roku przez Viktora Hessa podczas słynnych eksperymentów balonowych³. Dziś wiemy, że to promieniowanie pochodzi zarówno z naszego Słońca, jak i z bardziej odległych obszarów przestrzeni kosmicznej. Pierwotne promieniowanie kosmiczne składa się głównie z protonów (87%), jąder helu (11%) oraz niewielkich ilości

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

² 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”.

³ American Physical Society. "Physics History". APS News, April 2010.

<https://www.aps.org/archives/publications/apsnews/201004/physicshistory.cfm> (dostęp: grudzień 2024)

cięższych jąder. Kiedy dociera ono do atmosfery ziemskiej, w wyniku zderzeń z cząstkami atmosferycznymi powstają nowe formy promieniowania, określane jako promieniowanie kosmiczne wtórne. Z tego powodu na powierzchnię Ziemi docierają m.in. elektrony, miony, promieniowanie gamma oraz neutrony (choć ich udział przy powierzchni Ziemi jest już znikomy). Promieniowanie kosmiczne jest istotnym źródłem naturalnej dawki promieniowania, której wielkość zależy od wysokości nad poziomem morza.

W skorupie ziemskiej oraz w wodach oceanów znajdują się naturalne izotopy promieniotwórcze, które są pozostałością po procesach formowania się naszej planety. Do najważniejszych z nich należą izotopy potasu (K-40), uranu (U-235, U-238) i toru (Th-232). Te izotopy, dzięki swoim niezwykle długim czasom połowicznego rozpadu, wciąż są źródłem promieniowania alfa, beta i gamma. Izotopy uranu czy toru rozpadają się w złożonych łańcuchach promieniotwórczych (tzw. szeregach promieniotwórczych), które ostatecznie kończą się stabilnym ołowiem.

Szczególnie istotnym izotopem w kontekście promieniowania naturalnego jest potas-40, którego niewielkie ilości znajdują się w naszych organizmach. Aktywność tego izotopu w ciele przeciętnego człowieka (osoba o masie 60 kg) wynosi około 3700 Bq (Bq – bekerel;), co oznacza, że w każdej sekundzie zachodzi w nim tyle rozpadów promieniotwórczych.

Warto wiedzieć!

Aktywność promieniotwórcza wyraża liczbę przemian promieniotwórczych zachodzących w jednostce czasu. Dawniej jednostką aktywności był kiur (Ci), odpowiadający $3,7 \cdot 10^{10}$ rozpadom promieniotwórczym w ciągu sekundy. Obecnie jednostką aktywności w układzie SI jest odwrotność jednostki czasu (1/s), którą nazwano bekerelem (Bq), czyli 1 Bq to 1 rozpad promieniotwórczy w ciągu jednej sekundy.

Naturalne promieniowanie jest również emitowane przez skały i minerały. Skały magmowe, takie jak granit, promieniują znacznie mocniej niż skały osadowe. Na poziom promieniowania wpływa zawartość uranu, toru i potasu w podłożu. Co ciekawe, materiały budowlane, takie jak ceramika czy szkło barwione uranem, również mogą emitować promieniowanie jonizujące.

Ważną składową naturalnego promieniowania jonizującego jest radon – gaz powstający w wyniku rozpadu uranu-238 obecnego w skorupie ziemskiej. Radon-222, będący jego najistotniejszym izotopem, przenika do atmosfery przez szczeliny w podłożu i fundamentach budynków, kumulując się w zamkniętych pomieszczeniach. W efekcie radon odpowiada za około 47% całkowitej dawki promieniowania dla mieszkańca Polski ze źródeł naturalnych.

Całkowita dawka promieniowania jonizującego od źródeł naturalnych otrzymywana przez statystycznego mieszkańca Polski w 2023 roku wyniosła 2,55 mSv⁴. W szczególności radon i jego produkty rozpadu przyczyniły się do dawki na poziomie 1,2 mSv. Szczegóły dotyczące wszystkich składowych przedstawiono w Tabeli 1.

⁴ „Raport roczny Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki za 2023 rok”. Państwowa Agencja Atomistyki, 2023

Tabela 1 Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce skutecznej w Polsce⁴

Składowa	Średnia roczna dawka skuteczna [mSv]	Udział w całkowitej rocznej dawce skutecznej od źródeł naturalnych
Radon	1,2	47%
Promieniowanie gamma	0,67	26%
Promieniowanie kosmiczne	0,32	13%
Ciało człowieka	0,26	10%
Toron	0,1	4%

Warto wiedzieć!

O „dawce” mówimy wówczas, gdy promieniowanie jonizujące oddziałuje na jakiś materiał oraz gdy pragnie się wykryć i opisać rodzaj i skutki tego działania. Na początku należy zatem koniecznie określić ilość energii oddanej materiałowi podczas napromieniowania – dawkę pochłoniętą.

Dawka pochłonięta D to zatem:

$$A = \frac{\text{pochłonięta energia promieniowania jonizującego}}{\text{masa napromieniowanego materiału}}$$

Jej jednostką jest džul/kg; fizycy nadali jej określenie grej (Gy). Dawka pochłonięta określa tylko, jaka ilość energii zostaje przekazana podczas napromieniowania materiału. A jak działa promieniowanie na ludzkie ciało?

Aby przy pomocy wzorów i liczb wyrazić, jak bardzo niebezpieczne jest dane promieniowanie jonizujące oraz jaką promienioczułość mają różne organy i tkanki, Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (ICRP) wprowadziła w 1991 roku tzw. „współczynniki skuteczności”: dla różnych rodzajów promieniowania – „współczynnik skuteczności promieniowania” i dla różnych tkanek biologicznych – „współczynnik względnej skuteczności biologicznej”.

Aby określić skutek działania promieniowania jonizującego typu A na organ B, należy pomnożyć dawkę pochłoniętą tego promieniowania przez współczynnik skuteczności promieniowania dla promieniowania typu A, a następnie przez współczynnik względnej skuteczności biologicznej dla organu B.

Przy pomocy następujących współczynników skuteczności promieniowania⁵ można wyliczyć **dawkę równoważną H_T** (dawka, która deponuje się w organach) z dawki pochłoniętej D :

Rodzaj promieniowania i zakres energii	Współczynnik wagowy promieniowania jonizującego W_R
fotony, wszystkie energie	1
elektrony, miony, wszystkie energie	1
neutrony o energii 1 keV	2,5
neutrony o energii 1 MeV	20,7
protony i piony naładowane	2
cząstki alfa, fragmenty rozszczepienia, ciężkie jony	20

Wzór na dawkę równoważną H_T jest następujący:

$$H_T = W_R \cdot D_R$$

czyli dawka D_R promieniowania typu R działa na tkankę T.

A co w przypadku, gdy chodzi o większą ilość rodzajów promieniowania? Wtedy sumuje się iloczyny poszczególnych dawek pochłoniętych i współczynniki skuteczności promieniowania.

Teraz wybieramy się w głąb ciała: w poniższej tabeli pokazano, ile wynoszą współczynniki wagowe, wyrażające stosunek prawdopodobieństwa skutków wywołanych napromieniowaniem narządu lub tkanki T do prawdopodobieństwa takich skutków, gdzie całe ciało napromieniowane jest równomiernie przy takiej samej wartości dawki, tzw. współczynniki wagowe tkanki⁶.

Tkanki lub organy	Współczynnik wagowy tkanki lub narządu W_T
gruczoły piersiowe	0,12
płuca	0,12
szpik (czerwony)	0,12
okrężnica	0,12
żołądek	0,12

⁵ Współczynniki wagowe promieniowania określone są w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 11 sierpnia 2021 roku w sprawie wskaźników pozwalających na wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego stosowanych przy ocenie narażenia na promieniowanie jonizujące (Dz. U. z 2021 r. poz. 1657)

⁶ Współczynniki wagowe tkanki określone są w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 11 sierpnia 2021 roku w sprawie wskaźników pozwalających na wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego stosowanych przy ocenie narażenia na promieniowanie jonizujące (Dz. U. z 2021 r. poz. 1657)

gonady	0,08
pęcherz moczowy	0,04
wątroba	0,04
tarczycyca	0,04
przełyk	0,04
mózg	0,01
skóra	0,01
powierzchnia kości	0,01
inne organy lub tkanki	0,12

Współczynniki te służą do wyliczenia **dawki skutecznej E** . Wzór przedstawia się następująco:

$$E = \sum_T W_T H_T$$

- sumowanie odbywa się po wszystkich tkankach T.

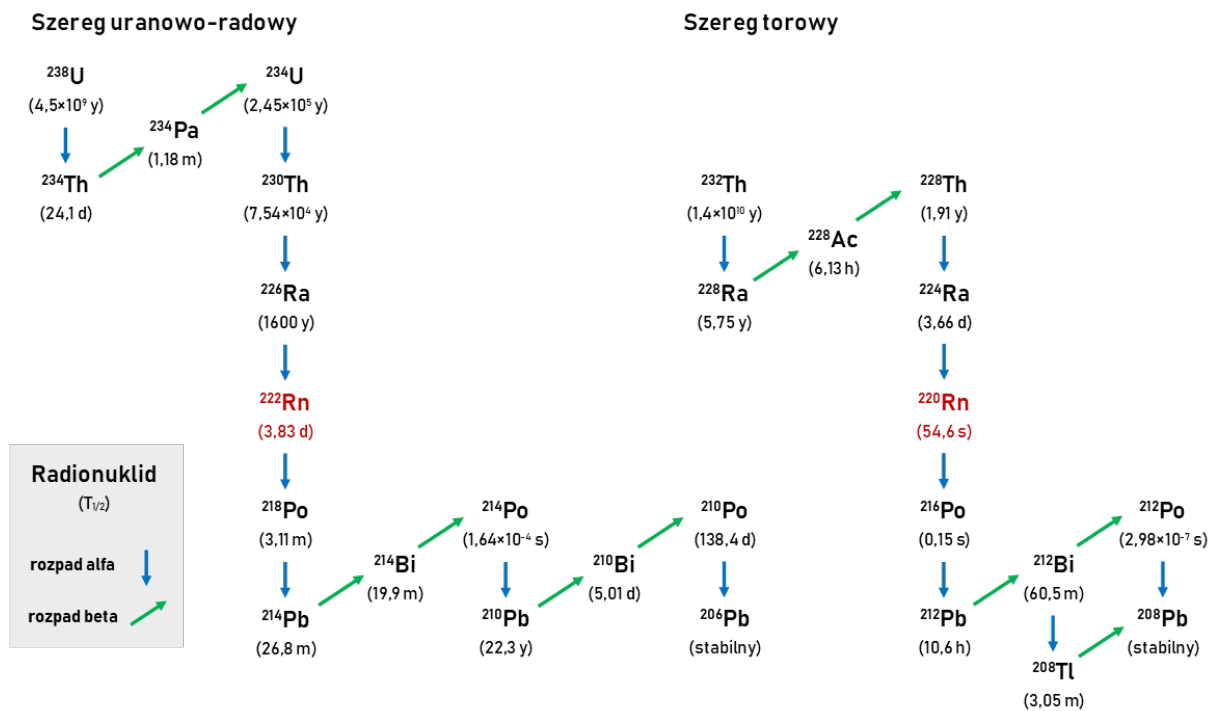
Jednostką dawki skutecznej jest siwert (Sv). Jeden siwert odpowiada jednemu dżulowi na kilogram: $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Najczęściej stosuje się jednostkę – milisiwert – $1000 \text{ mSv} = 1 \text{ Sv}$.

1.3 Czym jest radon i dlaczego nim się zajmujemy?

Radon to naturalnie występujący, radioaktywny gaz szlachetny o symbolu chemicznym Rn i liczbie atomowej 86. W układzie okresowym pierwiastków znajduje się w grupie gazów szlachetnych, co oznacza, że jest chemicznie obojętny i praktycznie nie tworzy związków chemicznych z innymi substancjami. Jest bezbarwny, bezwonny i bez smaku, co sprawia, że nie można go wykryć zmysłami. Radon został odkryty w 1900 roku przez niemieckiego fizyka Friedricha Ernsta Dorna, który początkowo nazwał go „emanacją”⁷.

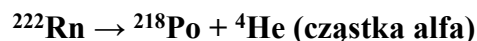
Radon występuje w postaci izotopu Rn-222, który powstaje w łańcuchu rozpadów uranu (tzw. szereg uranowo-radowy) oraz w postaci izotopu Rn-220, powstającego w łańcuchu rozpadu toru (rys. 1). Radon-222 jest znaczący, ponieważ jego okres połowicznego rozpadu wynosi 3,83 dnia i jest najdłuższy w porównaniu do pozostałych izotopów radonu, dla których czas ten jest liczony w sekundach. Gaz ten może uwalniać się z podłoża, przenikać przez szczeliny w fundamentach budynków i kumulować się wewnątrz pomieszczeń. Następnie rozpada się lub może być wchłaniany w czasie oddychania.

⁷ Ł. Koszuc, „Historia odkrycia radonu i badań nad jego wpływem na zdrowie”. *Biuletyn Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna*, Vol. 4/2021, Państwowa Agencja Atomistyki, 2021



Rys. 1 Szeregi promieniotwórcze uranowo-radowy i szereg promieniotwórczy torowy (ozn. $T_{1/2}$ – czas połowicznego rozpadu izotopu), źródło: opracowanie własne autora

W wyniku promieniotwórczego rozpadu radonu-222 emitowane jest promieniowanie alfa (jądro atomu helu-4) i powstają niebezpieczne dla organizmu człowieka produkty rozpadu radonu stanowiące metale ciężkie takie jak: polon, bizmut i ołów. Poniżej przedstawiono schemat rozpadu radonu-222 (Rn-222):



Cząstka alfa składa się z dwóch protonów i dwóch neutronów i ma dużą zdolność jonizacji materii przy jednocześnie bardzo małym zasięgu, co daje największą skuteczność biologiczną spośród wszystkich cząstek jonizujących. Emisja wysoce jonizującej cząstki alfa w połączeniu z produktami jego rozpadu, którymi są izotopy metali ciężkich (to także są izotopy promieniotwórcze), a dodatkowo uwzględniając stan skupienia radonu, umożliwiającą jego łatwe przemieszczanie się, powoduje, że radon stanowi potencjalne zagrożenie dla ludzkiego organizmu.

Najbardziej narażone są drogi oddechowe, ponieważ powietrze z radonem jest wdychane do płuc i wydychane. Szczególnie niebezpieczne jest osadzanie się w drogach układu oddechowego radioaktywnych produktów rozpadu radonu, które ulegają kolejnym procesom rozpadów, w tym alfapromieniotwórczym.

Według Światowej Organizacji Zdrowia (ang. World Health Organization, WHO) radon stanowi 3–14% przypadków zachorowań na nowotwór płuc i zaraz po paleniu papierosów jest głównym czynnikiem narażenia⁸.

Radon występuje wszędzie wokół nas, zarówno na zewnątrz, jak i w pomieszczeniach. Na otwartej przestrzeni jego stężenie jest zazwyczaj niskie (około 5–15 Bq/m³), ale w zamkniętych pomieszczeniach, szczególnie w piwnicach czy budynkach z ograniczoną wentylacją, może osiągać wartości nawet kilkaset razy wyższe. Zrozumienie właściwości radonu oraz sposobów ograniczenia jego stężenia w powietrzu to kluczowe elementy ochrony zdrowia.

1.4 Naturalne źródła radonu

Jak wspomniano już powyżej, radon pochodzi z naturalnych procesów zachodzących w skorupie ziemskiej. Jest produktem rozpadu uranu i toru, które występują w skałach, glebie i wodzie. Te pierwiastki są powszechnie obecne w skorupie ziemskiej, co oznacza, że radon może uwalniać się z praktycznie każdego rodzaju podłoża. Najwięcej radonu powstaje w skałach granitowych, piaskowcach oraz glebach gliniastych, gdzie zawartość uranu i toru jest relatywnie wysoka.

Radon wydostaje się z gleby w wyniku procesów dyfuzji i przepływu gazów przez pory i szczeliny. Na intensywność jego uwalniania wpływają czynniki geologiczne, takie jak porowatość gleby, jej wilgotność oraz obecność barier, takich jak warstwy gliny, które mogą ograniczać emisję gazu na powierzchnię. Ponadto radon może być transportowany w roztworze wodnym lub wraz z gazami glebowymi bardziej przepuszczalnymi drogami, np. poprzez szczeliny, uskoki czy warstwy żwiru. Może to prowadzić do miejscowego wzrostu stężenia radonu w glebie w szczelinach, w obszarze osiadań górskich lub na granicy dwóch rodzajów skał.

Kiedy radon uwalnia się z gleby, miesza się z powietrzem atmosferycznym. Na otwartej przestrzeni jego stężenie jest zazwyczaj bardzo niskie, ponieważ szybko ulega rozcieńczeniu. Problem pojawia się jednak w zamkniętych przestrzeniach, takich jak domy, szkoły czy miejsca pracy. Radon może przenikać do budynków przez szczeliny w fundamentach, rury, przewody instalacyjne czy nawet przez materiały budowlane.

Radon jako produkt rozpadu radu, który występuje we wszystkich kamieniach i ziemi, jest stale wytwarzany w mineralnych materiałach budowlanych, uwalniany z powierzchni i przyczynia się do zwiększenia koncentracji radonu w pomieszczeniach. Jednak ilość tak uwalnianego radonu jest niewielka. W normalnych warunkach obecne materiały budowlane otaczające pomieszczenie przyczyniają się do zwiększenia stężenia radonu w powietrzu pomieszczenia o maksymalnie 15 Bq/m³. Często odsetek ten jest znacznie niższy^{9,10}.

⁸ World Health Organization. "Radon and Health". <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health> (dostęp: grudzień 2024)

⁹ "Guidelines for drinking-water quality". 4th ed. Geneva, World Health Organization, 2011

¹⁰ Gehrcke, K., Hoffmann, B., Schkade, U., Schmidt, V., Wichterey, K. "Natürliche Radioaktivität in Baumaterialien und die daraus resultierende Strahlenexposition". Bundesamt für Strahlenschutz, 2012

Zawartość substancji promieniotwórczych w materiałach budowlanych zależy przede wszystkim od źródła ich pochodzenia i jest znacznie wyższa dla materiałów pochodzących z krajów skandynawskich, w których podłoże geologiczne jest znacznie bogatsze w naturalnie występujące izotopy promieniotwórcze niż podłoże w Polsce. Struktura geologiczna Polski nie jest jednorodna i zauważalne są znaczne różnice w jej budowie. Rejony górskie, zwłaszcza południowo-zachodniej Polski, czyli tereny Sudetów, stanowią duże źródło naturalnie występujących substancji promieniotwórczych, które mają jednocześnie wpływ na zwiększoną obecność radonu w powietrzu w porównaniu do rejonów centralnej czy północnej Polski. Zgodnie z polskim prawem, stężenie naturalnych izotopów promieniotwórczych w materiałach budowlanych podlega kontroli przed wprowadzeniem ich do obrotu, a wszelkie przekroczenia od norm są niezwłocznie przekazywane organom nadzoru budowlanego¹¹.

W niektórych krajach głównym źródłem radonu okazały się wybrane materiały budowlane. Na przykład w Szwecji stosowano gazobeton z łupków ałunu, który uwalniał wielokrotnie więcej radonu niż konwencjonalne materiały budowlane¹². Produkcja została zakazana ze względu na wysoki poziom radioaktywności.

Radon może również występować w wodach gruntowych, szczególnie tych pochodzących z głębszych warstw ziemi. Woda z dużą zawartością radonu, używana do celów domowych, może uwalniać gaz do powietrza podczas gotowania, prania czy kąpieli. Z reguły dodaje to tylko kilka Bq/m³ do średniej rocznej stężenia radonu w pomieszczeniach. W szczególnych warunkach geologicznych, m.in. na terenach granitowych lub terenach ze złożami rudy uranu wykorzystanie wody z poszczególnych studni może przyczynić się do podwyższenia stężenia radonu w pomieszczeniach mieszkalnych.

W Polsce stężenie radonu w powietrzu wewnątrz budynków jest zróżnicowane i zależy od lokalnych warunków geologicznych. Aby zidentyfikować obszary o podwyższonym ryzyku przekroczenia dopuszczalnych poziomów radonu, Minister Zdrowia wydał 18 czerwca 2020 r. rozporządzenie określające takie tereny¹³. Zgodnie z tym aktem prawnym do terenów, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu wewnątrz pomieszczeń w znacznej liczbie budynków może przekraczać poziom odniesienia (300 Bq/m³), o którym mowa w art. 23b ustawy Prawo atomowe należą (rys. 2):

- w województwie dolnośląskim – powiaty: dzierzoniowski, karkonoski, kamiennogórski, kłodzki, lubański, lwówecki, polkowicki, trzebnicki, wałbrzyski, ząbkowicki, zgorzelecki i złotoryjski oraz dwa miasta na prawach powiatu: Jelenia Góra i Wałbrzych;
- w województwie lubelskim – powiat tomaszowski;
- w województwie opolskim – powiaty: nyski i prudnicki;
- w województwie podkarpackim – powiaty: bieszczadzki, jasielski, krośnieński, leski, mielecki i sanocki;

¹¹ Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe. Dz.U. 2023 poz. 1234.

¹² Clavensjö, B., Akerblom, G. "The Radon Book". Ljunglöfs Offset AB, Stockholm, 1994.

¹³ Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 18 czerwca 2020 r. w sprawie terenów, na których średnioroczne stężenie promieniotwórczego radonu w powietrzu wewnątrz pomieszczeń w znacznej liczbie budynków może przekraczać poziom odniesienia. Dz. U. 2020, poz. 1139.

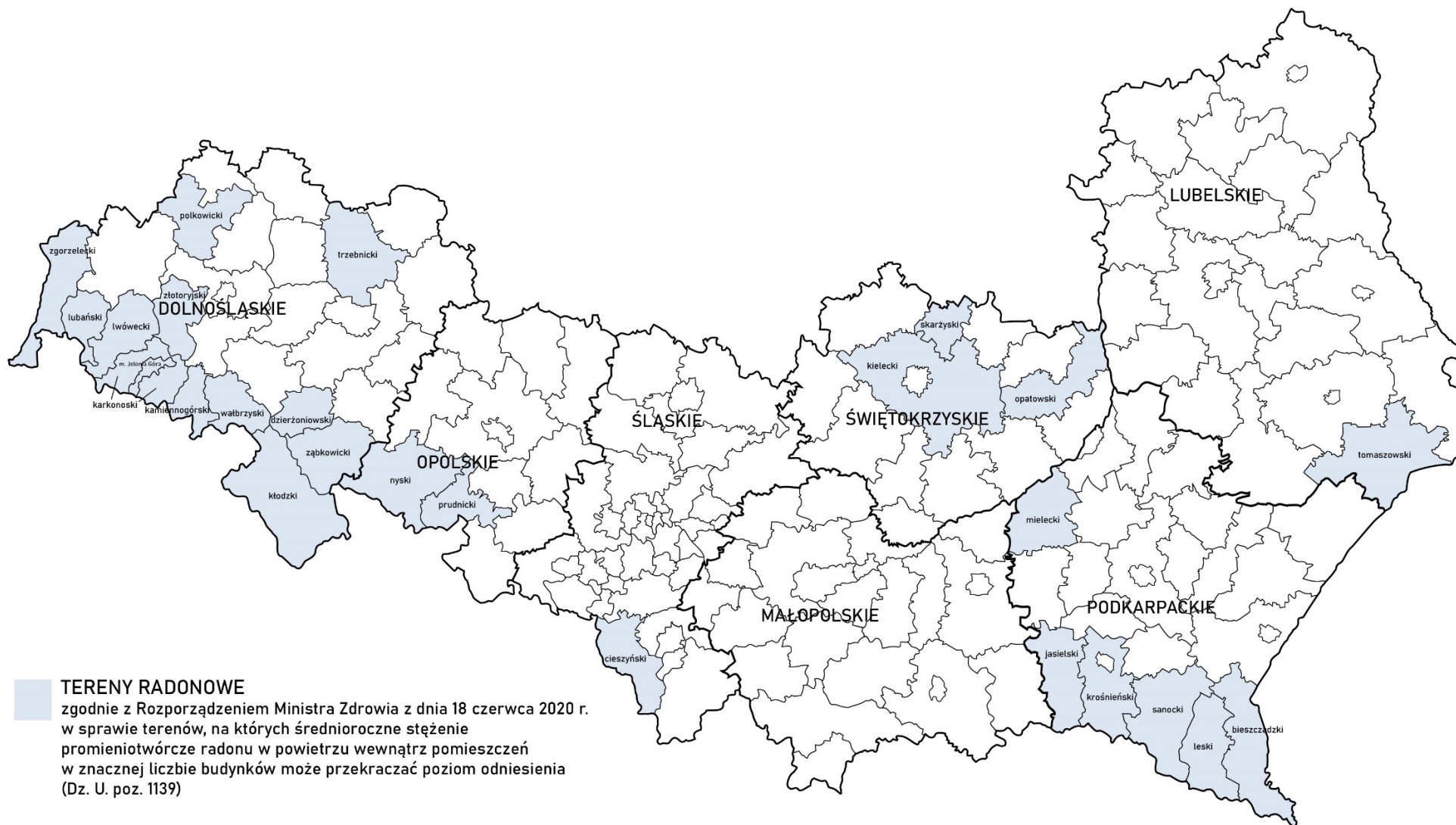
- w województwie śląskim – powiat cieszyński;
- natomiast w województwie świętokrzyskim – powiaty: kielecki, opatowski i skarżyski.

Powiaty wymienione we wspomnianym rozporządzeniu Ministra Zdrowia zostały wytypowane na podstawie kryteriów wskazanych w Krajowym planie działania w przypadku narażenia na radon, który ogłoszony został jako obwieszczenie Ministra Zdrowia¹⁴. Jak określono w tym dokumencie, decyzja o włączeniu określonych terenów do rozporządzenia była związana z:

- stężeniem uranu (U-238) w strukturach geologicznych powyżej 4 g/t (4 ppm = 4 mg/kg). Analizowano mapy rozkładu uranu w Polsce przygotowane przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy;
- wynikami wstępnego monitoringu substancji promieniotwórczych w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Stężenie radonu w badanych ujęciach wody, przekraczające 100 Bq/l (wartość parametryczna), było kluczowym kryterium;
- wynikami badań, takich jak te przeprowadzone w powiecie lubańskim, gdzie zmierzono wysokie stężenia radonu w wodach podziemnych (np. miejscowość Wolimierz, gdzie stężenie radonu w wodzie osiągnęło 816 Bq/l).

Jednak lista powiatów wymieniona w rozporządzeniu nie jest zamknięta. Zgodnie ze wspomnianym obwieszczeniem Ministra Zdrowia z 22 stycznia 2021 r., kolejne tereny, na których należy wykonać pomiary stężenia radonu w budynkach, będą wskazywane we współpracy z instytutami badawczymi oraz Zespołem do spraw krajowego planu działania w przypadku narażenia na radon. Wskazywanie tych terenów opiera się na szczegółowych danych, takich jak informacje od Państwowego Instytutu Geologicznego o budowie geologicznej, dane dotyczące potencjału radonowego w terenach związanych z górnictwem przekazywane przez Główny Instytut Górnictwa oraz dane o możliwościach zwiększonego narażenia z powodu stosowanych materiałów budowlanych, przekazywane przez Instytut Techniki Budowlanej i organy nadzoru budowlanego. Dodatkowo powinno uwzględniać się wyniki pomiarów średniorocznych stężeń radonu, dostarczane przez laboratoria wykonujące te pomiary na zlecenie właścicieli lub użytkowników budynków.

¹⁴ Obwieszczenie Ministra Zdrowia 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.



Rys. 2 Powiaty określone 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 (Dz. U. poz. 1139), źródło: freeimages.com, opracowanie własne autora

1.5 Jak radon przenika do wnętrza budynków i co wpływa na jego koncentrację?

Radon przedostaje się do wnętrza budynków w wyniku procesów zachodzących w glebie, wodzie i materiałach budowlanych. Głównym źródłem radonu w budynkach jest powietrze glebowe, które zawiera ten gaz w wyniku rozpadu radu obecnego w podłożu. Radon przenika do wnętrza przez szczeliny i pęknięcia w fundamentach, nieszczelności wokół rur i kabli, a także przez naturalne podłogi piwnic pozbawione izolacji przeciwwilgociowej. W budynkach z piwnicami występuje szczególnie duże ryzyko, ponieważ ich fundamenty mają bezpośredni kontakt z podłożem glebowym.

Drugim istotnym źródłem radonu jest woda gruntowa. Gaz ten łatwo rozpuszcza się w wodzie, a jego uwalnianie do powietrza zachodzi podczas użytkowania wody. Problem ten dotyczy zwłaszcza budynków korzystających z wód gruntowych w obszarach o wysokiej zawartości uranu w podłożu. Materiały budowlane również mogą być źródłem radonu. Minerale, z których są wykonane, zawierają śladowe ilości radu, który rozpadając się, uwalnia radon, o czym już wspomniano powyżej.

Transport radonu do wnętrza budynków odbywa się głównie na dwa sposoby: przez konwekcję i dyfuzję. Konwekcja, znana również jako efekt kominowy, jest wynikiem różnicy ciśnień między wnętrzem budynku a otaczającą go glebą. Podciśnienie w budynku zasysa powietrze glebowe zawierające radon, szczególnie w zimie, gdy różnice temperatur są największe. Proces ten jest dodatkowo wzmacniany przez działanie wentylatorów, kominków i innych urządzeń generujących podciśnienie. Dyfuzja jest mniej efektywnym procesem, w którym radon przenika przez fundamenty i ściany w wyniku różnicy stężeń gazu po obu stronach przegrody.

Stężenie radonu w budynkach wykazuje zmienność zarówno w ciągu dnia, jak i w różnych porach roku. Nocą, gdy brak wietrzenia ogranicza wymianę powietrza, koncentracja gazu wzrasta. Zimą zamrożone podłoże uniemożliwia migrację radonu do atmosfery, co prowadzi do jego kumulacji wewnątrz budynków.

Drogi przenikania radonu do budynków zilustrowano na rys. 3.

Artykuł Senitkovej i Krausa z 2019 roku¹⁵ dostarcza szczegółowych danych na temat sezonowych wahań stężenia radonu. Z badań przeprowadzonych w Czechach wynika, że najwyższe średnie stężenia radonu w budynkach występują zimą (152,8 Bq/m³) i wiosną (146,0 Bq/m³). W lecie i jesienią koncentracja gazu spada (odpowiednio 58,2 i 54,6 Bq/m³), co jest związane z wyższym współczynnikiem wymiany powietrza (0,7–0,9 wymian na godzinę) w tych porach roku. Badania te pokazują, że krótkoterminowe pomiary radonu, aby reprezentowały średnie roczne stężenie, powinny być wykonywane zimą lub wiosną. Jest to związane z większą stabilnością wyników pomiarowych w tych porach roku w porównaniu do lata i jesieni.

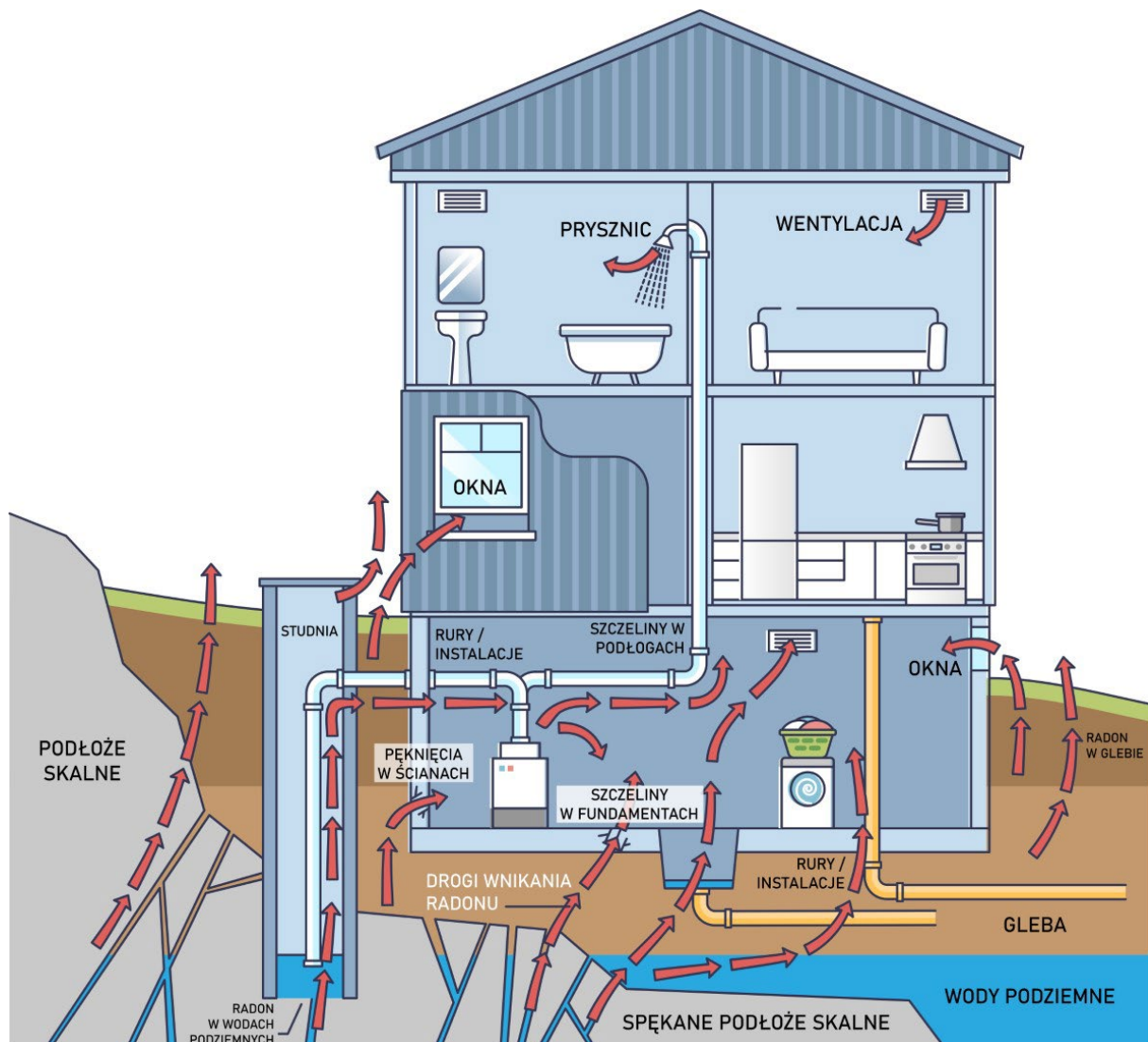
Czynniki wpływające na przenikanie radonu do wnętrza budynków:

- geologia podłoża: rodzaj skał i gleby ma decydujące znaczenie. Obszary z granitami, pegmatytami i łupkami mają wyższy potencjał radonowy. Przepuszczalne gleby, takie

¹⁵ Senitkova, I. J., and Kraus, M. "Seasonal and floor variations of indoor radon concentration". IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 221, no. 1 (2019): 012127

jak piaski i żwiry, umożliwiają szybszą migrację gazu, podczas gdy gleby gliniaste stanowią naturalną barierę;

- stan techniczny fundamentów: nieszczelności, takie jak pęknięcia i szczeliny w fundamentach oraz przepusty instalacyjne, znacząco zwiększają możliwość przenikania radonu;
- konstrukcja budynku: budynki z piwnicami lub bez odpowiedniej izolacji przeciwwilgociowej są bardziej narażone na przenikanie radonu. Również strefa zakłócona, czyli wypełnienie wokół fundamentów luźnym materiałem budowlanym, zwiększa ryzyko;
- materiały budowlane: współczesne materiały budowlane mają niewielki wpływ na stężenie radonu, jednak w przeszłości stosowano materiały o podwyższonej promieniotwórczości;
- warunki atmosferyczne: zimą różnice temperatur między wnętrzem a otoczeniem budynku zwiększają efekt kominowy. Ruchy powietrza wokół budynku oraz brak wietrzenia w nocy również sprzyjają kumulacji radonu.



*Rys. 3 Sposoby przenikania radonu do budynków
(źródło: iStockPhoto, opracowanie własne autora)*

Rozdział 2 Metody detekcji i monitorowania radonu

Aby skutecznie monitorować i oceniać zagrożenie radonem, opracowano różnorodne metody pomiarowe i techniki monitorowania tego gazu szlachetnego. Niniejszy rozdział ma na celu przedstawienie podstawowych zagadnień związanych z detekcją i monitorowaniem radonu w sposób prosty i zrozumiały. Omówimy metody pomiaru, zasady działania różnych typów detektorów, sposoby monitorowania poziomów radonu w budynkach, interpretację wyników oraz znaczenie akredytacji laboratoriów przeprowadzających pomiary.

2.1 Metody pomiaru radonu

Pomiar stężenia radonu i jego pochodnych w powietrzu polega na rejestrowaniu efektów wywołanych przez promieniowanie jonizujące emitowane podczas jego rozpadu. Wyróżnia się dwa typy metod pomiarowych: **pasywne** i **aktywne**^{16,17}.

2.1.1 Metody pasywne

Metody pasywne charakteryzują się tym, że nie wymagają zewnętrznego zasilania ani aktywnego pobierania próbek powietrza. Detektory pasywne rejestrują promieniowanie w sposób ciągły przez określony czas ekspozycji, który może wynosić od kilku dni do kilku miesięcy. Po zakończeniu ekspozycji detektory są analizowane w laboratorium. Najczęściej stosowane metody pasywne obejmują (patrz porównanie w Tabeli 1):

- **detektory śladowe typu CR-39** – używane do długoterminowych pomiarów. Polimerowe płytki w komorach dyfuzyjnych rejestrują ślady cząstek alfa, które następnie są analizowane w laboratorium;
- **detektory z węglem aktywowanym** – stosowane do krótkoterminowych pomiarów. Radon jest absorbowany w węglu, a analiza scyntylicyjna pozwala określić jego stężenie;
- **detektory elektretowe** – urządzenia bazujące na jonizacji powietrza, które pozwalają na prosty i efektywny pomiar średnich stężeń radonu.

Tabela 1 Porównanie pasywnych detektorów radonu¹⁷

Typ detektora	Typowa niepewność [%]	Typowy okres pomiarowy	Koszt
Detektory śladowe typu CR-39	10 – 25	1 – 12 miesięcy	niski
Detektory z węglem aktywowanym	10 – 30	2 – 7 dni	niski
Detektory elektretowe	8 – 15	5 dni – 1 rok	średni

¹⁶ Podgórska, Z. "Metody pomiaru radonu w powietrzu, glebie i wodzie". Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna 1/2022. Państwowa Agencja Atomistyki, 2022.

¹⁷ H. Zeeb, F. Shannoun (red.). "WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective". World Health Organization, Geneva 2009.

2.1.2 Metody aktywne

Metody aktywne wykorzystują urządzenia wyposażone w komory pomiarowe, które rejestrują zmiany stężenia radonu w czasie rzeczywistym. W aktywnych metodach powietrze może być zasysane przez pompę lub przedostawać się do komory na drodze dyfuzji. Urządzenia te są bardziej zaawansowane technologicznie i pozwalają na monitorowanie dynamicznych zmian stężenia radonu, np. w ciągu doby. Typowe metody aktywne obejmują:

- **monitory z komorą jonizacyjną** – rejestrują jonizację powietrza w wyniku rozpadu radonu;
- **scyntylicyjne komory Lucasa** – wykorzystują siarczek cynku do rejestrowania błysków wywołanych przez cząstki alfa;
- **ciągłe monitory radonu** – urządzenia elektroniczne umożliwiające bieżące monitorowanie stężenia radonu w powietrzu oraz rejestrację danych w czasie rzeczywistym.

2.1.3 Specjalistyczne pomiary

W bardziej zaawansowanych przypadkach, np. w badaniach naukowych lub podczas planowania działań remediacyjnych, stosuje się techniki takie jak:

- **pomiary radonu w powietrzu glebowym** – pozwalają określić potencjalne źródła radonu w budynku;
- **pomiary radonu w wodzie** – wykorzystują techniki scyntylicyjne lub układy zamknięte do analizy odgazowanego powietrza.

2.1.4 Kryteria wyboru metody pomiarowej

Wybór odpowiedniej metody pomiaru radonu zależy od szeregu czynników, takich jak cel pomiaru, typ badanej lokalizacji, warunki środowiskowe oraz dostępne zasoby techniczne i finansowe. Poprawne zaplanowanie pomiarów ma kluczowe znaczenie dla oceny zagrożenia radonem i skutecznego wdrażania środków zaradczych.

W przypadku długoterminowego monitorowania poziomów radonu, które pozwala na ocenę rocznego średniego stężenia, preferowane są detektory pasywne, takie jak detektory śladowe. Te urządzenia cechują się niskim kosztem i niewrażliwością na zmienne środowiskowe, a czas ich ekspozycji wynosi od jednego miesiąca do nawet roku. Są szczególnie użyteczne w domach mieszkalnych, gdzie zmienność sezonowa stężeń radonu ma istotne znaczenie.

W sytuacjach wymagających szybkiego uzyskania wyników, na przykład przy ocenie skuteczności działań remediacyjnych lub w transakcjach nieruchomości, lepszym wyborem są aktywne urządzenia pomiarowe. Monitory ciągłe, wyposażone w komory jonizacyjne, umożliwiają uzyskanie danych w czasie rzeczywistym, co pozwala na dynamiczne śledzenie zmian stężeń radonu w pomieszczeniach. Takie urządzenia są jednak droższe i wymagają źródła zasilania.

Charakterystyka budynku ma istotny wpływ na wybór metody pomiarowej:

- **budynki mieszkalne** – w domach jednorodzinnych zaleca się długoterminowe pomiary pasywne, które są proste w użyciu i zapewniają wiarygodne wyniki. Pomiarów dokonuje się w pomieszczeniach przebywania, szczególnie na poziomie styku z gruntem.
- **budynki użytkowe** – w obiektach takich jak szkoły, szpitale czy biura konieczne jest przeprowadzanie pomiarów w wielu lokalizacjach wewnątrz budynku, aby uwzględnić różnice w warunkach użytkowania i wentylacji. W takich przypadkach stosuje się zarówno metody pasywne, jak i aktywne, w zależności od specyfiki badania.

Czynniki środowiskowe, takie jak wilgotność i temperatura, mogą wpływać na dokładność niektórych metod. Na przykład detektory z węglem aktywowanym wymagają kalibracji w warunkach wysokiej wilgotności. Z kolei metody pasywne są mniej podatne na zmienne środowiskowe i mogą być stosowane w różnych warunkach.

Aby zapewnić wysoką jakość wyników, szczególnie w budynkach użyteczności publicznej, zaleca się stosowanie urządzeń zgodnych z odpowiednimi normami technicznymi oraz kalibrowanych w akredytowanych laboratoriach.

2.2 Zasada działania detektorów pasywnych i aktywnych

2.2.1 Detektory pasywne¹⁷

Detektory pasywne działają bez potrzeby zasilania zewnętrznego lub aktywnego pobierania próbek powietrza. Ich główną zasadą działania jest rejestrowanie promieniowania emitowanego przez radon i jego pochodne w sposób ciągły przez określony czas ekspozycji. Przez cały ten okres detektory uśredniają wynik, co czyni je idealnym rozwiązaniem do długoterminowych pomiarów. Po zakończeniu ekspozycji detektory są przesyłane do laboratorium, gdzie przeprowadzana jest analiza wyników. Detektory pasywne cechują się wysoką odpornością na zmienne warunki środowiskowe, co dodatkowo zwiększa ich niezawodność.

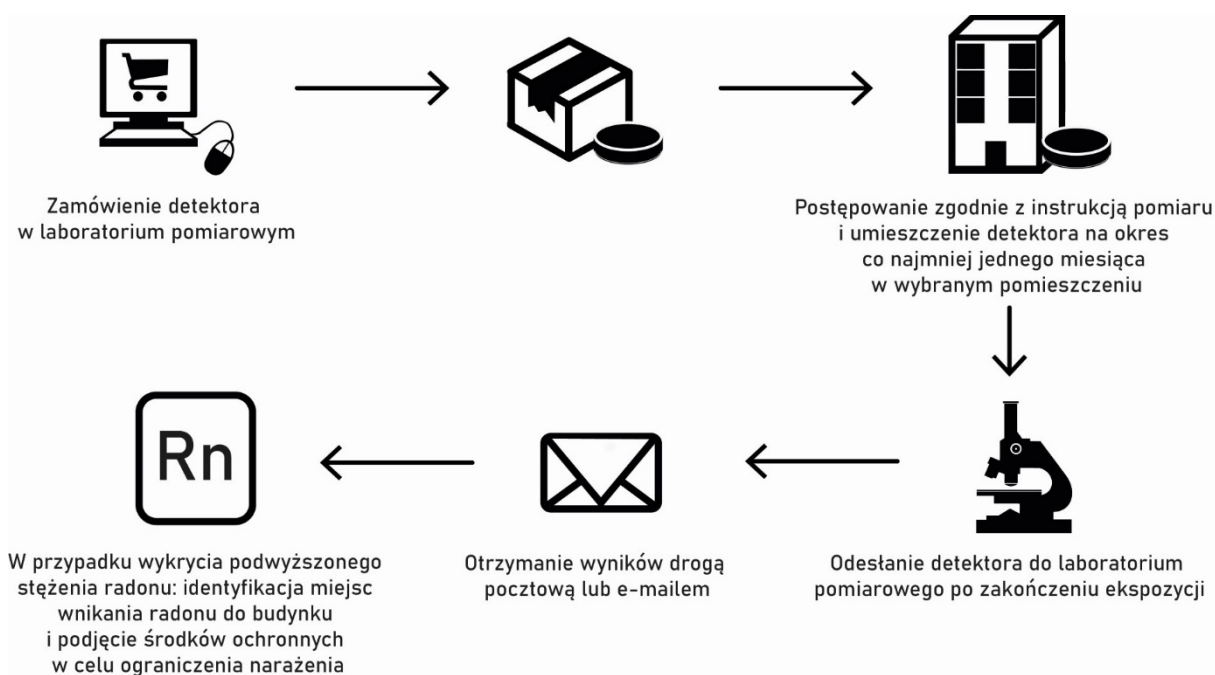
Jednym z najczęściej stosowanych typów detektorów pasywnych są **detektory śladowe typu CR-39** (rys. 1). Detektory te składają się z polimerowej płytki umieszczonej w komorze dyfuzyjnej. Powietrze z radonem dostaje się do wnętrza komory na drodze dyfuzji, a cząstki alfa, powstające podczas rozpadu radonu, pozostawiają mikroskopijne ślady na powierzchni detektora. W laboratorium, poprzez obróbkę chemiczną, ślady te stają się widoczne i są liczone pod mikroskopem. Wynik analizy jest przeliczany na średnie stężenie radonu w czasie ekspozycji. Detektory śladowe są szczególnie cenione za swoją niezawodność, odporność na warunki środowiskowe oraz możliwość prowadzenia pomiarów przez długi czas, nawet do 12 miesięcy.



Rys. 1 Detektor śladowy radonu typu CR-39¹⁸

Aby wykonać pomiar stężenia radonu za pomocą detektorów śladowych typu CR-39, należy rozpocząć od zamówienia detektora w akredytowanym laboratorium pomiarowym – patrz schemat na rys. 2. Detektor dostarczany jest w szczelnie zamkniętym opakowaniu, które chroni go przed wpływem radonu podczas transportu. Po otrzymaniu detektora należy postępować zgodnie z załączoną instrukcją obsługi. Detektor umieszcza się w pomieszczeniu, które ma być monitorowane, na przykład na półce, szafce lub w innym miejscu, z dala od okien, źródeł ciepła i wentylacji. Alternatywnie można zawiesić detektor na sznurku przy suficie lub na ścianie. Detektor, zamknięty w niewielkiej plastikowej obudowie, nie wymaga zasilania, nie emituje światła ani dźwięków, a także nie wymaga obsługi przez cały okres ekspozycji, który wynosi zwykle od jednego do kilku miesięcy. Po zakończeniu pomiaru detektor należy zapakować w oryginalne, szczelne opakowanie i odesłać do laboratorium. Tam przeprowadzana jest analiza zebranych danych, a wyniki są przesyłane użytkownikowi.

¹⁸ Dehnert, Jörg & Guhr, Andreas & Engelhardt, Jörg. (2020). Improvement of a Radon Dosimetry System for Miners by Replacing Reference Dosimeters with Radonproof Boxes Containing Activated Carbon Cartridges. Health Physics. 118. 117-128.



Rys. 2 Schemat postępowania przy wykonywaniu pomiarów stężenia radonu za pomocą detektorów śladowych typu CR-39, źródło: freesvg.org, opracowanie własne autora

Kolejnym rodzajem detektorów pasywnych są **detektory z węglem aktywowanym**, które pochłaniają radon z powietrza. Po zakończeniu ekspozycji w laboratorium część przestrzeni obudowy wypełnia się ciekłym scyntylatorem, najczęściej na bazie ksylenu, który powoduje desorpcję radonu z węgla do objętości scyntylatora. Następnie detektor jest analizowany w laboratorium w liczniku scyntylacyjnym. Wewnątrz pojemnika pojawiają się błyski (tzw. scyntylacje) wywołane przez promieniowanie pochodzące z rozpadu radonu, które następnie zamieniane są na impulsy elektryczne, odpowiednio wzmacniane i zliczane. Liczba zarejestrowanych błysków na podstawie wcześniej przeprowadzonej kalibracji układu przeliczana jest na ekspozycję lub średnie stężenie aktywności radonu w czasie ekspozycji. Te detektory są stosunkowo tanie i łatwe w obsłudze, jednak ich stosowanie ogranicza się do krótkoterminowych pomiarów, ze względu na maksymalny czas ekspozycji wynoszący 96 godzin oraz podatność na wpływ wilgoci i temperatury. Ponadto detektory te muszą być dostarczone do laboratorium do analizy niezwłocznie po ekspozycji z uwagi na krótki czas połowicznego rozpadu radonu i jego krótkożyciowych pochodnych.

Detektory elektretowe, trzeci typ detektorów pasywnych, działają na zasadzie rejestrowania jonizacji powietrza wewnątrz komory pomiarowej. Spadek napięcia na powierzchni elektretu, będącego naładowanym teflonowym dyskiem, wynikający z przyciągania jonów powstałych w wyniku jonizacji powietrza, jest proporcjonalny do stężenia radonu. Elektrety są prostym i efektywnym narzędziem do długoterminowych pomiarów w mieszkaniach i miejscach pracy. Choć są bardziej kosztowne niż detektory śladowe czy węgiel aktywowany, ich zaletą jest możliwość szybkiego uzyskania wyników po zakończeniu ekspozycji.

2.2.2 Detektory aktywne¹⁷

W przeciwieństwie do detektorów pasywnych, detektory aktywne rejestrują stężenie radonu w czasie rzeczywistym. Wymagają one zasilania elektrycznego oraz kalibracji, co zwiększa ich precyzję, ale także sprawia, że są bardziej skomplikowane w obsłudze. Dzięki możliwości monitorowania dynamicznych zmian stężenia radonu, detektory aktywne są szczególnie przydatne w analizie wpływu wentylacji, zmian temperatury czy sezonowych wahań stężenia.

Jednym z najbardziej popularnych urządzeń aktywnych są **monitory z komorą jonizacyjną**, które rejestrują ilość jonów powstających w wyniku rozpadu radonu. Komory te mogą działać zarówno w trybie pasywnym (powietrze dostaje się na drodze dyfuzji), jak i aktywnym (powietrze jest zasysane przez pompę). Monitory z komorą jonizacyjną dostarczają danych w czasie rzeczywistym, co umożliwia bieżące śledzenie stężenia radonu i szybkie reagowanie na zmiany warunków środowiskowych. Są szczególnie przydatne w krótkoterminowych badaniach oraz w testach skuteczności działań naprawczych.

Scyntylicyjne komory Lucasa, będące jednym z najstarszych rodzajów detektorów, wykorzystują siarczek cynku aktywowany srebrem (ZnS(Ag)) jako materiał scyntylicyjny. Cząstki alfa, emitowane podczas rozpadu radonu, powodują błyski świetlne wewnątrz komory, które są następnie przetwarzane na impulsy elektryczne. Liczba scyntytacji jest proporcjonalna do stężenia aktywności radonu w próbce. Pomimo ograniczeń wynikających z potrzeby częstego czyszczenia komór (pochodne radonu/toronu osadzają się trwale na ściankach komory Lucasa) oraz ich relatywnie niskiej czułości, komory Lucasa wciąż znajdują zastosowanie w badaniach naukowych.

Innym typem detektorów aktywnych są **elektroniczne monitory czasu rzeczywistego** (rys. 3), które mogą wykorzystywać różne technologie pomiarowe, takie jak scyntylicyjne komory, komory jonizacyjne czy detektory półprzewodnikowe. Te nowoczesne urządzenia charakteryzują się łatwością obsługi, możliwością zapisu danych oraz funkcjami zdalnego monitorowania. Dzięki swojej uniwersalności są często stosowane w mieszkaniach, biurach oraz w trakcie kalibracji innych detektorów. Dodatkową zaletą jest możliwość analizowania zgromadzonych danych w celu identyfikacji trendów i zrozumienia wpływu czynników środowiskowych na stężenie radonu.



Rys. 3 Elektroniczny monitor czasu rzeczywistego do pomiarów stężenia radonu – urządzenie umożliwiające bieżące monitorowanie poziomu radonu w powietrzu, źródło: istockphoto.com

2.3 Inne techniki pomiarowe

2.3.1 Metody pomiaru stężenia radonu w powietrzu glebowym¹⁹

Pomiar stężenia radonu w powietrzu glebowym przeprowadza się poprzez umieszczenie sondy na odpowiedniej głębokości w glebie i pobranie próby powietrza za pomocą pompy. Następnie próbka jest analizowana przy użyciu dedykowanego urządzenia pomiarowego.

W powietrzu glebowym występują znaczące ilości zarówno radonu-222, jak i toronu (radonu-220). Aby rozróżnić te izotopy, stosuje się spektrometryczne metody pomiaru, które pozwalają na identyfikację pochodnych rozpadu na podstawie ich energii. Alternatywnym sposobem eliminacji wpływu toronu jest zastosowanie długiego węża w układzie pomiarowym, co pozwala na jego rozpad przed dotarciem do miernika.

Stężenia radonu w powietrzu glebowym mogą być nawet o trzy rzędy wielkości wyższe niż w atmosferze, dlatego użycie standardowych mierników powietrza atmosferycznego może prowadzić do skażenia komory jonizacyjnej i wzrostu tła pomiarowego. Dedykowane urządzenia pomiarowe dla gleby są w takich przypadkach bardziej odpowiednie. Alternatywą dla aktywnych metod pomiarowych są detektory śladowe, które umieszcza się w specjalnych rurach PVC na głębokości do 80 cm. Po kilku dniach ekspozycji detektory są analizowane w laboratorium, co pozwala uzyskać średni wynik z okresu pomiarowego.

¹⁹ Podgórska, Z. "Metody pomiaru radonu w powietrzu, glebie i wodzie". *Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna* 1/2022. Państwowa Agencja Atomistyki, 2022.

2.3.2 Metody pomiaru stężenia aktywności radonu w wodzie¹⁷

Pomiary aktywności radonu w wodzie przeprowadza się dwiema głównymi metodami: pośrednią i bezpośrednią.

W metodzie pośredniej radon jest odgazowywany z próbki wody do układu zamkniętego z podłączonym miernikiem radonu. Powietrze przepuszcza się przez próbkę wody, co powoduje przejście radonu do fazy gazowej. Następnie, po ustabilizowaniu układu, mierzy się stężenie radonu w powietrzu. Do uzyskania końcowego wyniku konieczne jest uwzględnienie objętości próbki, objętości układu pomiarowego, temperatury oraz czasu, jaki upłynął od pobrania próbki.

Druga metoda wykorzystuje licznik ciekłoscyntylacyjny. Próbkę wody miesza się ze scyntylatorem w specjalnej fiolce i pozostawia na około trzy godziny, aby osiągnąć równowagę promieniotwórczą między radonem a jego pochodnymi. Następnie wykonuje się pomiar scyntylacji, gdzie liczba zarejestrowanych błysków świetlnych jest proporcjonalna do stężenia radonu w wodzie.

2.4 Techniki monitorowania poziomu radonu w nowych budynkach

Nowe budynki stanowią wyjątkowe wyzwanie w zakresie monitorowania poziomu radonu. Choć mogą być zaprojektowane i zbudowane z uwzględnieniem środków zapobiegających wnikaniu radonu, rzeczywiste poziomy gazu wewnątrz pomieszczeń zależą od wielu czynników, takich jak lokalizacja, charakterystyka podłoża, szczelność konstrukcji czy sposób użytkowania budynku. Dlatego monitorowanie poziomu radonu w nowych budynkach ma kluczowe znaczenie, szczególnie na etapie oddawania ich do użytku oraz w pierwszych latach eksploatacji^{20,21}.

2.4.1 Projektowanie prewencyjne i monitorowanie na etapie budowy

Podczas projektowania nowych budynków coraz częściej uwzględnia się środki prewencyjne minimalizujące ryzyko występowania podwyższonych stężeń radonu. Zostaną one omówione w kolejnym rozdziale.

Na etapie budowy przeprowadza się krótkoterminowe pomiary stężenia radonu w glebie wokół fundamentów¹⁷. Sondy pomiarowe umieszczane w glebie umożliwiają identyfikację potencjalnych źródeł radonu. W niektórych przypadkach stosuje się spektrometryczne metody analizy, aby odróżnić radon od toronu, które różnią się czasem połowicznego rozpadu i energią emitowanych cząstek.

2.4.2 Pierwsze pomiary w nowych budynkach

Po zakończeniu budowy kluczowe jest przeprowadzenie pomiarów kontrolnych poziomu radonu w pomieszczeniach. Najczęściej wykorzystuje się do tego detektory pasywne, takie jak detektory śladowe typu CR-39, które pozwalają na uzyskanie średnich wartości stężenia radonu w dłuższym okresie⁵. Tego typu pomiary powinny być wykonywane przez co najmniej miesiąc,

²⁰ International Atomic Energy Agency. *Design and Conduct of Indoor Radon Surveys*. Safety Reports Series No. 98. Vienna: IAEA, 2020.

²¹ Radon-Handbuch Deutschland. Salzgitter: Bundesamt für Strahlenschutz, 2011.

a zaleca się ich przeprowadzenie w okresie grzewczym (zimowym), kiedy budynki są szczelnie zamknięte, co sprzyja akumulacji radonu.

Pomiary powinny obejmować pomieszczenia znajdujące się w kontakcie z gruntem, takie jak piwnice, oraz inne przestrzenie o największym czasie przebywania. Wyniki pomiarów pozwalają ocenić, czy konieczne są dodatkowe działania prewencyjne lub remediacyjne.

2.4.3 Długoterminowe monitorowanie poziomu radonu

Nowe budynki mogą charakteryzować się zmiennym poziomem radonu w pierwszych latach użytkowania. Dzieje się tak z powodu osiadania fundamentów, zmian w szczelności budynku, a także stopniowego zmniejszania aktywności promieniotwórczej materiałów budowlanych. Dlatego ważne jest długoterminowe monitorowanie poziomów radonu w cyklicznych odstępach czasu.

Do długoterminowego monitorowania stosuje się zarówno detektory pasywne, jak i aktywne. Detektory aktywne, takie jak elektroniczne monitory, są szczególnie przydatne do śledzenia dynamicznych zmian stężenia radonu w budynkach wyposażonych w systemy wentylacyjne lub inne mechanizmy kontrolujące przepływ powietrza. Dane z monitorów mogą pomóc w optymalizacji tych systemów, zapewniając efektywną wymianę powietrza bez strat ciepła⁵.

2.4.4 Specjalistyczne techniki monitorowania

W nowych budynkach często wykorzystuje się specjalistyczne techniki monitorowania, które pozwalają na szczegółowe badanie źródeł radonu i jego rozprzestrzeniania się wewnątrz budynku. Należy do nich m.in. radon-sniffing²² – metoda lokalizacji punktowych źródeł radonu, takich jak nieszczelności w fundamentach czy ścianach, za pomocą urządzeń zasysających powietrze i analizujących jego skład.

2.5. Częstotliwość i metody prowadzenia pomiarów

Regularne i dokładne pomiary poziomu radonu są niezbędne zarówno dla ochrony zdrowia, jak i dla spełnienia wymogów prawnych. W Polsce kwestia częstotliwości oraz metod prowadzenia pomiarów jest regulowana przez ustawę Prawo atomowe¹, które określa zarówno obowiązki właścicieli i użytkowników budynków, jak i standardy techniczne dotyczące pomiarów.

2.5.1 Obowiązki wynikające z ustawy – Prawa atomowego

Zgodnie z ustawą Prawo atomowe, w miejscach pracy zlokalizowanych:

- wewnątrz pomieszczeń na poziomie parteru lub piwnicy na terenach, gdzie średnioroczne stężenie radonu może przekraczać poziom odniesienia 300 Bq/m³,
- pod ziemią (np. w kopalniach czy tunelach),
- w miejscach związanych z uzdatnianiem wód podziemnych na terenach o wysokim stężeniu radonu,

pracodawcy są zobowiązani do zapewnienia regularnych pomiarów stężenia radonu (Bq/m³) lub stężenie energii potencjalnej alfa produktów rozpadu radonu.

²² Brodhead, Bill. "Use of Sniffers in Radon Mitigation". WPB Enterprises, Inc., <https://www.wpb-radon.com/pdf/Use%20of%20Radon%20Sniffers%2021.pdf>, dostęp: grudzień 2024

Ustawa określa, że poziom odniesienia dla średniorocznego stężenia radonu w powietrzu wynosi 300 Bq/m³. Ustawa Prawo atomowe definiuje wartość średniorocznego stężenia radonu jako oszacowaną na podstawie pomiarów tego stężenia w okresie nie krótszym niż jeden miesiąc, odpowiadającą średniemu stężeniu radonu w powietrzu w okresie roku kalendarzowego. W przypadku przekroczenia tego poziomu pracodawca musi podjąć działania mające na celu zmniejszenie narażenia pracowników, a także zapewnić ich regularne informowanie o wynikach pomiarów i podejmowanych działaniach. Należy podkreślić, że obowiązek pomiaru dotyczy każdego roku kalendarzowego, niezależnie od wyników poprzednich pomiarów.

Stężenie energii potencjalnej alfa i jego pomiar

Stężenie energii potencjalnej alfa odnosi się do energii emitowanej przez cząstki alfa w wyniku rozpadu pochodnych radonu (Rn-222) w powietrzu. Jest to kluczowy wskaźnik, który pozwala określić rzeczywiste narażenie na promieniowanie alfa w miejscu pracy lub w budynku mieszkalnym. Pochodne radonu, takie jak polon-218, ołów-214 i bizmut-214, w trakcie swojego rozpadu uwalniają cząstki alfa, które przyczyniają się do potencjalnych zagrożeń zdrowotnych, zwłaszcza w przypadku ich inhalacji, o czym można przeczytać więcej w Rozdziale 1. Pomiar stężenia energii potencjalnej alfa odbywa się na dwa sposoby:

1. bezpośrednio – wykorzystuje się specjalistyczne urządzenia, które rejestrują całkowitą energię cząstek alfa emitowanych podczas rozpadu pochodnych radonu. Metoda ta jest stosowana głównie w warunkach laboratoryjnych lub w miejscach pracy o podwyższonym ryzyku narażenia;
2. pośrednio – w tym przypadku stężenie energii potencjalnej alfa można wyliczyć na podstawie stężenia radonu w powietrzu (Bq/m³) oraz równowagi pomiędzy radonem a jego pochodnymi.

2.5.2 Zalecana częstotliwość pomiarów

Zgodnie z wytycznymi Światowej Organizacji Zdrowia (WHO)¹⁷ i Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA)²³, długoterminowe pomiary, trwające 12 miesięcy, są najbardziej wiarygodne dla określenia średniorocznego stężenia radonu. W budynkach o niskim ryzyku zaleca się wykonywanie pomiarów co pięć lat. W obszarach o podwyższonym ryzyku pomiary powinny być realizowane częściej, najlepiej co rok. Pomiary powinny odbywać się w okresie grzewczym, gdy budynki są bardziej szczelne, co sprzyja akumulacji radonu, a tym samym pozwala na uzyskanie bardziej reprezentatywnych wyników.

2.5.3 Metody prowadzenia pomiarów

Pomiary mogą być realizowane przy użyciu różnych metod i urządzeń w zależności od celu badania oraz dostępnych zasobów. Najczęściej stosowane są:

- **długoterminowe pomiary pasywne** – wykonywane za pomocą detektorów śladowych typu CR-39, które zapewniają wiarygodne wyniki średniorocznych stężeń radonu;

²³ Safety Reports Series Nr 98, "Design and Conduct of Indoor Radon Surveys", Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, Wiedeń, 2020

- **krótkoterminowe pomiary aktywne** – wykorzystujące monitory z komorą jonizacyjną lub scyntylicyjne komory Lucasa. Pozwalają one na szybkie uzyskanie wyników, jednak ich interpretacja wymaga ostrożności ze względu na zmienność stężenia radonu w czasie.

Aby zapewnić jakość danych, detektory powinny być umieszczane w reprezentatywnych miejscach, z dala od okien, wentylacji i źródeł ciepła, zgodnie z wytycznymi IAEA i WHO. Kontrola jakości obejmuje również kalibrację urządzeń oraz weryfikację wyników poprzez pomiary podwójne.

2.6 Jak odczytywać i interpretować wyniki pomiarów?

Odczyt i interpretacja wyników pomiarów radonu to kluczowy etap procesu monitorowania, który pozwala na ocenę ryzyka i podjęcie odpowiednich działań prewencyjnych lub naprawczych. Wyniki pomiarów powinny być analizowane z uwzględnieniem kontekstu – lokalizacji, charakterystyki budynku oraz metody pomiarowej.

2.6.1 Jednostki i zakres wyników pomiarów

Wyniki pomiarów stężenia radonu w powietrzu wyrażane są w **Becquerelach na metr sześcienny (Bq/m^3)**, co oznacza ilość rozpadów promieniotwórczych radonu w jednym metrze sześciennym powietrza na sekundę.

W Polsce poziom odniesienia dla średniorocznego stężenia radonu w powietrzu wynosi **$300 \text{ Bq}/\text{m}^3$** , zgodnie z ustawą – Prawo atomowe. Wyniki można podzielić na następujące kategorie¹⁷:

- **poniżej $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$** – stężenie uznawane za niskie, nie wymagające działań.
- **$100\text{--}300 \text{ Bq}/\text{m}^3$** – stężenie umiarkowane, które może stanowić ryzyko przy długotrwałej ekspozycji.
- **powyżej $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$** – stężenie wymagające podjęcia działań prewencyjnych lub naprawczych.

2.6.2. Czynniki wpływające na odczyt i interpretację wyników

Interpretacja wyników wymaga uwzględnienia następujących czynników:

- **metody pomiaru;**
- **warunki środowiskowe:** wilgotność, temperatura i przeciągi mogą wpływać na dokładność wyników;
- **okres pomiaru:** długoterminowe pomiary (co najmniej 3 miesiące) są bardziej reprezentatywne niż krótkoterminowe (2–7 dni), które wymagają korekty sezonowej.

2.6.3 Dawka skuteczna od radonu

Obliczanie dawki skutecznej od radonu jest kluczowe w kontekście oceny narażenia osób przebywających w budynkach mieszkalnych i miejscach pracy. Dawka skuteczna pozwala na określenie rzeczywistego ryzyka dla zdrowia wynikającego z ekspozycji na promieniowanie alfa emitowane przez radon i jego pochodne. Jest to szczególnie istotne w miejscach pracy,

gdzie może zachodzić konieczność zakwalifikowania pracowników do kategorii A, jeśli dawka skuteczna przekracza określony poziom. Dotyczy to pracowników wykonujących pracę w miejscach pracy wymienionych w art. 23c ust. 1 pkt 1 Prawo atomowe (np. piwnice, parter na „terenach radonowych”), w których:

- stężenie radonu przekracza 300 Bq/m³,
- dawka skuteczna nie przekracza 6 mSv rocznie.

Dawkę skuteczną E [Sv] od radonu wyznacza się na podstawie prostej zależności:

$$E = C_{\alpha} \cdot t \cdot k$$

gdzie: C_{α} - stężenie potencjalnej energii alfa [J/m³], t – czas narażenia [h], k – współczynnik konwersji [(Sv·m³)/(J·h)]. Wartość współczynnika konwersji różni się w zależności od środowiska narażenia²⁴:

- 1,1 (Sv·m³)/(J·h) dla radonu w budynkach mieszkalnych,
- 1,4 (Sv·m³)/(J·h) dla radonu na stanowiskach pracy,
- 0,5 (Sv·m³)/(J·h) dla toronu na stanowiskach pracy.

Stężenie potencjalnej energii alfa wyznacza się przez pomiar lub obliczenie potencjalnej energii alfa jako całkowitej energii cząstek alfa emitowanych podczas rozpadu pochodnych radonu-222 w szeregu promieniotwórczym aż do ołowiu-210 (z wyłączeniem tego izotopu) oraz rozpadu pochodnych toronu (radon-220) w szeregu promieniotwórczym aż do ołowiu-208, wyrażonej w dżulach (J).

2.6.4 Interpretacja wyników pomiarów w kontekście zdrowotnym oraz procedura postępowania

Ryzyko zdrowotne związane z ekspozycją na radon rośnie proporcjonalnie do poziomu stężenia tego gazu oraz czasu przebywania w środowisku o podwyższonym stężeniu. Długotrwałe narażenie na radon jest jedną z głównych przyczyn raka płuc, szczególnie w przypadku osób narażonych zawodowo lub przebywających przez wiele godzin w pomieszczeniach z wysokim stężeniem tego gazu. Zgodnie z wytycznymi WHO, poziom odniesienia wynoszący 300 Bq/m³ powinien być traktowany jako próg wymagający podjęcia działań prewencyjnych i naprawczych¹⁷.

Wyniki pomiarów należy zawsze interpretować w kontekście czasu przebywania w monitorowanym pomieszczeniu. Wysokie wyniki, przekraczające 300 Bq/m³ w miejscach takich jak sypialnie, biura lub inne pomieszczenia o dużej intensywności użytkowania, wskazują na konieczność podjęcia natychmiastowych działań ograniczających narażenie.

2.6.5 Znaczenie dokumentacji wyników

Pamiętaj o rzetelnym prowadzeniu dokumentacji wyników pomiarów radonu. Każdy pomiar powinien być szczegółowo opisany w raporcie, który zawiera informacje o zastosowanej metodzie pomiarowej, czasie ekspozycji oraz dokładnej lokalizacji (w tym piętro i pomieszczenie), gdzie przeprowadzono pomiary. Wynik stężenia radonu, wyrażony w Bq/m³,

²⁴ 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 (Dz. U. poz. 1657).

musi być podany wraz z marginesem błędu, co umożliwi precyzyjną interpretację danych. Ważne jest również uwzględnienie warunków środowiskowych podczas pomiaru, takich jak temperatura, wilgotność czy szczelność budynku.

Regularne prowadzenie takiej dokumentacji jest elementem zapewnienia jakości pomiarów oraz monitorowania skuteczności wprowadzonych środków zaradczych. Dokumentacja powinna być przechowywana przez właściciela budynku lub pracodawcę oraz powinna być dostępna na żądanie odpowiednich organów nadzoru czy pracowników.

2.7 Identyfikacja potencjalnych zagrożeń

Identyfikacja potencjalnych zagrożeń jest kolejnym krokiem po wykonaniu pomiarów stężenia radonu i analizie uzyskanych wyników. To etap, który pozwala zrozumieć, jakie czynniki wpływają na obecność radonu w budynku oraz jakie ryzyko niesie jego akumulacja w powietrzu. Na podstawie wyników pomiarów i charakterystyki budynku można oszacować, które obszary i pomieszczenia wymagają interwencji, a także dobrać odpowiednie działania prewencyjne lub remediacyjne.

2.8 Znaczenie akredytacji

Akredytacja odgrywa kluczową rolę w procesie monitorowania i pomiarów stężenia radonu, zapewniając wiarygodność wyników oraz zgodność działań z przyjętymi standardami. Dlatego poszukując laboratorium badającego stężenie radonu w budynkach, warto skupić się na tych, które posiadają adekwatny zakres akredytacji. To formalne potwierdzenie kompetencji laboratorium do prowadzenia określonych badań gwarantuje, że pomiary są realizowane zgodnie z uznanymi normami międzynarodowymi, a ich wyniki można uznać za rzetelne i powtarzalne.

W kontekście pomiarów radonu akredytacja stanowi dowód, że laboratorium działa zgodnie z normą ISO/IEC 17025, która określa wymagania dotyczące kompetencji technicznych laboratoriów badawczych²⁵. Obejmuje to stosowanie skalibrowanych urządzeń, odpowiednio przeszkolony personel oraz przestrzeganie precyzyjnie określonych procedur.

Korzystanie z usług akredytowanych laboratoriów przynosi wiele korzyści użytkownikom. Po pierwsze, gwarantuje, że wyniki pomiarów są wiarygodne, co ma kluczowe znaczenie przy podejmowaniu decyzji dotyczących działań prewencyjnych lub naprawczych. Po drugie, zapewnia zgodność stosowanych metod pomiarowych z międzynarodowymi standardami, co minimalizuje ryzyko błędów i zwiększa pewność co do dokładności wyników. Raporty przygotowane przez akredytowane laboratoria są również bardziej szczegółowe i zawierają informacje, które ułatwiają interpretację wyników, takie jak margines błędu czy warunki środowiskowe podczas pomiaru.

²⁵ International Organization for Standardization. "ISO/IEC 17025 – Testing and Calibration Laboratories".

W Polsce znaczenie akredytacji jest dodatkowo podkreślone w przepisach Prawa atomowego¹ (art. 23d. pkt 4), które wymaga, aby pomiary stężenia radonu w miejscach pracy były realizowane przez laboratoria spełniające określone standardy jakości.

Warto zaznaczyć, że samo zapewnienie pomiarów stężeń radonu stanowi tylko wstępny element realizacji przez kierowników jednostki obowiązków zawartych w art. 23c Prawa atomowego. Poszczególne ustępy tego artykułu określają bowiem dalsze powinności, w zakresie optymalizacyjno-informacyjnym, administracyjnoprawnym (powiadomienie o wykonywaniu działalności związanej z narażeniem), jak i związane z ewentualną koniecznością właściwej, dokonanej z udziałem uprawnionego lekarza i inspektora ochrony radiologicznej, kategoryzacji pracowników do właściwej kategorii narażenia oraz wyznaczenia terenów nadzorowanych lub kontrolowanych.

Pozostaje poza sporem, że powyższe obowiązki, w szczególności w zakresie dokonania przeliczenia stężeń radonu na otrzymane przez pracowników (uczniów, art. 32a w związku z art. 23c ust. 2 ustawy Prawo atomowe) dawki promieniowania jonizującego wykraczają poza kompetencje kierowników jednostek i każdorazowo warto w tym zakresie poddać rozważeniu skorzystanie z usług zewnętrznych w formie „audytu radonowego”.

Rozdział 3 Metody minimalizacji ryzyka związanego z radonem

Stężenie radonu można obniżyć do bezpiecznego poziomu w każdym budynku, niezależnie od wstępnych pomiarów. Skuteczność działań zależy jednak od właściwego doboru strategii w zależności od charakterystyki obiektu i stężenia radonu w jego wnętrzu. **Dwa główne sposoby redukcji radonu to: dostarczenie świeżego powietrza z zewnątrz, co pozwala na jego rozrzedzenie, oraz zapobieganie przedostawaniu się radonu do wnętrza budynku.**

Zarówno w przypadku nowych, jak i istniejących budynków kluczowe jest podejście systemowe, obejmujące strategię pięciu kroków²⁶:

1. **określenie poziomu radonu i warunków środowiskowych** – każdy budynek znajduje się w specyficznym otoczeniu, które wpływa na poziom ryzyka. Ważnym krokiem jest przeprowadzenie dokładnych pomiarów stężenia radonu w budynku, które pozwalają na ocenę stopnia zagrożenia. Pomiar ten powinien być wykonany w okresie grzewczym, kiedy budynki są zamknięte, aby uzyskać najbardziej reprezentatywne wyniki. Dodatkowo, analiza warunków lokalnych, takich jak poziomy radonu w glebie, obecność wód gruntowych czy rodzaj użytych materiałów budowlanych, pozwala na określenie potencjalnych źródeł radonu i jego sposobów przedostawania się do wnętrza;
2. **planowanie działań** – na etapie planowania wiele decyzji może mieć kluczowe znaczenie dla zmniejszenia stężenia radonu, np. unikanie przekształcania piwnic w przestrzeń mieszkalną czy miejsca pracy, właściwe prowadzenie instalacji rurowych i kabli, a także wybór odpowiednich materiałów budowlanych;
3. **uszczelnianie** – jednym z podstawowych działań prewencyjnych jest uszczelnianie konstrukcji budynku, w tym szczelin i przejść instalacyjnych, takich jak rury i kanały wentylacyjne, czy utrzymywanie nadciśnienia w pomieszczeniach. Działania te minimalizują przepływ radonu z gleby do wnętrza;
4. **usuwanie radonu** – gdy radon przedostanie się do budynku, można go skutecznie usuwać za pomocą systemów wentylacyjnych lub systemów odprowadzania radonu spod fundamentów;
5. **monitorowanie** – regularny monitoring poziomu radonu we wnętrzach za pomocą urządzeń pomiarowych jest niezbędny, aby ocenić skuteczność podjętych działań i zapewnić utrzymanie bezpiecznych poziomów.

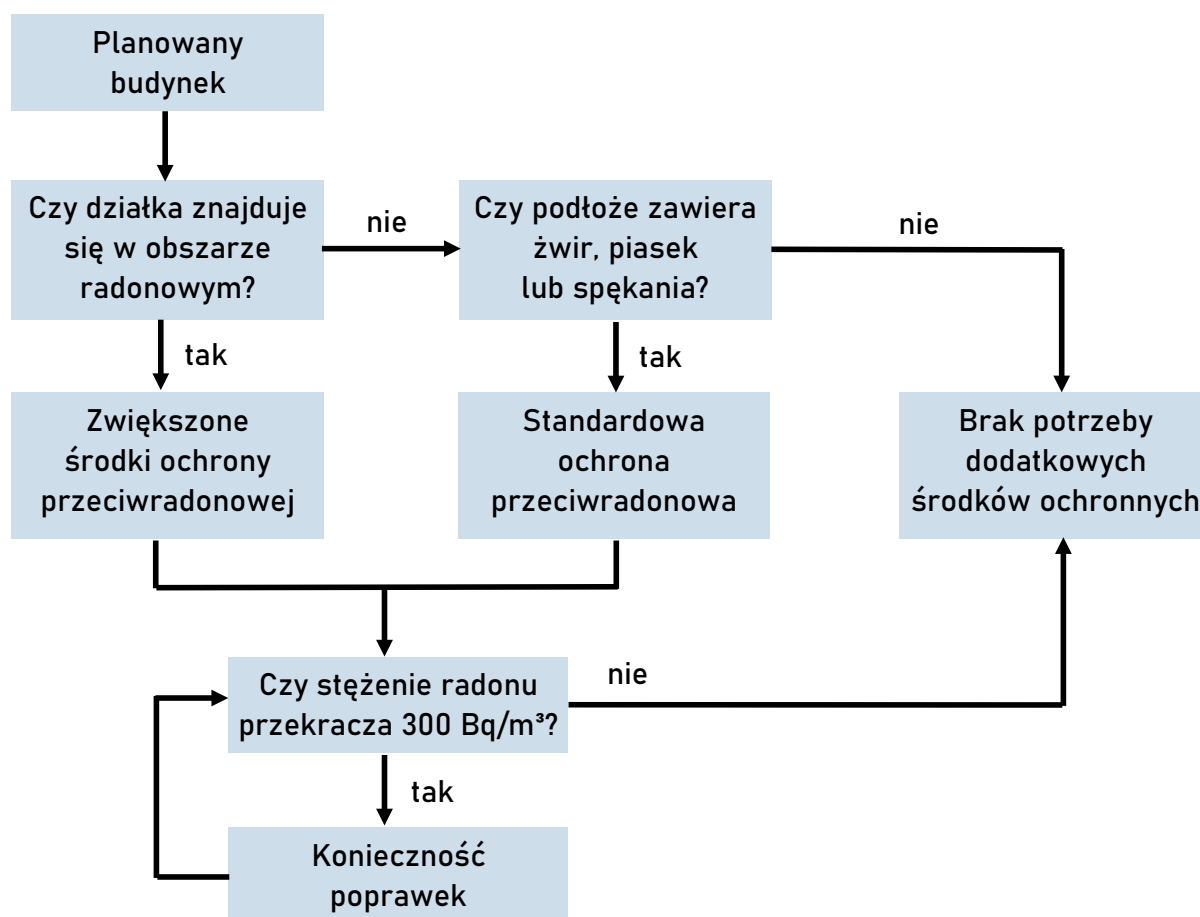
Podczas planowania i zarządzania projektami związanymi z budową nowych budynków lub modernizacją istniejących podejmowane są liczne decyzje mające bezpośredni wpływ na akumulację radonu. Kompleksowe podejście pozwala nie tylko zmniejszyć ryzyko, ale również utrzymać bezpieczne warunki przez cały okres użytkowania budynku.

²⁶ "Swiss Radon Handbook". Radiological Protection Division, Radiological Risk Section. Swiss Federal Office of Public Health. Bern, 2000

3.1 Nowe budynki

3.1.1 Projektowanie budynków w strefach o wysokim poziomie radonu

Projektowanie nowych budynków wymaga wdrożenia systematycznego procesu oceny ryzyka radonowego oraz dostosowania odpowiednich środków ochronnych do lokalnych warunków geologicznych. Diagram (rys. 1) procedury ochrony przeciwradonowej ilustruje kolejne kroki, które należy podjąć, aby zapewnić skuteczną ochronę przed radonem.



Rys. 1 Schemat procedury planowania i wdrażania ochrony przeciwradonowej w nowych budynkach²⁶

Pierwszym krokiem jest ustalenie, czy działka znajduje się w obszarze radonowym. Jeśli tak, konieczne jest zastosowanie zwiększonych środków ochrony przeciwradonowej, takich jak zaawansowane membrany, aktywne systemy odprowadzania radonu oraz szczelne fundamenty. W takich przypadkach działania mają na celu maksymalne ograniczenie przenikania radonu do wnętrza budynku.

Jeżeli działka nie jest klasyfikowana jako obszar radonowy, kolejnym etapem jest ocena właściwości gleby. Podłoże o wysokiej przepuszczalności, takie jak żwir, piasek lub spękania, zwiększa ryzyko migracji radonu. W takich warunkach stosuje się standardowe środki ochrony przeciwradonowej, obejmujące m.in. membrany o umiarkowanej szczelności, drenaże oraz podstawowe uszczelnienia fundamentów.

W przypadku terenów, które nie są obszarami radonowymi, a gleba nie wykazuje szczególnej przepuszczalności, dodatkowe środki ochronne mogą być zbędne. Jednak po zakończeniu budowy, niezależnie od wstępnej klasyfikacji terenu, zaleca się przeprowadzenie pomiarów stężenia radonu we wnętrzach. Jeśli wartości przekraczają poziom 300 Bq/m³ (poziom odniesienia dla średniorocznego stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu²⁷), konieczne jest wdrożenie poprawek, takich jak wzmocnienie uszczelnień lub instalacja dodatkowych systemów wentylacyjnych.

Podsumowując, proces projektowania oparty na szczegółowej ocenie ryzyka radonowego i odpowiednim doborze technologii ochronnych pozwala na skuteczne ograniczenie narażenia mieszkańców na radon. Dzięki hierarchii działań przedstawionej w diagramie możliwe jest dopasowanie środków do lokalnych warunków i specyfiki budynku.

3.1.2 Inżynierskie rozwiązania przeciwradonowe w nowym budownictwie^{28,29,30}

Efektywne zapobieganie przenikaniu radonu do wnętrza budynków wymaga integracji zaawansowanych rozwiązań inżynierskich z najlepszymi praktykami budowlanymi. W nowym budownictwie, gdzie środki ochrony mogą być wdrażane na etapie projektowania i budowy, istnieje możliwość skutecznego zarządzania ryzykiem związanym z radonem przy jednoczesnym ograniczeniu przyszłych kosztów naprawczych.

Dobór odpowiednich materiałów budowlanych

Kluczowym elementem ochrony przed radonem jest wybór materiałów o niskiej przepuszczalności gazów, takich jak beton o wysokiej gęstości, cegły ceramiczne czy szczelne bloczki betonowe. Materiały te stanowią barierę dla migracji gazu przez fundamenty i ściany budynku. Dodatkowo, należy unikać stosowania materiałów budowlanych pochodzących z terenów o wysokiej zawartości takich pierwiastków, jak uran czy tor, które mogą być źródłem dodatkowego radonu.

Szczelne fundamenty i połączenia konstrukcyjne

Fundamenty są najczęstszą drogą przenikania radonu do wnętrza budynków. Dlatego szczególny nacisk należy położyć na ich prawidłowe wykonanie i uszczelnienie. Kluczowe aspekty obejmują:

- **szczelne połączenia między płytą fundamentową a ścianami** – szczególnie istotne w przypadku fundamentów betonowych, gdzie nieszczelne złącza mogą stanowić główną drogę przenikania gazu. Wszystkie miejsca łączeń powinny być starannie uszczelnione przy użyciu trwałych, elastycznych materiałów, takich jak masy uszczelniające na bazie silikonu lub akrylu;

²⁷ Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1277).

²⁸ International Atomic Energy Agency, Protection Against Exposure Due to Radon Indoors and Gamma Radiation from Construction Materials — Methods of Prevention and Mitigation, IAEA-TECDOC-1951, IAEA, Vienna (2021)

²⁹ H. Zeeb, F. Shannoun (red.). "WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective". World Health Organization, Geneva 2009.

³⁰ M. Bartholomäus (red.). "Radon-Handbuch Deutschland". Bundesamt für Strahlenschutz. Salzgitter, 2019

- **zastosowanie pełnych płyt fundamentowych** – w obszarach radonowych zaleca się stosowanie jednolitych płyt fundamentowych o grubości co najmniej 30 cm zbrojonych stalą. Tego rodzaju fundamenty są bardziej odporne na przenikanie gazów niż fundamenty punktowe lub pasmowe. Szczególną uwagę należy zwrócić na dokładne uszczelnienie miejsc styku płyty z pionowymi ścianami fundamentowymi;
- **drenaż i poduszki żwirowe** – w strefach o wysokiej przepuszczalności gleby warto zastosować warstwy żwirowe pod fundamentami, które umożliwiają naturalne odprowadzanie radonu na zewnątrz. Poziomy drenaż można dodatkowo połączyć z pionową warstwą żwirową wokół zewnętrznych ścian fundamentowych, co poprawia wymianę powietrza pod budynkiem i redukuje koncentrację radonu;
- **zabezpieczenie miejsc przejść rur, kabli i innych instalacji technicznych:** każde przejście przez fundamenty stanowi potencjalną drogę infiltracji radonu. W miejscach tych należy stosować szczelne przepusty wykonane z trwałych materiałów oraz elastyczne uszczelki. Zaleca się unikanie nadmiernej liczby takich przejść w fundamentach, a w razie konieczności – grupowanie ich w jednej strefie, co ułatwia uszczelnianie.

Regularne kontrole jakości wykonania fundamentów oraz stosowanie nowoczesnych technologii uszczelniających pozwalają uniknąć problemów związanych z nieszczelnościami, takich jak pęknięcia konstrukcyjne. W miejscach szczególnie narażonych na przenikanie radonu, np. na terenach ze zboczami lub wysokim poziomem wód gruntowych, szczególnie istotne jest zapewnienie szczelności konstrukcji fundamentów oraz ich odpowiedniego wzmocnienia.

Membrany przeciwradonowe

Membrany przeciwradonowe są istotnym elementem ochrony przed migracją radonu do wnętrza budynków. *Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (International Atomic Energy Agency, IAEA)* podkreśla³⁹, że ich właściwe zastosowanie może znacząco obniżyć przenikanie gazu przez fundamenty i przyległe konstrukcje. Membrany te, zwykle wykonane z materiałów takich jak polietylen o dużej gęstości, tworzą barierę fizyczną pomiędzy gruntem a wnętrzem budynku.

Membrany przeciwradonowe powinny charakteryzować się wysoką odpornością na przenikanie gazów, trwałością oraz łatwością instalacji. Membrany muszą być szczelnie łączone na złączach i wokół przejść instalacyjnych, takich jak rury i kable, aby zapobiec powstawaniu nieszczelności.

Grubość membrany nie zawsze jest najważniejszym czynnikiem – liczy się przede wszystkim jej wytrzymałość mechaniczna i łatwość dopasowania do konstrukcji budynku. Cieńsze materiały mogą być bardziej elastyczne i łatwiejsze w montażu, podczas gdy grubsze membrany mogą zapewniać większą trwałość w trudnych warunkach gruntowych. Membrany muszą być odporne na gnicie, kompresję i wysychanie, co jest kluczowe dla długoterminowej ochrony przeciwradonowej. Zaleca się konsultacje z ekspertami na etapie planowania, aby dobrać materiały odpowiednie do lokalnych warunków geologicznych.

Aby zapewnić skuteczność membran przeciwradonowych²⁸:

- należy zastosować zakładki o szerokości co najmniej 300 mm na połączeniach między odcinkami membrany;
- wszystkie połączenia muszą być uszczelniane trwałymi materiałami, które są zgodne z powierzchnią membrany i materiałem konstrukcyjnym fundamentów;
- membrana powinna być zainstalowana na całej powierzchni fundamentów, w tym pod płytą podłogową i wokół ścian fundamentowych.

Jednym z najczęstszych problemów podczas instalacji membran są nieszczelności powstałe na skutek niewłaściwego łączenia membrany wokół przejść instalacyjnych lub w miejscach złożonych konstrukcji fundamentów. W takich przypadkach IAEA zaleca zastosowanie dodatkowych uszczelniaczy oraz kontrolę jakości podczas instalacji itd.

Membrany przeciwradonowe powinny być stosowane w połączeniu z innymi środkami ochrony, takimi jak wentylacja podpodłogowa czy szczelne fundamenty, co pozwala osiągnąć najlepsze wyniki. Takie podejście hybrydowe jest szczególnie skuteczne w rejonach o wysokim stężeniu radonu w glebie.

Systemy wentylacji podpodłogowej

Systemy wentylacyjne to kolejny ważny element w ochronie przed radonem, szczególnie w rejonach o wysokim stężeniu tego gazu w glebie. Istnieją różne technologie wentylacyjne, które mogą być stosowane w nowym budownictwie, wskazując zarówno na ich zalety, jak i ograniczenia. Wentylacja podpodłogowa odprowadza radon spod budynku, zanim przedostanie się on do wnętrza, co czyni ją jedną z najskuteczniejszych metod redukcji stężenia radonu.

Wyróżniamy dwa rodzaje systemów wentylacyjnych.

- **systemy pasywne** – opierają się na naturalnej konwekcji powietrza. Gazy spod fundamentów przemieszczają się przez sieć rur w kierunku atmosfery, dzięki różnicy ciśnień i temperatur. Ich zaletą jest brak konieczności stosowania urządzeń mechanicznych, co oznacza mniejsze koszty instalacji i eksploatacji. Jednak ich efektywność może być ograniczona w przypadku słabej wentylacji naturalnej lub niewystarczającej różnicy ciśnień;
- **systemy aktywne** – wykorzystują wentylatory do wymuszenia przepływu powietrza spod budynku, co pozwala na bardziej efektywne odprowadzanie radonu. Systemy te mogą zmniejszyć stężenie radonu wewnątrz budynku o 90% lub więcej, nawet w rejonach o wysokim stężeniu gazu w glebie. Systemy aktywne wymagają jednak regularnej konserwacji oraz zasilania elektrycznego, co generuje dodatkowe koszty.

IAEA wskazuje kilka kluczowych czynników, które determinują skuteczność systemów wentylacyjnych²⁸, w szczególności są to:

- natężenie przepływu powietrza – im większy przepływ, tym skuteczniejsza redukcja radonu. Zaleca się, aby przepływ był dostosowany do poziomu stężenia radonu oraz wielkości budynku;

- szczelność konstrukcji – systemy wentylacyjne działają najlepiej w budynkach o szczelnych fundamentach, gdzie minimalizowane są niekontrolowane przepływy gazów z gruntu;
- projekt instalacji – wentylacja podpodłogowa powinna być zaprojektowana z uwzględnieniem lokalnych warunków geologicznych oraz charakterystyki budynku.

W praktyce najlepsze rezultaty osiąga się, łącząc systemy wentylacyjne z innymi technologiami, takimi jak membrany przeciwradonowe i szczelne fundamenty.

Prawidłowe prowadzenie instalacji

Instalacje techniczne, takie jak rury kanalizacyjne, wentylacyjne czy elektryczne, często przecinają fundamenty i ściany budynków, tworząc potencjalne drogi infiltracji radonu. Prawidłowe prowadzenie instalacji wymaga:

- stosowania szczelnych przepustów instalacyjnych,
- unikania nadmiernej liczby otworów w fundamentach,
- oraz precyzyjnego uszczelnienia każdej przepusty za pomocą materiałów odpornych na działanie gazów.

Inne środki ochrony przeciwradonowej

Jednym z elementów ochrony przeciwradonowej jest **unikanie podciśnienia w budynkach**, które może zwiększać infiltrację radonu. Podciśnienie powstaje najczęściej na skutek działania wentylatorów w łazienkach, kuchniach czy kominkach bez wystarczającego dopływu świeżego powietrza. Dlatego projektowanie systemów wentylacyjnych powinno uwzględniać równowagę między dopływem a wyciągiem powietrza. W budynkach o wysokim ryzyku **zaleca się stosowanie systemów klimatyzacyjnych z automatyczną wymianą powietrza**, które skutecznie redukują stężenie radonu, o ile są prawidłowo zaprojektowane i regularnie konserwowane. Dobry efekt przynosi też utrzymywanie stałego lekkiego nadciśnienia w pomieszczeniach zagrożonych gromadzeniem się w nich radonu.

Podgrzewane podłogi, choć zapewniają komfort cieplny, **mogą prowadzić do rozszerzania się pęknięć w fundamentach**, zwiększając ryzyko przenikania radonu. W takich przypadkach konieczne jest stosowanie dodatkowych uszczelnień, takich jak folie izolacyjne lub powłoki bitumiczne, które wzmacniają ochronę fundamentów. Izolacje termiczne wnikające w grunt mogą natomiast tworzyć drogi infiltracji gazu. Aby temu zapobiec, należy je starannie uszczelniać lub przerwać w odpowiednich miejscach, aby nie stanowiły kanałów dla radonu.

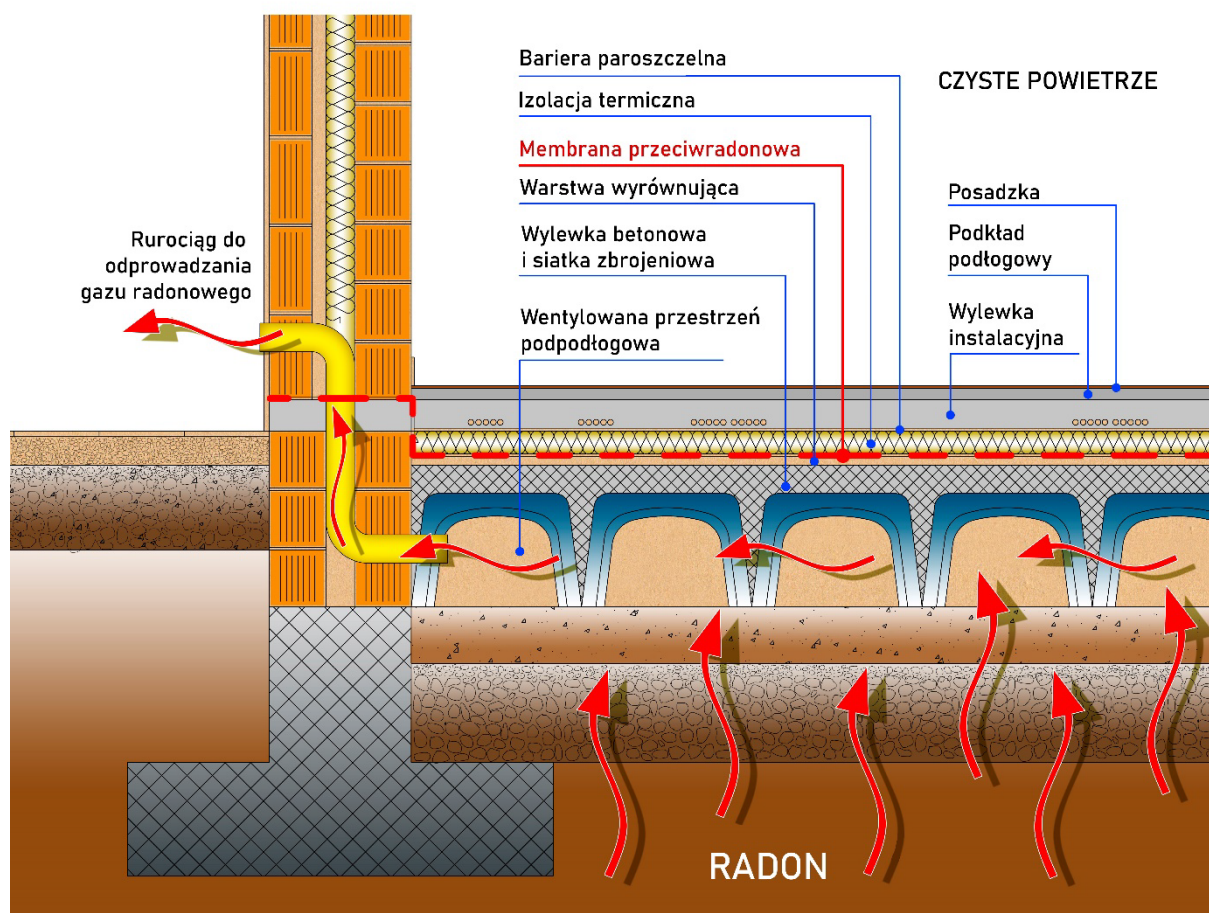
Dodatkowe środki ochronne obejmują **uszczelnianie drzwi i trapdoorów**, zwłaszcza tych prowadzących do piwnic lub innych pomieszczeń o potencjalnie wyższym stężeniu radonu. Drzwi powinny być wyposażone w elastyczne uszczelki oraz mechanizmy automatycznego zamykania, które zapobiegają przedostawaniu się gazu do pomieszczeń mieszkalnych. Ważne jest również **staranne uszczelnianie progów**, aby zapewnić pełną szczelność konstrukcji.

Połączenie technologii

Najlepsze rezultaty w ochronie przed radonem można osiągnąć poprzez zintegrowane podejście, łączące różne technologie, takie jak membrany przeciwradonowe, wentylacja podpodłogowa czy szczelne fundamenty. W nowym budownictwie, gdzie koszty takich

rozwiązań są relatywnie niskie w porównaniu do ich wprowadzania w istniejących budynkach, integracja tych środków jest szczególnie zalecana.

Rys. 2 przedstawia schemat zastosowania różnych technologii ochrony przeciwradonowej w nowym budownictwie. Zintegrowane podejście, obejmujące membrany przeciwradonowe, wentylowaną przestrzeń podpodłogową oraz szczelne fundamenty, pozwala skutecznie ograniczyć przenikanie radonu z gruntu do wnętrza budynku. Połączenie tych technologii zapewnia nie tylko bezpieczeństwo mieszkańców, ale także długotrwałą efektywność ochrony.



Rys. 2 Przekrój fundamentu z zastosowaniem membrany przeciwradonowej, wentylacji podpodłogowej oraz systemów odprowadzających radon, źródło: istockphoto, opracowanie własne autora

3.1.4 Monitorowanie poziomu radonu w nowych budynkach

Monitorowanie poziomu radonu w nowo wybudowanych budynkach jest kluczowym etapem weryfikacji skuteczności zastosowanych środków ochronnych. Nawet najlepsze technologie wymagają potwierdzenia ich efektywności za pomocą pomiarów.

Pierwsze pomiary należy przeprowadzić zaraz po zakończeniu budowy, szczególnie w pomieszczeniach mających kontakt z gruntem, takich jak piwnice, partery czy garaże. Badania te pozwalają ocenić, czy zastosowane środki ochrony przeciwradonowej spełniają

założone normy. Aby uzyskać pełny obraz zmienności stężenia radonu, monitoring powinien obejmować pełny cykl roczny, ponieważ poziom radonu zmienia się w zależności od sezonu – wzrasta zimą, gdy budynki są szczelniej zamknięte, a spada latem przy większej wymianie powietrza.

Monitoring można prowadzić za pomocą detektorów pasywnych, takich jak detektory śladowe, lub urządzeń aktywnych, które zapewniają ciągły pomiar i rejestrację danych. Detektory pasywne są ekonomiczne i łatwe w użyciu, ale nie dostarczają danych w czasie rzeczywistym. Urządzenia aktywne pozwalają na bieżąco analizować poziom radonu, co jest szczególnie przydatne w budynkach o zmiennych warunkach użytkowania.

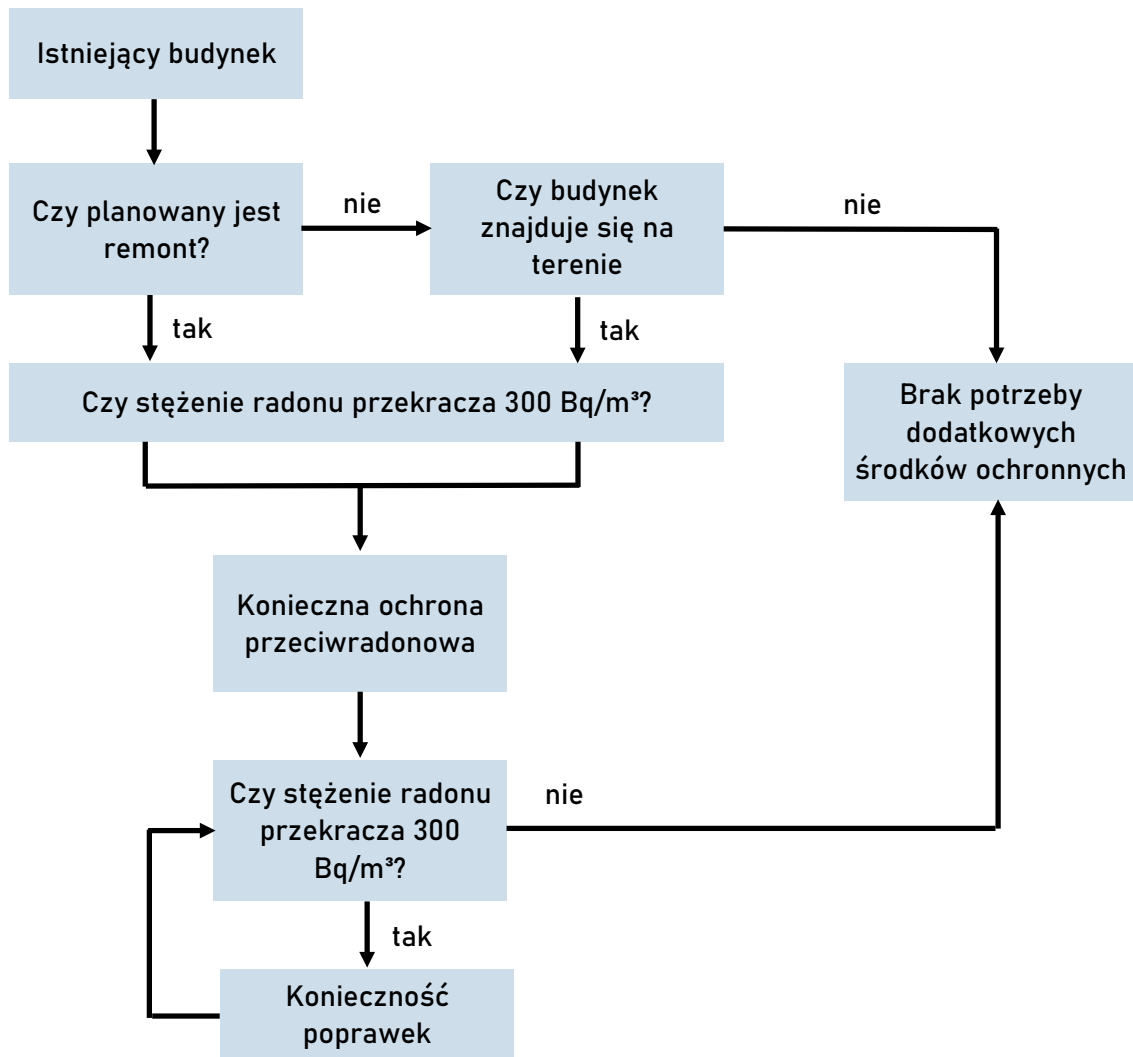
Pierwsze lata użytkowania budynku są kluczowe dla identyfikacji ewentualnych wad konstrukcyjnych i oceny stabilności zastosowanych rozwiązań. Regularny monitoring pozwala również zweryfikować skuteczność systemów wentylacyjnych oraz zidentyfikować sezonowe wahania stężenia radonu. W przypadku wykrycia poziomów przekraczających 300 Bq/m^3 ³¹, należy wdrożyć dodatkowe środki zaradcze.

3.2 Zmniejszanie radonu w budynkach z podwyższonym poziomem radonu

3.2.1 Identyfikacja źródeł radonu i ocena problemu

Zanim przystąpi się do działań mających na celu zmniejszenie stężenia radonu w istniejących budynkach, kluczowe jest precyzyjne określenie źródeł emisji gazu i stopnia zagrożenia. Radon może pochodzić z gleby pod budynkiem, materiałów budowlanych, a w niektórych przypadkach także z wody gruntowej. Szczegółowa identyfikacja problemu pozwala na skuteczny dobór środków zaradczych i długoterminową ochronę mieszkańców. Przykładowy schemat decyzyjny (rys. 3) obejmuje analizę kilku kluczowych elementów: planów remontowych, lokalizacji budynku w obszarze radonowym oraz wyników pomiarów stężenia radonu.

³¹ Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1277)



Rys. 3 Schemat procedury oceny i planowania działań ochronnych w istniejących budynkach w przypadku podwyższonego poziomu radonu²⁶

Pierwszym krokiem jest ustalenie, czy budynek znajduje się na obszarze o podwyższonym ryzyku radonowym oraz czy planowane są w nim remonty. Jeśli lokalizacja budynku nie wskazuje na obecność podwyższonego ryzyka, a remonty nie są planowane, dalsze działania nie są konieczne. W przeciwnym przypadku należy przeprowadzić pomiary stężenia radonu w celu dokładnej oceny ryzyka.

Profesjonalne pomiary stężenia radonu są kluczowym narzędziem w procesie oceny ryzyka. W pierwszej kolejności wykonuje się krótkoterminowe pomiary, aby sprawdzić, czy poziom radonu przekracza 300 Bq/m³. W przypadku przekroczenia tego progu zaleca się przeprowadzenie długoterminowych pomiarów obejmujących pełen cykl roczny. Detektory pasywne, takie jak detektory śladowe, są preferowane ze względu na ich dokładność i ekonomiczność.

Wyniki pomiarów są podstawą do podejmowania decyzji dotyczących konieczności działań naprawczych:

- **stężenie radonu $> 300 \text{ Bq/m}^3$** – konieczne jest wdrożenie działań ochronnych, takich jak uszczelnienie fundamentów, poprawa systemu wentylacji lub instalacja aktywnych systemów odprowadzających radon;
- **stężenie radonu $\leq 300 \text{ Bq/m}^3$** – nie są wymagane dodatkowe środki ochronne.

Radon w budynkach może pochodzić z gleby pod fundamentami, materiałów budowlanych lub wody gruntowej. Szczególnie w starszych budynkach, które charakteryzują się uszkodzeniami konstrukcyjnymi lub nieszczelnościami, radon łatwo przenika do wnętrza przez szczeliny i pęknięcia. Na obszarach wiejskich radon może również pochodzić z wody gruntowej używanej do celów domowych.

Wysokie stężenia radonu, szczególnie w piwnicach i na parterze budynków, wymagają pilnych działań. Kluczowe jest dobranie metod zaradczych odpowiednich do specyfiki budynku.

3.2.2 Uszczelnianie budynków

Uszczelnianie budynków jest jedną z podstawowych i najskuteczniejszych metod ograniczania przenikania radonu do wnętrza. Polega ono na eliminacji nieszczelności w fundamentach, ścianach i innych elementach konstrukcyjnych, które mogą stanowić drogi infiltracji gazu.

Fundamenty budynku są główną barierą chroniącą wnętrze przed radonem z gleby. Dokładna inspekcja fundamentów pozwala zidentyfikować pęknięcia, szczeliny i inne defekty konstrukcyjne, które mogą stanowić punkty przenikania gazu. W miejscach tych zaleca się stosowanie materiałów takich jak:

- **elastyczne masy uszczelniające** – idealne do wypełniania szczelin i połączeń między elementami konstrukcyjnymi;
- **beton o niskiej przepuszczalności** – stosowany w fundamentach, aby zapobiegać przenikaniu radonu przez strukturę budynku;
- **powłoki polimerowe** – tworzące trwałą barierę ochronną, zwłaszcza w obszarach kontaktu fundamentów z gruntem.

W przypadku ścian szczególną uwagę należy zwrócić na obszary przyziemia, które są w bezpośrednim kontakcie z gruntem. Stosowanie hydroizolacji, dodatkowych powłok ochronnych oraz specjalistycznych tynków ogranicza przepływ gazu do wnętrza budynku.

Przejścia instalacyjne, takie jak rury kanalizacyjne, przewody elektryczne czy wentylacyjne, są częstymi drogami przenikania radonu do wnętrza budynków. Szczelne uszczelnienie tych miejsc jest kluczowe dla skutecznej ochrony, dlatego zaleca się stosowanie:

- **uszczelnień wykonanych z materiałów odpornych na przepływ gazów;**
- **specjalnych kołnierzy i manszet uszczelniających**, które tworzą szczelne połączenia wokół rur;
- **elastycznych materiałów do wypełniania szczelin**, takich jak masy poliuretanowe.

Szczególną uwagę należy zwrócić na jakość wykonania uszczelnień. Niedokładne lub niskiej jakości rozwiązania mogą prowadzić do powstawania punktów nieszczelności, które osłabiają skuteczność zastosowanych środków. Należy zwrócić uwagę także na jakość użytych

materiałów. W budynkach narażonych na wysokie stężenia radonu szczególnie polecane są materiały o wysokiej odporności na przepływ gazów, takie jak:

- **powłoki poliuretanowe i epoksydowe** – odporne na starzenie i działanie wilgoci;
- **folie przeciwradonowe** – tworzące barierę ochronną w trudno dostępnych miejscach;
- **cementy specjalistyczne** – stosowane do wypełniania większych pęknięć i ubytków w fundamentach.

Zaleca się stosowanie produktów o wysokiej odporności mechanicznej oraz odporności na działanie czynników zewnętrznych.

Uszczelnianie fundamentów i ścian powinno być stosowane w połączeniu z innymi środkami ochronnymi, takimi jak systemy wentylacyjne czy aktywne systemy odprowadzania radonu spod budynku. Szczelne fundamenty zmniejszają ilość gazu, który musi być usunięty z wnętrza budynku, co pozwala na bardziej efektywne działanie systemów aktywnych.

Uszczelnianie jest relatywnie prostym i niedrogim środkiem zaradczym, który można wdrożyć zarówno w nowych, jak i istniejących budynkach. Jego główną zaletą jest redukcja przenikania radonu u źródła, co zmniejsza potrzebę stosowania kosztownych technologii aktywnych. Ograniczeniem tej metody jest jednak konieczność dokładnego wykonania uszczelnień oraz jej ograniczona skuteczność w budynkach o bardzo wysokim stężeniu radonu lub znacznym stopniu uszkodzeń konstrukcji.

3.2.3 Wentylacja w istniejących budynkach

Wentylacja jest jednym z najczęściej stosowanych środków redukcji stężenia radonu w istniejących budynkach. Polega na wymianie powietrza wewnętrznego, bogatego w radon, na świeże powietrze z zewnątrz, co skutecznie rozcieńcza stężenie gazu w pomieszczeniach. Może być stosowana zarówno jako samodzielna metoda, jak i w połączeniu z innymi środkami.

Wentylacja nadciśnieniowa wprowadza świeże powietrze do wnętrza budynku, podnosząc ciśnienie wewnętrzne względem ciśnienia gruntu. Tworzy to barierę, która ogranicza przepływ radonu z gleby do wnętrza budynku. Metoda ta jest szczególnie skuteczna w budynkach z dobrze uszczelnionymi fundamentami, gdzie kluczowe jest ograniczenie infiltracji radonu przez nieszczelności. Zintegrowanie wentylacji nadciśnieniowej z systemem mechanicznym budynku może jednocześnie poprawić jakość powietrza i komfort cieplny.

Wentylacja wyciągowa, polegająca na usuwaniu powietrza z budynku, jest mniej skuteczna w redukcji radonu. Tworzone przez nią podciśnienie może zwiększać infiltrację gazu z gleby, szczególnie w budynkach o nieszczelnych fundamentach. Niemniej jednak w połączeniu z odpowiednimi uszczelnieniami może przyczynić się do poprawy jakości powietrza i redukcji stężenia radonu, szczególnie w pomieszczeniach takich jak piwnice, gdzie wymiana powietrza jest utrudniona.

Badania przeprowadzone przez Lucchettiego i współautorów, opublikowane w artykule pt. *"Indoor/outdoor air exchange affects indoor radon – the use of a scale model room to develop a mitigation strategy"* w czasopiśmie *Advances in Geosciences* w 2022 roku³², dostarczyły

³² Lucchetti, C., Galli, G., & Tuccimei, P. (2022). Indoor/outdoor air exchange affects indoor radon – the use of a scale model room to develop a mitigation strategy. *Advances in Geosciences*, 57, 81–88.

istotnych informacji na temat skuteczności różnych metod wentylacji. W badaniach wykorzystano skalowaną komorę modelową o wymiarach 62 cm × 50 cm × 35 cm, wykonaną z porowatego materiału bogatego w rad, aby ocenić wpływ różnych sposobów wymiany powietrza na stężenie radonu w pomieszczeniu. Eksperymenty wykazały, że wprowadzanie powietrza z zewnątrz (wentylacja nadciśnieniowa) jest skuteczniejsze od wyciągania powietrza z wnętrza (wentylacja wyciągowa). Przy zastosowaniu nadciśnienia stężenie radonu zmniejszyło się nawet o 89,5% przy przepływie 0,82 litrów/min, podczas gdy w przypadku podciśnienia redukcja wyniosła jedynie 25%. Wyniki te wskazują, że nadciśnienie ogranicza infiltrację radonu z gleby, podczas gdy podciśnienie może prowadzić do zwiększenia migracji gazu do wnętrza budynku.

Naturalna wentylacja, oparta na swobodnym przepływie powietrza przez otwory okienne, drzwi oraz inne nieszczelności konstrukcyjne, może być skuteczna jedynie w określonych warunkach. Jej efektywność zależy od temperatury, wiatru i innych czynników pogodowych, co sprawia, że jest trudna do kontrolowania i nie zapewnia stałej wymiany powietrza. W związku z tym naturalna wentylacja nie jest zalecana jako podstawowa metoda redukcji radonu w budynkach z podwyższonym stężeniem.

Wentylacja najlepiej sprawdza się jako element zintegrowanej strategii przeciwradonowej. Na przykład połączenie wentylacji mechanicznej z uszczelnieniem fundamentów czy aktywnym systemem odprowadzania radonu spod budynku pozwala na znacznie większą skuteczność redukcji stężenia gazu. Tego typu podejście hybrydowe pozwala maksymalizować efektywność każdego z zastosowanych rozwiązań.

Wentylacja, choć skuteczna, ma swoje ograniczenia. Systemy mechaniczne wymagają regularnej konserwacji, co wiąże się z dodatkowymi kosztami eksploatacyjnymi. W chłodnym klimacie nadmierna wentylacja może prowadzić do strat ciepła i zwiększenia kosztów ogrzewania, co należy uwzględnić na etapie projektowania. Ważne jest także dostosowanie intensywności wentylacji do lokalnych warunków geologicznych i klimatycznych, aby zapewnić równowagę między skutecznością redukcji radonu a komfortem użytkownika budynku.

3.2.4 Systemy aktywnego odprowadzania radonu

Systemy aktywnego odprowadzania radonu to jedna z najskuteczniejszych metod redukcji stężenia tego gazu w istniejących budynkach. Ich działanie polega na usuwaniu radonu spod fundamentów lub z wnętrza budynku, zanim zdąży on zgromadzić się w pomieszczeniach. Metoda ta sprawdza się szczególnie w budynkach z wysokimi stężeniami radonu, gdzie inne środki, takie jak wentylacja czy uszczelnianie, okazują się niewystarczające.

Ssanie podpodłogowe (Sub-Slab Depressurization, SSD)

Ssanie podpodłogowe to najczęściej stosowana technologia aktywnego odprowadzania radonu. Polega na instalacji perforowanych rur pod fundamentami budynku, które są połączone z wentylatorem wytwarzającym podciśnienie. Dzięki temu radon jest skutecznie usuwany z gleby i odprowadzany na zewnątrz budynku.

Metoda ta jest szczególnie efektywna w budynkach z płytami fundamentowymi, gdzie instalacja rur jest stosunkowo prosta. W budynkach z piwnicami lub fundamentami

szczelinowymi system SSD również może być zastosowany, jednak wymaga odpowiedniego dostosowania do specyfiki konstrukcji, na przykład instalacji dodatkowych rur w ścianach fundamentowych lub podłogach piwnic.

Systemy odprowadzania radonu z przestrzeni podpodłogowej (Crawl Space Ventilation)

W budynkach z przestrzenią podpodłogową stosuje się systemy, które zapewniają przepływ powietrza między gruntem a podłogą. Istnieją dwa główne typy takich systemów:

- **pasywne** – wykorzystujące naturalną konwekcję powietrza do odprowadzania radonu;
- **aktywne** – wyposażone w wentylatory, które wymuszają przepływ powietrza, znacznie zwiększając efektywność systemu.

Systemy aktywne są znacznie skuteczniejsze i mogą redukować stężenie radonu nawet o 90%. Jednakże wymagają stałego zasilania oraz regularnej konserwacji, co generuje dodatkowe koszty eksploatacyjne.

Systemy odprowadzania radonu z gruntu przylegającego do fundamentów

W budynkach z piwnicami stosuje się rozwiązania polegające na odprowadzaniu radonu z gleby otaczającej ściany fundamentowe. W gruncie wokół budynku instaluje się perforowane rury, które łączą się z wentylatorami, odprowadzającymi gaz na zewnątrz. Dzięki temu radon jest skutecznie usuwany, zanim przeniknie przez ściany fundamentowe do wnętrza budynku.

Zalety, wyzwania i ograniczenia systemów aktywnego odprowadzania radonu

Systemy aktywnego odprowadzania radonu mają wiele zalet, w tym:

- **redukcja stężenia radonu u źródła** – radon jest usuwany z gleby, zanim przeniknie do wnętrza budynku;
- **wszelstronność** – możliwość dostosowania do różnych konstrukcji budynków, w tym tych z płytami fundamentowymi, piwnicami czy przestrzeniami podpodłogowymi;
- **integracja z innymi metodami ochrony** – systemy te mogą być stosowane w połączeniu z uszczelnianiem i wentylacją mechaniczną, co zwiększa skuteczność działań przeciwradonowych.

Pomimo wysokiej skuteczności, systemy aktywnego odprowadzania radonu mają swoje ograniczenia. Są to przede wszystkim:

- **koszty eksploatacyjne** – systemy te wymagają stałego zasilania energią elektryczną, co generuje dodatkowe wydatki;
- **trudności instalacyjne** – instalacja może być utrudniona w starszych budynkach, gdzie dostęp do fundamentów jest ograniczony;
- **konieczność konserwacji** – systemy wymagają regularnych przeglądów i konserwacji, aby zapewnić ich niezawodne działanie przez wiele lat;
- **wpływ na izolację termiczną** – w przypadku systemów podfundamentowych konieczne jest zadbanie o odpowiednią izolację, aby uniknąć strat ciepła w zimnym klimacie.

3.2.4 Inne techniki redukcji radonu

Oprócz wentylacji, uszczelniania i systemów aktywnego odprowadzania, istnieje wiele technik wspierających redukcję stężenia radonu w istniejących budynkach. Są one szczególnie przydatne w sytuacjach, gdy tradycyjne metody okazują się niewystarczające lub gdy wymagane jest uzupełnienie działań przeciwradonowych.

Drenaż i wentylacja podfundamentowa

Jednym z efektywnych rozwiązań wspierających redukcję radonu jest zastosowanie drenażu i wentylacji podfundamentowej. Układanie warstw żwirowych pod fundamentami oraz pionowych warstw wokół budynku umożliwi naturalne odprowadzanie radonu z gleby. W bardziej zaawansowanych systemach stosuje się perforowane rury w warstwach żwirowych, które wspierają kontrolowany przepływ powietrza. W przypadku dużego stężenia radonu, systemy te mogą być wyposażone w wentylatory, co znacznie zwiększa ich efektywność. Drenaż podfundamentowy pełni również funkcję wspierającą w systemach aktywnego odprowadzania radonu.

Zastosowanie barier przeciwradonowych

Membrany przeciwradonowe oraz powłoki ochronne stosuje się jako bariery redukujące przepływ radonu z gleby. Ich instalacja pod istniejącymi fundamentami jest jednak w większości przypadków niemożliwa bez poważnych prac konstrukcyjnych. W budynkach już stojących, barierami przeciwradonowymi można wzmocnić jedynie zewnętrzne powierzchnie fundamentów, co wymaga ich częściowego odkrycia.

Adaptacja konstrukcji budynku

W budynkach z pustymi przestrzeniami podpodłogowymi można wprowadzić zmiany konstrukcyjne, które ograniczają migrację radonu. Wentylacja takich przestrzeni zmniejsza akumulację gazu pod budynkiem. Innym rozwiązaniem jest reorganizacja użytkowania budynku – unikanie przekształcania piwnic na przestrzenie mieszkalne czy miejsca pracy oraz projektowanie barier między pomieszczeniami o podwyższonym stężeniu radonu a częściami przeznaczonymi do pracy czy zamieszkania.

Modyfikacja systemów ogrzewania i izolacji

Podciśnienie w budynkach może zwiększać infiltrację radonu z gleby, dlatego kluczowe jest zapobieganie jego powstawaniu. Należy zapewnić równowagę między wyciągiem a dopływem powietrza w systemach wentylacyjnych oraz unikać stosowania urządzeń generujących podciśnienie, takich jak kominki bez zewnętrznego dopływu powietrza. Dodatkowo izolacja termiczna między pomieszczeniami mieszkalnymi a strefami narażonymi na radon, takimi jak piwnice, może znacząco ograniczyć przenikanie gazu do przestrzeni użytkowych.

3.2.5 Monitorowanie długoterminowe po wdrożeniu działań

Długoterminowe monitorowanie poziomu radonu po wdrożeniu działań naprawczych jest kluczowe dla oceny ich skuteczności oraz zapewnienia bezpieczeństwa mieszkańcom. Regularne pomiary pozwalają na wczesne wykrycie ewentualnych problemów, takich jak spadek efektywności systemów wentylacyjnych lub nieszczelności, które mogą prowadzić do wzrostu stężenia radonu.

Pomiary zaleca się wykonywać w regularnych odstępach czasu – na przykład co rok w pierwszych latach po zakończeniu prac, a później co kilka lat, o ile poziom radonu pozostaje stabilny. Warto także przeprowadzać pomiary po zmianach w konstrukcji budynku, sposobie użytkowania lub warunkach środowiskowych, które mogą wpłynąć na poziom radonu. Szczególnie istotne jest uwzględnienie sezonowych wahań stężenia, które mogą być znaczące w zimie i latem.

Rozdział 4 Akty prawne dotyczące radonu – krajowe i międzynarodowe regulacje

Niniejszy rozdział przedstawia zakres kluczowych aktów prawnych i wytycznych dotyczących radonu, zarówno na poziomie międzynarodowym, jak i krajowym. Omówione zostały dokumenty takie jak Dyrektywa Rady 2013/59/Euratom, zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia (World Health Organization, WHO) oraz publikacje Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (International Atomic Energy Agency, IAEA).

Przybliżono również krajowe regulacje, w tym przepisy ustawy „Prawo atomowe”, które wdrażają wytyczne międzynarodowe. W Rozdziale skoncentrowano się na analizie zakresu wspomnianych regulacji – ich głównych celach, strukturze oraz wymaganiach dotyczących zarządzania ryzykiem związanym z radonem.

4.1 Dyrektywa Rady 2013/59/Euratom

Dyrektywa Rady 2013/59/Euratom³³, przyjęta 5 grudnia 2013 roku i opublikowana w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej 17 stycznia 2014 roku, ustanawia podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony zdrowia pracowników, ludności oraz pacjentów przed szkodliwymi skutkami promieniowania jonizującego. Dokument ten zastąpił kilka wcześniejszych aktów prawnych, takich jak dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom, konsolidując przepisy w celu dostosowania ich do współczesnej wiedzy naukowej oraz praktyk (preambuła, punkty 3-7).

Dyrektywa składa się ze 109 artykułów podzielonych na 10 rozdziałów oraz 19 załączników. Wprowadza szczegółowe regulacje dotyczące ochrony przed radonem, który jest uznawany za jedno z najistotniejszych naturalnych zagrożeń zdrowotnych. Ustanawia krajowe poziomy referencyjne dla stężeń radonu w powietrzu w budynkach mieszkalnych i miejscach pracy, które nie mogą być wyższe niż 300 Bq/m³ (art. 54). Państwa członkowskie mają jednak możliwość dostosowania tych poziomów do lokalnych warunków, pod warunkiem oparcia ich na dowodach naukowych wskazujących na ryzyko zdrowotne związane z długotrwałym narażeniem.

Dyrektywa nakłada obowiązek opracowania i wdrożenia krajowego planu działań, który powinien uwzględniać długoterminowe ryzyko związane z narażeniem na radon w budynkach mieszkalnych, miejscach publicznych i miejscach pracy (art. 103).

Dyrektywa określa również szczególne wymogi dotyczące miejsc pracy, w tym obowiązek regularnych pomiarów stężeń radonu w lokalizacjach zidentyfikowanych jako obszary ryzyka (art. 54). Jeśli mimo podjęcia działań stężenie radonu przekracza poziom referencyjny, pracodawca ma obowiązek zgłosić tę sytuację odpowiednim organom (art. 25). W przypadkach, gdy roczna dawka efektywna dla pracowników przekracza 6 mSv, należy traktować narażenie jako planowane i poddać je szczególnemu nadzorowi (art. 35).

³³ Dyrektywa Rady 2013/59/Euratom z dnia 5 grudnia 2013 r. ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w zakresie ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na promieniowanie jonizujące oraz uchylająca dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, L13, 17 stycznia 2014, s. 1-73.

Dyrektywa kładzie nacisk na wdrażanie zasad optymalizacji ochrony radiologicznej. Działania zaradcze powinny być proporcjonalne do poziomu zagrożenia i uwzględniać potencjalne korzyści zdrowotne wynikające z redukcji narażenia. Szczególnie istotne jest zapobieganie przenikaniu radonu do nowych budynków poprzez odpowiednie przepisy budowlane (Załącznik XVIII, pkt 8).

Ważnym aspektem dyrektywy jest edukacja i informowanie społeczeństwa o zagrożeniach związanych z radonem oraz metodach ograniczania jego stężeń (art. 74). Kampanie edukacyjne powinny również podkreślać współzależność między narażeniem na radon a paleniem tytoniu jako czynnikami zwiększającymi ryzyko raka płuc.

4.2 Zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia dotyczące radonu

Radon został uznany przez Światową Organizację Zdrowia (WHO) za istotne zagrożenie dla zdrowia publicznego. WHO podkreśla ścisły związek między długotrwałą ekspozycją na radon a ryzykiem wystąpienia raka płuc, co czyni go drugim najważniejszym czynnikiem ryzyka po paleniu tytoniu. W 2005 roku WHO zainicjowała **Międzynarodowy Projekt Radonowy (International Radon Project, IRP)**³⁴, którego celem była globalna redukcja obciążeń zdrowotnych związanych z narażeniem na radon w budynkach mieszkalnych.

Projekt IRP miał cztery kluczowe cele:

1. identyfikację skutecznych strategii redukcji zdrowotnych skutków ekspozycji na radon;
2. promowanie solidnych opcji politycznych, programów zapobiegania i łagodzenia skutków (w tym monitorowania i oceny programów);
3. podnoszenie świadomości społecznej, politycznej i ekonomicznej na temat konsekwencji ekspozycji na radon;
4. szacowanie globalnych skutków zdrowotnych ekspozycji na radon w oparciu o dostępne dane.

W ramach projektu RP podjęto szereg działań, które miały na celu zmniejszenie obciążeń zdrowotnych związanych z radonem. Kluczowym elementem projektu była organizacja międzynarodowych spotkań ekspertów. Pierwsze z nich odbyło się w 2005 roku i zgromadziło 36 specjalistów z 17 krajów, podczas gdy kolejne miały miejsce w 2006 roku w Genewie oraz w 2007 roku w Monachium. Te wydarzenia pozwoliły na przegląd postępów projektu i skoncentrowanie się na dwóch głównych efektach pracy: „The WHO Report on the Global Burden of Disease (GBD) due to Radon” oraz „WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective”. Spotkania umożliwiły także wymianę doświadczeń między krajami i organizacjami zaangażowanymi w działania związane z radonem.

IRP doprowadził do stworzenia wytycznych dotyczących zapobiegania i redukcji ekspozycji na radon, uwzględniających zarówno koszty, jak i skuteczność poszczególnych działań. Promowano także standaryzację metod pomiarowych, co znacząco poprawiło porównywalność danych dotyczących stężeń radonu na całym świecie.

³⁴ Carr, Z., Shannoun, F., Zeeb, H., and Zielinski, J. M. (2008). World Health Organization's International Radon Project 2005–2008. IRPA 12 International Congress Proceedings. Buenos Aires, Argentina

4.2.1 WHO Handbook on Indoor Radon

Jednym z kluczowych wyników projektu IRP jest „WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective”³⁵, opublikowany w 2009 roku. Podręcznik ten zawiera kompleksowy przegląd zagadnień związanych z radonem, od aspektów epidemiologicznych po metody pomiaru i strategię redukcji jego stężenia. Organizacja zwraca uwagę na konieczność ustanowienia poziomu odniesienia dla radonu w budynkach mieszkalnych na poziomie 100 Bq/m³, a tam, gdzie to nie jest możliwe, na poziomie nieprzekraczającym 300 Bq/m³.

Podręcznik składa się z sześciu rozdziałów, z których każdy rozpoczyna się kluczowymi тезami, przedstawiającymi główne zagadnienia i wnioski dotyczące ochrony przed radonem. Zawiera szczegółowe informacje na temat urządzeń do pomiaru radonu, metod uzyskiwania wiarygodnych wyników oraz procedur zapobiegania przenikaniu radonu do nowych budynków, takich jak odpowiednie izolacje fundamentów. Opisano również techniki redukcji radonu w istniejących konstrukcjach, a także ocenę kosztów i korzyści wynikających z różnych działań zapobiegawczych. Dodatkowo omówiono strategię komunikacji ryzyka oraz organizacyjne aspekty krajowych programów radonowych.

4.2.2 Global Health Observatory (GHO)

WHO stworzyła również platformę **Global Health Observatory**³⁶, umożliwiającą m.in. monitorowanie polityk i regulacji krajowych dotyczących radonu. Platforma zawiera dane o:

- poziomach referencyjnych radonu w różnych krajach,
- narodowych strategiach zapobiegania i redukcji ekspozycji na radon,
- oraz wynikach pomiarów w budynkach mieszkalnych i miejscach pracy.

GHO wspiera kraje w ocenie skuteczności ich programów i wymianie najlepszych praktyk na poziomie międzynarodowym.

WHO podkreśla, że skuteczna redukcja ryzyka wymaga współpracy międzynarodowej z organizacjami takimi jak IAEA (International Atomic Energy Agency, Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej) i UNSCEAR, harmonizacji standardów oraz promowania edukacji publicznej. Długoterminowym celem jest zmniejszenie liczby przypadków raka płuc poprzez efektywne zarządzanie ryzykiem związanym z radonem.

³⁵ H. Zeeb, F. Shannoun (red.). „WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective”. World Health Organization, Geneva 2009.

³⁶ World Health Organization, „The Global Health Observatory. Radon Database”.

<https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/topic-details/GHO/gho-phe-radon-database> (dostęp: grudzień 2024)

4.3. Zalecenia Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej dotyczące ochrony przed promieniowaniem w kontekście radonu

Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA) odgrywa kluczową rolę w promowaniu globalnych standardów ochrony przed promieniowaniem, w tym związanych z ekspozycją na radon. IAEA opracowała szereg dokumentów szczegółowo omawiających zagrożenia związane z radonem, w tym:

- "Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards" (GSR Part 3)³⁷,
- "Protection of the Public Against Exposure Indoors Due to Radon and Other Natural Sources of Radiation (SSG-32)"³⁸,
- "Protection Against Exposure Due to Radon Indoors and Gamma Radiation from Construction Materials — Methods of Prevention and Mitigation (TECDOC-1951)"³⁹,
- oraz "Design and Conduct of Indoor Radon Surveys"⁴⁰.

IAEA publikuje serię „Safety Standards”, która zawiera podstawowe zasady, wymagania i zalecenia mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa jądrowego. Dokumenty te służą jako globalny punkt odniesienia w zakresie ochrony ludzi i środowiska oraz przyczyniają się do zharmonizowanego wysokiego poziomu bezpieczeństwa na całym świecie. Dokument **"Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards" (GSR Part 3)**, opracowany wspólnie przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (IAEA) oraz organizacje partnerskie, takie jak Światowa Organizacja Zdrowia (WHO), Program Narodów Zjednoczonych ds. Ochrony Środowiska (UNEP) i Międzynarodowa Organizacja Pracy (ILO), określa zasady ochrony przed promieniowaniem i bezpieczeństwa źródeł promieniowania w różnych sytuacjach narażenia. W dokumencie szczególny nacisk położono na działania związane z radonem, uwzględniając zarówno ekspozycję ludności, jak i pracowników w miejscach pracy.

W kontekście radonu GSR Part 3 wskazuje na konieczność ustalania poziomów referencyjnych dla stężeń radonu w budynkach mieszkalnych i miejscach pracy, z uwzględnieniem lokalnych warunków oraz międzynarodowych standardów. Zobowiązuje także rządy do opracowania strategii zarządzania ryzykiem związanym z radonem, w tym identyfikacji obszarów podwyższonego ryzyka oraz wdrażania skutecznych programów monitorowania i prewencji. Dokument podkreśla znaczenie monitorowania i ograniczania ekspozycji na radon poprzez środki techniczne, takie jak izolacja fundamentów czy poprawa wentylacji, oraz administracyjne, jak przepisy budowlane i wytyczne dotyczące zarządzania ekspozycją.

Zgodnie z *Requirement 50: Public exposure due to radon indoors*, rządy są zobowiązane do gromadzenia informacji na temat stężeń radonu w budynkach mieszkalnych oraz budynkach użyteczności publicznej. Powinny także dostarczać informacje na temat zdrowotnych skutków

³⁷ International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (GSR Part 3). Vienna: IAEA, 2014.

³⁸ International Atomic Energy Agency. Protection of the Public Against Exposure Indoors Due to Radon and Other Natural Sources of Radiation (SSG-32). Vienna: IAEA, 2015.

³⁹ International Atomic Energy Agency. Protection Against Exposure Due to Radon Indoors and Gamma Radiation from Construction Materials — Methods of Prevention and Mitigation (TECDOC-1951). Vienna: IAEA, 2021.

⁴⁰ International Atomic Energy Agency. Design and Conduct of Indoor Radon Surveys. Vienna: IAEA, 2019.

ekspozycji na radon, w tym zwiększonego ryzyka raka płuc związanego z paleniem tytoniu. Jeśli stężenia radonu są uznawane za zagrożenie dla zdrowia publicznego, rządy mają obowiązek wdrożenia planu działań obejmującego:

- ustalenie poziomu referencyjnego dla radonu w budynkach mieszkalnych i publicznych, przy czym średnia roczna aktywność promieniotwórcza radonu nie powinna przekraczać 300 Bq/m³;
- redukcję stężeń radonu i optymalizację ochrony w celu minimalizacji narażenia;
- nadanie priorytetu działaniom w sytuacjach, w których redukcja stężeń będzie najbardziej efektywna;
- wprowadzenie odpowiednich środków zapobiegawczych w przepisach budowlanych, takich jak zapobieganie przedostawaniu się radonu do nowych budynków.

Rządy są odpowiedzialne za wyznaczenie podmiotów realizujących te działania oraz za określenie, które środki będą obligatoryjne, a które dobrowolne, z uwzględnieniem uwarunkowań społecznych i ekonomicznych.

GSR Part 3 zawiera również szczegółowe wymagania dotyczące ochrony pracowników przed radonem w miejscach pracy. Dozory jądrowe powinny opracować strategie ochrony, w tym ustanowienie poziomu referencyjnego. Pracodawcy są zobowiązani do redukcji stężeń radonu do poziomu możliwie najniższego, ale jeśli mimo podjęcia wszelkich rozsądnych działań poziom radonu przekracza wartość referencyjną, należy stosować zasady ochrony obowiązujące w przypadku planowanych sytuacji narażenia zawodowego.

Dokument GSR Part 3 jest fundamentem dla innych wytycznych IAEA, zapewniając spójne podejście do ochrony ludności przed radonem i innymi naturalnymi źródłami promieniowania, z uwzględnieniem specyficznych warunków regionalnych.

"Protection of the Public Against Exposure Indoors Due to Radon and Other Natural Sources of Radiation" (SSG-32) to szczegółowy przewodnik opracowany przez IAEA, którego celem jest wsparcie państw członkowskich w ochronie ludności przed narażeniem na radon i inne naturalne źródła promieniowania jonizującego. Dokument ten stanowi uzupełnienie wymagań określonych w **GSR Part 3** i oferuje szczegółowe wytyczne dotyczące ich wdrażania w praktyce.

SSG-32 opiera się na zasadach określonych w publikacji "Fundamental Safety Principles" (IAEA, Principle 10)⁴¹, która stanowi, że „działania ochronne w celu zmniejszenia istniejącego lub nieuregulowanego ryzyka promieniowania muszą być uzasadnione i zoptymalizowane”. W kontekście radonu dokument skupia się na ograniczaniu ekspozycji w budynkach mieszkalnych i miejscach publicznych, takich jak szkoły, przedszkola czy szpitale, gdzie ryzyko narażenia jest największe.

"Protection Against Exposure Due to Radon Indoors and Gamma Radiation from Construction Materials — Methods of Prevention and Mitigation" (TECDOC-1951) skupia się na technicznych aspektach ograniczania narażenia na radon w budynkach. Dokument ten opisuje metody zapobiegania przedostawaniu się radonu do budynków, w tym techniki

⁴¹ Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna (2006)

izolacji fundamentów i wentylacji, a także środki korekcyjne dla istniejących budynków. TECDOC-1951 dostarcza również szczegółowe wytyczne dotyczące oceny materiałów budowlanych pod kątem emisji promieniowania oraz integracji standardów ochrony przed radonem z przepisami budowlanymi. Dokument ten jest szczególnie ważny dla architektów i inżynierów zajmujących się projektowaniem budynków.

"**Design and Conduct of Indoor Radon Surveys**" to publikacja poświęcona projektowaniu i realizacji badań radonowych w budynkach. W dokumencie przedstawiono wytyczne dotyczące planowania badań, wyboru lokalizacji oraz stosowania odpowiednich technik pomiarowych. Szczególną uwagę powinno zwrócić się na interpretację i komunikację wyników badań do władz oraz opinii publicznej. W publikacji wsparte zostały krajowe organy w opracowywaniu strategii monitorowania stężeń radonu i identyfikacji obszarów wymagających działań zaradczych.

4.4 Przepisy krajowe – ustawa – Prawo atomowe

Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1277 z późniejszymi zmianami)⁴² stanowi podstawowy akt prawny regulujący kwestie bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej w Polsce. Dokument ten określa zasady używania źródeł promieniowania jonizującego, zarządzania odpadami promieniotwórczymi, reagowania na zagrożenia radiacyjne oraz ochrony ludności i środowiska przed szkodliwymi skutkami promieniowania.

Ustawa – Prawo atomowe wdraża także międzynarodowe standardy ochrony radiologicznej, w tym regulacje wynikające z Dyrektywy Rady 2013/59/Euratom, która ustanawia podstawowe normy bezpieczeństwa w zakresie ochrony przed promieniowaniem jonizującym. W kontekście radonu w ustawie odniesiono się do monitorowania stężeń tego gazu w środowisku oraz podejmowania działań mających na celu minimalizację ryzyka zdrowotnego wynikającego z ekspozycji na radon.

4.4.1 Przepisy lub wymagania ustawy – Prawo atomowe dotyczące radonu

W ustawie – Prawo atomowe zawarto kilka kluczowych artykułów, które bezpośrednio lub pośrednio dotyczą radonu:

Art. 23b ustala poziom odniesienia dla średniorocznego stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu na 300 Bq/m³. Poziom ten dotyczy zarówno miejsc pracy, jak i pomieszczeń przeznaczonych na pobyt ludzi. Przepis jest zgodny z zaleceniami Dyrektywy 2013/59/Euratom, która wyznacza tę wartość jako maksymalny poziom referencyjny.

Art. 23c określa obowiązki kierowników jednostek prowadzących działalność w miejscach pracy, w których występuje ryzyko przekroczenia poziomu odniesienia radonu. Dotyczy to szczególnie miejsc pracy znajdujących się w piwnicach, na parterze, pod ziemią oraz w zakładach uzdatniania wód podziemnych na terenach o podwyższonym ryzyku. Przepis wymaga prowadzenia pomiarów stężeń radonu lub stężeń energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu. Kierownicy jednostek mają obowiązek

⁴² Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1277)

informowania pracowników o wynikach pomiarów, podejmowanych działaniach oraz dawkach promieniowania, a także zapewnienia optymalizacji narażenia. Jeśli dawka skuteczna przekracza 1 mSv rocznie, muszą zostać podjęte dodatkowe działania ochronne. Pracownicy narażeni na dawki większe niż 6 mSv rocznie są klasyfikowani jako pracownicy kategorii A.

Art. 23d wprowadza obowiązek przekazywania informacji o średniorocznym stężeniu radonu przez zbywców lub wynajmujących budynki. Informacje te muszą być oparte na wynikach pomiarów przeprowadzonych przez akredytowane laboratoria, które mają również obowiązek zgłaszania przypadków przekroczenia poziomu odniesienia wojewódzkiemu inspektorowi sanitarnemu.

Art. 23e zobowiązuje Głównego Inspektora Sanitarnego do identyfikacji terenów, na których poziom stężenia radonu może przekraczać poziom odniesienia. Informacje te są regularnie przekazywane Ministrowi Zdrowia. Państwowa Inspekcja Sanitarna prowadzi działania edukacyjne i doradcze w zakresie radonu, w tym informacji o zagrożeniach zdrowotnych oraz technikach ograniczania narażenia.

Art. 23f nakłada na Ministra Zdrowia obowiązek opracowania krajowego planu działania w celu zarządzania długoterminowymi zagrożeniami związanymi z narażeniem na radon. Plan ten obejmuje cele w zakresie ochrony zdrowia publicznego, działania prewencyjne i naprawcze oraz strategię finansowania badań i wdrażania środków ochronnych. Dodatkowo, plan uwzględnia promocję budownictwa zabezpieczonego przed radonem, edukację społeczną oraz strategię komunikacji ryzyka.

Art. 23g odnosi się do działań zapobiegających przenikaniu radonu do nowych budynków. Prezes Agencji i Główny Inspektor Sanitarny są odpowiedzialni za organizację kampanii edukacyjnych i informacyjnych, monitorowanie stosowania środków zapobiegawczych oraz opracowanie dobrych praktyk w zakresie ochrony przed radonem w budownictwie.

Ustawa – Prawo atomowe stanowi kluczowy akt prawny w zakresie ochrony przed radonem w Polsce. Poprzez określenie obowiązków dla właścicieli budynków, instytucji publicznych oraz organów nadzorczych, ustawa wspiera skuteczne zarządzanie ryzykiem związanym z radonem. Wprowadzone przepisy umożliwiają kompleksowe monitorowanie i kontrolę stężeń radonu, co przyczynia się do zwiększenia ochrony zdrowia publicznego.

4.5 Krajowe przepisy wdrażające międzynarodowe regulacje dotyczące radonu

W Polsce, zgodnie z wymogami Dyrektywy Rady 2013/59/Euratom, przyjęto krajowe akty prawne, które regulują zagadnienia związane z narażeniem na radon.

4.5.1 Krajowy plan działania w przypadku długoterminowych zagrożeń wynikających z narażenia na radon w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi oraz w miejscach pracy

Krajowy plan działania, ogłoszony przez Ministra Zdrowia na podstawie Obwieszczenia z dnia 22 stycznia 2021 r., stanowi najważniejszy dokument strategiczny w walce z zagrożeniami wynikającymi z ekspozycji na radon. Plan powstał w odpowiedzi na zapisy Dyrektywy Rady

2013/59/Euratom i ma na celu stworzenie ram prawnych oraz organizacyjnych dla zarządzania ryzykiem związanym z radonem w budynkach mieszkalnych i miejscach pracy.

Głównym celem Krajowego planu jest ochrona zdrowia ludności poprzez ograniczenie długoterminowego narażenia na radon. Plan wskazuje także narzędzia i metody identyfikacji obszarów o podwyższonym ryzyku występowania radonu, takich jak analiza geologiczna i badania radiologiczne.

Realizacja Krajowego planu opiera się na zaangażowaniu wielu instytucji, w tym Głównego Inspektoratu Sanitarnego oraz Państwowej Agencji Atomistyki. Plan zakłada monitorowanie stężenia radonu w miejscach publicznych oraz w budynkach mieszkalnych, szczególnie na obszarach o wysokim potencjale emisyjnym. Dokument podkreśla również znaczenie edukacji społeczeństwa i podnoszenia świadomości na temat zagrożeń związanych z radonem. Kluczowym elementem Krajowego planu jest promocja technologii redukcji stężeń radonu, takich jak poprawa wentylacji czy zastosowanie izolacji fundamentów w budynkach.

4.5.2 Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi

Rozporządzenie to wdraża zapisy Dyrektywy Rady 2013/51/Euratom, która reguluje ochronę zdrowia ludności przed promieniotwórczością w wodzie pitnej. Dokument ten określa limity stężeń radonu w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi oraz procedury monitorowania jakości wody. Obowiązkiem instytucji wodociągowych jest regularne przeprowadzanie pomiarów stężeń radonu oraz podejmowanie działań naprawczych w przypadku przekroczenia ustalonych poziomów odniesienia. Rozporządzenie uwzględnia także edukację konsumentów, zapewniając dostęp do wyników badań wody pitnej.

4.5.3 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. poz. 1139)

Rozporządzenie to koncentruje się na identyfikacji obszarów, gdzie średnioroczne stężenie radonu w powietrzu wewnętrznym może przekraczać poziom odniesienia wynoszący 300 Bq/m³. Na wskazanych terenach prowadzenie pomiarów radonu jest obowiązkowe w miejscach pracy i budynkach publicznych.

Dokładne omówienie polskich aktów prawnych dotyczących radonu znajduje się w Rozdziale 5.

4.6 Ogólne zobowiązania państwowe wynikające z omówionych regulacji

Radon stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia publicznego, co znalazło odzwierciedlenie w licznych regulacjach międzynarodowych i krajowych. Wdrażanie przepisów dotyczących ochrony przed radonem nakłada na państwa członkowskie wiele obowiązków w zakresie monitorowania, prewencji oraz edukacji. Na podstawie omówionych dokumentów można wskazać kluczowe zobowiązania państwowe, które mają na celu ochronę ludności przed długoterminowymi skutkami narażenia na radon.

Międzynarodowe regulacje, takie jak Dyrektywa Rady 2013/59/Euratom oraz standardy opracowane przez WHO i IAEA, wyznaczają ramy dla krajowych działań w zakresie ochrony przed radonem. Można podsumować, że państwa zobowiązane są do:

1. **ustanowienia poziomów odniesienia:** każde państwo musi określić maksymalne średnioroczne stężenie radonu w powietrzu wewnętrznym, nie wyższe niż 300 Bq/m³, zgodnie z zaleceniami;
2. **opracowania narodowych planów działania:** krajowe plany muszą uwzględniać identyfikację terenów o podwyższonym ryzyku, strategię prewencyjną, a także edukację ludności;
3. **monitorowania stężeń radonu:** regularne pomiary radonu w budynkach mieszkalnych, miejscach pracy oraz w wodzie pitnej są kluczowym elementem zarządzania ryzykiem;
4. **promowania technologii redukcji radonu:** państwa powinny wspierać rozwój i wdrażanie technologii zmniejszających koncentrację radonu w budynkach.

Rozdział 5 Szczegółowe regulacje prawne dotyczące radonu – obowiązki i konsekwencje

Zagadnienia unormowań obowiązków związanych z radonem mają duże znaczenie z polskiej perspektywy. W 2018 r. opublikowano wyniki badań globalnych szacunków śmiertelności z powodu raka płuc, wywołanego przez narażenie na radon w pomieszczeniach. Polska zajmuje w tych statystykach **pierwsze miejsce na świecie**. Kraj nasz cechuje także najwyższe na świecie średnie stężenie radonu w pomieszczeniach (133 Bq/m³ wobec 38 Bq/m³ w skali świata)⁴³.

Z dniem 23 września 2019 r. wprowadzono do ustawy – Prawo atomowe (P.a.)⁴⁴ szereg nowych przepisów, m.in., art. 23b-23h.

Zarazem rozporządzeniem 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 odniesienia⁴⁵ (dalej: rozporządzenie Ministra Zdrowia) zaliczono do tych terenów obszary czternastu powiatów województwa dolnośląskiego: powiat dzierzoniowski; powiat karkonoski; miasto na prawach powiatu Jelenia Góra; powiat kamiennogórski; powiat kłodzki; powiat lubański; powiat lwówecki; powiat polkowicki; powiat trzebnicki; powiat wałbrzyski; miasto na prawach powiatu Wałbrzych; powiat ząbkowicki; powiat zgorzelecki; powiat złotoryjski, ponadto w województwie lubelskim – powiat tomaszowski, w województwie opolskim: powiat nyski; powiat prudnicki, w województwie podkarpackim: powiat bieszczadzki; powiat jasielski; powiat krośnieński; powiat leski; powiat mielecki; powiat sanocki, w województwie śląskim – powiat cieszyński, w województwie świętokrzyskim: powiat kielecki; powiat opatowski oraz powiat skarżyski. Rozporządzenie to weszło w życie z dniem 31 lipca 2020 r. Obszary wskazane w tym akcie prawnym są dalej określane mianem „terenów radonowych”.

5.1 Poziom odniesienia dla średniorocznego stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu (art. 23b P.a.)

Wprowadzonym przepisem art. 23b P.a. ustalono poziom odniesienia dla średniorocznego stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu w:

1. miejscach pracy wewnątrz pomieszczeń,
2. pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi

- w wysokości **300 Bq/m³ (bekereli na metr sześcienny)**.

⁴³ Zob. J. Gaskin, D. Coyle, J. Whyte, D. Krewksi, *Global Estimate of Lung Cancer Mortality Attributable to Residential Radon*, „Environmental Health Perspectives” 2018, nr 5, s. 3-4. Por. R. Bobkier, *Ewolucja badań i regulacji prawnych radonu do 1980 r. jako przykład gadamerowskiego „stapiania horyzontów”*. Wstęp do problematyki filozoficznego wymiaru prawa atomowego, „Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna” Biuletyn Informacyjny Państwowej Agencji Atomistyki 2024, nr 4, s. 37.

⁴⁴ Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1277). Przedmiotowej nowelizacji dokonano ustawą z dnia 13 czerwca 2019 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz ustawy o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. poz. 1593 z późn. zm.).

⁴⁵ 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. poz. 1139).

5.1.1 Poziom odniesienia

Pojęcie „poziomu odniesienia” definiuje art. 3 pkt 26a P.a. jako poziom dawki skutecznej (efektywnej)⁴⁶, dawki równoważnej⁴⁷ lub stężenia promieniotwórczego w przypadku zdarzenia radiacyjnego lub w sytuacji narażenia istniejącego, powyżej którego za niewłaściwe uznaje się dopuszczenie do występowania narażenia. Pojęcie „narażenia” zdefiniowano w art. 3 pkt 15 P.a. jako proces, w którym organizm ludzki podlega napromienieniu promieniowaniem jonizującym: zewnętrznemu lub jest wystawiony na możliwość takiego napromienienia (narażenie zewnętrzne) lub wewnętrznemu lub jest wystawiony na możliwość takiego napromienienia (narażenie wewnętrzne).

W odniesieniu do narażenia na radon – jest nim, w myśl definicji legalnej zawartej w art. 3 pkt 15a P.a., narażenie na pochodne radonu. Zgodnie z tabelą nr 2 załącznika nr 2 do Prawa atomowego, izotopem macierzystym są: Rn-220+, a jego izotopem pochodnym – Po-216 oraz Rn-222+, a jego izotopami pochodnymi – Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214 (krótkożyciowe pochodne radonu: polon, bizmut i ołów).

Poziom odniesienia nie wyznacza więc, w przeciwieństwie do dawki granicznej, wartości, „której, poza przypadkami przewidzianymi w przepisach ustawy, nie wolno przekroczyć” (*vide* definicja dawki granicznej z art. 2 pkt 3 P.a.)⁴⁸, lecz wartość – w przypadku radonu – stężenia promieniotwórczego, po przekroczeniu której konieczne jest podjęcie określonych przepisami Prawa atomowego działań, zapewniających ograniczenie narażenia na radon.

Poziom odniesienia dla średniorocznego stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu wyznaczono dla obszaru całej Polski, nie tylko dla „terenów radonowych”.

5.1.2 Pomiary średniorocznego stężenia radonu w powietrzu

Średnioroczne stężenie radonu to w myśl definicji legalnej z art. 3 pkt 47a P.a., wartość stężenia radonu oszacowana na podstawie pomiarów tego stężenia w okresie nie krótszym niż jeden miesiąc, odpowiadająca średniemu stężeniu radonu w powietrzu w okresie roku kalendarzowego. Przepis art. 23b P.a., ustala poziom odniesienia (dopuszczalny poziom stężenia promieniotwórczego, art. 3 pkt 26a P.a.) radonu w powietrzu w miejscach pracy wewnątrz pomieszczeń oraz pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi w wysokości 300 Bq/m³ – dla „średniorocznego” stężenia promieniotwórczego radonu – a więc stężenia oszacowanego w sposób określony w wyżej przytoczonej definicji (art. 3 pkt 47a P.a.).

⁴⁶ Dawką skuteczną (efektywną) jest dawka skuteczna (efektywna) określona w załączniku nr 1 do ustawy (art. 3 pkt 6 P.a.). Pkt 3 tego załącznika wskazuje, że jest to suma ważonych dawek równoważnych od zewnętrznego i wewnętrznego napromienienia tkanek i narządów, wyrażona wskazany w nim wzorem, zaś jednostką dawki skutecznej (efektywnej) jest siwert (Sv).

⁴⁷ W zakresie definicji dawki równoważnej, art. 3 pkt 5 P.a. również odsyła do wskazanego załącznika nr 1, który w pkt 2 określa, że jest to dawka pochłonięta w tkance lub w narządzie, ważona dla rodzaju i energii promieniowania, wyrażona wskazanym w załączniku wzorem. Jednostką dawki równoważnej jest także siwert.

⁴⁸ Por. R. Bobkier, *Problematyka interpretacyjna pojęcia „kontrolowanej działalności zawodowej”*. Rozważania na tle definicji dawki granicznej w Prawie atomowym, „Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna” Biuletyn Informacyjny Państwowej Agencji Atomistyki 2024, nr 2, s. 14-29.

5.1.3 Miejsce pracy

Przepis art. 23b pkt 1 P.a. ustala poziom odniesienia dla średniorocznego stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu w „miejscach pracy wewnątrz pomieszczeń”.

Pojęcie to, stanowiące termin języka prawnego Kodeksu pracy⁴⁹ (dalej: K.p.), nie zostało jednak w nim zdefiniowane.

W judykaturze jako „miejsce pracy” rozumie się bądź stały punkt w znaczeniu geograficznym, bądź pewien oznaczony obszar, strefę określoną granicami jednostki administracyjnej podziału kraju lub w inny dostatecznie wyraźny sposób, w którym ma nastąpić dopełnienie świadczenia pracy⁵⁰.

Jedynym aktem prawnym, który zawiera wyraźne określenie pojęcia „miejsca pracy”⁵¹ jest rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy⁵² (dalej r.o.p.b.h.p.). Jak wskazuje § 2 pkt 7b r.o.p.b.h.p., miejscem pracy jest miejsce wyznaczone przez pracodawcę, do którego pracownik ma dostęp w związku z wykonywaniem pracy.

5.1.4 Pomieszczenia

Pojęcie „pomieszczenia” występuje w przepisach art. 23b pkt 1 P.a. (miejsca pracy wewnątrz pomieszczeń), art. 23b pkt 2, 23d ust. 1, ust. 3 pkt 2 i ust. 5 P.a. (pomieszczenia przeznaczone na pobyt ludzi).

Pojęcie „pomieszczenia” nie posiada definicji legalnej⁵³. Za najpełniejszą z definicji prezentowanych w literaturze przedmiotu uznać należy tę, zgodnie z którą pomieszczenie to wyodrębniona ścianami lub innymi przegrodami część budynku, w tym zwłaszcza lokal, jak również wchodzące w jego skład izby lub zespół izb⁵⁴.

5.1.5 Pomieszczenia przeznaczone na pobyt ludzi

Art. 23b pkt 2 P.a. przesądza o ustaleniu poziomu odniesienia dla średniorocznego stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi.

Kolejnym istotnym aktem prawnym jest zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 12 marca 1996 r. w sprawie dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia, wydzielanych przez materiały budowlane, urządzenia i elementy wyposażenia w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi, które weszło w życie dnia 23 czerwca

⁴⁹ Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 1465).

⁵⁰ Wyrok SN z 1.04.1985 r., I PR 19/85, LEX nr 13556; por. M. Piekarski, *Glosa do wyroku SN z dnia 1 kwietnia 1985 r., I PR 19/85*, „Orzecznictwo Sądów Polskich” 1986, nr 3, s. 46; wyrok SN z 26.10.2022 r., II PSKP 11/22, OSNP 2023, nr 9, poz. 94; wyrok NSA z 7.02.2020 r., I OSK 1830/18, LEX nr 3221081; wyrok SN z 11.04.2001 r., I PKN 350/00, OSNP 2003, nr 2, poz. 36..

⁵¹ Zob. M. Tomaszewska, [w:] *Kodeks...*, red. K.W. Baran, wyd. cyt., kom. do art. 29, pkt 10; J. Wiśniewski, *Miejsce...*, wyd. cyt., s. 382.

⁵² 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.).

⁵³ Zob. J. Kuźmicka-Sulikowska, [w:] *Zobowiązania. Część ogólna. Tom II. Komentarz*, red. P. Machnikowski, Beck, Warszawa 2024, Legalis, kom. do art. 433, nb. 22.

⁵⁴ Zob. P. Rogoziński, *Ograniczenie prawa do rozporządzania i korzystania przez właściciela z lokalu w razie zastosowania wobec niego środka zapobiegawczego z art. 275a K.p.k.*, „Nieruchomości. Kwartalnik Ministerstwa Sprawiedliwości” 2021, nr 1, s. 184.

1996 r. W myśl § 1 pkt 2 tego zarządzenia, pomieszczeniami przeznaczonymi na pobyt ludzi są:

- pomieszczenia mieszkalne (§ 1 pkt 2 lit. a *in pr.*);
- pomieszczenia przeznaczone na stały pobyt chorych w budynkach służby zdrowia oraz przeznaczone na stały pobyt dzieci i młodzieży w budynkach oświaty, a także pomieszczenia przeznaczone do przechowywania produktów żywnościowych (§ 1 pkt 2 lit. a);
- pomieszczenia przeznaczone na pobyt ludzi w budynkach użyteczności publicznej inne niż zaliczone powyższej kategorii oraz pomieszczenia pomocnicze w mieszkaniach (§ 1 pkt 2 lit. b).

Aktualnie obowiązujące rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, w przepisie § 4 r.w.t. wyróżnia: pomieszczenia przeznaczone na stały pobyt ludzi, w których przebywanie tych samych osób w ciągu doby trwa dłużej niż 4 godziny (§ 4 pkt 1); pomieszczenia przeznaczone na czasowy pobyt ludzi, w których przebywanie tych samych osób w ciągu doby trwa od 2 do 4 godzin włącznie (§ 4 pkt 2). Natomiast nie uważa się, w myśl § 5 ust. 1 r.w.t., za przeznaczone na pobyt ludzi pomieszczeń, w których: łączny czas przebywania tych samych osób jest krótszy niż 2 godziny w ciągu doby, a wykonywane czynności mają charakter dorywczy bądź też praca polega na krótkotrwałym przebywaniu związanym z dozorem oraz konserwacją maszyn i urządzeń lub utrzymaniem czystości i porządku (§ 5 ust. 1 pkt 1); mają miejsce procesy technologiczne niepozwalające na zapewnienie warunków przebywania osób stanowiących ich obsługę, bez zastosowania indywidualnych urządzeń ochrony osobistej i zachowania specjalnego reżimu organizacji pracy (§ 5 ust. 1 pkt 2); jest prowadzona hodowla roślin lub zwierząt, niezależnie od czasu przebywania w nich osób zajmujących się obsługą (§ 5 ust. 1 pkt 3).

Zważyć trzeba, że *de lege lata* przepis art. 23b pkt 2 P.a. posługuje się szeroką kategorią „pomieszczeń przeznaczonych na pobyt ludzi”. Skutkiem tego unormowania jest ustalenie w tym przepisie poziomu odniesienia dla średniorocznego stężenia radonu zarówno dla pomieszczeń przeznaczonych na stały, jak i czasowy pobyt ludzi, *ergo* – dla wszystkich pomieszczeń, w których łączny czas pobytu tych samych osób w ciągu doby trwa dłużej, niż dwie godziny.

5.2 Obowiązki kierowników jednostek o charakterze powszechnym

5.2.1 Obowiązek pomiaru stężenia radonu

Norma art. 23c ust. 1 P.a. stanowi:

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, o którym mowa w art. 23b,
- 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, o którym mowa w art. 23b.
- zapewniają w tych miejscach pracy pomiar stężenia radonu lub stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu.

W zakresie znaczenia pojęć „miejsca pracy” i „pomieszczenia” – odsyłam do wywodów, zawartych w części 1 niniejszego opracowania.

Obowiązek zapewnienia pomiarów, o których mowa w art. 23c ust. 1 tiret *in fine* dotyczy:

- miejsc pracy pod ziemią (art. 23c ust. 1 pkt 2) na terytorium całej Polski,
- w pozostałym zakresie – miejsc pracy zlokalizowanych wewnątrz pomieszczeń na poziomie parteru lub piwnicy (art. 23c ust. 1 pkt 1) oraz związanych z uzdatnianiem wód podziemnych – wyłącznie na „terenach radonowych”.

W myśl rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 11 sierpnia 2021 r. w sprawie wskaźników pozwalających na wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego stosowanych przy ocenie narażenia na promieniowanie jonizujące⁵⁵, oceny takiej dokonuje się dla każdego roku kalendarzowego przez wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego na podstawie pomiarów dozymetrycznych.

Przepis art. 123 ust. 1 pkt 8 *in pr.* P.a. stanowi, że kierownikowi jednostki organizacyjnej, który, w szczególności, nie dopełnia obowiązku kontroli dozymetrycznej – wymierza się karę pieniężną w wysokości do ok. 35 000 zł⁵⁶.

Niezależnie od tej kary pieniężnej dla kierownika jednostki organizacyjnej, za powyższy czyn:

- jednostce organizacyjnej wykonującej działalność związaną z narażeniem (art. 123 ust. 1b P.a.),
- osobie prowadzącej jednoosobową działalność oraz każdemu ze wspólników spółki cywilnej, wykonującym działalność związaną z narażeniem (art. 123 ust. 1c P.a.),

wymierza się karę pieniężną w wysokości do ok. 350 000 zł⁵⁷.

Art. 125 ust. 1 P.a. przewiduje **pięcioletni** termin przedawnienia nałożenia kary pieniężnej, co oznacza, że w 2024 r. możliwe jest nałożenie kar za cały okres od daty wejścia w życie przedmiotowych przepisów.

⁵⁵ 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 (Dz. U. poz. 1657).

⁵⁶ Przepis odnosi się do wysokości nieprzekraczającej pięciokrotności kwoty przeciętnego wynagrodzenia w gospodarce narodowej w roku kalendarzowym poprzedzającym popełnienie czynu, ogłaszanego przez Prezesa Głównego Urzędu Statystycznego na podstawie art. 20 pkt 1 lit. a ustawy z dnia 17 grudnia 1998 r. o emeryturach i rentach z Funduszu Ubezpieczeń Społecznych.

⁵⁷ Przepisy te odnoszą się do wysokości nieprzekraczającej pięćdziesięciokrotności kwoty przeciętnego wynagrodzenia w gospodarce narodowej w roku kalendarzowym poprzedzającym popełnienie czynu, ogłaszanego przez Prezesa Głównego Urzędu Statystycznego na podstawie art. 20 pkt 1 lit. a ustawy z dnia 17 grudnia 1998 r. o emeryturach i rentach z Funduszu Ubezpieczeń Społecznych.

Powyższą – i dalej opisane – kary pieniężne, o których mowa w art. 123 P.a., nakłada w formie decyzji administracyjnej (w odniesieniu do miejsc pracy niepodlegających nadzorowi organów nadzoru górniczego) państwowy wojewódzki inspektor sanitarny (art. 124 ust. 1 pkt 2 w zw. z art. 51 ust. 2 pkt 2 P.a.).

5.2.2 Obowiązki optymalizacyjno-informacyjne kierowników jednostek

Kolejny obowiązek kierownika jednostki wynika z art. 23c ust. 2 P.a. – polega na zapewnieniu optymalizacji narażenia pracowników wykonujących pracę we wszystkich miejscach pracy, wymienionych w ust. 1 oraz informowaniu na bieżąco na piśmie takich 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 (oznacza to konieczność dokonania przeliczenia stężeń radonu w konkretnych pomieszczeniach, podawanych w bekerelach na metr sześcienny [Bq/m^3], na dawki promieniowania, wyznaczone w milisiwertach [mSv]),
- oraz działaniach podejmowanych w celu ograniczenia narażenia na radon w miejscu pracy.

W tym miejscu uzupełniająco wskazać trzeba, że Prawo atomowe posiada własne, *suo proprio*, definicje pojęcia „pracownika” i „pracownika zewnętrznego”.

W rozumieniu Prawa atomowego „pracownikiem” jest: pracownik w rozumieniu przepisów Prawa pracy, osoba wykonującą pracę na podstawie innej niż stosunek pracy, jak również osoba wykonującą działalność na własny rachunek, które w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące mogą otrzymać dawki przekraczające wartości dawek granicznych określonych dla osób z ogółu ludności (art. 3 pkt 29 P.a.). Natomiast określenie „pracownik zewnętrzny” oznacza pracownika, zatrudnionego przez pracodawcę zewnętrznego lub wykonującego działalność na własny rachunek, wykonującego dowolną działalność na terenie kontrolowanym lub terenie nadzorowanym, za który nie jest odpowiedzialny ani on, ani jego pracodawca (art. 3 pkt 30 P.a.). Zgodnie z wymogiem z art. 29 ust. 1 P.a., kierownik jednostki organizacyjnej jest obowiązany zapewnić pracownikom zewnętrznym ochronę radiologiczną równoważną ochronie, jaką zapewnia pracownikom zatrudnionym w jednostce organizacyjnej. Ta ostatnia regulacja przesądza, że wszelkie obowiązki, wynikające z przepisu art. 23c P.a., w tym wyżej opisane obowiązki o charakterze optymalizacyjno-informacyjnym, winny być realizowane również na rzecz pracowników zewnętrznych (tzw. „outsourcing pracowników”, „leasing pracowniczy”).

Przepis art. 123 ust. 1 pkt 9 *in pr.* P.a. stanowi, że kierownikowi jednostki organizacyjnej, który, w szczególności, nie udziela informacji lub udziela informacji nieprawdziwej albo zataja prawdę w zakresie ochrony radiologicznej – wymierza się karę pieniężną w wysokości do ok. 35 000 zł.

Podobnie, jak opisano wyżej (*vide* pkt 2.1), za powyższy czyn wymierza się również karę pieniężną w wysokości do ok. 350 000 zł jednostce organizacyjnej wykonującej działalność

związaną z narażeniem (art. 123 ust. 1b P.a.), osobie prowadzącej jednoosobową działalność oraz każdemu ze wspólników spółki cywilnej, wykonującym działalność związaną z narażeniem (art. 123 ust. 1c P.a.).

Art. 125 ust. 1 P.a. przewiduje **pięćletni** termin przedawnienia nałożenia kary pieniężnej, co oznacza, że w 2024 r. możliwe jest nałożenie kar za cały okres od daty wejścia w życie przedmiotowych przepisów.

Istotną regulację zawiera przepis art. 23c ust. 3 P.a. Zgodnie z nim, w przypadku gdy w miejscach pracy, o których mowa w ust. 1 pkt 1 (zlokalizowanych wewnątrz pomieszczeń na poziomie parteru lub piwnicy na „terenach radonowych”) wynik pomiaru, o którym mowa w ust. 1, wskazuje na możliwość przekroczenia poziomu odniesienia, o którym mowa w art. 23b, kierownicy jednostek podejmują działania zapewniające ograniczenie narażenia pracowników na radon.

O ile więc w przypadku ogólnej normy z art. 23c ust. 2 P.a. mowa wyłącznie o „zapewnieniu optymalizacji narażenia pracowników”, a więc o działaniu bezskutkowym, o tyle w przypadku chociażby możliwości przekroczenia poziomu odniesienia w miejscach pracy wewnątrz pomieszczeń wymaga ustawodawca już działania cechującego się określonym rezultatem – w postaci „zapewnienia ograniczenia narażenia”.

5.2.3 Powszechność obowiązków z art. 23c ust. 1 i 2 P.a.

Wskazane powyżej obowiązki ciążyą na każdym pracodawcy (kierowniku jednostki), u którego występują miejsca pracy określone w art. 23c ust. 1 pkt 1-3 P.a. Tym samym przeprowadzenie – nie wskazującego na możliwość przekroczenia poziomu odniesienia – pomiaru w roku poprzednim nie zwalnia kierownika jednostki od przeprowadzenia pomiarów dla kolejnego roku kalendarzowego.

Podobnie – uzyskanie wyniku pomiaru nie wskazującego na przekroczenie poziomu odniesienia nie stanowi przesłanki do zwolnienia kierownika jednostki z obowiązków optymalizacyjno-informacyjnych, o których mowa w art. 23c ust. 2 P.a.

5.3 Następstwa przekroczenia poziomu odniesienia

Jak wyżej wskazano, art. 23c ust. 3 P.a. przesądza, że sama już tylko **możliwość** przekroczenia poziomu odniesienia w miejscach pracy zlokalizowanych wewnątrz pomieszczeń na poziomie parteru lub piwnicy na „terenach radonowych” obliuguje kierowników jednostek do podjęcia działań zapewniających ograniczenie narażenia pracowników na radon.

Dalsze jednak konsekwencje przewidział ustawodawca w przypadku, gdy przekroczenie poziomu odniesienia zyskuje walor pewności.

5.3.1 Kwalifikacja pracowników jako pracowników kategorii B

Art. 23c ust. 6 P.a. stanowi, że pracowników wykonujących pracę w miejscach pracy, o których mowa w ust. 1 pkt 1 (zlokalizowanych wewnątrz pomieszczeń na poziomie parteru lub piwnicy na „terenach radonowych”), w których – mimo podjęcia działań zgodnie z zasadą optymalizacji

– stężenie promieniotwórcze radonu przekracza poziom odniesienia, o którym mowa w art. 23b (300 Bq/m³), ale którzy nie są narażeni na otrzymanie dawki skutecznej (efektywnej) większej niż 6 mSv, kwalifikuje się jako pracowników kategorii B.

Powyższe oznacza, że procedura zaliczenia pracowników do kategorii B wymaga:

- dokonania pomiaru stężenia radonu (art. 23c ust. 1 tiret *in fine* P.a.),
- wystąpienia takiego wyniku tego pomiaru, który wskaże na **możliwość** przekroczenia poziomu odniesienia 300 Bq/m³ (art. 23c ust. 3 *in pr.* P.a.),
- podjęcia działań zgodnie z zasadą optymalizacji (działań zapewniających ograniczenie narażenia pracowników na radon, art. 23c ust. 3 *in fine* P.a.),
- dokonania pomiaru średniorocznego stężenia radonu celem weryfikacji, czy nastąpił stan przekroczenia poziomu odniesienia, o którym mowa w art. 23b (*ergo*: wartości stężenia radonu oszacowanej na podstawie pomiarów tego stężenia w okresie nie krótszym niż jeden miesiąc, *vide* art. 3 pkt 47a P.a.).

Podmiotem odpowiedzialnym za zakwalifikowanie pracownika do właściwej kategorii narażenia jest kierownik jednostki organizacyjnej (art. 17 ust. 6 P.a.), który na bieżąco informuje pracownika o wynikach oceny jego narażenia (art. 17 ust. 5b P.a.).

Zgodnie z art. 18 ust. 1 pkt 2 P.a. kierownik jednostki organizacyjnej zobowiązany jest wyznaczyć w tych miejscach pracy, gdzie istnieje możliwość otrzymania dawek określonych dla pracowników kategorii B, tereny nadzorowane. Przepis § 3 ust. 1 rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 20 lutego 2007 r. w sprawie podstawowych wymagań dotyczących terenów kontrolowanych i nadzorowanych⁵⁸ określa następujące podstawowe wymagania dotyczące terenów nadzorowanych:

- granice terenu nadzorowanego oznacza się znakami ostrzegawczymi, których wzór zawiera załącznik nr 2 do rozporządzenia (§ 3 ust. 1 pkt 1); granice terenu nadzorowanego można oznaczyć tablicami informacyjnymi podającymi rodzaj źródła promieniowania jonizującego, w tym rodzaj substancji promieniotwórczej, oraz związane z nimi zagrożenie (§ 3 ust. 1 pkt 2); znaki ostrzegawcze, o których mowa w pkt 1, a w przypadku skorzystania z możliwości, o której mowa w pkt 2, także tablice informacyjne, umieszcza się przy wejściu na teren nadzorowany; w przypadku wytyczenia tego terenu poza pomieszczeniem zamkniętym umieszcza się je w odstępach nie większych niż 10 m (§ 3 ust. 1 pkt 3);
- dostęp do terenu nadzorowanego i jego opuszczanie przez osoby inne niż pracownicy zatrudnieni na tym terenie podlega rejestracji (§ 3 ust. 1 pkt 4).

Za spełnienie powyższych wymagań jest odpowiedzialny kierownik jednostki organizacyjnej, który podejmuje określone działania, w celu ich wykonania po zasięgnięciu opinii inspektora ochrony radiologicznej i lekarza medycyny pracy (art. 18 ust. 2 P.a.).

⁵⁸ Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 20 lutego 2007 r. w sprawie podstawowych wymagań dotyczących terenów kontrolowanych i nadzorowanych (t.j. Dz. U. z 2022 r. poz. 722).

5.3.2 Kwalifikacja pracowników jako pracowników kategorii A

Pracowników wykonujących pracę we wszystkich miejscach pracy, o których mowa w art. 23c ust. 1 P.a., którzy mogą być narażeni na otrzymanie dawki skutecznej (efektywnej) większej niż 6 mSv rocznie, kwalifikuje się jako pracowników kategorii A (art. 23c ust. 5 P.a.).

Z uwagi na wyższą wagę zagrożeń zdrowotnych, procedura kwalifikacji pracowników do kategorii A nie wymaga już podjęcia kroków, wymaganych przy kategorii B. Jediną normatywną przesłanką w tym zakresie jest sama możliwość narażenia pracowników na otrzymanie określonej dawki skutecznej (efektywnej) promieniowania jonizującego.

Pracownicy kategorii A podlegają ocenie narażenia prowadzonej na podstawie systematycznych pomiarów dawek indywidualnych, a jeżeli mogą być narażeni na skażenie wewnętrzne mające wpływ na poziom dawki skutecznej dla tej kategorii pracowników, podlegają również pomiarom skażeń wewnętrznych (art. 17 ust. 3 P.a.). Podobnie jak w przypadku pracowników kategorii B, odpowiedzialny za zakwalifikowanie pracownika do kategorii A jest kierownik jednostki organizacyjnej (art. 17 ust. 6 P.a.).

Skutkiem zakwalifikowania do kategorii A jest konieczność dokonania klasyfikacji medycznej pracownika przez uprawnionego lekarza. Ze względu na zdolność do wykonywania pracy w grupie pracowników kategorii A ustala się następującą klasyfikację medyczną: zdolny, zdolny pod pewnymi warunkami, niezdolny. Pracownik nie może być zatrudniony na określonym stanowisku w kategorii A, jeżeli uprawniony lekarz wydał orzeczenie, że jest on niezdolny do wykonywania takiej pracy (art 17 ust. 7-8 P.a.).

Zgodnie z art. 21 ust. 1 P.a., kierownik jednostki organizacyjnej obowiązany jest prowadzić rejestr dawek indywidualnych otrzymywanych przez pracowników zaliczonych do kategorii A. Centralny rejestr tych dawek prowadzi Prezes Państwowej Agencji Atomistyki (art. 21 ust. 3 P.a.). W myśl § 1 pkt 3 rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 25 maja 2021 r. w sprawie wymagań dotyczących rejestracji dawek indywidualnych⁵⁹, rejestracji takiej podlegają również narażenia o których mowa w art. 23c ust. 5 P.a., a więc pochodzące od radonu.

Pracownicy kategorii A podlegają szczególnemu nadzorowi medycznemu, za który odpowiedzialny jest kierownik jednostki organizacyjnej oraz uprawniony lekarz, któremu zapewnia się dostęp do informacji niezbędnych do wydania orzeczenia o zdolności tych pracowników do wykonywania określonej pracy, łącznie z informacją o warunkach środowiskowych w miejscu pracy (art. 30 ust. 1 P.a.). Nadzór ten obejmuje w szczególności okresowe badania lekarskie przeprowadzane co najmniej raz w roku (art. 30 ust. 2 P.a.). Dokumentacja medyczna, zakładana dla pracownika kategorii A, jest przechowywana do dnia osiągnięcia przez niego wieku 75 lat, jednak nie krócej niż przez 30 lat od dnia zakończenia przez niego pracy w warunkach narażenia (art. 30 ust. 3 P.a.).

Zgodnie z art. 18 ust. 1 pkt 1 P.a. kierownik jednostki organizacyjnej zobowiązany jest wyznaczyć w tych miejscach pracy, gdzie istnieje możliwość otrzymania dawek określonych dla pracowników kategorii A, tereny kontrolowane. Przepis § 2 ust. 1 rozporządzenia Rady

⁵⁹ Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 25 maja 2021 r. w sprawie wymagań dotyczących rejestracji dawek indywidualnych (Dz. U. poz. 1053).

Ministrów z dnia 20 lutego 2007 r. w sprawie podstawowych wymagań dotyczących terenów kontrolowanych i nadzorowanych określa w szczególności następujące wymagania dotyczące terenów kontrolowanych:

- granice terenu kontrolowanego oznacza się znakami ostrzegawczymi, których wzór zawiera załącznik nr 1 do rozporządzenia, oraz tablicami informacyjnymi podającymi rodzaj źródła promieniowania jonizującego, w tym rodzaj substancji promieniotwórczej, oraz związane z nimi zagrożenie; znaki ostrzegawcze i tablice informacyjne, o których mowa w pkt 1, umieszcza się przy wejściu na teren kontrolowany; w przypadku wytyczenia tego terenu poza pomieszczeniem zamkniętym umieszcza się je w odstępach nie większych niż 10 m (§ 2 ust. 1 pkt 1-2);
- dostęp do terenu kontrolowanego, ograniczony przez zastosowanie środków technicznych, w szczególności drzwi, bram lub widocznych blokad, mają: pracownicy zatrudnieni na tym terenie, za zgodą kierownika jednostki organizacyjnej lub upoważnionej przez niego osoby – inne przeszkolone osoby wyposażone w dawkomierze osobiste umożliwiające bezpośrednie określenie dawki od narażenia zewnętrznego otrzymanej w czasie przebywania na tym terenie (§ 2 ust. 1 pkt 3 lit. a, c);
- osoby, o których mowa w pkt 3 lit. a i lit. c, mają dostęp do terenu kontrolowanego i jego opuszczania na podstawie przepustek, kart wstępu lub identyfikatorów, jeżeli udzielono im informacji o zasadach zachowania się na tym terenie (§ 2 ust. 1 pkt 4-4a);
- prace na terenie kontrolowanym prowadzi się zgodnie z instrukcjami pracy odpowiednimi do zagrożenia związanego z występującymi źródłami promieniowania jonizującego oraz wykonywanymi czynnościami, a pracowników wykonujących te prace wyposaża się w środki ochrony indywidualnej odpowiednie do występującego zagrożenia.

Konieczność stosowania **wszystkich** powyższych wymogów nie została przez ustawodawcę wyłączona w odniesieniu do pracowników, zakwalifikowanych do kategorii A na podstawie przepisu art. 23c ust. 5 P.a. w związku z narażeniem na radon.

5.3.3 Powiadomienie w zakresie ochrony radiologicznej

Wykonywanie działalności związanej z narażeniem polegającej na wykonywaniu pracy w miejscach pracy, w których, mimo podjęcia działań zgodnie z zasadą optymalizacji, stężenie radonu wewnątrz pomieszczeń w tych miejscach pracy przekracza poziom odniesienia, o którym mowa w art. 23b (300 Bq/m³) – wymaga powiadomienia w zakresie ochrony radiologicznej (art. 4 ust. 1a pkt 15 P.a.).

Powiadomienia takie (w miejscach pracy niepodlegających nadzorowi organów nadzoru górniczego) przyjmuje państwowy wojewódzki inspektor sanitarny (art. 5¹ ust. 2 pkt 2 P.a.).

Zachodzi tu więc pewna analogia do, wyżej opisanej, procedury kwalifikacji pracowników do kategorii B, jako że dokonanie powiadomienia wymaga również uprzedniego dokonania pomiaru stężenia radonu, uzyskania wyniku wskazującego na możliwość przekroczenia poziomu odniesienia, podjęcia działań zgodnie z zasadą optymalizacji i dokonania pomiaru średniorocznego stężenia radonu. Dopiero gdy, cytując *verba legis*, „mimo podjęcia tych działań”, nastąpił stan przekroczenia poziomu odniesienia, kierownik jednostki organizacyjnej winien dokonać powiadomienia.

Doniosłe w tym zakresie obwarowanie zawiera przepis art. 5¹ ust. 3 P.a. Stanowi on bowiem, że do wykonywania działalności związanej z narażeniem **można przystąpić**, jeżeli w terminie 30 dni od dnia doręczenia powiadomienia właściwy organ nie wniesie, w drodze decyzji administracyjnej, sprzeciwu.

Powyższe unormowania przesądzają, że na czas trwania postępowania administracyjnego, zainicjowanego złożeniem powiadomienia zachodzi konieczność **wyłączenia z eksploatacji tych pomieszczeń**, w których przekroczony jest poziom odniesienia.

Przepis art. 123 ust. 1 pkt 2 P.a. stanowi, że kierownikowi jednostki organizacyjnej, która bez wymaganego powiadomienia wykonuje działalność, o której mowa w art. 4 ust. 1a (działalność związaną z narażeniem polegającą na wykonywaniu pracy w miejscach pracy, w których, mimo podjęcia działań zgodnie z zasadą optymalizacji, stężenie radonu wewnątrz pomieszczeń w tych miejscach pracy przekracza poziom odniesienia 300 Bq/m³) – wymierza się karę pieniężną w wysokości do ok. 35 000 zł.

Podobnie, jak opisano wyżej (*vide* pkt 2.1 i 2.2), za powyższy czyn wymierza się również karę pieniężną w wysokości do ok. 350 000 zł jednostce organizacyjnej wykonującej działalność związaną z narażeniem (art. 123 ust. 1b P.a.), osobie prowadzącej jednoosobową działalność oraz każdemu ze wspólników spółki cywilnej, wykonującym działalność związaną z narażeniem (art. 123 ust. 1c P.a.).

Art. 125 ust. 1 P.a. przewiduje **pięcioletni** termin przedawnienia nałożenia kary pieniężnej, co oznacza, że w 2024 r. możliwe jest nałożenie kar za cały okres od daty wejścia w życie przedmiotowych przepisów.

5.4 Radon a jednostki systemu oświaty

W myśl art. 32a Prawa atomowego, przepisy art. 10, art. 11, art. 14, art. 17, art. 21, art. 22, art. 23c, art. 26 i art. 29-32 tego Prawa stosuje się odpowiednio do **uczniów**, studentów i praktykantów.

Prawo to, w przeciwieństwie do definicji określenia „pracownik”, nie zawiera własnej definicji określenia „uczeń”.

Powyższe oznacza, że **wszystkie**, wyżej opisane „obowiązki radonowe” muszą być realizowane w przedszkolach, szkołach podstawowych i ponadpodstawowych, biorąc pod uwagę definicje pojęcia „ucznia” zawarte w:

- art. 2 pkt 11 ustawy z dnia 7 września 1991 r. o systemie oświaty (t.j. Dz. U. z 2022 r. poz. 2230 z późn. zm.) oraz art. 4 pkt 20 ustawy z dnia 14 grudnia 2016 r. – Prawo oświatowe (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 900 z późn. zm.) – „*należy przez to rozumieć także słuchaczy i wychowanków*”;
- art. 2 pkt 33 ustawy z dnia 27 października 2017 r. o finansowaniu zadań oświatowych (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 1400) – *należy przez to rozumieć także słuchacza szkoły dla dorosłych, branżowej szkoły II stopnia i szkoły policealnej oraz dziecko korzystające z wychowania przedszkolnego.*

Tym samym względem tak pojętych „uczniów” zrealizować należy obowiązki o charakterze powszechnym, sprecyzowane w art. 23c ust. 1 i 2 Prawa atomowego, w szczególności:

- zapewnić należy pomiar stężeń radonu (art. 23c ust. 1 P.a.);
- obowiązki optymalizacyjne i informacyjne (art. 23c ust. 2 P.a.), przy czym te ostatnie podlegają, rzecz jasna, wykonaniu względem opiekunów prawnych dzieci.

Natomiast w przypadku wyników pomiarów, wskazujących na możliwość wystąpienia podwyższonych stężeń radonu, art. 32a nakazuje realizację wobec uczniów wszystkich dalszych obowiązków, wynikających z art. 23c ust. 3 i następane Prawa atomowego (*vide* pkt 3).