
Radon w budynkach

CZĘŚĆ 2 / 3

AUTOR

Łukasz Koszuk

Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej

Metody pomiaru i ograniczania
radonu w budynkach

Materiał informacyjno-edukacyjny przygotowany
został przez Państwową Agencję Atomistyki



PAŃSTWOWA
AGENCJA
ATOMISTYKI

Metody pomiaru radonu - wprowadzenie

Pomiar stężenia radonu i jego pochodnych opiera się na rejestracji efektów promieniowania jonizującego emitowanego podczas jego rozpadu. Istnieją dwie grupy metod pomiarowych – **pasywne i aktywne**. Różnią się one kosztami, dokładnością oraz czasem pomiaru, co sprawia, że dobór odpowiedniej metody zależy od celu badania.

Metody pasywne

- **Charakterystyka:**
 - brak zewnętrznego zasilania;
 - rejestracja promieniowania w sposób ciągły przez długi czas (od kilku dni do miesięcy);
 - analiza detektorów odbywa się w laboratorium po zakończeniu ekspozycji.
- **Przykłady detektorów:**
 - detektory śladowe typu CR-39;
 - detektory z węglem aktywowanym;
 - detektory elektretowe.

Metody aktywne

- **Charakterystyka:**
 - powietrze jest zasysane przez pompę lub przedostaje się do komory pomiarowej na drodze dyfuzji;
 - wyniki dostępne w czasie rzeczywistym;
 - wyższy koszt i konieczność zasilania urządzeń.
- **Przykłady metod aktywnych:**
 - monitory z komorą jonizacyjną;
 - scyntylacyjne komory Lucasa;
 - ciągłe monitory radonu.

Metody specjalistyczne

Stosowane w zaawansowanych badaniach naukowych i działaniach remediacyjnych.

Pomiary radonu w powietrzu glebowym:

- umożliwiają ocenę potencjalnych źródeł radonu w budynkach;
- wykorzystywane do oceny transportu radonu z gruntu do powietrza.

Pomiary radonu w wodzie:

- wykorzystują techniki scyntylacyjne lub układy zamknięte do analizy odgazowanego powietrza;
- stosowane w badaniach wód gruntowych i pitnych.

Kryteria wyboru metody pomiarowej radonu

Wybór metody pomiarowej zależy od celu badania, typu lokalizacji, warunków środowiskowych oraz dostępnych zasobów technicznych i finansowych.

Kluczowe kryteria obejmują:

Cel pomiaru:

- **Długoterminowe monitorowanie:**
 - preferowane metody pasywne (np. detektory śladowe CR-39);
 - zalety: niski koszt, odporność na zmienne środowiskowe;
 - zastosowanie: domy mieszkalne, szczególnie na poziomach styku z gruntem.
- **Krótkoterminowe i szybkie wyniki:**
 - metody aktywne (np. monitory ciągłe z komorą jonizacyjną);
 - zalety: możliwość dynamicznego monitorowania, wyniki w czasie rzeczywistym;
 - zastosowanie: ocena skuteczności działań remediacyjnych, transakcje nieruchomości.

Charakterystyka budynku:

- **Budynki mieszkalne:** proste w użyciu detektory pasywne, pomiary w pomieszczeniach przebywania.
- **Budynki użytkowe:** konieczność pomiarów w wielu lokalizacjach; stosowanie zarówno metod pasywnych, jak i aktywnych.

Warunki środowiskowe:

- Czynniki takie jak wilgotność i temperatura mogą wpływać na dokładność wyników.
- Detektory z węglem aktywowanym wymagają kalibracji w warunkach wysokiej wilgotności.
- Metody pasywne są bardziej uniwersalne.

Detektory pasywne – CR-39

Detektory śladowe typu CR-39 to jedno z najczęściej stosowanych narzędzi do długoterminowego monitorowania radonu. Ich działanie opiera się na rejestrowaniu śladów cząstek alfa emitowanych podczas rozpadu radonu i jego pochodnych.

Zasada działania:

- detektor składa się z polimerowej płytki umieszczonej w hermetycznej komorze dyfuzyjnej. Powietrze zawierające radon przedostaje się do wnętrza komory wyłącznie na drodze dyfuzji, eliminując wpływ cząstek aerozolowych i zanieczyszczeń;
- cząstki alfa emitowane podczas rozpadu radonu oddziałują z powierzchnią polimeru, pozostawiając mikroskopijne ślady (mikrouszkodzenia), które są niewidoczne gołym okiem;
- po zakończeniu ekspozycji, detektory są wysyłane do laboratorium, gdzie przeprowadza się obróbkę chemiczną. Proces ten uwidacznia ślady na powierzchni detektora;
- powiększone ślady są liczone za pomocą mikroskopu optycznego lub automatycznego systemu obrazowania. Liczba śladów jest przeliczana na stężenie radonu przy uwzględnieniu czasu ekspozycji oraz kalibracji urządzenia.

Cechy i zalety:

- długoterminowe pomiary: czas ekspozycji wynosi od 1 miesiąca do 12 miesięcy;
- odporność na wilgotność, zmiany temperatury i inne zmienne środowiskowe;
- prosta obsługa: brak konieczności zasilania ani obsługi podczas pomiarów;
- niski koszt.

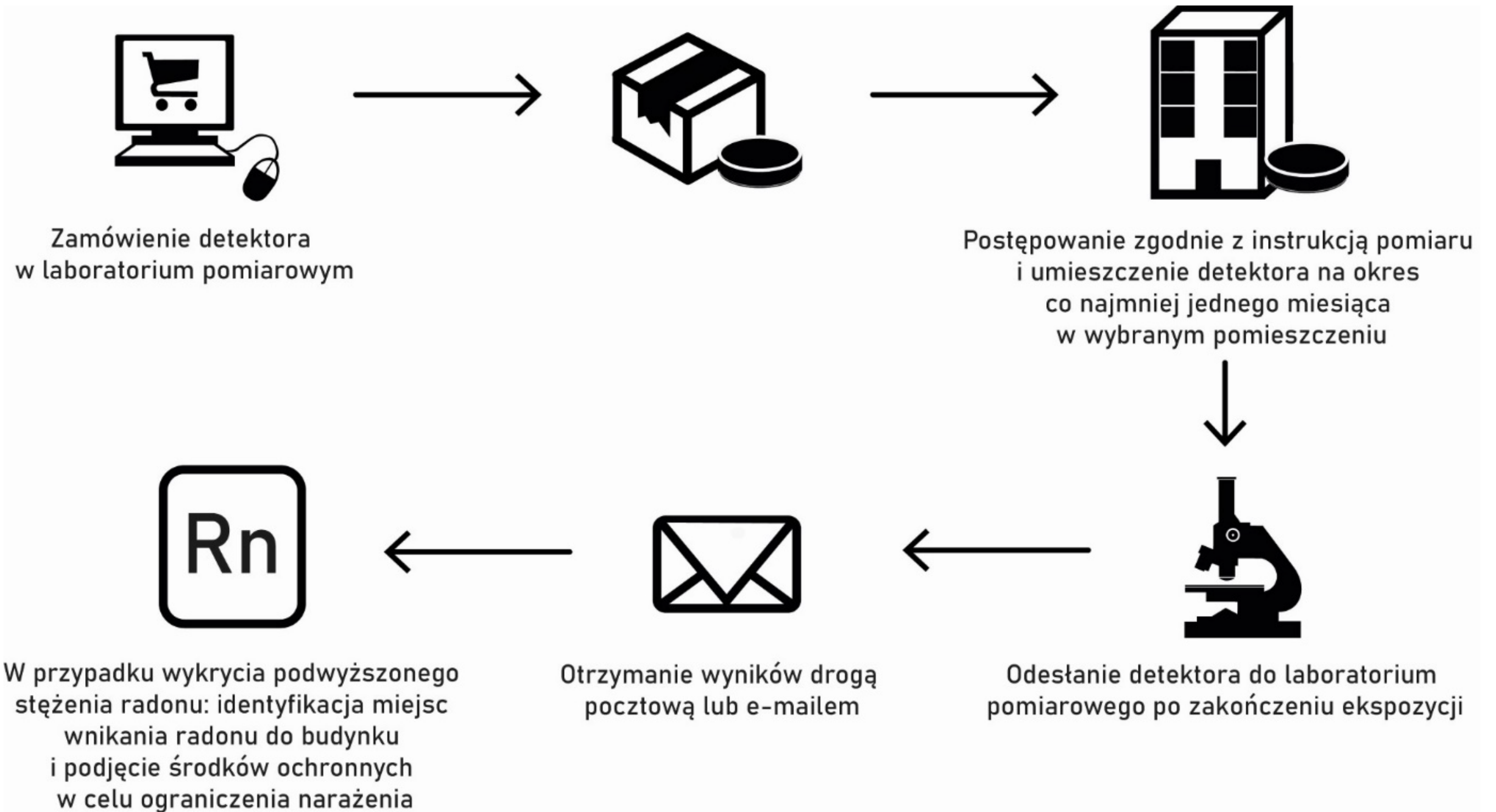


Detektor śladowy radonu typu CR-39¹

¹Dehnert, 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.

Detektory pasywne – CR-39

Schemat postępowania przy wykonywaniu pomiarów stężenia radonu za pomocą detektorów śladowych typu CR-39



Detektory pasywne – węgiel aktywowany i elektrety

Detektory z węglem aktywowanym

- **Zasada działania:**
 - węgiel aktywowany w obudowie pochłania radon z powietrza w trakcie ekspozycji. Po zakończeniu pomiaru detektor trafia do laboratorium, gdzie radon jest desorbowany do cieczy scyntylacyjnej;
 - cząstki alfa wywołują błyski świetlne (scyntyłacje) w scyntylatorze, które są rejestrowane przez licznik scyntylacyjny. Liczba błysków jest przeliczana na stężenie radonu, biorąc pod uwagę czas ekspozycji i kalibrację detektora.
- **Cechy:**
 - maksymalny czas ekspozycji to 96 godzin;
 - niska odporność na wilgotność i temperaturę: wymagana kalibracja w zależności od warunków środowiskowych;
 - konieczność dostarczenia detektora do laboratorium bezpośrednio po ekspozycji z powodu krótkiego czasu połowicznego rozpadu radonu i jego pochodnych.

Detektory elektretowe

- **Zasada działania:**
 - elektret to naładowany elektrostatycznie dysk wykonany z teflonu, umieszczony w komorze pomiarowej;
 - radon w komorze jonizuje powietrze, co powoduje spadek napięcia na powierzchni elektretu;
 - spadek napięcia jest proporcjonalny do stężenia radonu i czasu ekspozycji;
 - po zakończeniu pomiaru wynik można odczytać w krótkim czasie za pomocą specjalnego miernika.
- **Cechy:**
 - długoterminowe pomiary: nadaje się do monitorowania w mieszkaniach i miejscach pracy;
 - możliwość uzyskania wyników bezpośrednio po zakończeniu ekspozycji;
 - stosunkowo odporne na zmienne warunki środowiskowe.
- **Wady:** wyższy koszt w porównaniu z detektorami CR-39 i węglem aktywowanym.

Detektory aktywne – zasada działania i rodzaje

Detektory aktywne umożliwiają monitorowanie stężenia radonu w czasie rzeczywistym, co czyni je niezwykle przydatnymi w badaniach krótkoterminowych i analizie dynamicznych zmian środowiskowych.

- **Cechy detektorów aktywnych:**
 - wymagają zasilania elektrycznego i kalibracji;
 - dostarczają bieżących danych o stężeniu radonu;
 - pozwalają na analizę wpływu wentylacji, zmian temperatury i sezonowych wahań stężenia.
- **Zastosowanie:**
 - monitorowanie mieszkań, biur i obiektów użyteczności publicznej;
 - kalibracja innych detektorów;
 - analiza czynników środowiskowych wpływających na stężenie radonu.

Rodzaje detektorów aktywnych:

1. Monitory z komorą jonizacyjną:

- rejestrują jony powstałe w wyniku rozpadu radonu;
- tryb pracy: pasywny (dyfuzja powietrza) lub aktywny (zasysanie powietrza pompą);
- zastosowanie: badania krótkoterminowe i testy skuteczności działań naprawczych.

2. Scyntylicyjne komory Lucasa:

- wykorzystują siarczek cynku aktywowany srebrem (ZnS(Ag)) jako materiał scyntylicyjny;
- emitowane cząstki alfa powodują błyski świetlne, które są przeliczane na impulsy elektryczne;
- zastosowanie: badania naukowe; ograniczenia: potrzeba częstego czyszczenia, niska czułość.

3. Elektroniczne monitory czasu rzeczywistego:

- nowoczesne urządzenia wykorzystujące różne technologie (scyntylicyjne komory, komory jonizacyjne, detektory półprzewodnikowe);
- zalety: łatwość obsługi, możliwość zapisu i zdalnego monitorowania danych, analiza trendów.

Detektory aktywne – zasada działania i rodzaje

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



Inne techniki pomiaru radonu

Zaawansowane metody pomiarowe pozwalają na precyzyjne monitorowanie stężeń radonu w różnych środowiskach, zarówno w glebie, jak i w wodzie, przy użyciu dedykowanego sprzętu i procedur.

Pomiar stężenia radonu w powietrzu glebowym

- **Metody aktywne:**
 - umieszczenie sondy na odpowiedniej głębokości i pobranie próby powietrza za pomocą pompy;
 - analiza próbki przy użyciu spektrometrów pozwala na identyfikację radonu-222 i toronu-220 na podstawie energii pochodnych rozpadu;
 - alternatywa: użycie długiego węża w układzie, aby toron zdążył się rozpaść przed dotarciem do miernika.
- **Metody pasywne:**
 - detektory śladowe umieszczane w rurach PVC na głębokości do 80 cm. Analiza w laboratorium po kilku dniach ekspozycji pozwala na uzyskanie średnich wyników.
- Radon w glebie występuje w stężeniach nawet o trzy rzędy wielkości wyższych niż w atmosferze.

Pomiar stężenia radonu w wodzie

- **Metoda pośrednia:**
 - odgazowywanie radonu z wody do układu zamkniętego z miernikiem radonu;
 - stężenie w powietrzu jest przeliczane z uwzględnieniem objętości próbki, układu, temperatury i czasu od pobrania.
- **Metoda bezpośrednia:**
 - mieszanie próbki wody ze scyntylatorem w liczniku ciekłoscyntylacyjnym;
 - po 3 godzinach osiągnana jest równowaga promieniotwórcza między radonem a jego pochodnymi;
 - liczba scyntylacji jest proporcjonalna do stężenia radonu w wodzie.

Częstotliwość i metody pomiaru radonu

Regularne pomiary radonu są kluczowe dla ochrony zdrowia oraz spełnienia wymogów prawnych, zwłaszcza w miejscach pracy i na terenach o podwyższonym ryzyku. W Polsce kwestie te reguluje ustawa Prawo atomowe, która określa obowiązki pracodawców i standardy techniczne pomiarów.

Obowiązki wynikające z Prawa atomowego

- Pomiary obowiązkowe w:
 - pomieszczeniach na parterze i w piwnicach na terenach, gdzie stężenie radonu może przekraczać 300 Bq/m^3 ;
 - miejscach podziemnych, takich jak kopalnie czy tunele;
 - obiektach związanych z uzdatnianiem wód podziemnych.
- Poziom odniesienia wynosi 300 Bq/m^3 (średnioroczne stężenie radonu, pomiary min. przez miesiąc).
- W przypadku przekroczenia tego poziomu pracodawcy muszą podjąć działania redukujące narażenie oraz informować pracowników o wynikach i podjętych działaniach.

Zalecana częstotliwość pomiarów

- Długoterminowe pomiary (12 miesięcy) są najbardziej wiarygodne dla określenia średniorocznego stężenia radonu.
- W budynkach o niskim ryzyku – pomiary co 5 lat.
- W obszarach o podwyższonym ryzyku – pomiary co rok.
- Optymalny czas pomiarów: okres grzewczy, gdy budynki są bardziej szczelne, co sprzyja akumulacji radonu.

Odczyt i interpretacja wyników pomiarów radonu

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.

Odczyt wyników pomiarów radonu wymaga uwzględnienia jednostek i zakresów stężeń:

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

Kategorie wyników:

- **$< 100 \text{ Bq}/\text{m}^3$** : stężenie niskie, brak konieczności działań.
- **$100\text{--}300 \text{ Bq}/\text{m}^3$** : stężenie umiarkowane, ryzyko przy długotrwałej ekspozycji.
- **$> 300 \text{ Bq}/\text{m}^3$** : konieczne działania prewencyjne lub naprawcze.

Czynniki wpływające na interpretację wyników:

- **Metoda pomiaru:**
 - pasywne (CR-39): dostarczają średnich wartości stężeń;
 - aktywne (komory jonizacyjne): bieżące monitorowanie dynamicznych zmian;
 - scyntylacyjne komory Lucasa: dostarczają wyników po krótkiej ekspozycji próbki powietrza.
- **Warunki środowiskowe:** wilgotność, temperatura, przeciągi mogą wpływać na dokładność wyników.
- **Okres pomiaru:** długoterminowe (≥ 3 miesiące) są bardziej reprezentatywne niż krótkoterminowe (2–7 dni).

Dawka skuteczna od radonu

Dawka skuteczna (E) określa rzeczywiste ryzyko zdrowotne związane z ekspozycją na radon i jego pochodne.

Pamiętaj!

Obliczanie dawki skutecznej od radonu jest kluczowe w kontekście oceny narażenia osób przebywających w budynkach mieszkalnych i miejscach pracy.

- Dawkę skuteczną oblicza się według wzoru:

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

gdzie:

C_{α} – stężenie potencjalnej energii alfa [J/m^3],

t – czas narażenia [h],

k – współczynnik konwersji [$(Sv \cdot m^3)/(J \cdot h)$].

- Wartość współczynnika konwersji różni się w zależności od środowiska narażenia:
 - 1,1 ($Sv \cdot m^3)/(J \cdot h)$ dla radonu w budynkach mieszkalnych,
 - 1,4 ($Sv \cdot m^3)/(J \cdot h)$ dla radonu na stanowiskach pracy,
 - 0,5 ($Sv \cdot m^3)/(J \cdot h)$ 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).

Znaczenie akredytacji w pomiarach radonu

Akredytacja odgrywa kluczową rolę w monitorowaniu poziomu radonu, zapewniając wiarygodność wyników i zgodność z międzynarodowymi standardami.

01

Gwarancja jakości: laboratoria posiadające akredytację działają zgodnie z normą ISO/IEC 17025, która określa wymagania dotyczące:

- skalibrowanych urządzeń,
- przeszkolonego personelu,
- precyzyjnych procedur badawczych.

02

Korzyści dla użytkowników:

- wiarygodne wyniki umożliwiają podejmowanie skutecznych działań prewencyjnych i naprawczych;
- zgodność metod pomiarowych z międzynarodowymi standardami minimalizuje ryzyko błędów;
- szczegółowe raporty zawierające margines błędu i warunki pomiarowe.

03

Wymogi prawne w Polsce:

- zgodnie z Prawem atomowym (art. 23d pkt 4), pomiary radonu w miejscach pracy muszą być realizowane przez akredytowane laboratoria;
- brak akredytacji może skutkować niewiarygodnymi wynikami, dodatkowymi kosztami i opóźnieniami.

04

Zewnętrzne wsparcie: audyty radonowe i konsultacje z zewnętrznymi ekspertami mogą pomóc w realizacji obowiązków prawnych, takich jak wyznaczenie terenów nadzorowanych czy kategoryzacja pracowników.

Metody minimalizacji radonu – strategia pięciu kroków

Obniżenie stężenia radonu do bezpiecznego poziomu jest możliwe w każdym budynku, niezależnie od wstępnych pomiarów. Kluczowe są właściwy dobór strategii oraz podejście systemowe.

Strategia pięciu kroków redukcji radonu:

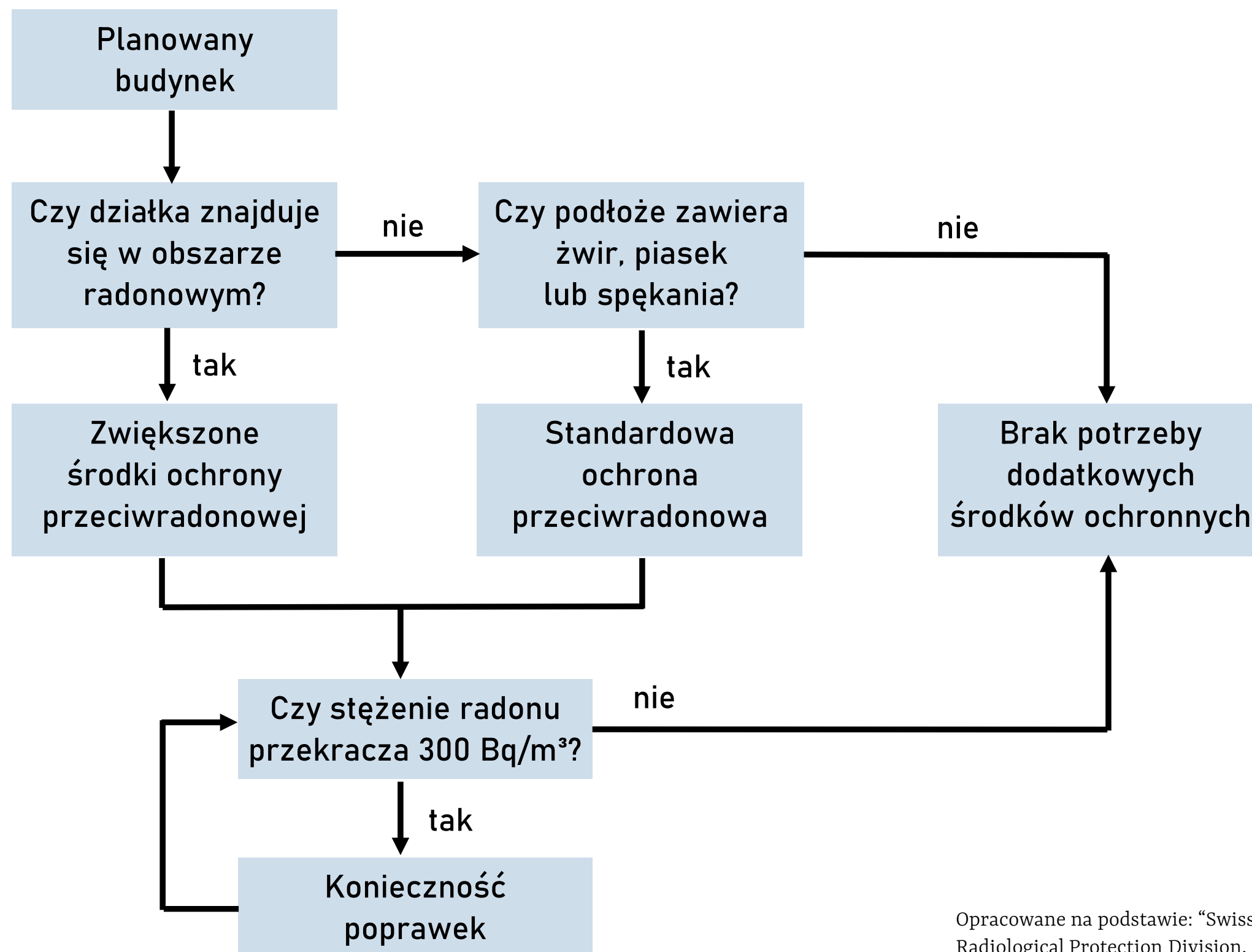
- 01 Określenie poziomu radonu i warunków środowiskowych:**
 - pomiar stężenia radonu w okresie grzewczym dla reprezentatywnych wyników;
 - analiza lokalnych warunków, takich jak poziom radonu w glebie, obecność wód gruntowych i rodzaj materiałów budowlanych.
- 02 Planowanie działań:**
 - unikanie przekształcania piwnic w przestrzeń użytkowe;
 - wybór materiałów budowlanych ograniczających przedostawanie się radonu.

- 03 Uszczelnianie konstrukcji:** minimalizacja przepływu radonu z gleby poprzez uszczelnianie szczelin i przejść instalacyjnych.
- 04 Usuwanie radonu:** stosowanie systemów wentylacyjnych i systemów odprowadzania radonu spod fundamentów.
- 05 Monitorowanie:** regularne pomiary poziomu radonu w celu oceny skuteczności działań i utrzymania bezpiecznych poziomów.

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 procedury ochrony przeciwradonowej ilustruje kolejne kroki, które należy podjąć, aby zapewnić skuteczną ochronę przed radonem.



Inżynierskie rozwiązania przeciwradonowe w nowym budownictwie

01 Dobór odpowiednich materiałów budowlanych

Efektywna ochrona przed radonem w nowym budownictwie zaczyna się od starannego doboru materiałów budowlanych:

- **materiały o niskiej przepuszczalności gazów:**
 - beton o wysokiej gęstości, cegły ceramiczne, szczelne bloczki betonowe;
 - tworzą fizyczną barierę, utrudniającą migrację radonu z gleby do wnętrza budynku.
- **unikanie materiałów promieniotwórczych:**
 - materiały budowlane z terenów o wysokiej zawartości uranu i toru mogą emitować dodatkowy radon;
 - stosowanie surowców z wiarygodnych źródeł ogranicza ryzyko wzrostu stężenia radonu wewnątrz budynku.

Korzyści:

- ograniczenie przenikania radonu z gleby;
- redukcja ryzyka związanego z emisją radonu z samych materiałów konstrukcyjnych.

Inżynierskie rozwiązania przeciwradonowe w nowym budownictwie

02 Szczelne fundamenty i połączenia konstrukcyjne

Szczelne połączenia fundamentów i ścian:

- wszystkie połączenia powinny być starannie uszczelnione trwałymi masami, np. silikonowymi lub akryłowymi;
- szczególną uwagę należy zwrócić na miejsca styku płyt fundamentowych z pionowymi ścianami fundamentowymi.

Pełne płyty fundamentowe:

- zalecane są jednolite płyty fundamentowe o grubości ≥ 30 cm, zbrojone stalą;
- eliminują nieszczelności charakterystyczne dla fundamentów punktowych lub pasmowych.

Drenaż i poduszki żwirowe:

- warstwa żwirowa pod fundamentami wspomaga naturalne odprowadzanie radonu na zewnątrz;
- poziomy drenaż można połączyć z pionowymi warstwami żwirowymi wokół fundamentów, poprawiając wymianę powietrza i redukując koncentrację radonu.

Szczelne przejścia instalacyjne:

- rury, kable i inne instalacje muszą być prowadzone przez szczelne przepusty wykonane z trwałych materiałów;
- unikanie nadmiaru takich przejść oraz ich grupowanie w jednej strefie ułatwia uszczelnianie i zmniejsza ryzyko infiltracji gazu.

Fundamenty stanowią główną drogę przenikania radonu do budynku.

Inżynierskie rozwiązania przeciwradonowe w nowym budownictwie

03 Membrany przeciwradonowe

Membrany przeciwradonowe tworzą dodatkową barierę ochronną, minimalizującą migrację radonu z gleby do wnętrza budynku.

Charakterystyka membran:

- wykonane z trwałych materiałów, np. polietylenu o dużej gęstości;
- odporne na kompresję, wysychanie i gnicie;
- elastyczne i łatwe w dopasowaniu do konstrukcji budynku.

Zasady instalacji:

- zakładki membran powinny mieć szerokość ≥ 300 mm, a połączenia muszą być szczelne;
- membrana powinna obejmować całą powierzchnię fundamentów, w tym pod płytą podłogową i wokół ścian fundamentowych;
- w miejscach przejść instalacyjnych należy stosować dodatkowe uszczelniacze, aby zapobiec nieszczelnościom.

Zastosowanie hybrydowe:

- membrany działają najskuteczniej w połączeniu z wentylacją podpodłogową oraz szczelnymi fundamentami, co pozwala na maksymalną redukcję stężenia radonu.

Inżynierskie rozwiązania przeciwradonowe w nowym budownictwie

04 Systemy wentylacji podpodłogowej

Wentylacja podpodłogowa umożliwia skuteczne odprowadzanie radonu zanim gaz przedostanie się do wnętrza budynku.

Rodzaje systemów wentylacyjnych:

- **systemy pasywne:**

- opierają się na naturalnej konwekcji powietrza, wykorzystując różnice temperatur i ciśnień;
- nie wymagają urządzeń mechanicznych, co obniża koszty instalacji i eksploatacji;
- ograniczenia: mogą być nieskuteczne przy słabej wentylacji naturalnej.

- **systemy aktywne:**

- wentylatory wymuszają przepływ powietrza spod budynku;
- skuteczność redukcji radonu może przekraczać 90%;
- wymagają regularnej konserwacji i zasilania elektrycznego, co generuje dodatkowe koszty.

Kluczowe czynniki sukcesu:

- wysokie natężenie przepływu powietrza, dostosowane do stężenia radonu i wielkości budynku;
- szczelność fundamentów, minimalizująca niekontrolowane przepływy gazów.

Inżynierskie rozwiązania przeciwradonowe w nowym budownictwie

05 Prawidłowe prowadzenie instalacji i inne środki ochrony

Ochrona przed radonem wymaga uwzględnienia detali konstrukcyjnych oraz właściwego projektowania.

Szczelne instalacje techniczne:

- wszystkie przepusty instalacyjne (rury, kable) muszą być uszczelnione odpornymi materiałami;
- należy unikać nadmiernej liczby otworów w fundamentach.

Unikanie podciśnienia w budynkach:

- systemy wentylacyjne powinny zachowywać równowagę między doływem a wyciągiem powietrza;
- klimatyzacja z automatyczną wymianą powietrza skutecznie redukuje radon, o ile jest odpowiednio zaprojektowana i konserwowana.

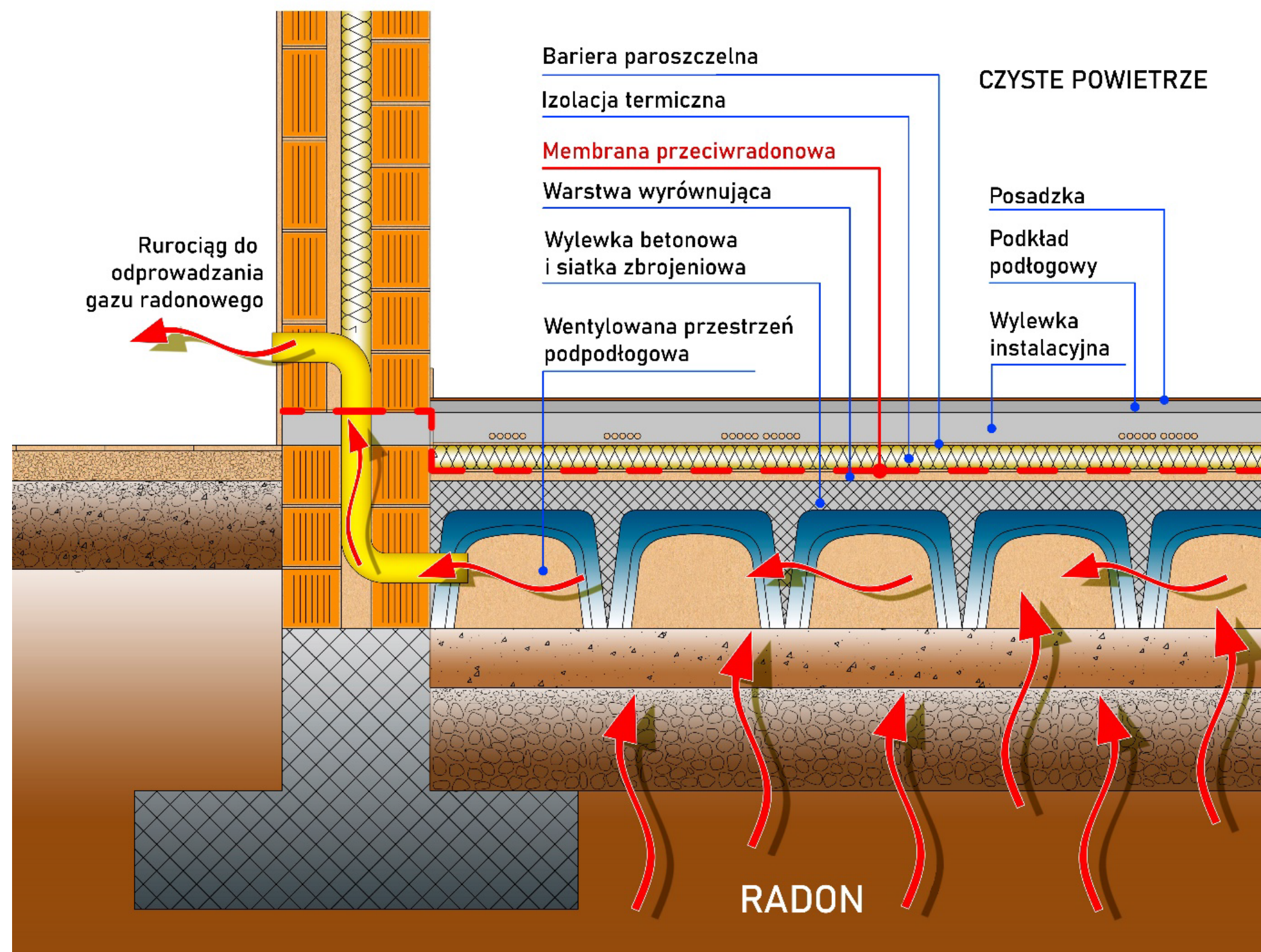
Dodatkowe zabezpieczenia:

- uszczelnianie drzwi prowadzących do piwnic;
- folie izolacyjne lub powłoki bitumiczne na fundamentach w przypadku podgrzewanych podłóg.

Inżynierskie rozwiązania przeciwradonowe w nowym budownictwie

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.

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



Techniki monitorowania poziomu radonu w nowych budynkach

Nowe budynki stawiają wyjątkowe wyzwania w monitorowaniu poziomu radonu, ponieważ rzeczywiste stężenia gazu zależą od lokalizacji, charakterystyki gruntu, szczelności konstrukcji oraz sposobu użytkowania obiektu.

Monitorowanie rozpoczyna się już **na etapie budowy**, gdy przeprowadza się krótkoterminowe pomiary stężenia radonu w glebie wokół fundamentów. W tym celu stosuje się sondy pomiarowe i spektrometryczne analizy, pozwalające na odróżnienie radonu od toronu. Wyniki takich pomiarów pomagają w identyfikacji potencjalnych źródeł radonu i planowaniu odpowiednich zabezpieczeń.

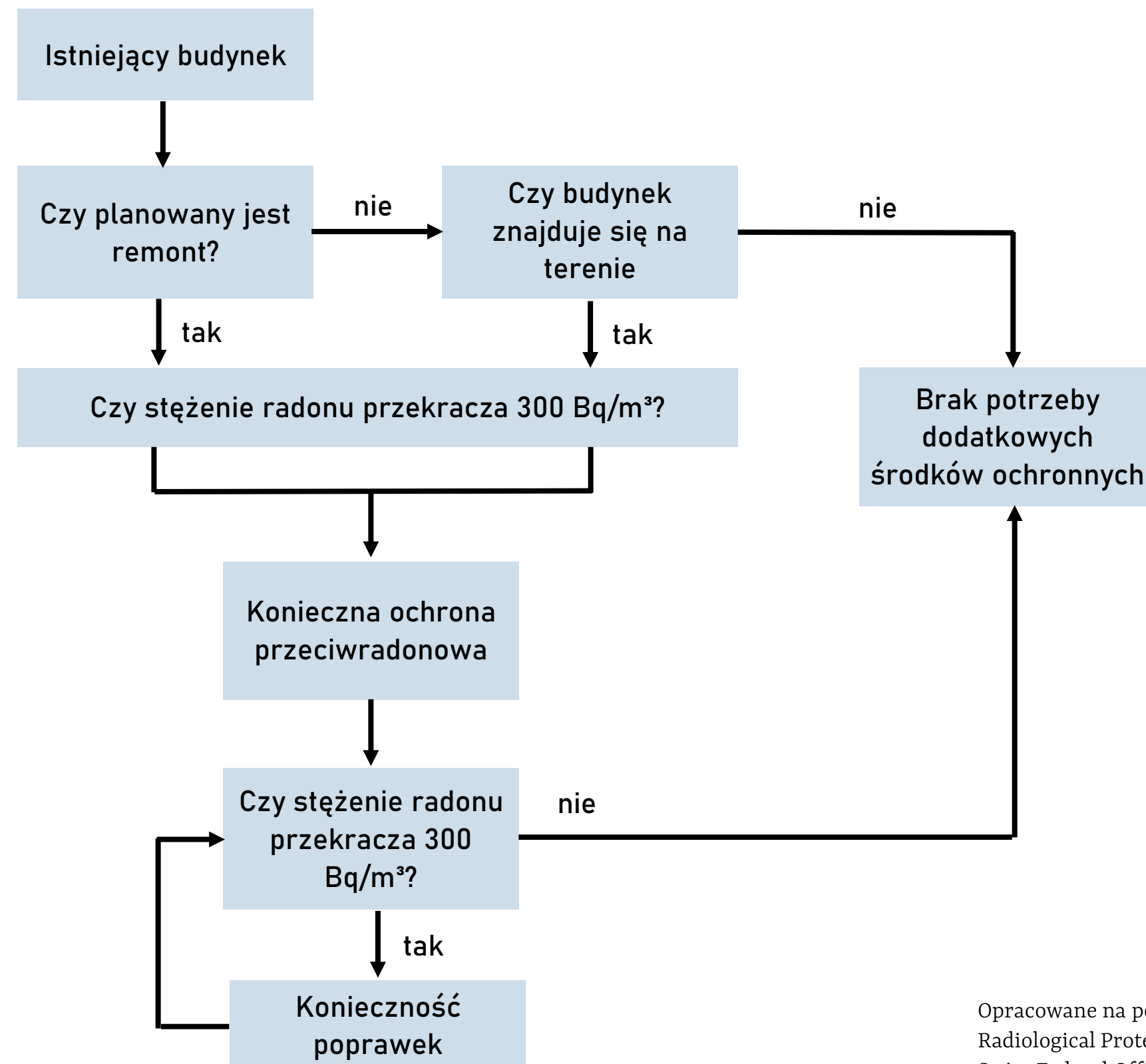
Po zakończeniu budowy kluczowe jest przeprowadzenie pierwszych pomiarów kontrolnych w pomieszczeniach, zwłaszcza w kontakcie z gruntem, takich jak piwnice. Najczęściej używa się detektorów pasywnych, takich jak CR-39, które umożliwiają uzyskanie średnich wartości stężenia radonu w dłuższym okresie – co najmniej miesiąc, najlepiej w zimie, gdy budynki są bardziej szczelne. Wyniki tych pomiarów pozwalają ocenić, czy konieczne są dodatkowe działania zapobiegawcze lub remediacyjne.

Długoterminowe monitorowanie poziomów radonu w nowych budynkach jest równie istotne, ponieważ stężenia mogą zmieniać się w pierwszych latach użytkowania z powodu osiadania fundamentów, zmian szczelności budynku czy stopniowego zanikania aktywności materiałów budowlanych. W takich przypadkach stosuje się zarówno detektory pasywne, jak i aktywne. Elektroniczne monitory pozwalają na dynamiczne śledzenie stężeń i optymalizację systemów wentylacyjnych, zapewniając efektywną wymianę powietrza bez strat ciepła.

Zmniejszanie radonu w budynkach z podwyższonym poziomem radonu

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 obejmuje analizę kilku kluczowych elementów: planów remontowych, lokalizacji budynku w obszarze radonowym oraz wyników pomiarów stężenia radonu.



Zmniejszanie radonu w budynkach z podwyższonym poziomem radonu

01 Uszczelnianie budynków

Uszczelnianie budynków to podstawowa metoda ograniczania przenikania radonu. Obejmuje eliminację nieszczelności w fundamentach, ścianach i przejściach instalacyjnych, co redukuje stężenie radonu u źródła.

Fundamenty:

- inspekcja i naprawa pęknięć oraz szczelin w fundamentach;
- stosowanie elastycznych mas uszczelniających, betonów o niskiej przepuszczalności oraz powłok polimerowych jako trwałej bariery ochronnej.

Ściany i przyziemie:

- hydroizolacje i dodatkowe powłoki ochronne ograniczające migrację gazu;
- tynki specjalistyczne wzmacniające barierę przeciwradonową.

Przejścia instalacyjne:

- szczelne uszczelki wokół rur i przewodów;
- kołnierze i manszety uszczelniające wykonane z odpornych materiałów.

Zalety:

- skuteczna redukcja przenikania radonu;
- zwiększenie efektywności innych metod, np. wentylacji;
- relatywnie niski koszt wdrożenia.

Ograniczenia:

- ograniczona skuteczność w budynkach o bardzo wysokim stężeniu radonu lub poważnych uszkodzeniach konstrukcji.

Zmniejszanie radonu w budynkach z podwyższonym poziomem radonu

02 Wentylacja w istniejących budynkach

Wentylacja redukuje stężenie radonu poprzez wymianę powietrza wewnętrznego na świeże powietrze z zewnątrz. Może być stosowana samodzielnie lub w połączeniu z innymi metodami.

Wentylacja nadciśnieniowa:

- wprowadza powietrze do budynku, podnosząc ciśnienie wewnętrzne;
- tworzy barierę ograniczającą infiltrację radonu z gleby;
- szczególnie skuteczna w budynkach z dobrze uszczelnionymi fundamentami.

Wentylacja wyciągowa:

- usuwa powietrze z wnętrza budynku;
- może powodować podciśnienie, które zwiększa infiltrację radonu, ale w połączeniu z uszczelnieniami daje umiarkowaną skuteczność.

Naturalna wentylacja:

- wymiana powietrza poprzez otwory okienne, drzwi i nieszczelności;
- trudna do kontrolowania i mało skuteczna w budynkach z wysokim stężeniem radonu.

Ograniczenia:

- wymaga regularnej konserwacji;
- w chłodnym klimacie prowadzi do strat ciepła i zwiększenia kosztów ogrzewania.

Zmniejszanie radonu w budynkach z podwyższonym poziomem radonu

03 Systemy aktywnego odprowadzania radonu

Systemy aktywnego odprowadzania radonu usuwają gaz z gleby i przestrzeni pod budynkiem, zanim przedostanie się do wnętrza. Są szczególnie skuteczne w budynkach z wysokimi stężeniami radonu.

Ssanie podpodłogowe:

- instalacja perforowanych rur pod fundamentami;
- wentylatory wytwarzają podciśnienie, usuwając radon z gleby na zewnątrz;
- skuteczność: redukcja stężenia nawet o 90%.

Wentylacja przestrzeni podpodłogowej:

- systemy pasywne: naturalna konwekcja powietrza;
- systemy aktywne: wentylatory wymuszające przepływ powietrza.

Odprowadzanie radonu z gruntu wokół fundamentów:

- perforowane rury w glebie wokół budynku;
- usuwanie gazu zanim przedostanie się przez ściany fundamentowe.

Ograniczenia:

- wysokie koszty eksploatacyjne (zasilanie elektryczne, konserwacja);
- trudności w instalacji w starszych budynkach.

Zmniejszanie radonu w budynkach z podwyższonym poziomem radonu

04 Dodatkowe techniki redukcji radonu

Drenaż podfundamentowy:

- warstwy żwirowe i perforowane rury pod fundamentami;
- naturalne lub wymuszone odprowadzanie radonu z gleby.

Bariery przeciwradonowe:

- membrany i powłoki ochronne na zewnętrznych powierzchniach fundamentów;
- trudne do zastosowania pod istniejącymi fundamentami.

Adaptacja konstrukcji budynku:

- wentylacja pustych przestrzeni podpodłogowych;
- reorganizacja użytkowania budynku: unikanie adaptacji piwnic na pomieszczenia mieszkalne.

Modyfikacja systemów ogrzewania i izolacji:

- unikanie urządzeń generujących podciśnienie, takich jak kominki bez dootywu powietrza;
- izolacja termiczna między pomieszczeniami użytkowymi a piwnicami.

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.