



## Zestawienie dostępnych środków ograniczających stężenie radonu

Opracowano na podstawie wyników programu wieloletniego „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy – VI etap, okres realizacji: lata 2023–2025, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy

kontakt: radon@clor.waw.pl

Efektywność opisanych rozwiązań technicznych, służących ograniczeniu stężenia radonu oraz ochronie pracowników, została przedstawiona w szerokim zakresie, co wynika z istotnego zróżnicowania warunków ich stosowania. Skuteczność poszczególnych środków zależy bowiem od wielu czynników, takich jak charakter obiektu, warunki geologiczne i wentylacyjne, sposób eksploatacji pomieszczeń czy poprawność zaprojektowania i utrzymania zastosowanych rozwiązań. Z tego względu podawanie jednorodnej, punktowej wartości efektywności mogłoby prowadzić do uproszczeń.

W niniejszym opracowaniu efektywność rozumiana jest jako stopień, w jakim zastosowane rozwiązanie techniczne przyczynia się do ograniczenia stężenia radonu w środowisku pracy, a tym samym do zmniejszenia narażenia pracowników na promieniowanie jonizujące. Wyraża ona relację pomiędzy stanem wyjściowym a stanem po wdrożeniu danego środka ochronnego, uwzględniając zarówno uzyskany poziom redukcji stężenia radonu, jak i stabilność oraz powtarzalność tego efektu w czasie i w różnych warunkach eksploatacyjnych. Wartości efektywności przytoczone w bazie zostały zaczerpnięte z literatury naukowej, cytowanej w niniejszym opracowaniu.

Podane niżej rozwiązania zostały szczegółowo opisane w przewodniku „Analiza dostępnych rozwiązań technicznych służących ograniczeniu stężeń radonu oraz środków ochrony pracowników” udostępnionym do ściągnięcia na stronie [www.clor.waw.pl](http://www.clor.waw.pl)

Typ rozwiązania	Opis	Zmniejszenie stężenia w budynku		Efektywność	
		radon	pochodne radonu		
<b>rozwiązania budowlane - wewnątrz budynku</b>					
Uszczelnienie dróg wnikania radonu do budynku	membrany/folie antyradonowe	Należy stosować membrany lub papy posiadające certyfikowane oznaczenie „antyradonowe”. Montuje się je na podłogach oraz/lub ścianach mających bezpośredni kontakt z gruntem, aby ograniczyć przenikanie radonu do wnętrza budynku.	tak	tak	50–90% W zależności od ciągłości i szczelności wykonania
	papy antyradonowe	W przypadku membran antyradonowych wykonanie izolacji z jednej, ciągłej płachty jest zazwyczaj trudne, dlatego w praktyce stosuje się kilka arkuszy łączonych ze sobą. Kluczowe znaczenie ma bardzo staranne uszczelnienie styków – wszelkie nieszczelności powodują, że gaz przedostaje się przez warstwę izolacyjną, co może całkowicie zniweczyć skuteczność zabezpieczenia. Przy wykonywaniu izolacji z papy antyradonowej układanej na gorąco lub w postaci powłoki wylewanej, należy każdorazowo skonsultować z producentem wymaganą grubość oraz liczbę warstw, tak aby uzyskać deklarowany poziom ochrony. Przed zakupem papy lub folii warto zażądać od producenta aktualnych świadectw z badań laboratoryjnych, określających współczynnik przepuszczalności radonu. Dokumenty te pozwalają zweryfikować rzeczywistą skuteczność materiału i dobrać rozwiązanie spełniające wymagania projektowe oraz normatywne.	tak	tak	60–90% w zależności od grubości położonej warstwy, od ciągłości i szczelności wykonania
	uszczelnienie dróg przenikania radonu do budynku	Część zabezpieczeń można wykonać samodzielnie. Jedną z metod jest uszczelnienie masą uszczelniającą typowych dróg wnikania radonu do budynku (np. połączenia podłogi ze ścianami, pęknięcia w płytach betonowych, luźne przejścia rur). Nie wszystkie nieszczelności są widoczne gołym okiem, dodatkowo z biegiem czasu mogą pojawić się nowe pęknięcia, dlatego najlepiej połączyć tę metodę razem z innymi zabezpieczeniami antyradonowymi.	tak	tak	10–60% metoda wspomagająca, rzadko wystarczająca samodzielnie
Wentylacja	Zmniejszenie podciśnienia w budynku	Podciśnienie w budynku spowodowane jest różnicą temperatur pomiędzy wnętrzem budynku i otoczeniem, wiatrem oraz w niektórych przypadkach zainstalowaną wentylacją mechaniczną. Standardowo różnica ciśnień między budynkiem i otoczeniem jest niewielka - w granicach 1-10 Pa. Ta różnica ciśnień jest przyczyną, tzw. efektu kominowego, czyli zasysania do wnętrza budynku radonu z gruntu poprzez pęknięcia i nieszczelności w fundamentach. Różnicę ciśnień można kontrolować regulując przepływ powietrza w wentylacji mechanicznej, zwiększając liczbę otworów wentylacyjnych w wentylacji naturalnej, lub poprzez częstsze otwieranie okien/drzwi.	tak	tak	50–70%



## Zestawienie dostępnych środków ograniczających stężenie radonu

Opracowano na podstawie wyników programu wieloletniego „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy – VI etap, okres realizacji: lata 2023–2025, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy

kontakt: radon@clor.waw.pl

Typ rozwiązania		Opis	Zmniejszenie stężenia w budynku		Efektywność
			radon	pochodne radonu	
	wentylacja mechaniczna wywiewna	Wentylacja mechaniczna polega na wymuszonej wymianie powietrza w budynku. Wykorzystuje się do tego celu wentylatory wraz z przewodami do zasysania powietrza wewnętrznego przez system klimatyzacyjny budynku i odprowadzania go na zewnątrz. Zaletą wentylacji mechanicznej jest możliwość regulacji siły wyciągu, efektywność jest niezależna od warunków środowiskowych i od wiatru oraz jest o wiele bardziej wydajna od wentylacji naturalnej. Do wad można zaliczyć zużycie prądu, które jest tym większe im wyższe jest stężenie radonu, możliwość powodowania hałasu, a w przypadku wentylacji bez wymiennika ciepła ochładzanie budynku, co z kolei zwiększa koszty związane z ogrzewaniem. Dodatkowo źle zainstalowana/stosowana wentylacja mechaniczna zwiększa podciśnienie w budynku, co powoduje wysysanie radonu z gruntu z większą siłą. Rozwiązanie to zalecane jest raczej do pojedynczych domów, nie do większych budynków ze względu na trudną regulację przepływów w większej liczbie pomieszczeń. Najlepiej sprawdza się w połączeniu z innymi metodami, np. uszczelnieniem fundamentów i dróg wejścia radonu.	tak	tak	10–60% W zależności od siły wywiewu
	wentylacja naturalna/grawitacyjna	Najczęściej stosowana metoda wentylacji. Polega na powstawaniu ciągu powietrza w kanale wentylacyjnym na skutek różnicy gęstości powietrza zewnętrznego i wewnętrznego. Wymiana powietrza zależy od różnicy ciśnień pomiędzy powietrzem wewnętrznym i zewnętrznym, kubatury budynku, szczelności budynku, siły wiatru, liczby otworów wentylacyjnych, okien, drzwi i powierzchni ich otwarcia. Najprostszym przykładem wentylacji naturalnej jest wietrzenie pomieszczeń poprzez otwarcie okien lub drzwi. Szybkość wymiany powietrza cechuje się dużymi wahaniami dobowymi i sezonowymi.	tak	tak	10–40% W budynkach o podwyższonym stężeniu radonu (powyżej poziomu odniesienia 300 Bq/m <sup>3</sup> ) wyłącznie w połączeniu z innymi metodami obniżającymi stężenie radonu
<b>rozwiązania budowlane - na zewnątrz budynku</b>					
System depresuryzacji podłogowej SSD (ang. Sub-slab depressurization)	system pasywny	Polega na wykopaniu niewielkiego otworu pod płytą podłogową (mniej więcej wielkości wiadra 10-15 litrów), wypełnieniu go gruboziarnistym żwirem i zamontowaniu rury z wentylatorem, przez którą gromadzący się w otworze radon wypompowywany będzie na zewnątrz budynku. Jest to najbardziej popularna i skuteczna metoda zmniejszania stężenia radonu w budynku. Wpływa na poziom radonu w pomieszczeniach na dwa sposoby: rozcieńcza stężenie radonu pod płytą fundamentową i tworzy pod nią ujemną różnicę ciśnień w porównaniu z mieszkaniem, co zmniejsza przepływ powietrza z gruntu do wnętrza budynku. Różnica pomiędzy systemem pasywnym, a aktywnym polega na zastosowaniu wentylatora (system aktywny) wymuszającego przepływ powietrza. W systemie pasywnym wymiana następuje grawitacyjnie. System pasywny ma mniejszą wydajność, natomiast nie wiąże się z dodatkowymi kosztami związanymi ze zużyciem prądu oraz jest cichy.	tak	tak	30–70% (system pasywny) 70–99% (system aktywny)
	system aktywny		tak	tak	system pasywny stosowany przy stężeniu radonu w wysokości kilkuset Bq/m <sup>3</sup> , powyżej tej wartości zaleca się system aktywny.
Studnia radonowa		Montaż studni radonowej polega na wykopaniu, w pobliżu budynku, otworu o głębokości ok 50 cm w glebie. Na dno wysypuje się gruboziarnisty żwir, w którym umieszcza się rurę wentylacyjną, której drugi koniec wystaje ponad powierzchnię ziemi. Żwir osłania się geowłókniną i przysypuje warstwą piasku. Na zakończeniu rury wentylacyjnej montowany jest wentylator umożliwiający zasysanie powietrza glebowego z radonem i wypuszczanie go na zewnątrz. Studnia radonowa skutecznie redukuje stężenie radonu z gleby pod fundamentami oraz w bliskim otoczeniu domu (20-30 m). Jest skuteczna tylko na terenach z przepuszczalną glebą, cechuje się niewielkim zużyciem prądu.	tak	tak	80–90% (bardzo skuteczna przy przepuszczalnych glebach)



## Zestawienie dostępnych środków ograniczających stężenie radonu

Opracowano na podstawie wyników programu wieloletniego „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy – VI etap, okres realizacji: lata 2023–2025, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy

kontakt: radon@clor.waw.pl

Typ rozwiązania	Opis	Zmniejszenie stężenia w budynku		Efektywność
		radon	pochodne radonu	
<b>środki ochrony indywidualnej - wewnątrz budynku</b>				
Oczyszczacze powietrza	<p>Filtry stosowane w komercyjnie dostępnych oczyszczaczach powietrza wykazują wysoką skuteczność w usuwaniu z powietrza pochodnych radonu, związanych z frakcją aerozolową. Nie wpływają one jednak na stężenie samego radonu jako gazu szlachetnego, który nie jest zatrzymywany przez standardowe materiały filtracyjne i swobodnie dyfunduje w powietrzu wewnętrznym.</p> <p>Z tego względu oczyszczacze powietrza mogą być traktowane jedynie jako środek doraźny, ograniczający narażenie na produkty rozpadu radonu w okresie od stwierdzenia podwyższonego stężenia do momentu wdrożenia i zakończenia właściwych działań remediacyjnych.</p>	nie	tak	zależy od kubatury pomieszczenia oraz wysokości stężenia radonu.
Maski ochronne	<p>Typowe maski ochronne mogą w istotnym stopniu ograniczać wdychanie pochodnych radonu (krótkotrwałych produktów rozpadu przyczepionych do aerozoli), natomiast nie stanowią skutecznej bariery dla samego gazowego radonu. Skuteczność tej ochrony jest uzależniona od rodzaju zastosowanej maski i klasy filtra, jakości jej dopasowania do twarzy użytkownika, a także od stężenia, składu i rozkładu wielkości cząstek aerozoli obecnych w powietrzu. W praktyce oznacza to, że maski filtrujące mogą redukować dawkę od produktów rozpadu radonu związanych z aerozolami, lecz nie eliminują narażenia na radon jako gaz szlachetny swobodnie dyfundujący przez materiał filtracyjny.</p>	nie	tak	zależy od rodzaju maski i wysokości stężenia radonu.
Skrócony czas pracy	<p>Jednym z trzech podstawowych środków ochrony przed promieniowaniem jonizującym jest ograniczenie czasu ekspozycji. Metoda ta polega na skracaniu czasu przebywania ludzi w środowisku o podwyższonym stężeniu radonu i jest stosowana w sytuacjach, w których z przyczyn technicznych, organizacyjnych lub ekonomicznych nie ma możliwości zastosowania skutecznych rozwiązań inżynierskich redukujących stężenie radonu u źródła.</p>	nie	nie	zależy od wysokości stężenia radonu.
Wietrzenie pomieszczeń	<p>Metoda bardzo skuteczna, chociaż w zimnych porach roku ze względu na spadek temperatury w wietrzonych pomieszczeniach rzadziej stosowana. Wyrównując temperaturę pomiędzy wietrzonym pomieszczeniem z temperaturą na zewnątrz budynku, zmniejsza się jednocześnie różnicę ciśnień i efekt kominowy. Wietrzenie pomieszczeń jest elementem wentylacji naturalnej/grawitacyjnej opisanej wyżej.</p>	tak	tak	zależy od szybkości wymiany powietrza.
Farby	<p>Niektóre materiały budowlane stosowane w starszym budownictwie mogą zawierać podwyższone stężenia naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, takich jak rad (Ra-226) i tor (Th-232), będących źródłem odpowiednio radonu i toronu. W celu ograniczenia ich uwalniania do powietrza wewnętrznego możliwe jest zmniejszenie współczynnika ekshalacji poprzez pokrycie powierzchni przegród szczelną warstwą ochronną, na przykład farbą olejną. Tego typu powłoka działa jako bariera dyfuzyjna, redukując przenikanie gazów promieniotwórczych z materiału do pomieszczenia.</p>	tak	tak	20–70% zależy od liczby warstw farby oraz zawartości radu i toru w materiale budowlanym.



## Zestawienie dostępnych środków ograniczających stężenie radonu

Opracowano na podstawie wyników programu wieloletniego „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy – VI etap, okres realizacji: lata 2023–2025, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy

kontakt: radon@clor.waw.pl

### LITERATURA

STUK. Remediation of radon in buildings. STUK-A251, Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki, 2013.

HINRICHS A., FOURNIER C., KRAFT G., MAIER A. Radon progeny adsorption on facial masks. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, Vol. 19, 11337. DOI: 10.3390/ijerph191811337.

IAEA. Protection against exposure due to radon indoors and gamma radiation from construction materials — Methods of prevention and mitigation. IAEA-TECDOC-1951, International Atomic Energy Agency, Vienna.

ARVELA H. Indoor radon sources, remediation and prevention in new construction. In: Proceedings of the Third European IRPA Congress, 14–16 June 2010, Helsinki, Finland.

WHO. WHO Handbook on Indoor Radon. World Health Organization, Geneva, 2009. ISBN 978-92-4-154767-3.

National Collaborating Centre for Environmental Health. Effective interventions to reduce indoor radon levels. Vancouver, 2008. ISBN 978-0-9784317-4-7.

KHAN S. M., GOMES J., KREWSKI D. R. Radon interventions around the globe: A systematic review. Heliyon, 2019, Vol. 5, e01737. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e01737.

YASUOKA Y., ISHIKAWA T., TOKONAMI S., TAKAHASHI H., SORIMACHI A., SHINOGI M. Radon mitigation using an air cleaner. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2009, Vol. 279, No. 3, pp. 885–891. DOI: 10.1007/s10967-008-7379-0.

IWAOKA K., TOKONAMI S., ISHIKAWA T., YONEHARA H. Mitigation effects of radon decay products by air cleaner. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2013, Vol. 295, pp. 639–642. DOI: 10.1007/s10967-012-1813-z.

LOWE A., PETTENATO S., R. Reduction of indoor radon by air cleaning — Case study. Journal of Environmental Engineering, 2000, Vol. 126, No. 12, pp. 1125–1130. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2000)126:12(1125).

WANG J., MEISENBERG O., CHEN Y., KARG E., TSCHIRSCH J. Mitigation of radon and thoron decay products by filtration. Science of the Total Environment, 2011, Vol. 409, pp. 3613–3619.

SELIM M. KHAN, JAMES GOMES, DANIEL R. KREWSKI Radon interventions around the globe: A systematic review, 2019, Heliyon, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01737>

United States Environmental Protection Agency, 1993. Radon Reduction Techniques for Existing Detached Houses, Technical Guidance for Active Soil Depressurization Systems. October 1993; EPA/625/R-93-011, 3 wydanie.

E KOUROUKLA, T D GOODING , H S FONSECA Analysis of radon mitigation methods: 10-year review, 2024 J. Radiol. Prot. 44 031503, DOI: [10.1088/1361-6498/ad58e8](https://doi.org/10.1088/1361-6498/ad58e8)

ENNEMOSER O, OBERDORFER E, BRUNNER P, SCHNEIDER P, PURTSCHELLER F, STINGL V, AMBACH W., Mitigation of indoor radon in an area with unusually high radon concentrations, Health Phys. 1995 Aug;69(2):227-32. doi: 10.1097/00004032-199508000-00007.

JIRÁNEK M, NEZNAL M, NEZNAL M. Mitigation of ineffective measures against radon. Radiat Prot Dosimetry. 2008;130(1):68-71. doi: 10.1093/rpd/ncn120. Epub 2008 Apr 8.