

Pomiary radonowe w wybranych budynkach mieszkalnych ziemi rybnickiej

Data wpłynięcia do Redakcji: 04/2023
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 05/2023

2023, volume 12, issue 1, pp. 95-108

Jan Antoni Rubin
Politechnika Śląska,
Akademia Nauk Stosowanych w Raciborzu
Poland

Daniel Wyciszczok
PGG KWK ROW Ruch Jankowice, Poland

Łukasz Doleżych
PGG KWK ROW Ruch Chwałowice, Poland



Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań poziomu stężenia radonu w wybranych budynkach mieszkalnych zlokalizowanych na terenie ziemi rybnickiej. Do pomiarów, prowadzonych w kilku kampaniach w latach 2005-2010 stosowano pasywną metodę pomiarów, z wykorzystaniem detektorów śladowych cząstek alfa. Wykonano 122 pomiary w piwnicach i na parterach w 61 budynkach. Czas ekspozycji detektorów wynosił od 3 do 6 miesięcy. Zakres mierzonych stężeń radonu wynosił od 10 do 390 Bq/m³ na parterach oraz od 28 do 740 Bq/m³ w piwnicach. Średnie arytmetyczne mierzonych wartości wynosiły odpowiednio: 74 Bq/m³ na parterach oraz 128 Bq/m³ w piwnicach i były wyższe od wartości średnich obliczonych dla całej Polski, jak i dla Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW).

Słowa kluczowe: promieniotwórczość naturalna, rad Ra-226, radon Rn-222, geologia

WSTĘP

Dyrektywa Rady Unii Europejskiej 2013/59/Euratom z dnia 5 grudnia 2013r. ustanowiła podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego [3]. Zgodnie z zapisami zawartymi we wspomnianej Dyrektywie – a jest to akt o charakterze nieustawodawczym, narażenie na radon w pomieszczeniach zamkniętych (m.in. w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej oraz na stanowiskach pracy) rozpatrywane jest jako sytuacja narażenia istniejącego. W związku z tym ustanowiono poziom referencyjny (poziom odniesienia), średniego rocznego stężenia radonu nie wyższy niż 300 [Bq/m³] – z możliwością zmiany tej wartości, jeśli zostanie ona uzasadniona konkretnymi warunkami krajowymi. W celu zarządzania długoterminowymi zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie radonu w pomieszczeniach zamkniętych, zasugerowano potrzebę tworzenia Krajowych (radonowych) Planów Działania zgodnie z wymogami zawartymi w niniejszej Dyrektywie. Decyzję o wprowadzeniu szczegółowych uregulowań prawnych pozostawiono krajom członkowskim UE, które mogą brać pod uwagę specyficzne lokalne warunki geologiczne, które wpływają w sposób

istotny na poziom naturalnego tła promieniotwórczego [3]. Zapisy zawarte w Dyrektywie Rady Unii Europejskiej są zharmonizowane z rekomendacją Światowej Organizacji Zdrowia, która zaleca by stężenie radonu w budynkach mieszkalnych nie przekraczało 100 Bq/m^3 , a tam gdzie jest to poziom trudny do utrzymania – 300 Bq/m^3 , [26].

W Polsce aktywność w dziedzinie szeroko pojętej ochrony radiologicznej środowiska bytowania człowieka regulują – mniej lub bardziej bezpośrednio, liczne przepisy prawne:

- I. Ustawa z dnia 7 lipca 1994r. – Prawo budowlane (Dz. U. z 1994r. № 89 poz. 414), tekst z późniejszymi zmianami [25]. Rozdział 1. Przepisy ogólne. Art. 5. 1. Obiekt budowlany wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając: 1) spełnienie wymagań podstawowych dotyczących: d) odpowiednich warunków higienicznych i zdrowotnych oraz ochrony środowiska.
- II. Ustawa z dnia 29 listopada 2000r. – Prawo atomowe (Dz. U. z 2001r. № 3 poz. 18), tekst z późniejszymi zmianami [24]. Rozdział 3. Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna oraz ochrona zdrowia pracowników. Art. 23b. Ustala się poziom odniesienia dla średniorocznego stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu w: 1) miejscach pracy wewnątrz pomieszczeń oraz 2) pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi – w wysokości 300 Bq/m^3 (bekereli na metr sześcienny). Art. 23d. 1) Zbywca budynku, lokalu lub pomieszczenia przeznaczonego na pobyt ludzi oraz wynajmujący budynek, lokal lub pomieszczenie, przeznaczone na pobyt ludzi, przekazuje na żądanie nabywcy lub najemcy takiego budynku, lokalu lub pomieszczenia informację o wartości średniorocznego stężenia promieniotwórczego radonu w powietrzu odpowiednio w budynku, lokalu lub pomieszczeniu.
- III. Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. (Dz. U. № 75, poz. 690) w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (tekst z późniejszymi zmianami) [18]. DZIAŁ VIII. Higiena i zdrowie. Rozdział 3. Ochrona przed promieniowaniem jonizującym i polami elektromagnetycznymi. § 313.1. Budynek z pomieszczeniami przeznaczonymi na pobyt ludzi i dla inwentarza żywego nie może być wykonany z materiałów i elementów wyposażenia niespełniających wymagań przepisów odrębnych w sprawie dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia. § 313.2. Średnie wartości roczne ekwiwalentnego stężenia radonu w pomieszczeniach budynku przeznaczonego na stały pobyt ludzi nie mogą przekraczać dopuszczalnej wartości, określonej w przepisach odrębnych dotyczących dawek granicznych promieniowania.
- IV. 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 [19]. § 1. Rozporządzenie określa tereny, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu wewnątrz pomieszczeń w znacznej liczbie budynków może przekraczać poziom odniesienia, o którym mowa w art. 23b ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe. § 2. Tereny, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu wewnątrz pomieszczeń w znacznej liczbie budynków może przekraczać poziom odniesienia, o którym mowa w art. 23b ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe, są określone w załączniku do rozporządzenia.

- V. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 11 sierpnia 2021r. w sprawie wskaźników pozwalających na wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego stosowanych przy ocenie narażenia na promieniowanie jonizujące [20]. § 1. Rozporządzenie określa wskaźniki pozwalające na wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego stosowane przy ocenie narażenia oraz sposób i częstotliwość dokonywania oceny narażenia: 1) pracowników; 2) osób z ogółu ludności. § 2. 1. Narażenie pracowników i osób z ogółu ludności ocenia się przez wyznaczenie dawek skutecznych (efektywnych) i równoważnych, z uwzględnieniem wielkości i wartości wskaźników pozwalających na wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego stosowanych przy ocenie narażenia na promieniowanie jonizujące. § 2.2. Wielkości i wartości wskaźników pozwalających na wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego stosowanych przy ocenie narażenia na promieniowanie jonizujące określa załącznik do rozporządzenia. § 2.3. Wyznaczając dawki skuteczne (efektywne) i równoważne, o których mowa w ust. 1, zmniejsza się je o dawki promieniowania jonizującego wynikające z naturalnego tła promieniowania jonizującego występującego na danym terenie, uwzględniając rzeczywisty czas narażenia na promieniowanie jonizujące. Jeżeli naturalne tło promieniowania jonizującego nie jest znane, za jego wartość przyjmuje się 2,4 mSv dla dawki skutecznej (efektywnej) w ciągu roku kalendarzowego.

PROMIENIOTWÓRCZY RADON

Wśród około 50 naturalnych izotopów promieniotwórczych występujących w środowisku mieszkalnym człowieka znajdują się również izotopy w postaci gazowej, czyli izotopy radonu. Okres połowicznego zaniku izotopów ma istotne znaczenie dla możliwości ich rozprzestrzeniania się w środowisku naturalnym. Najważniejszy z punktu widzenia ochrony radiologicznej jest radon Rn-222, szlachetny gaz o najdłuższym czasie połowicznego zaniku, który wynosi 3 dni, 19 godzin i 48 minut (tzw. stała rozpadu $\lambda = 7,55 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$). Radon Rn-222 pochodzi bezpośrednio od najbardziej rozpowszechnionego izotopu radu Ra-226. Właściwości promieniotwórcze radonu Rn-222 i jego produktów rozpadu przedstawiono za raportem NCRP No. 97 [12] w tabeli 1.

Tabela 1 Radon i jego krótkożyciowe produkty rozpadu

Izotop	Typ rozpadu	Okres połowicznego zaniku $T_{1/2}$ [h]	Stała rozpadu λ [h^{-1}]	Liczba atomów na 1 Bq
Rn-222	α	91.8	0.00755	476000
Po-218	α	0.0508	13.6	260
Pb-214	β	0.447	1.55	2300
Bi-214	β	0.328	2.11	1700
Po-214	α	$4.56 \cdot 10^{-8}$	$1.53 \cdot 10^7$	$2.4 \cdot 10^{-4}$

Podczas rozpadu radonu Rn-222 jest emitowane promieniowanie alfa. Promieniowanie alfa to strumień dwuwartościowych dodatnich jonów helu He^{2+} , silnie pochłanianych przez materię. W powietrzu atmosferycznym ich zasięg nie przekracza 7 cm. Radon, jako gaz szlachetny jest mało toksyczny, szkodliwe są natomiast produkty jego rozpadu. Głównym źródłem radonu w naszym otoczeniu są skały budujące podłoże.

Rad Ra-226, macierzysty pierwiastek radonu Rn-222, występuje w różnych ilościach, we wszystkich materiałach i surowcach budowlanych pochodzenia mineralnego oraz w gruntach i skałach. Radon, obecny w tzw. powietrzu wentylowanym pomieszczeń mieszkalnych, jest tą częścią atomów tego pierwiastka, która zdołała uwolnić się ze struktur mineralnych i przestrzeni porowych gruntów i skał, na których zbudowany jest budynek oraz – w mniejszym stopniu, z materiałów budowlanych. Prowadzone na świecie i w Polsce badania pokazują, że przebywając w mieszkaniach, w pewnych przypadkach możemy być narażeni na dawki promieniowania niewiele mniejsze, niż górnicy pracujący w podziemnych zakładach górniczych.

RADON – WPŁYW NA ORGANIZMY ŻYWE

Fakt, iż promieniowanie jonizujące ma szkodliwy wpływ na organizmy żywe znany jest od wielu lat. Przyjmuje się, że wartość całkowitej dawki efektywnej od promieniowania jonizującego dla statystycznego mieszkańca Polski wynosi 3,35 mSv. Udział radonu w tej wartości to 40,6% [17].

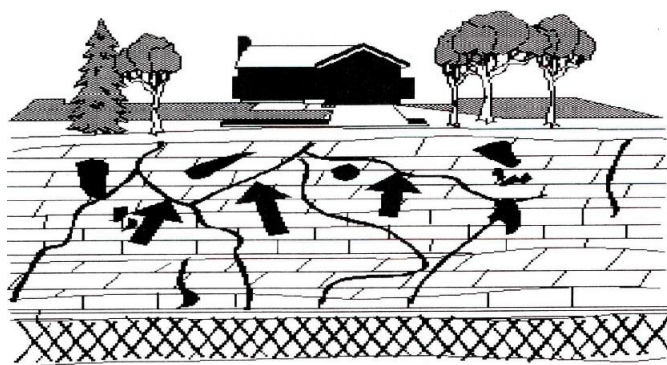
Najbardziej narażeni jesteśmy na oddziaływanie radonu oraz produktów jego rozpadu, gdy przebywamy w zamkniętych i słabo wentylowanych przestrzeniach. Dlatego oczywiste jest, iż górnicy w podziemnych zakładach wydobywczych – szczególnie w kopalniach rud uranu, narażeni są na skutki oddziaływania wysokich stężeń radonu i jego produktów rozpadu [6, 8, 22, 23]. W wyniku oddziaływania promieniowania jonizującego narażeni są oni na zwiększone ryzyko zachorowania na raka płuca i górnych dróg oddechowych. Dawka, jaką otrzymuje organizm narażony na określoną ekspozycję zależy od wielu czynników środowiskowych i indywidualnych cech osobniczych. Najistotniejsze z nich to rozkład ziarnowy aerozoli, sposób oddychania i rozmiar płuc [11].

Badania prowadzone na świecie wykazały, iż również ekspozycja na radon w budynkach mieszkalnych jest poważnym czynnikiem zwiększającym ryzyko zachorowania na raka płuca [13, 4]. Istnieją wprawdzie doniesienia literaturowe, nie potwierdzające występowania związku pomiędzy poziomem radonu w

budynkach, a zwiększonym ryzykiem zachorowalności na choroby nowotworowe [2]. Jednak mimo trwających dyskusji na temat związków pomiędzy ekspozycją na radon w domach mieszkalnych, a ryzykiem zachorowania na raka płuc, wciąż w ochronie radiologicznej obowiązuje zasada zalecająca obniżanie ryzyka tak nisko jak tylko – w granicach rozsądku, jest to możliwe. Raport opublikowany w 1998 w USA przez National Research Council jednoznacznie potwierdza, że radon jest pośrednią przyczyną zachorowań na raka płuc, a do oceny ryzyka należy stosować tzw. model liniowy bezprogowy [10]. W tym samym raporcie potwierdzono występowanie synergizmu czynników kancerogennych tzn. np. palenie tytoniu i radon zwiększają ryzyko wystąpienia raka płuca. Oszacowano ponadto, że około 33% przypadków zachorowań na raka płuc można by uniknąć, gdyby stężenia radonu w domach i miejscach pracy nie przekraczały wartość 150 Bq/m^3 , czyli limitu zalecanego przez amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (Environmental Protection Agency).

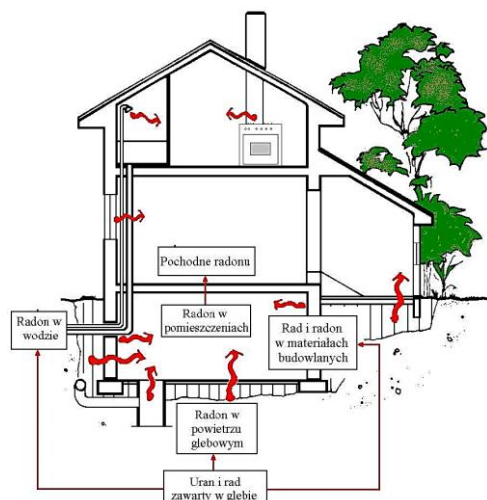
MIGRACJA RADONU W ŚRODOWISKU GEOLOGICZNYM ORAZ WNIKANIE DO BUDYNKÓW

Głównym źródłem radonu w budynkach są grunty i skały podłoża, na którym dom jest posadowiony. Wnikanie radonu do powietrza wentylowanego mieszkań odbywa się zarówno na drodze swobodnej molekularnej dyfuzji atomów z gruntu, jak i efektu ssania. Efekt ten wynika z niewielkiej różnicy ciśnień pomiędzy wnętrzem i zewnątrz domu, spowodowanej przez różnicę temperatur (tzw. efekt kominowy) oraz wiatr, opady i ciśnienie powietrza atmosferycznego. Radon przedostaje się do wnętrza budynku przez spoiny, pęknięcia, otwory instalacyjne, a także różnego rodzaju nieszczelności w ławach i płytach fundamentowych. Na rysunkach 1, 2 oraz 3, przedstawiono drogi migracji radonu w gruncie budowlanym oraz schemat jego wnikania do wnętrza budynku i potencjalne źródła radonu w obiekcie budowlanym.



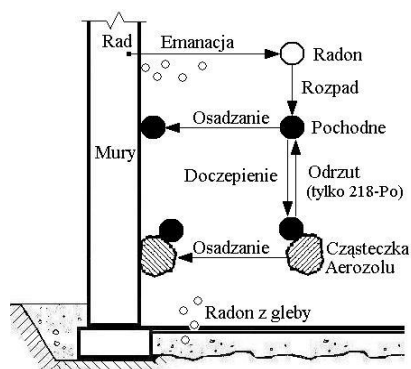
Rys. 1 Drogi migracji radonu w gruncie budowlanym

Źródło: [27]



Rys. 2 Schemat dróg wnikania tzw. radonu zewnętrznego do wnętrza budynku

Źródło: [7, 9]

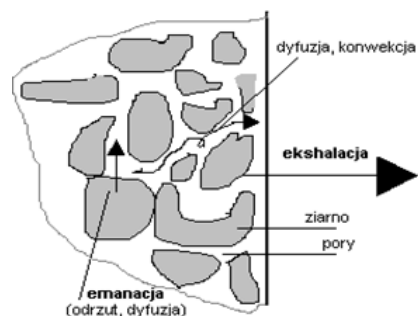


Rys. 3 Główne źródła radonu w budynku

Źródło: [7, 14]

Stężenie radonu w powietrzu wewnątrz zamkniętych pomieszczeń zależy od bardzo wielu czynników, między innymi stanu technicznego budynku, poziomu wymiany powietrza wentylowanego, zwyczajów mieszkańców, itp. Dlatego długoterminowe (od 3 do 12 miesięcy) pomiary wykonywane w pomieszczeniach mieszkalnych dają najpewniejsze podstawy do oszacowania, na jakie dawki od radonu są narażeni mieszkańcy.

Poglądowo mechanizm transportu atomów z ciała stałego (skały, gleba, materiały budowlane) do otaczającego go powietrza, przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4 Transport radonu w ciałach stałych

Źródło: [11, 16]

STĘŻENIA RADONU W BUDYNKACH W OBSZARZE GÓRNOŚLĄSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

Średnie stężenie radonu dla obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW), wyliczone na podstawie ok. 1000 pomiarów długoterminowych, wykonywanych w domach na parterze wynosi 47 Bq/m³. Zakres mierzonych stężeń waha się w granicach od 10 Bq/m³ do 1600 Bq/m³. Rozkład stężeń radonu w budynkach podlega rozkładowi logarytmiczno-normalnemu [28, 29]. Według Radiologicznego Atlasu Polski średnie stężenie radonu w pomieszczeniach mieszkalnych w Polsce wynosi 49 Bq/m³ [17].

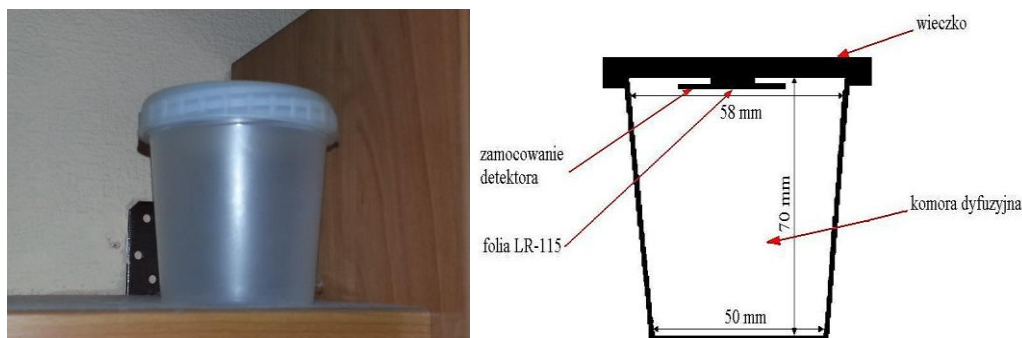
Prowadząc badania w obszarze GZW stwierdzono, iż rozkład stężeń radonu w domach zależy od regionalnej i lokalnej budowy geologicznej. Wyższe stężenia radonu mierzone są w budynkach w północno-wschodniej części zagłębia węglowego, niższe w południowej i zachodniej części. Zasadnicza różnica w budowie geologicznej obu obszarów polega na tym, że w części południowej i zachodniej starsze osady karbonu przykryte są grubą, sięgającą kilkuset metrów, warstwą młodszych utworów ilastych neogenu. Osady ilaste ograniczają infiltrację wód opadowych i migrację gazów. W północnej i północno-wschodniej części GZW osady starsze tworzą wychodnie na powierzchni, a przykrywająca je cienka warstwa utworów młodszych – głównie czwartorzędowych, nie ogranicza infiltracji i migracji fluidów.

Szczegółowa analiza wyników pomiarów długoterminowych pozwoliła stwierdzić, że największa liczba budynków, w których zmierzone stężenia przekraczają wartość średnią, zlokalizowana w obrębie jednostek geologicznych, charakteryzujących się pewnymi podobieństwami budowy geologicznej. Główną wspólną cechą jest występowanie w przystropowej warstwie górotworu silnie spękanych skał węglanowych: triasowych wapieni i dolomitów. Najwyższe stężenia radonu w budynkach zmierzono w miastach leżących na wychodniach triasowych skał węglanowych: Będzinie, Grodźcu, Piekarach Śląskich i Jaworznie. W południowo-zachodniej części GZW – gdzie utwory węglanowe nie występują, jedynie w okolicach Rybnika zlokalizowano budynki, w których koncentracje radonu przekraczają wartości średnie [21, 31].

Dla wyjaśnienia przyczyn występowania relatywnie wysokich stężeń radonu w budynkach umiejscowionych w ziemi rybnickiej wykonano pomiary w 61 budynkach mieszkalnych oraz przeanalizowano lokalną budowę geologiczną w ich sąsiedztwie.

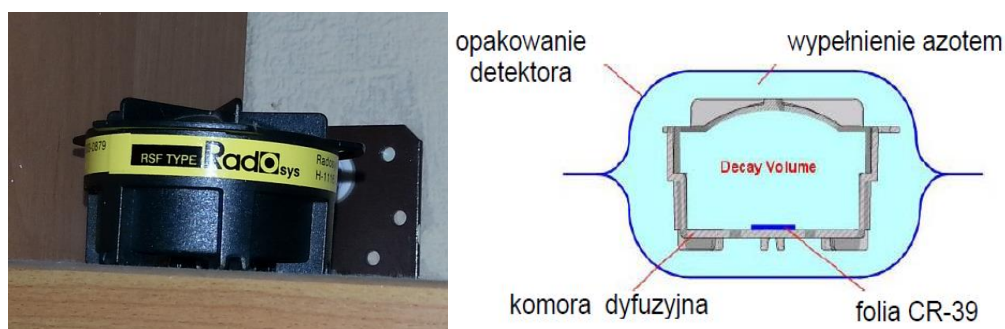
SPOSÓB PROWADZENIA BADAŃ

W trakcie pierwszej kampanii pomiarowej – w latach 2005-2006, pomiary stężenia radonu w budynkach wykonywano za pomocą detektorów śladowych własnej konstrukcji (rysunek 5). Zastosowany do badań detektor składał się z komory dyfuzyjnej, którą stanowi kubek plastikowy o pojemności 150 cm³ z umieszczonym w nim detektorem śladowym. Jako detektory śladowe używano folii typu LR-115/2 produkcji firmy Kodak, o zakresie detekcji cząstek alfa w przedziale 2-4 MeV.



Rys. 5 Detektor śladowy z folią LR-115

W trakcie drugiej kampanii pomiarowej (lata 2007-2010) pomiary wykonywano w części budynków objętych badaniami w poprzednich latach oraz w nowo wytypowanych domach. Do pomiarów tym razem wykorzystano system RADOSYS z foliami CR-39 (rysunek 6).



Rys. 6 Detektor śladowy typu Radosys

Folia CR-39 to specjalny rodzaj polimeru, szczególnie wrażliwego na oddziaływanie cząstek alfa o energii w zakresie od 0.1 MeV do > 20 MeV. Uszkodzenia folii powodowane uderzeniami cząstek alfa, po trawieniu w odpowiednim roztworze chemiczny, są obserwowane przez mikroskop optyczny i zliczane. Detektory ekspozowano przez 3 i 6 miesięcy w 23 budynkach.

WYNIKI BADAŃ

Realizując pracę wykonano 122 pomiary stężenia radonu w 61 jednorodzinnych budynkach mieszkalnych powiatu rybnickiego grodzkiego i ziemskiego, a także w paru budynkach powiatu żorskiego grodzkiego. Detektory umieszczano w piwnicach i pokojach mieszkalnych na parterze – najczęściej w sypialniach. Czas ekspozycji detektorów to 3-6 miesięcy. Stwierdzono, że zmierzone stężenia radonu wahają się w granicach od 10 Bq/m³ do 390 Bq/m³ w pomieszczeniach mieszkalnych na parterze oraz 28 Bq/m³ do 740 Bq/m³ w piwnicach. Średnie arytmetyczne mierzonych wartości to odpowiednio 74 Bq/m³ i 128 Bq/m³ (tabela 2). W większości budynków – 78% spośród przebadanych, stężenia radonu nie przekraczają 100 Bq/m³. W przypadku około 3% budynków zmierzone stężenia radonu przekraczają wartość 300 Bq/m³, będący zgodnie z wytycznymi

Dyrektywy 2013/59/Euratom BSS poziomem odniesienia (referencyjnym) średniego rocznego stężenia radonu w budynkach mieszkalnych.

Wyższe stężenia mierzone w piwnicach – niż na parterach, wskazują podłoże gruntowe, jako główne źródło radonu. Średnia wartość stężenia radonu na poziomie parteru w domach w Rybniku (74 Bq/m^3) jest wyższa zarówno od średniej dla Polski (49 Bq/m^3), Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (47 Bq/m^3), jak i na przykład Piekar Śląskich (60 Bq/m^3), tudzież Jaworzna (128 Bq/m^3), leżących w obszarze o budowie geologicznej ułatwiającej migrację gazów. Stosunkowo wysoka wartość odchylenia standardowego świadczy o dużej zmienności mierzonych wartości (tabela 2).

Tabela 2 Wyniki pomiarów stężenia radonu w budynkach w Rybniku

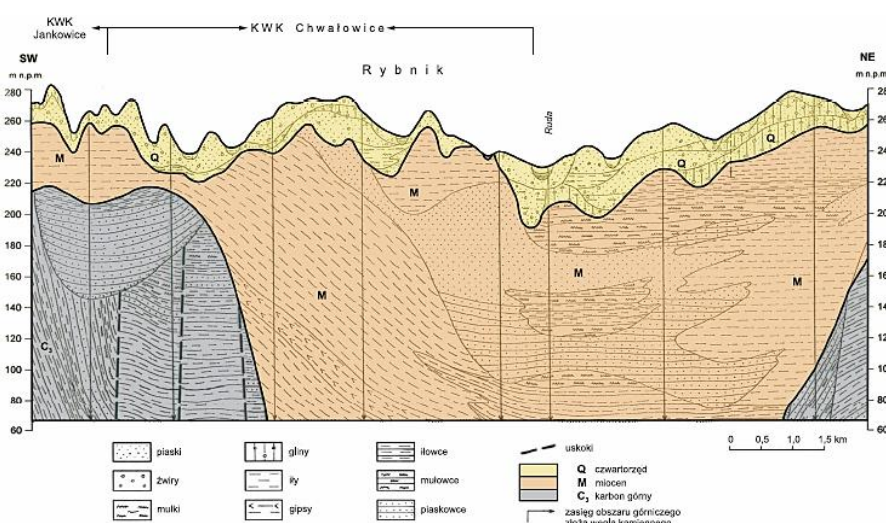
Lokalizacja detektora	Średnia arytmetyczna	Mediana	Średnia geometryczna	Odchylenie standardowe	Wartość maks.	Wartość min.
Parter	74	56	57	65	390	10
Piwnica	128	87	92	133	740	28

Można więc przypuszczać, iż lokalne warunki geologiczne, ograniczone do miejsca lokalizacji poszczególnych budynków, mają istotny wpływ na warunki migracji radonu.

BUDOWA GEOLOGICZNA RYBNIKA

W celu zrozumienia przyczyn występowania stosunkowo wysokich stężeń radonu w budynkach w Rybniku oraz ich znacznej zmienności, przeanalizowano doniesienia dotyczące budowy geologicznej tego obszaru.

W budowie geologicznej obszaru miasta wydziela się dwie jednostki geologiczno-strukturalne. Starszą strukturę waryscyjską stanowi zapadlisko górnośląskie, które charakteryzuje się tektoniką fałdowo-blokową i jest zbudowane z utworów paleozoicznych. Natomiast młodsze piętro alpejskie tworzy zapadlisko przedkarpackie, które wypełnione jest osadami neogenu (rysunek 7).



Rys. 7 Przekrój geologiczny przez rejon Rybnika

Źródło: [1, 5]

W profilu geologicznym obszaru rozpoznane zostały utwory karbonu, triasu, neogenu i czwartorzędu [1]. W obszarze miasta głębokie otwory badawcze nie przewierciły utworów karbonu górnego [5].

Utwory czwartorzędowe charakteryzują się nieciągłym rozprzestrzenieniem i zmienną miąższością, od kilku do 100 m. Na obszarach wyniesionych, osady zachowały się w szczątkowej formie i zredukowanej miąższości: od ich braku do 15 m w południowej części miasta. Bardziej zwartą pokrywę tworzą w obniżeniach morfologicznych – w obrębie doliny rzeki Rudy i jej dopływów (15-40 m). Największe miąższości (40-100 m) udokumentowano w rowie rzeki Odry – rejon Zbiornika Rybnickiego. W profilu litologicznym najniższą warstwę tworzy glina zwałowa, na której leży seria piasków i żwirów.

Na południu jeszcze wyżej zalegają lessy, natomiast dla części północnej charakterystyczne jest występowanie moren czołowych (żwiry i głazy oraz gliny zwałowe).

Utwory neogenu zalegają na całym obszarze Rybnika. Ich miąższość jest zróżnicowana i wynosi od kilku do 500 m. W profilu miocenu wydziela się osady morskie wykształcone jako ropy margliste i piaskowce, ropy z wkładkami gipsów i soli kamiennej oraz ropy z nielicznymi wkładkami mułków i drobnoziarnistych piasków. Lądowe osady miocenu mają zmienną miąższość i występują lokalnie. Litologicznie jest to kompleks ropy przewarstwiony piaskami. Piaski są często drobnoziarniste i pylaste, rzadziej średnio- i gruboziarniste.

Utwory triasowe (trias dolny) o miąższości do 50 m zachowały się fragmentarycznie, w głębokich rowach pod neogenem, w centralnym i północno-wschodnim rejonie w profilu litologicznym rozpoznano warstwy ropy, na których zalegają piaskowce lub piaski i żwiry. W stropie pojawiają się margle wapniste należące do retu.

Utwory górnokarbońskie występują na całym badanym obszarze i są reprezentowane przez piaskowce, mułowce i ropy, wśród których występują pokłady węgla kamiennego.

Tylko lokalnie osady karbonu produktywnego ukazują się pod niewielkim nadkładem utworów czwartorzędowych (do 20 m) w południowej części miasta. Na pozostałym obszarze są przykryte utworami neogenu (miejscami triasu) i zalegają na głębokości od kilkudziesięciu metrów w części północno-wschodniej i południowo-zachodniej do prawie 500 m w części centralnej i wschodniej [1].

Stwierdzono, że budynki, w których występują najwyższe stężenia radonu wzniesione są na przepuszczalnych osadach czwartorzędowych, litologicznie reprezentowanych przez piaski, żwiry, pospółkę, a także utwory moreny czołowej czyli żwiry, głazy i gliny zwałowe. W wyniku deformacji powierzchni będących wynikiem eksploatacji górniczej gliny zwałowe podlegają deformacjom ciągłym i nieciągłym. Deformację ciągłą to rozciąganie, deformacje nieciągłe to pęknięcie. Pęknięcie glin związane jest również z ich właściwościami fizycznymi: osady wysuszone tracą elastyczność i zaczynają się kruszyć i pękać. Proces ten otwiera drogi migracji gazów – w tym radonu.

Niektóre z budynków, w których zmierzono stosunkowo wysokie stężenia radonu zbudowane są na wzniesieniach utworzonych przez żwiry i piaski polodowcowe. Dodatkowym czynnikiem mogącym sprzyjać ułatwionej wędrówce gazów jest fakt, że znajdują się one w zasięgu eksploatacji górniczej powodującej rozluźnienia warstwy przystropowej. Poziom wód gruntowych jest obniżony, a więc migrujące gazy nie spotykają naturalnej bariery jaką stanowi lustro wód gruntowych.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wykonano 122 pomiary w piwnicach i na parterach w 61 budynkach mieszkalnych, częściowo lub całkowicie podpiwniczonych. Zakres zmierzonych w trakcie omawianych badań stężeń radonu wynosił od 10 do 390 Bq/m³ na poziomie parteru oraz od 28 do 740 Bq/m³ w piwnicach. Średnie wartości wynosiły odpowiednio: 74 Bq/m³ dla parterów oraz 128 Bq/m³ dla kondygnacji piwnicznych.

Uzyskane wyniki wskazują na fakt, iż na badanym terenie znajdują się budynki mieszkalne, w których stężenia radonu w pomieszczeniach mieszkalnych znacznie przekraczają wartości średnie mierzone w Polsce. W niektórych przypadkach stężenie radonu przekracza wartość 300 Bq/m³, będącą w wielu krajach wartością referencyjną dla budynków mieszkalnych. Po przekroczeniu tego poziomu zalecane jest podjęcie działań zaradczych, prowadzących do efektywnego obniżenia stężenia radonu w budynku.

Wg danych Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej średnie wartości stężeń radonu Rn-222 w budynkach na świecie to 39 Bq/m³, w Polsce odpowiednio 49 Bq/m³, a na przykład sąsiednich Czechach – 140 Bq/m³. Maksymalne wartości stężeń Rn-222, które podaje literatura naukowa, to 80000 Bq/m³ zmierzone w Szwecji oraz 20000 Bq/m³ zmierzone w Finlandii. W Polsce maksymalna zmierzona wartość – w okolicach Jeleniej Góry, to 15000 Bq/m³ [15]. Na podstawie dotychczasowych badań prowadzonych w obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) wiadomo, iż średnie stężenie radonu na parterach budynków mieszkalnych wynosi 47 Bq/m³, a w piwnicach 77 Bq/m³. Stwierdzono ponadto, że stężenia radonu w południowej i zachodniej części GZW są znacznie niższe od stężeń mierzonych w części północnej i północno-wschodniej. Stwierdzono jednoznacznie, że rozkład stężeń radonu w domach na obszarze Górnego Śląska nie jest równomierny i wykazuje wyraźny związek z regionalną budową geologiczną [29, 30].

Wyniki badań prowadzonych w okolicach Rybnika pokazują, że charakterystyka geologiczna podłoża istotnie wpływa na migrację radonu. Czynnikiem ułatwiającymi wędrówkę radionuklidów mogą być zaburzenia struktury geologicznej, zwłaszcza w warstwie przystropowej, czego konsekwencją jest rozluźnienie skał i zwiększona ich powierzchnia czynna, ułatwiająca ekshalację radonu.

Przeprowadzone badania pokazały, iż lokalne warunki geologiczne silnie wpływają na poziom radonu w budynkach. Mieszkańcy niektórych budynków

zlokalizowanych w Rybniku oraz w jego okolicach, mogą być narażeni na dawki od radonu i jego pochodnych porównywalne, a nawet w niektórych przypadkach wyższe, niż górnicy kopalń węgla kamiennego.

Tak zwany „problem radonowy” należy rozpatrywać w odniesieniu do konkretnego budynku, gdyż wartości stężenia radonu zależą od bardzo wielu czynników, takich jak: lokalna budowa geologiczna, stan techniczny budynku, układ pomieszczeń, efektywność systemu wentylacji, zastosowane materiały budowlane, jakość wykonanych robót budowlanych, itp. [21].

W ocenie przydatności terenów pod zabudowę mieszkaniową powinno uwzględniać się oprócz innych kryteriów, także kryteria radiologiczne. Dotyczy to, tak sumarycznego promieniowania gamma, jak również ewentualnych zagrożeń radonowych. Projektanci budynków, przeznaczonych na stały pobyt ludzi oraz zwierząt gospodarskich, powinni brać pod uwagę zabezpieczenie budynków przed infiltracją radonu z podłoża, nie pomijając ewentualnego wpływu radiologicznego materiałów budowlanych.

LITERATURA

- [1] Chmura A., Wantuch A., 2009: Wody podziemne miast Polski. Rybnik, Informator Państwowej Służby Hydrogeologicznej, red. Zbigniew Nowicki. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, pp. 345-363.
- [2] Cohen B.L., 1995: Test of the linear no-threshold theory of radiation carcinogenesis for inhaled radon decay products. *Health Physics*; Vol. 68, No 2: 157-174.
- [3] Dyrektywa Rady Unii Europejskiej 2013/59/EURATOM z dnia 5 grudnia 2013r. ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylająca dyrektywy 89/618/ Euratom, 90/641/ Euratom, 96/29/ Euratom, 97/43/ Euratom i 2003/122/ Euratom.
- [4] Field R. W., Steck D.J., Smith B.J., et al: Residential Radon Gas Exposure and Lung Cancer. *American Journal of Epidemiology* 2000; vol. 151, No. 9: 895-896.
- [5] Haisig J., 2002: Reambulacja Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski, 1:50000; ark. Rybnik. Centralne Archiwum Geologiczne, Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa.
- [6] James, A.C., Strong, J.C., 1973: A radon daughter monitor for use in mines (w): Proceedings of 3rd International Congress of the Radiation Protection Association, US AEC Report CONF-730907, Springfield, VI.
- [7] Laquatra J., 1995: Promieniotwórczość w budynku. *Murator* 8/1995.
- [8] Lebecka J., Skowronek J., Skubacz K. i współpracownicy, 1985: Raport o stanie narażenia górników kopalń węgla kamiennego na działanie pochodnych radonu. Dokumentacja wewnętrzna GIG № 12.6.16.01/N15/83/B2/2. Katowice.
- [9] Mueller Associates, Syscon Corporation, Brookhaven National Laboratory, 1988: Handbook of RADON in buildings: Detection, Safety, and Control. Mueller Associates, Inc. SYSCON Corporation. Brookhaven National Laboratory. New York – 1988 – London.
- [10] National Research Council, 1999: Committee on Health Risks of Exposure to Radon: BEIR VI. Health Effects of Exposure to Radon. Waszyngton: National Academy Press.
- [11] Nazaroff W.W., Nero A.V. (eds), 1988: Radon and its decay products in indoor air. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- [12] NCRP Report No. 97, 1988: National Council on Radiation Protection Measurements. Bethesda, USA.

- [13] Pershagen G., Akerblom G, Axelson O, et al., 1994: Residential radon exposure and lung cancer in Sweden, *New Journal of Medicine*; 330:159-164.
- [14] Plewa M., Plewa St., 1999: Radon w środowisku naturalnym i jego migracja do budynków mieszkalnych. Wydawnictwo Naukowe DWN; Wydawnictwo Oddziału PAN. Kraków.
- [15] Podstawczyńska A., 2012: Stężenie radonu (Rn-222) w powietrzu w środkowej Polsce na tle warunków meteorologicznych. *Przegląd Geograficzny* 2012, 84, 3, s. 399-411.
- [16] Porstendorfer J., 1991: *Proceedings of the 5 International Conference on Natural Radiation Environment*. Salzburg.
- [17] *Radiologiczny Atlas Polski*, 2011. Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej. Warszawa.
- [18] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. (Dz. U. № 75, poz. 690) w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Tekst ujednolicony w obwieszczeniu Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [19] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 18 czerwca 2020 r. (Dz. U. 30.06.2020r. poz. 1139) w sprawie terenów, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu wewnątrz pomieszczeń w znacznej liczbie budynków może przekraczać poziom odniesienia.
- [20] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 11 sierpnia 2021r. (Dz. U. 9.09.2021r. poz. 1657) w sprawie wskaźników pozwalających na wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego stosowanych przy ocenie narażenia na promieniowanie jonizujące.
- [21] Rubin J. A., 2009: Pomiary radonowe w wybranych budynkach mieszkalnych powiatu rybnickiego – cz. 1. BK-235/RB-4/09. Gliwice.
- [22] Skowronek J., 1990: Charakterystyka zagrożenia krótkożyciowymi produktami rozpadu radonu w kopalniach węgla kamiennego. Rozprawa doktorska. Główny Instytut Górnictwa. Katowice.
- [23] Skowronek J., Zemła B., 2003: Epidemiology of Lung and Larynx Cancers in Coal Mines in Upper Silesia – Preliminary Results. *Health Physics*, 2003; 85(3): 356-370.
- [24] Ustawa z dnia 29 listopada 2000r. – Prawo atomowe (Dz. U. z 2001r. № 3 poz. 18), tekst ujednolicony w obwieszczeniu Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 11 września 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo atomowe.
- [25] Ustawa z dnia 7 lipca 1994r. – Prawo budowlane (Dz. U. z 1994r. № 89 poz. 414), tekst ujednolicony w obwieszczeniu Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 10 marca 2023r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo budowlane.
- [26] WHO, 2009: WHO handbook on indoor radon: a public health perspective / edited by Hajo Zeeb, and Ferid Shannoun. World Health Organization.
- [27] Wysocka M., 1996: Radon w domach na terenie Górnośląskiego Okręgu Węglowego. *Prace Naukowe GIG*, seria Konferencje, nr 7/1996.
- [28] Wysocka M., 2002: Zależność stężeń radonu od warunków geologiczno-górnictwowych na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko*, 3/2002, pp. 25-39.
- [29] Wysocka M., 2008: Radon w domach w obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW), oszacowanie dawek skutecznych dla mieszkańców. *Medycyna Środowiskowa*; 11 (1), pp. 69-76.
- [30] Wysocka M., Kotyrba A., 2011: Radon mapping with the support of geophysical methods. *Journal of Mining Science*, Vol.47, No. 3 pp. 330-337.

- [31] Wysocka M., Rubin J.A., 2007: Pomiary radonu w mikrośrodowisku mieszkalnym powiatu rybnickiego. Proceedings of 14th Congress of the Polish Radiation Research Society them. Maria Skłodowska-Curie. Kielce.

Radon Measurements in Selected Buildings Residential Buildings in the Rybnik Region

Abstract: This paper presents the results of studies on the level of radon concentration in selected residential buildings located in the area of the Rybnik region. A passive measurement method, using alpha particle trace detectors, was applied for measurements carried out in several campaigns between 2005-2010. A total of 122 measurements were carried out in the basements and ground floors of 61 buildings. The exposure time of the detectors ranged from 3 to 6 months. The range of measured radon concentrations was from 10 to 390 Bq/m³ on the ground floors and from 28 to 740 Bq/m³ in the basements. The arithmetic means of the measured values were respectively: 74 Bq/m³ on the ground floors and 128 Bq/m³ in the basements and were higher than the average values calculated for Poland as a whole, as well as for the Upper Silesian Coal Basin (GZW).

Keywords: natural radioactivity, radium Ra-226, radon Rn-222, geology

Jan Antoni Rubin

Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej
Instytut Architektury
Akademii Nauk Stosowanych w Raciborzu
e-mail: Jan.Antoni.Rubin@polsl.pl

Daniel Wyciszcok

PGG KWK ROW Ruch Jankowice
e-mail: Daniel@wyciszcok.com

Łukasz Doleżych

PGG KWK ROW Ruch Chwałowice
e-mail: Lukas1127@op.pl