

Wpływ zbiornika retencyjno-dozującego oraz zwałowiska skały płonnej Kopalni Węgla Kamiennego Brzeszcze na poziom dawki od radonu ^{222}Rn otrzymywanej przez okolicznych mieszkańców

Impact of the retention pond and gangue repository of Brzeszcze coal mine on the level of dose received from radon ^{222}Rn by the local inhabitants



Dr inż. Monika Śleziak*



Dr hab. inż. Marek Duliński*

Treść: W ciągu 35 lat użytkowania zbiornika retencyjno-dozującego „Brzeszcze” zgromadzono w jego osadach znaczne ilości substancji promieniotwórczych, głównie radu. Celem stwierdzenia wpływu obecności radonu – produktu rozpadu radu na poziom zagrożenia radiacyjnego dla ludności zamieszkałej w sąsiedztwie, wykonano szereg pomiarów stężenia radonu ^{222}Rn (aktywności właściwej) w powietrzu wokół zbiornika i nad odkrytymi osadami dennymi. Pomiary te wykonano przenośnym monitorem radonowym PYLON AB – 5. Ponadto, w części zachodniej miasta wykonano analizy stężenia radonu przy wykorzystaniu stacjonarnego stanowiska pomiarowego, sprzężonego z aparaturą pozwalającą na rejestrację podstawowych parametrów meteorologicznych. Obserwowane stężenia radonu ^{222}Rn w powiązaniu z podstawowymi parametrami meteorologicznymi pozwalają na stwierdzenie, że radon z okolic zbiornika jest przenoszony wraz z wiatrem nad zamieszkałe tereny miasta. Prezentowane wyniki badań mają na celu pokazanie rejestrowanych poziomów stężeń radonu oraz wynikających z jego obecności przyczynów do dawki promieniowania otrzymywanej przez okolicznych mieszkańców.

Abstract: During the 35 years of exploitation of the Brzeszcze retention pond a significant amount of radioactive elements, mainly radium ^{226}Ra , accumulated in its bottom sediments. A series of both field and laboratory measurements were performed to determine the influence of radon ^{222}Rn emanation (which is the daughter of radium ^{226}Ra) on the level of radiation hazard which inhabitants in the vicinity of the pond may be exposed to. Measurements were carried out in the atmospheric air and over the sediments by the PYLON AB-5 monitor. Additionally, in the western part of Brzeszcze city, the activity concentration of radon ^{222}Rn in the atmosphere was measured using a stationary installation. It was coupled with apparatus registering basic meteorological parameters. Investigations have shown that radon from the pond and adjacent gangue repository is transported by wind above the inhabited area of the city. Based on field and stationary measurements the contribution from ^{222}Rn to the radiation dose received by local residents has been determined.

Słowa kluczowe:

zbiorniki retencyjne, zagrożenie radiacyjne, dawka promieniowania jonizującego, radon ^{222}Rn

Keywords:

retention pond, radiation hazard, ionizing radiation dose, radon ^{222}Rn

1. Wstęp

Zbiornik retencyjny zasolonych wód zrzucanych przez Kopalnię Węgla Kamiennego „Brzeszcze” został oddany do użytku w 1979 roku. Posiada pojemność 1 156 000 m³, powierzchnię 27,5ha, a jego średnia głębokość wynosi 5,7m. Od południowej strony ze zbiornikiem graniczy składowisko skały płonnej.

Ze względu na podwyższoną zawartość naturalnych izotopów promieniotwórczych radu w osadach, skale płonnej oraz w wodzie, można spodziewać się podwyższonych stężeń radonu ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym w najbliższym otoczeniu zbiornika z uwagi na fakt, że radon jest alfa-promieniotwórczym produktem rozpadu radu ^{226}Ra .

Radon jest pierwiastkiem o liczbie atomowej 86. Jest gazem szlachetnym, co oznacza, że praktycznie w warunkach naturalnych nie bierze udziału w reakcjach chemicznych. W środowisku naturalnym znaczenie mają trzy izotopy rado-

* AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie WFiIS

nu: ^{222}Rn – z szeregu uranowo-radowego ($^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$), ^{219}Rn – z szeregu uranowo-aktywnego ($^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$) oraz ^{220}Rn – z szeregu torowego ($^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$). Największe zagrożenie dla człowieka stanowi ^{222}Rn – izotop radonu o najdłuższym czasie połowicznego zaniku wynoszącym 3,82 doby (IAEA, 2007-2018).

Zawartość radonu w środowisku naturalnym jest niewielka. W skorupie ziemskiej jak i w atmosferze szacowana jest na $4 \cdot 10^{-17}$ % wag. (Przylibski 2005) Jednak określone warunki geologiczno-meteorologiczne (uskoki tektoniczne, rodzaj podłoża skalnego, np. skały magmowe zawierające rad ^{226}Ra , podziemne zbiorniki wodne, wahania ciśnienia atmosferycznego) mogą powodować wzmożoną ekshalację radonu, efektem czego jest lokalny wzrost jego stężenia w powietrzu atmosferycznym.

Oddychając, człowiek wprowadza do płuc radon ^{222}Rn oraz produkty jego rozpadu, które osiadają na unoszących się w powietrzu aerozolach i wraz z powietrzem dostają się do płuc. Rozpadające się jądra tych pierwiastków emitują promieniowanie α , β oraz γ , które przechodząc przez tkanki powodują ich jonizację, prowadząc do uszkodzenia komórek płuc. Dlatego też, z punktu widzenia ochrony radiologicznej, uzasadnione staje się prowadzenie pomiarów stężenia radonu ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym nie tylko w najbliższym sąsiedztwie zbiornika, ale także na terenach otaczających zbiornik.

2. Metodologia pomiarów

2.1. Terenowe pomiary stężenia radonu ^{222}Rn w przygruntowej warstwie atmosfery

Wszystkie pomiary terenowe wykonano przyrządem PYLON AB-5 (Pylon Electronic Inc. 2002), ułożonym bezpośrednio na glebie. Miernik, wyposażony w komorę dyfuzyjną do pomiaru chwilowego stężenia radonu w powietrzu atmosferycznym, w ciągu jednego pomiaru zbierał impulsy sześciokrotnie przez pięć minut. Na tej podstawie obliczano stężenie radonu ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym wyrażone w $[\text{Bq}/\text{m}^3]$. Czas pomiaru w każdym punkcie wynosił 30 minut. Geometrię pomiaru pokazano na rys. 1. Lokalizację punktów pomiarowych oznaczonych jako RnB_1 do RnB_{30} pokazano na rys. 2.

Niepewność oznaczeń stężenia radonu ^{222}Rn określona w oparciu o statystykę zliczeń waha się od 4 do 37%, ze średnią wartością 16%.

Na podstawie uzyskanych wyników wykonano wykres, obrazujący stężenie radonu ^{222}Rn w poszczególnych punktach pomiarowych (rys. 3).

Minimalne stężenie radonu ^{222}Rn w powietrzu, na poziomie $36,0 \text{ Bq}/\text{m}^3$ stwierdzono w punkcie RnB_{19} . Stężenie maksymalne oznaczono w punkcie RnB_{30} . Wynosiło ono $773 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Wartość średnia stężenia dla całego badanego obszaru wyniosła $207,4 \text{ Bq}/\text{m}^3$ (rys. 2). Rozkład przestrzenny stężenia radonu ^{222}Rn w otoczeniu zbiornika Brzeszcze zilustrowano na rys. 4.

W przedstawionym rozkładzie wyraźnie wyróżniają się trzy obszary o podwyższonym stężeniu radonu ^{222}Rn w przygruntowej warstwie atmosfery (w nawiasach podano maksymalne zanotowane stężenia radonu w powietrzu atmosferycznym):

- 1 – teren wlotu wody kopalnianej do zbiornika ($156 \text{ Bq}/\text{m}^3$),
- 2 – teren wylotu wody ze zbiornika z odsłoniętymi osadami dennymi ($743 \text{ Bq}/\text{m}^3$),
- 3 – teren południowej części zbiornika i przyległy do niego obszar zwałowiska skały płonnej ($773 \text{ Bq}/\text{m}^3$).

Wyraźnie podwyższone stężenie w strefie wylotu wody spowodowane jest emisją radonu z odkrytych osadów dennych. W przypadku obecności kolumny wody nad osadami, jak to ma miejsce w strefie wlotowej, stężenie radonu jest znacznie niższe.

2.2. Ciągły pomiar stężenia radonu ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym na terenie zamieszkałym

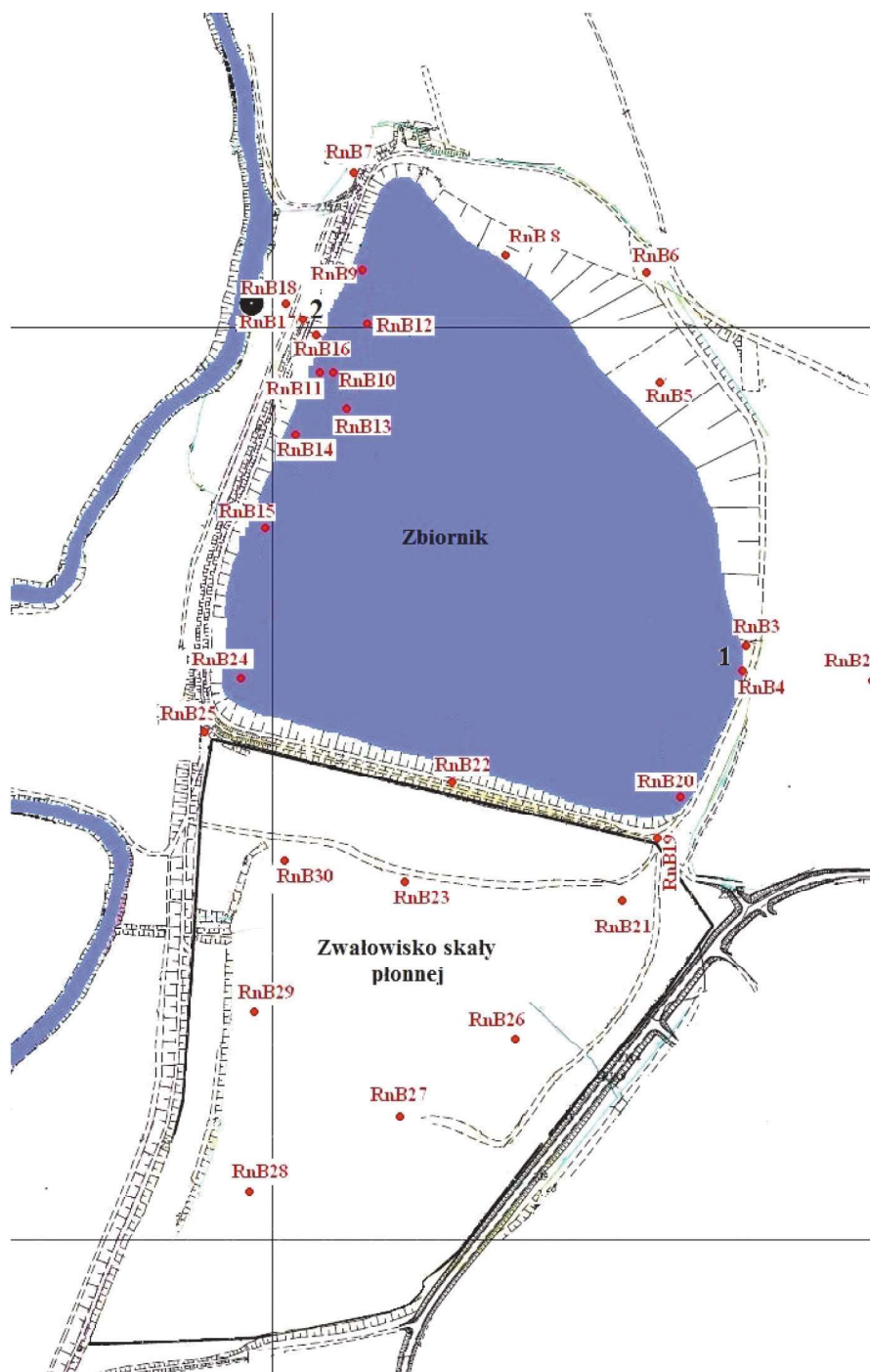
Pomiary ciągle stężenia radonu w powietrzu atmosferycznym wykonano w zachodniej części obszaru górniczego Kopalni Węgla Kamiennego Brzeszcze, w odległości około 600 m od zbiornika Brzeszcze i zwałowiska skały płonnej. Teren ten charakteryzuje się stosunkowo gęstą zabudową. Lokalizacja stanowiska pomiarowego stwarzała możliwość oceny oddziaływania tych obiektów na mieszkańców w aspekcie radiologicznym.

Pomiar stężenia radonu ^{222}Rn wykonano za pomocą przepływowego monitora radonu UNI-Heidelberg, zbudowanego na Uniwersytecie w Heidelbergu. Urządzenie to, działające w reżimie przepływowym, składa się z głowicy pomiarowej oraz modułu elektronicznego umieszczonego w obudowie z ekranem, na którym w czasie pracy monitora wyświetlane są zarówno czas, jak i natężenie przepływu powietrza. Integralną częścią tego urządzenia jest pompa wymuszająca przepływ powietrza przez głowicę pomiarową. Głowica pomiarowa posiada filtr kwarcowy, na którym osadzają się aerozole z produktami rozpadu radonu, detektor promieniowania alfa i przedwzmacniacz sygnału. Układ elektroniczny posiada część analogową i cyfrową. Część analogowa formuje przekaz z detektora promieniowania alfa, zaś cyfrowa zbiera widma tego promieniowania (Manual for the Radon Monitor 2000).



Rys. 1. Ilustracja konfiguracji geometrycznej pomiarów terenowych stężenia radonu ^{222}Rn przy zastosowaniu przyrządu PYLON AB-5

Fig.1. Illustration of the geometric configuration of field measurements of radon activity concentration using the PYLON AB-5 monitor



Rys. 2. Lokalizacja punktów pomiaru stężenia radonu ^{222}Rn w rejonie zbiornika wód kopalnianych Brzeszcze

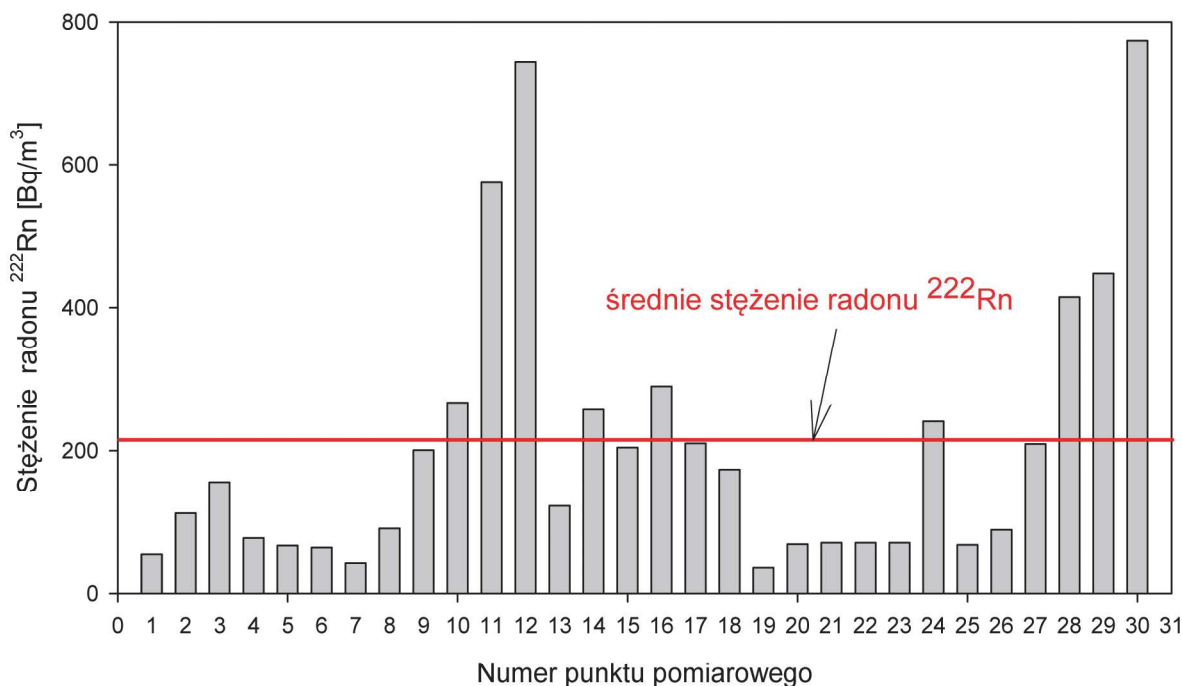
Fig.2. Location of the radon ^{222}Rn activity concentration measurement points in the area of Brzeszcze pond

Monitor radonowy umieszczono w klatce pomiarowej na wysokości 2,5 m nad powierzchnią terenu. Nad klatką zainstalowano prostą, automatyczną stację meteorologiczną połączoną z komputerem w celu rejestrowania prędkości i kierunku wiatru, wilgotności, opadów i ciśnienia atmosferycznego. Pomiary wykonano w okresie pomiędzy 1 listopada 2011 r. a 11 stycznia 2012 r.

Jeżeli zbiornik wody i zwałowisko skały płonnej miałyby być źródłem podwyższonego stężenia radonu ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym w punkcie pomiarowym, to jak

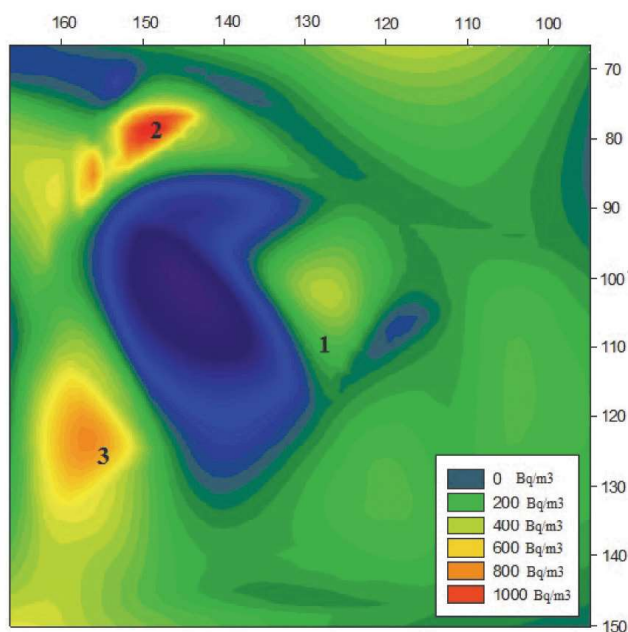
wynika z ich wzajemnej lokalizacji przedstawionej na rys. 5 izotop ten powinien być transportowany z wiatrami wiejącymi z kierunków od WSW do NW.

Wyniki pomiarów stężenia radonu ^{222}Rn uzyskane w całym okresie pomiarowym z interwałem czasowym wynoszącym 30 minut (czas zbierania widma) przedstawiono na rys. 6. Niepewność oznaczeń stężenia radonu ^{222}Rn przy zastosowaniu opisanego aparatury waha się w granicach 20-25% (Levin i in. 2002). Średnie dobowe wartości dla okresu pomiarowego zilustrowano na rys. 7.



Rys. 3. Stężenia radonu ^{222}Rn w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika wód kopalnianych Brzeszcze

Fig. 3. The activity concentrations of radon ^{222}Rn in the immediate vicinity of Brzeszcze pond



Rys. 4. Przestrzenny rozkład stężenia radonu ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym w sąsiedztwie zbiornika wód Brzeszcze. 1 – rejon wlotu wody do zbiornika, 2 – wypływ wody, 3 – zwałowisko skały płonnej

Fig. 4. Spatial distribution of radon ^{222}Rn activity concentration in atmospheric air in the vicinity of Brzeszcze pond. 1 – inflow area, 2 – outflow area, 3 – gangue repository

Maksymalną wartość stężenia radonu ^{222}Rn w okresie pomiarowym zarejestrowano 9.11.2011 o godzinie 4:30. Wynosiła ona 43,23 Bq/m³. Wartość minimalną – 0,69 Bq/m³ zmierzono 25.12.2011 o godzinie 2:00. Średnie stężenie radonu w całym okresie rejestracji wyniosło 10,33 Bq/m³.

Na rys. 8 przedstawiono rozkład średnich wartości stężenia radonu w obrębie doby, w poszczególnych miesiącach pomiarowych. W godzinach porannych obserwuje się podwyższone stężenia, podczas gdy po południu osiągają one wyraźnie niższe wartości. Zjawisko to jest dobrze znane i związane z inwersją temperatur, modyfikującą warunków transportu radonu w przy powierzchniowej warstwie atmosfery (Zimnoch i in. 2014). Średnie miesięczne, maksymalne i minimalne stężenia radonu ^{222}Rn zaobserwowane w poszczególnych miesiącach zestawiono w tabeli 1.

2.3. Wpływ kierunku wiatru na stężenie radonu ^{222}Rn

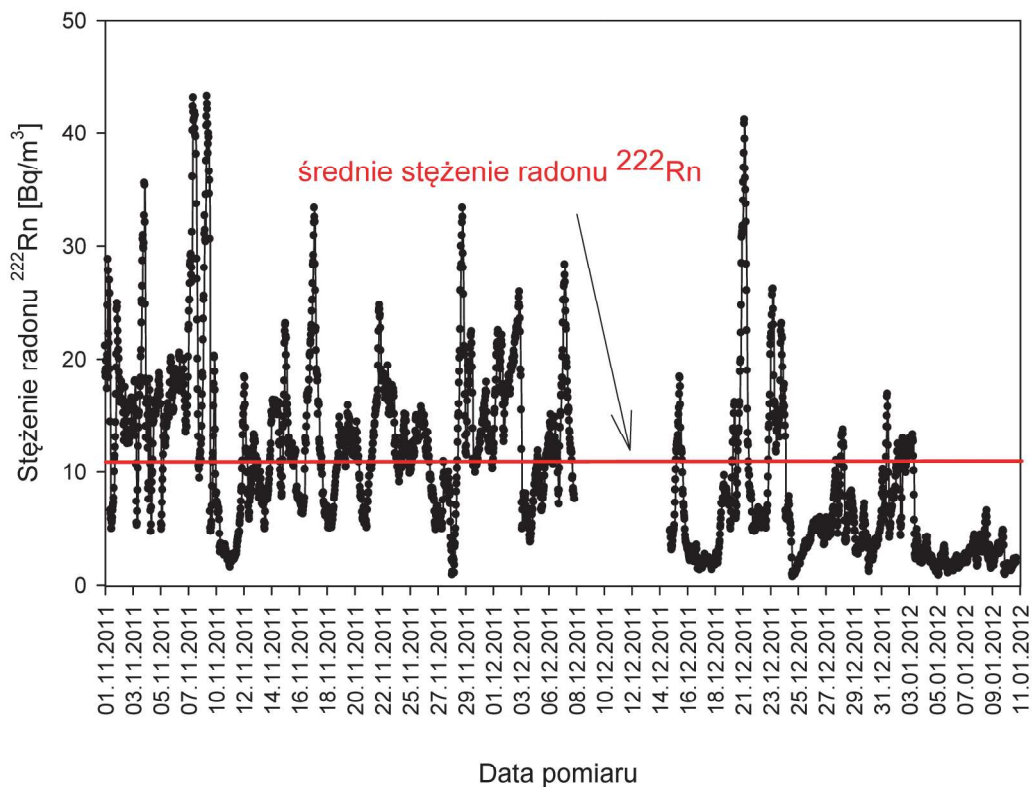
W trakcie pomiaru ciągłego stężenia radonu rejestrowano podstawowe parametry meteorologiczne. Na rys. 9 przedstawiono procentowy udział wiatrów wiejących z poszczególnych kierunków. Wynika z niego, że w okresie pomiarowym dominowały wiatry wiejące z kierunków WSW, W i WNW. Te kierunki pokrywają się z wzajemnym usytuowaniem stanowiska pomiarowego, zbiornika wody oraz składowiska skały płonnej. Najmniejszy udział miały wiatry wiejące w przedziale kierunków NNW-ENE oraz SE i SSE.

Uzyskane wyniki (w sensie wartości średnich) pomiarów stężenia radonu ^{222}Rn odpowiadające poszczególnym kierunkom wiatrów przedstawiono na rys. 10. Podwyższone stężenia radonu notowane są przy wietrze wiejącym z kierunków: SWW-NW. Przedział ten obejmuje obszar, na którym zlokalizowany jest zbiornik retencyjno-dozujący wody kopalnianej oraz przyległe do niego czynne zwałowisko skały płonnej.



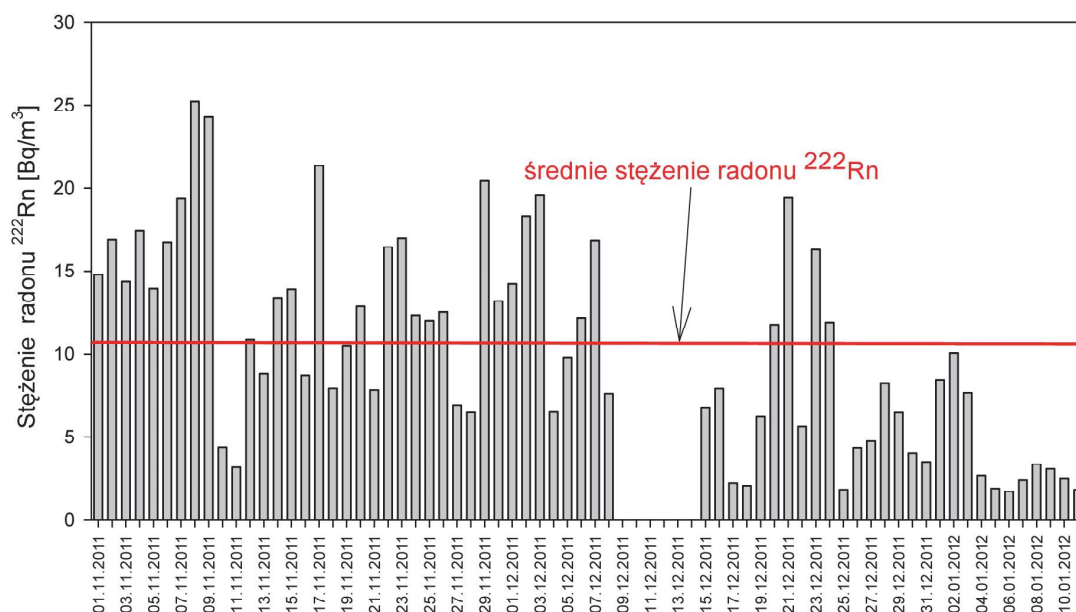
Rys. 5. Lokalizacja stanowiska pomiaru ciągłego stężenia radonu ^{222}Rn w stosunku do położenia zbiornika retencyjno-dozującego oraz składowisk (czynnego – 1, zamkniętego – 2) skály pónnej KWK „Brzeszcze”. Czerwoną kropką zaznaczono miejsce pomiaru ciągłego (fot. <https://www.google.pl/maps>)

Fig. 5. Location of the station for continuous measurements of radon ^{222}Rn activity concentration in relation to the location of the Brzeszcze dosing tank and gangue repositories (active - 1, closed - 2). A measuring station is marked with a red circle (photo: <https://www.google.pl/maps>)



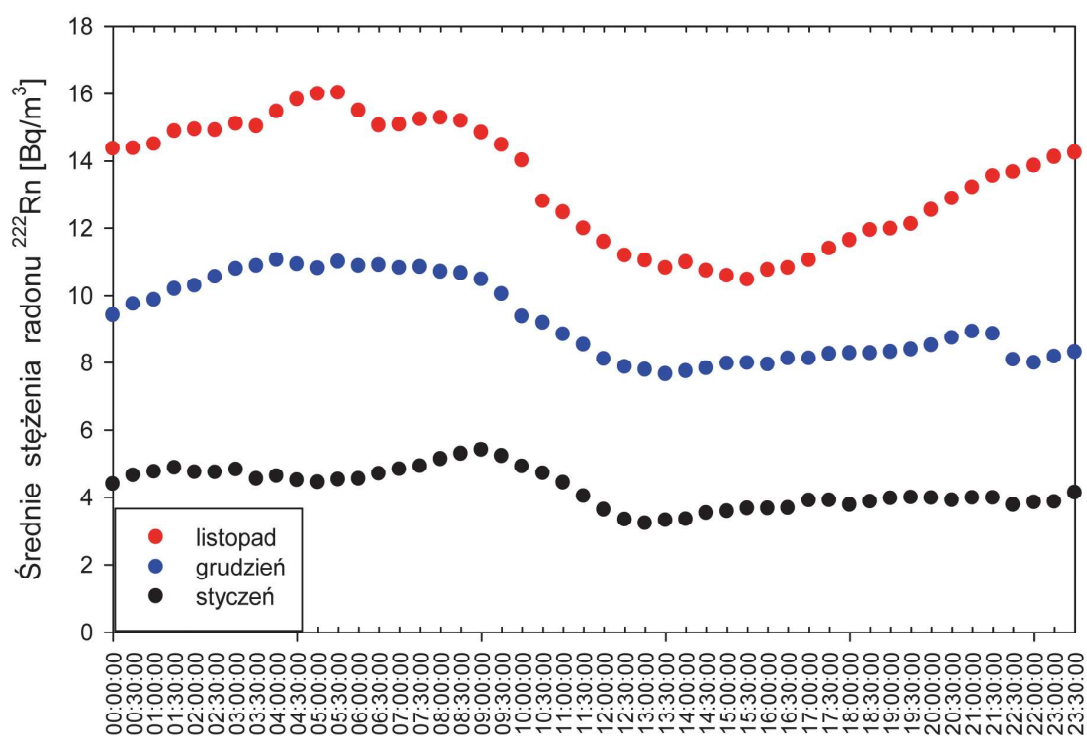
Rys. 6. Stężenie radonu ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym zarejestrowane w okresie listopad 2011 – styczeń 2012 roku

Fig. 6. The activity concentration of radon ^{222}Rn in atmospheric air registered between November 2011 and January 2012



Rys. 7. Średnie dobowe wartości stężenia ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym wyznaczone w oparciu o indywidualne pomiary wykonane monitorem UNI-Heidelberg

Fig. 7. Daily average values of radon ^{222}Rn activity concentration in atmospheric air based on measurements made with the UNI-Heidelberg monitor



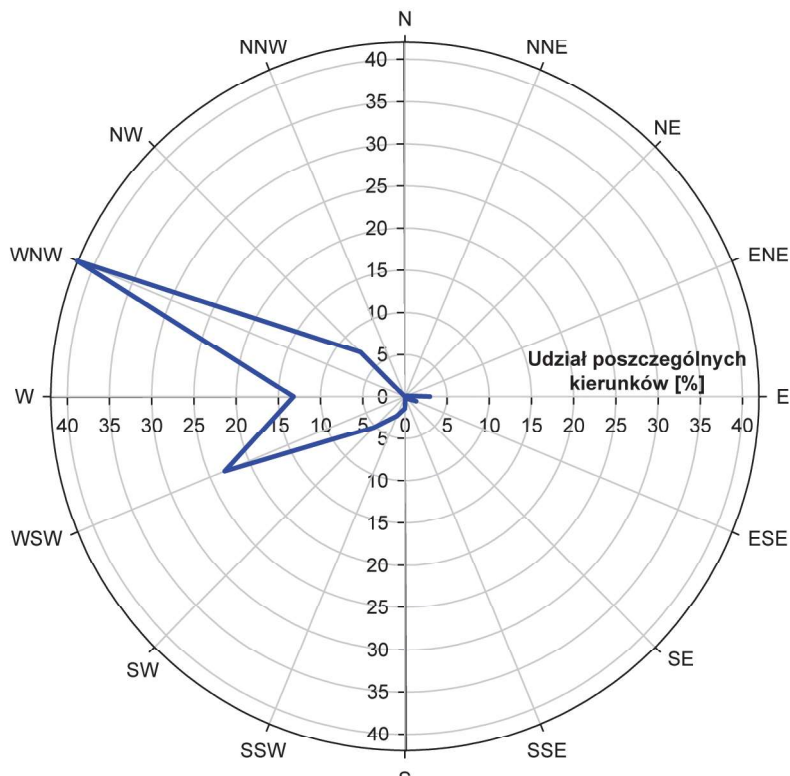
Rys. 8. Uśrednione przebiegi dobowe stężenia radonu ^{222}Rn w poszczególnych miesiącach pomiarowych

Fig. 8. Averaged daily values of ^{222}Rn activity concentration in investigation period

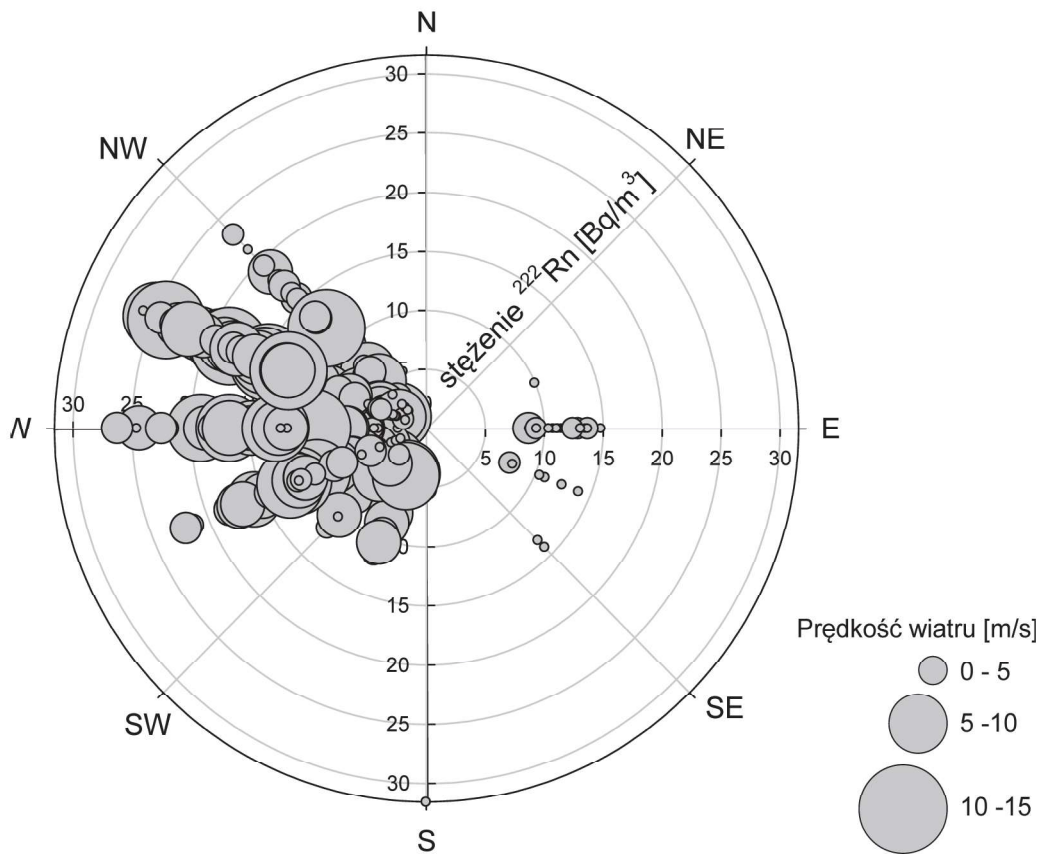
Tabela 1. Wartości średnie, maksymalne i minimalne stężenia radonu ^{222}Rn na stanowisku pomiarowym w Brzeszczach

Table 1. Average, maximum and minimum values of radon ^{222}Rn activity concentration registered on a stationary installation in Brzeszcze

Miesiąc	Średnie miesięczne stężenie ^{222}Rn [Bq/m ³]	Dobowa wartość maksymalna [Bq/m ³]	Dobowa wartość minimalna [Bq/m ³]
listopad	13,5 ± 1,0	25,2	3,2
grudzień	9,1 ± 1,2	19,6	1,8
styczeń	4,1 ± 1,0	10,1	1,7



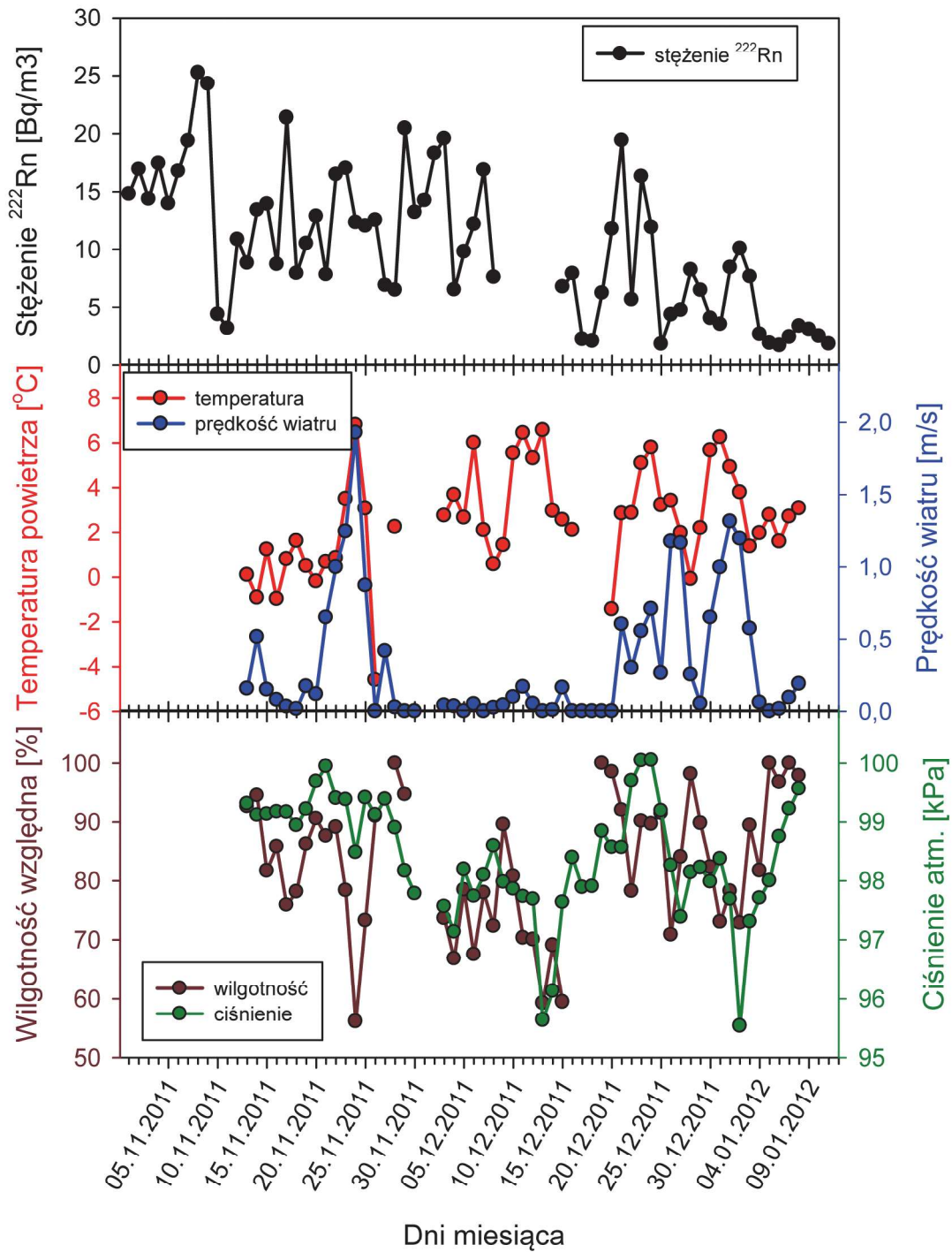
Rys. 9. Kierunki wiatrów na stanowisku ciągłego pomiaru stężenia radonu w okresie od 13.11.2011 do 11.01.2012 r.
 Fig. 9. Wind directions observed on stationary installation in Brzeszcze between 13.11.2011 and 11.01.2012



Rys. 10. Zależność stężenia radonu ^{222}Rn od kierunku i prędkości wiatru
 Fig. 10. Dependence of the radon ^{222}Rn activity concentration on wind speed and its direction

Stężenie radonu ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym nad zachodnią i środkową częścią Europy zależy od wpływu mas powietrza transportowanego z Oceanu Atlantyckiego, oraz lokalnych parametrów meteorologicznych (Zimnoch i in. 2014). Na rys. 11 zestawiono zmierzone stężenia radonu z podstawowymi parametrami meteorologicznymi rejestrowanymi na stanowisku pomiarowym. Stężenie radonu ^{222}Rn w całym okresie pomiarowym wykazuje, średnio rzecz biorąc,

tendencję spadkową. Taki trend jest zgodny z obserwowanymi w Europie sezonowymi zmianami stężenia radonu w dolnej atmosferze. Polegają one na występowaniu niższych stężeń w miesiącach wiosenno-letnich oraz maksimum w miesiącach jesiennych (wrzesień – listopad). Pomiary stacjonarne wykonywane były w okresie, na który przypadać powinien spadek stężenia radonu ^{222}Rn po okresie maksymalnych wartości w jesieni.



Rys. 11. Stężenie radonu ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym rejestrowane na stanowisku pomiaru ciągłego na tle podstawowych parametrów meteorologicznych

Fig. 11. Activity concentration of radon ^{222}Rn in atmospheric air and basic meteorological parameters registered on a stationary installation during observation period

Dokładna analiza rys. 11 wskazuje na brak korelacji stężenia radonu ^{222}Rn z rejestrowanymi parametrami meteorologicznymi. W szczególności brak jest zależności stężenia radonu od temperatury powietrza. Zależności takiej trudno oczekiwać zważywszy, że w okresie wykonywania pomiarów stacjonarnych panowały dodatnie temperatury. Nie można zatem spodziewać się żadnych efektów związanych z zamrażaniem powierzchniowej warstwy gleby, redukującym strumień ^{222}Rn . Takie zjawisko mogłoby mieć wpływ na mierzone stężenie radonu, gdyby jego źródłem był ^{226}Ra znajdujący się w glebie i skałach pod nią leżących. Trzeba jednak pamiętać, że wyniki badań sugerują występowanie głównych źródeł radonu na obszarze zbiornika retencyjno-dozującego oraz wysypiska skały płonnej tworzącej strzaskaną, luźną formację skalną o wysokiej porowatości. Obserwowane stężenie ^{222}Rn nie wykazuje także zależności od ciśnienia atmosferycznego, którego spadki powinny sprzyjać dyfuzji radonu do atmosfery. Analiza indywidualnych danych pomiarowych w obrębie całej populacji wyników wskazuje, że mierzone stężenia ^{222}Rn nie są powiązane z prędkością wiatru. Obraz ten ulega zmianie, jeśli w rozważaniach uwzględnić tylko wyniki dla wiatrów wiejących w przedziale kierunków SWW-NW, tzn. od strony zbiornika wodnego i zwałowiska skały płonnej. Zależność uśrednionych stężeń radonu od prędkości wiatru w tym przypadku ilustruje rys. 12.

Z rysunku 12 wynika, że wiatr o umiarkowanych prędkościach do ok. 3 m/s powoduje wzrost stężenia radonu w powietrzu atmosferycznym. Przy większej prędkości obserwuje się znaczny spadek stężenia radonu. Taki przebieg zmienności stężenia może być związany z różnymi warunkami transportu mas powietrza od obszaru źródłowego do stanowiska pomiarowego. Przy większych prędkościach wiatru pojawiają się turbulencje, które prowadzą do intensywnego mieszania pionowego warstw powietrza o różnym stężeniu radonu. Taki mechanizm rozcieńczenia radonu w dolnych warstwach atmosfery znalazł potwierdzenie w badaniach prowadzonych w Krakowie i Heidelbergu (Zimnoch i in. 2014).

2.4. Oszacowanie dawek otrzymywanych przez mieszkańców od radonu ^{222}Rn obecnego w powietrzu atmosferycznym

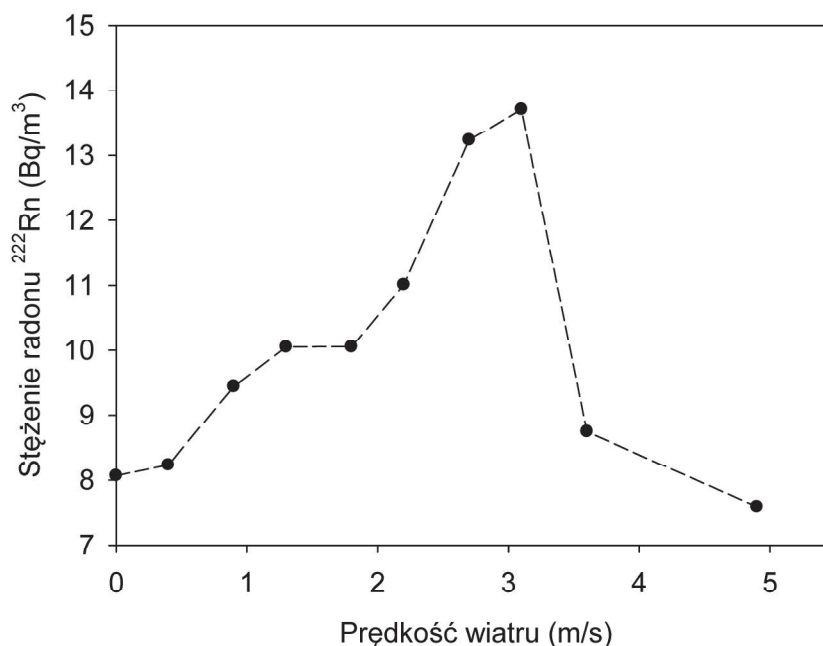
Podwyższone stężenie radonu ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym w otoczeniu zbiornika retencyjno-dozującego i na przyległym do niego składowisku skały płonnej przyczynia się do wzrostu dawki D, którą otrzymuje populacja ludności zamieszkująca te tereny. Wielkość tej dawki, zgodnie z wytycznymi United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR 2000) oblicza się z zależności:

$$D = C_{Rn} \cdot F \cdot 9 \cdot 10^{-9} \cdot T \quad (1)$$

gdzie:

- $D[\text{Sv}]$ – efektywna dawka promieniowania jonizującego,
- C_{Rn} – stężenie radonu w powietrzu [Bq/m^3],
- F – współczynnik wynikający z efektywności usuwania produktów rozpadu radonu (o wartościach z przedziału 0 – 1), na zewnątrz pomieszczeń $F = 0,8$,
- $9 \cdot 10^{-9} [\text{Sv} \cdot \text{m}^3 / \text{Bq} \cdot \text{h}]$ – współczynnik konwersji Bq na Sv równy liczbowo dawce otrzymywanej przy godzinnej ekspozycji na radon przy jego stężeniu w powietrzu na poziomie 1 [Bq/m^3],
- T – czas ekspozycji [h].

Wykorzystując wyniki ciągłych pomiarów stężenia radonu ^{222}Rn w powietrzu można oszacować przyczynę do dawki skutecznej otrzymywanej przez okoliczną ludność. W przypadku pomiarów ciągłych stężenia radonu, roczny czas ekspozycji T wynosi $365 \cdot 24 \cdot 0,2$ godzin, gdzie 0,2 to współczynnik odpowiadający czasowi przebywania w otwartym terenie w ciągu doby. W tabeli 2 zestawiono średnie stężenia radonu ^{222}Rn rejestrowane na stanowisku w Brzeszczach oraz obliczone dawki roczne otrzymywane przez ludność zamieszkującą tę okolicę wg przytoczonego wzoru. Przedstawione w tabeli



Rys. 12. Relacja między stężeniem radonu ^{222}Rn a prędkością wiatrów wiejących z kierunków w przedziale SWW-NW

Fig. 12. Relation between activity concentration of radon ^{222}Rn and the speed of winds blowing from SWW-NW directions

Tabela 2. Wartości dawki skutecznej D [mSv/rok] otrzymywanej przez ludność Brzeszcz od radonu ^{222}Rn zawartego w powietrzu atmosferycznym, oszacowane na podstawie pomiarów wykonanych w okresie listopad 2011 – styczeń 2012

Table 2. Estimated values of effective dose D [mSv/y] received by the human population of Brzeszcze city from radon ^{222}Rn present in atmospheric air based on measurements carried out in the period: November 2011 - January 2012

	Stężenie radonu ^{222}Rn [Bq/m^3]	D [mSv/rok]
listopad – średnia	13,5	0,17
grudzień – średnia	9,1	0,11
styczeń – średnia	4,1	0,05
średnie stężenie z kierunków SSW-NW (zbiornik, zwałowisko Brzeszcze)	13,2	0,17

Tabela 3. Oszacowane czasy $T_{1\text{mSv}}$ w badanych strefach zbiornika retencyjno-dozującego i w jego sąsiedztwie

Table 3. Estimation of the time periods $T_{1\text{mSv}}$ of human stay in the tested zones of dosing tank and in its vicinity during which they receive maximum dose equal 1mSv/year

Lokalizacja	Średnie stężenie radonu ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym [Bq/m^3]	$T_{1\text{mSv}}$ [h/d]
Obwałowanie zbiornika	146,6	2,6
Okolice wlotu wody	117	3,3
Okolice wylotu wody (osady)	362	1,1
Zwałowisko skały płonnej	387	1,0
Zwałowisko skały płonnej porośnięte trawą	71,7	5,3

wartości należy traktować jako bliskie minimalnym z uwagi na okres zimowy, w którym prowadzone były obserwacje. W miesiącach jesiennych stężenia radonu i dawki powinny być wyższe. Warto dodać, że w przypadku dłuższego przebywania w otwartym terenie wartości otrzymywanych dawek są proporcjonalnie wyższe.

W oparciu o wyniki pomiarów wykonanych przy pomocy przenośnego monitora radonowego PYLON AB-5 oszacowano czasy $T_{1\text{mSv}}$ przebywania osób na badanym terenie, przy których maksymalna otrzymana dawka wyniesie 1 mSv/rok (Rozporządzenie ... 2005). Czasy te, dla poszczególnych miejsc wyrażono w godzinach/dobę, a wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 3.

3. Omówienie wyników i wnioski

- Stężenie radonu ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika Brzeszcze i przyległego składowiska skały płonnej jest wysokie. Trzy lokalizacje charakteryzują się szczególnie wysokim stężeniem:
 - okolice wlotu wody kopalnianej do zbiornika, gdzie średnie stężenie radonu wynosi 117 [Bq/m^3], a jego wartość maksymalna jest równa 156 [Bq/m^3],
 - obszar wylotu wody ze zbiornika, gdzie w przypadku niskiego stanu wody i odsłoniętych osadów dennych średnie stężenie radonu wynosi 356 [Bq/m^3], z wartością maksymalną 743 [Bq/m^3],
 - teren pokrytej kamieniami południowo-zachodniej części zwałowiska skały płonnej, gdzie maksymalne stężenie radonu wynosi 773 [Bq/m^3] (przy poziomie dziesięciokrotnie niższym na obszarze porośniętym trawą),
- Średni czas przebywania w ciągu doby, równoważny otrzymaniu maksymalnej dawki rocznej na poziomie 1 mSv/rok w wymienionych miejscach wynosi od 1,1 godziny (okolice wylotu) do 5,3 godziny (zwałowisko skały płonnej).
- Średnie stężenie radonu ^{222}Rn w całym okresie pomiarowym, zmierzone na stanowisku stacjonarnym, wynosi 10,33 [Bq/m^3], a średnie stężenie radonu rejestrowane w dni wietrzne wynosi od 10 do 15 [Bq/m^3] w zależności od kierunku, z którego wieje wiatr. Ponieważ wiatry wiejące od strony zbiornika i zwałowiska skały płonnej stanowią 78,2% wszystkich wiatrów zarejestrowanych przez stację meteorologiczną, można stwierdzić, że radon i promieniotwórcze produkty jego rozpadu przenoszone są z wiatrem z tych okolic na tereny zamieszkałe, zwiększając dawkę od promieniowania jonizującego średnio o 0,17 mSv/rok.
- Analiza wpływu prędkości wiatru na rejestrowane stężenie radonu w powietrzu atmosferycznym na stanowisku pomiarowym w Brzeszczach pokazuje, że w zakresie kierunków SSW-NW do prędkości ok. 3 m/sek. stężenie radonu wzrasta, a po przekroczeniu tej wartości maleje. Stanowi to odzwierciedlenie procesów mieszania pionowego w kolumnie powietrza spowodowanego turbulencją ujawniającą się przy wyższych prędkościach wiatru.
- Wg raportu Państwowej Agencji Atomistyki, w roku 2016 całkowita dawka skuteczna jaką otrzymał statystyczny mieszkaniec Polski wyniosła 3,55 mSv, z czego na źródła naturalne przypadało 2,43 mSv (PAA 2017). Średnia krajowa dawka od radonu ^{222}Rn wyniosła 1,2 mSv. W tym świetle należy uznać, że pomimo stwierdzonego wpływu zbiornika wodnego i składowiska skał na stężenie radonu w powietrzu, wyznaczone z pomiarów stacjonarnych

wielkości dawek od tego izotopu dla ludności Brzeszcza są znacznie mniejsze. Dla maksymalnego zaobserwowanego stężenia radonu dawka roczna nie przekracza 50% średniej dawki krajowej. Nawet przy uwzględnieniu faktu występowania maksymalnych stężeń radonu w miesiącach jesiennych należy stwierdzić, że radon w powietrzu atmosferycznym Brzeszcza nie stanowi żadnego zagrożenia radiologicznego dla jego mieszkańców.

5. Wyniki pomiarów nie wykazały korelacji pomiędzy stężeniem radonu ^{222}Rn a takimi czynnikami meteorologicznymi jak temperatura, ciśnienie atmosferyczne czy wilgotność.

Niniejsza praca została sfinansowana przez Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH w ramach badań statutowych nr 11.11.220.01/1 dotowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- IAEA 2007-2018 – International Atomic Energy Agency; Nuclear Data Section. (www-nds.iaea.org/act_ddl/decays.html).
- LEVIN I. i in. 2002 - Observations of atmospheric variability and soil exhalation rate of radon-222 at a Russian forest site. Technical approach and deployment for boundary layer studies. Tellus B, 54(5), p. 462-475.

Manual for the Radon Monitor, developed at the institute für umweltp Physik 2000 – University of Heidelberg, Heidelberg, 23 str.

PAA, 2017. Raport Roczny. Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2016 roku. PAA: 108 str.

PRZYLIBSKI T. A. 2005 – Radon. Składnik swoisty wód leczniczych Sudetów. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, 321 str.

Pylon electronic inc. 2002. – Pylon ® Model AB-5 / AB-5R portable radiation monitor. Instruction Manual. Revision 6. Central Canada Region, 46 str.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18. Stycznia 2005r w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. 2005 nr 20 poz. 168).

UNSCEAR 2000 – Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, New York, USA, 659 str.

ZIMNOCH M., WACH P., CHMURA L., GORCZYCA Z., ROZANSKI K., GODŁOWSKA J., MAZUR J., KOZAK K., JERICEVIC A. 2014 – Factors controlling temporal variability of near-ground atmospheric ^{222}Rn concentration over central Europe. Atmos. Chem. Phys., 14, 9567-9581.

Artykuł wpłynął do redakcji – lipiec 2018
Artykuł akceptowano do druku 25.10.2018

FTT WOLBROM®

Twój wypróbowany partner!

**Innowacyjna
droga
rozwoju**

110 LAT
1908-2018

www.fttwolbrom.com.pl