

*Małgorzata Wysocka, Kazimierz Lebecki, Stanisław Chałupnik,
Bogusław Michalik, Krystian Skubacz*

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA METOD RADIOMETRYCZNYCH W BADANIACH WYRZUTÓW SKAŁ I GAZÓW

Streszczenie

W latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia podjęto próby wykorzystania wybranych metod radiometrycznych do wspomagania prognozy wystąpienia wyrzutów skał i gazów w walbrzyskich kopalniach węgla kamiennego (Lebecka i inni 1988, 1990, 1991). Przez analogię do metody przewidywania trzęsień ziemi na podstawie zwiększonego wydzielania radonu z wód podziemnych, postawiono hipotezę o zmienności emanacji radonu w pokładach zagrożonych wyrzutami. Opracowano metodykę prowadzenia obserwacji zmian stężenia radonu w górotworze z wykorzystaniem aparatury, jaką w tym czasie dysponował Główny Instytut Górnictwa. Na podstawie wyników pomiarów stwierdzono, że zmiany stężenia radonu w górotworze zależą od poziomu zagrożenia wyrzutowego. Zaobserwowano, że przed wyrzutem następował gwałtowny spadek stężenia radonu, natomiast po wyrzucie stężenie stosunkowo szybko wzrastało. Związek między zmianami stężenia radonu a zagrożeniem wyrzutami, najlepiej uwidaczniał się, jeśli był przedstawiony w funkcji postępu przodka. Rezultaty badań były na tyle obiecujące, że rozpoczęto obserwacje zmian stężenia radonu w kopalniach miedziowych i węglowych w strefach zagrożonych tąpnięciami. W tym przypadku korelacja występowania obu zjawisk była mniej wyraźna.

Analiza wyników prowadzonych dotychczas badań, skłania do podjęcia obserwacji zmian stężeń radonu w górnośląskich kopalniach węglowych zagrożonych wyrzutami. W Głównym Instytucie Górnictwa znajduje się nowa, doskonalsza aparatura, umożliwiająca ciągłe pomiary radonu. Możliwe, że uda się opracować „radonowy wskaźnik wyrzutowości”, wspomagający inne metody przewidywania wystąpienia groźnych zjawisk geodynamicznych.

Possibility of application of radiometric methods in investigations of outbursts and tremors in Polish mines

Abstract

In 80's and 90's of twentieth century research activity toward an application of radiometric methods for supporting of outbursts' prediction in Lower Silesian mines has been undertaken. It was stimulated by an analogy to application of radon changes in water and soil gas for earthquakes, therefore a hypothesis was created, that similar phenomena may occur in coal seams before and during outbursts of gas and coal. In the Laboratory of Radiometry of the Central Mining Institute a technique of radon measurements in boreholes has been developed and applied for his purpose.

An analysis of results showed that changes of radon concentration in the strata were correlated with the level of an outburst's hazard. Prior to the outburst a rapid decrease of radon concentration was often observed, while radon level grew quickly after the release of gas and coal. The best correlation between radon changes and outbursts' occurrence obtained when radon changes were shown as a function of the heading advance. Results of these investigations were very promising, therefore investigations of possible connections of radon changes and tremors have been started in coal and copper mines in Poland. In this case results and correlation weren't very clear and significant. In the meantime, Lower Silesian collieries have been abandoned and no further investigations were possible.

Due to increase of outburst hazard in some of Upper Silesian coal mines is the inspiration for further investigations in these collieries. The Central Mining Institute has got a modern instrumentation for continuous measurements of radon concentration in the strata. Therefore we hope that it would be possible to develop a "radon outburst's indicator" to support other methods of prediction of very dangerous geodynamic phenomena.

WPROWADZENIE

Wyrzuty gazów i skał są jednym z poważniejszych zagrożeń występujących w górnictwie podziemnym. Wielokrotnie powodowały wielkie katastrofy górnicze, w których liczba ofiar śmiertelnych sięgała dziesiątek osób. Według Hargravesa (1983) nagły wyrzut węgla i gazu jest to gwałtowne wyrzucenie węgla ze świeżo odsłoniętej calizny przy eksploatacji lub rozcinaniu pokładów. Rozmiary cząstek wyrzucanego węgla są małe, na ogół jest to pył węglowy. Wyrzutom mogą towarzyszyć odgłosy od głośnych stuków do odgłosów wałących się drzew i szumu wiatru. Wyrzuty są spowodowane istnieniem bardzo dużych ilości gazu (CO_2 lub CH_4) zaabsorbowanych na węglu. Wyrzut następuje w wyniku zaburzenia równowagi dynamicznej (stanu naprężeń) w górotworze. Może być to spowodowane eksploatacją węgla lub robotami górniczymi w samym pokładzie lub w pokładach przyległych. Przebieg zjawiska ma charakter bardzo gwałtowny: ciśnienie gazów o objętościach kilkudziesięciokrotnie większych od objętości wyrzuconego węgla jest tak duże, że powoduje czasami zniszczenie i wyrzucenie elementów obudów na znaczne odległości, a także zniszczenie systemów wentylacyjnych i ciężkiego sprzętu. Jeżeli w mieszaninie gazów występuje też metan, może dojść do jego zapalenia i wybuchu, co zwiększa skalę zniszczeń. Oczywiście więc jest, że górnicy znajdujący się w strefie katastrofy są narażeni na poważne obrażenia, a niejednokrotnie również na śmierć.

W Polsce wyrzuty występowały na Dolnym Śląsku. Do najpoważniejszego wypadku doszło w 1958 roku w kopalni „Nowa Ruda”. Uwolnionych zostało $750\,000\text{ m}^3$ CO_2 i 5000 ton węgla. W wyniku wyrzutu zginęło pięciu górników. W kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego zjawisko wyrzutów metanu i skał występowało lokalnie i sporadycznie. Eksploatacja węgla na głębszych poziomach oraz w trudniejszych warunkach geologicznych powoduje, że wzrasta prawdopodobieństwo występowania tego rodzaju zjawisk również i w tym zagłębiu węglowym. W listopadzie 2005 roku w kopalni „Zofiówka”, należącej do Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A., nastąpił wyrzut metanu i skał, w wyniku którego życie straciło trzech górników, a czterech zostało rannych. W czasie wyrzutu do przestrzeni wyrobiska zostało przemieszczonych około 280 m^3 mas skalnych powyrzutowych, a w pierwszych 2 godzinach wydzielilo się 10 tysięcy metrów sześciennych metanu.

Przyjmuje się, że zagrożenie wyrzutami gazów i skał występuje aktualnie w trzech kopalniach węgla kamiennego, tj.: „Zofiówka”, „Pniówek” i „Jas-Mos”, a także w części złoża soli w KS „Kłodawa” S.A. w Kłodawie (WUG 2006).

Innym, równie groźnym zjawiskiem towarzyszącym podziemnej eksploatacji węgla kamiennego i rud metali są wstrząsy górnicze. W górnośląskich kopalniach węgla kamiennego oraz w lubińskich kopalniach rud miedzi wstrząsy górnicze są jednym z poważniejszych zagrożeń indukowanych wydobywaniem surowców mineralnych. Każdego roku wstrząsy powodują znaczne straty materialne, a niejednokrotnie zostają ranni górnicy. Niestety również niemal każdego roku w tego rodzaju katastrofach giną ludzie.

W związku z powyższym postawiono pytanie, czy zjawiskom geodynamicznym, jakimi są wyrzuty gazów oraz wstrząsy górnicze, towarzyszą również zmiany stężeń radonu w górotworze i czy zmiany te mogą wskazywać na zbliżanie się tych zjawisk.

Analiza wyników badań prowadzonych w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia skłania do podjęcia obserwacji zmian stężeń radonu w górnośląskich kopalniach węglowych zagrożonych wyrzutami. W Głównym Instytucie Górnictwa znajduje się nowa, lepsza aparatura, umożliwiająca ciągłe pomiary stężeń radonu. Możliwe, że uda się opracować wskaźnik wspomagający inne metody przewidywania wystąpienia groźnych zjawisk geodynamicznych. W przypadku potwierdzenia korelacji między występowaniem zjawisk geodynamicznych a zmianami stężenia radonu, możliwe będzie opracowanie „radonowego wskaźnika wyrzutowości”, wspomagającego prognozowanie wyrzutów i wstrząsów.

1. TEORETYCZNE PODSTAWY BADAŃ NAD WYKORZYSTANIEM ZMIAN STĘŻENIA RADONU JAKO WSKAŹNIKA ZJAWISK GEODYNAMICZNYCH

Powszechnie znany jest fakt, że zmiany intensywności wydzielania się radonu i helu towarzyszą zjawiskom sejsmicznym. Gwałtowne zmiany stężenia radonu w wodach źródeł i studni były wielokrotnie obserwowane przed trzęsieniami ziemi, poczynając od doniesienia Kisina (1982), opisującego obserwacje prowadzone przed trzęsieniem w Taszkencie w 1966 roku. Możliwość istnienia korelacji między wahaniami stężenia radonu w wodach a występowaniem zjawisk sejsmicznych były opisane w pozycjach literaturowych (Scholtz i inni. 1973; Rikitake 1976).

Zaobserwowano, że nie tylko zmiany stężeń radonu, ale również helu mogą towarzyszyć zjawiskom sejsmicznym (Nikolin i inni. 1972). Uważa się, że poziom stężenia helu w gazach może być uważany za wskaźnik naturalnej degazacji pokładów wyrzutowych.

Rozpoczynając badania założono, że ilość gazu wydzielanego z calizny w podziemnych wyrobiskach górniczych może być wskaźnikiem naprężeń górotworu, a tym samym wskaźnikiem zbliżających się wyrzutów lub wstrząsów (Lebecka 1988).

Zarówno hel, jak i radon są gazami szlachetnymi o dobrych właściwościach penetracyjnych. W warunkach kopalnianych mogą szybko przechodzić z górotworu do gazów otworowych i powietrza wentylacyjnego. Przydatność radonu do obserwacji zmian naprężeń w górotworze wynika z następujących właściwości tego gazu:

- małego potencjału sorpcyjnego, dzięki czemu radon jest słabo wiązany na węglu i może łatwo przechodzić w stan wolny (gaz niesorbowany),
- właściwości promieniotwórczych, które sprawiają, że można stosunkowo łatwo wykrywać nawet bardzo małe stężenia radonu, stosując odpowiednie metody detekcji.

Powyższe właściwości sprawiają, że do badań jest bardziej przydatny radon niż hel, którego analiza jest trudniejsza. W wielu przypadkach stężenia helu, mierzone w wyrobiskach kopalnianych, nieznacznie przekraczają próg czułości metod pomiarowych, co sprawia, że wyniki pomiarów obarczone są dużym błędem. Z tego względu obserwacje zmian stężenia helu nie są przydatne jako potencjalny wskaźnik zarówno wyrzutów skał i gazów, jak i wstrząsów górniczych.

2. SPOSÓB PROWADZENIA BADAŃ ORAZ METODYKA POMIARÓW STOSOWANA W POKŁADACH ZAGROŻONYCH WYRZUTAMI

Badania w różnych kopalniach Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego prowadzono w celu:

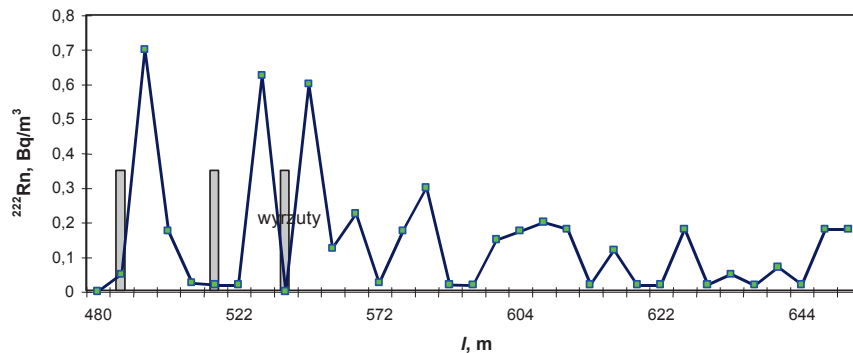
- obserwacji zmian stężeń radonu w otworach badawczych, wierconych w przodkach wyrobisk, w których występowało duże zagrożenie wyrzutowe,
- obserwacji zmian stężenia radonu w długich (do kilkudziesięciu metrów) otworach służących do odgazowania górotworu.

Pomiary stężenia radonu ^{222}Rn wykonywano za pomocą komór scyntylicyjnych Lucasa, które umożliwiają pomiary stężeń radonu już od kilku bekereli na metr sześcienny, co odpowiada około $10^{-17}\%$. Stężenia spotykane w kopalniach wahały się w granicach od kilku do kilkudziesięciu tysięcy bekereli na metr sześcienny, a więc są łatwo mierzalne (Lebecka 1988).

Wiercono otwory wiertnicze w caliznie węglowej w przodkach aktualnie drażonych wyrobisk korytarzowych. Długość otworów wynosiła od 3 do 6 m. Gaz z otworów pobierano za pomocą małej pompki ręcznej wprost do komór Lucasa. Początkowo pobierano próbki gazów w sposób przypadkowy, aby zorientować się w zakresach stężeń radonu, jakie występują w wyrobiskach podziemnych wybranych kopalń. Po analizie wyników skoncentrowano się na wytypowanych wyrobiskach, w których wyrzuty następowały najczęściej. W kopalni „Thorez” wybrano dwa wyrobiska, w których spodziewano się wystąpienia wyrzutów.

2.1. Wyniki pomiarów zmian stężeń radonu

Wyniki pomiarów, to znaczy zmienność stężeń radonu, przedstawiano w funkcji postępu robót. Taki wybór był podyktowany faktem, że zjawisko wyrzutów skał i gazów zachodzi w górotworze naruszonym, a właśnie eksploatacja jest czynnikiem naruszającym stan naprężeń w górotworze. Roboty górnicze powodują zmiany naprężeń i stanu nasycenia gazami górotworu (rys. 1).



Rys. 1. Zmiany stężenia radonu w pokładach węgla kopalni „Thorez”: / – postęp ściany
 Fig. 1. Changes of radon concentration and outbursts in “Thorez” Colliery: / – longwall advance

Kopalnia „Thorez”

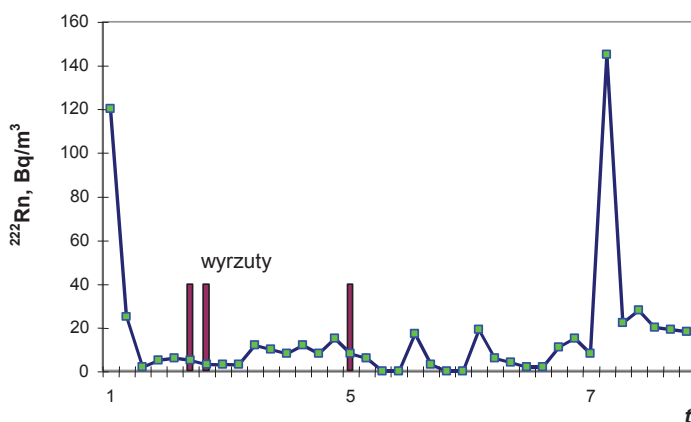
W kopalni „Thorez” mierzone stężenia radonu wahały się od 20 do około 700 Bq/m³. Zaobserwowano, że przed zbliżającym się wyrzutem stężenie było bliskie zeru. W okresie, w którym nie następował wybuch, zmiany stężenia radonu były niewielkie. Stwierdzono, że stężenia radonu w gazach znacznie zmieniały się w miarę postępu robót. Przed wyrzutami zaobserwowano znaczny spadek stężenia radonu i wyraźny wzrost po wyrzucie (rys. 1). Spadek stężenia gazu przed wyrzutami mógł być spowodowany zaciskaniem porów i szczelin w caliznie węglowej w pobliżu przodka na skutek silnych naprężeń w górotworze poprzedzających wyrzut. Po wyrzucie stężenie radonu znacznie wzrastało, gdyż rozluźnienie szczelin i porów oraz powstawanie nowych szczelin ułatwiało emanację radonu ze skał.

Wyniki badań porównywano z rutynowo mierzonymi wartościami granicznych wskaźników zagrożenia wyrzutowego, czyli z ciśnieniem gazu i intensywnością desorpcji gazu. Stwierdzono, że nie ma korelacji między zmianami stężenia radonu, a wspomnianymi powyżej wskaźnikami.

Przeprowadzone w kopalni „Thorez” badania, mimo ograniczonej liczby pomiarów, dały nadzieję na opracowanie „radonowego wskaźnika wyrzutowości”.

2.2. Badania przyczynkowe

Obserwacje zmian stężenia radonu w gazach wydzielających się z długich otworów zostały podjęte w celu wyjaśnienia sposobu migracji radonu w górotworze zagrożonym wyrzutami. Badania prowadzono w kopalni „Nowa Ruda” (rys. 2). Wykorzystywane do badań otwory, służące do odgazowywania pokładów węgla, miały od około 50 do około 80 m długości i były wiercone ukośnie w kierunku nadległych pokładów węgla. Wykonywano wrywkowe pomiary stężenia swobodnie wypływającego radonu. Równocześnie prowadzono pomiar natężenia wypływu gazu oraz stężenia CO₂.



Rys. 2. Zmiany stężenia radonu w warstwie łupków w kopalni „Nowa Ruda”: t – czas pomiaru

Fig. 2. Changes of radon concentration in shale and outburst in “Nowa Ruda” Colliery: t – measurement time

Na podstawie wyników powyższych badań podjęto próbę oszacowania zasięgu oddziaływania otworu oraz czasu dopływu radonu do otworu. Zasięg oddziaływania otworu obliczano dwoma sposobami:

- na podstawie wydatku wypływu radonu,
- na podstawie natężenia wypływu gazu oraz stopnia nasycenia górotworu gazem.

W obu przypadkach dokonano pewnych założeń upraszczających, ułatwiających matematyczny opis zachodzących zjawisk. Wyniki obliczeń były w obu przypadkach bardzo podobne i wynosiły 10,5 oraz 10,8 m. Wskazywały one, że radon migruje do otworu z odległości nie większej niż około 10 m od osi otworu.

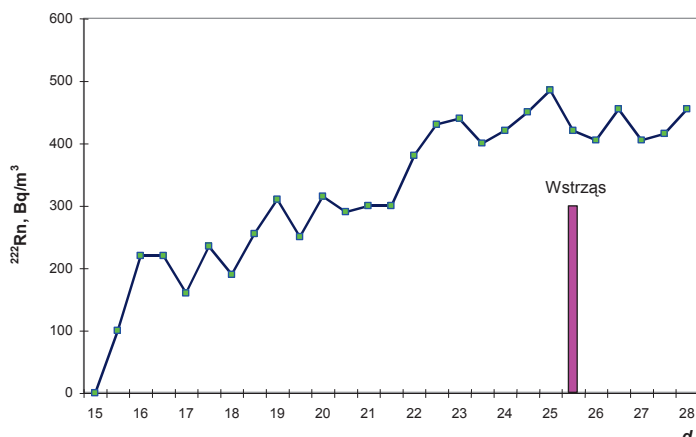
3. OBSERWACJE ZMIAN STĘŻEŃ RADONU W GAZACH SPOWODOWANYCH WSTRZĄSAMI GÓRNICZYMI ZWIĄZANYMI Z EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ

Prowadzone były obserwacje zmian stężeń radonu w otworach wierconych w wyrobiskach dołowych kopalń węgla kamiennego i rud miedzi, w których występują wstrząsy górnicze, spowodowane działalnością górniczą. Podobnie, jak w przypadku badań prowadzonych w kopalniach zagrożonych wybuchami skał i gazów, prowadzono je w celu sprawdzenia, czy istnieje korelacja między zmianami stężenia radonu w górotworze a występowaniem wstrząsów. Pozytywny wynik badań dałby podstawy do opracowania modelu matematycznego opisującego zjawiska oraz wskaźnika wspomagającego prognozowanie wstrząsów.

Badania wykonano w trzech górnośląskich kopalniach węgla kamiennego oraz w jednej kopalni miedzi (Lebecka i inni 1995). Otwory, odchylone pod niewielkim kątem w stosunku do pionu, wiercono w stropie wyrobisk dołowych w łupkach, piaskowcach, dolomitach o różnej porowatości. W otworach umieszczano sondy BARASOL (produkcji francuskiej), umożliwiające wykonywanie semi-ciągłych pomiarów stężenia radonu. Przestrzegano zasady, by po zainstalowaniu sondy pomiarowej, otwór uszczelnić. Urządzenie umożliwiało wykonywanie pomiaru z częstotliwością raz na pół godziny. Gromadzone dane pomiarowe były czytywane raz na miesiąc. W czasie prowadzenia badań były zbierane dane dotyczące aktywności sejsmicznej wybranych rejonów kopalń oraz informacje dotyczące ogólnej sytuacji górniczej (szybkości eksploatacji, strzelań odprężających, zatrzymywania ścian itp.).

Wyniki badań w kopalniach zagrożonych wstrząsami nie pozwoliły na opracowanie algorytmu opisującego zjawisko i związku między wstrząsami a zmianami stężenia radonu. W jednej z kopalń, dzięki aktywnie prowadzonym działaniom prewencyjnym, nie wystąpił żaden poważniejszy (tzn. o energii powyżej 10^3 J) wstrząs sejsmiczny. W pozostałych kopalniach również aktywność sejsmiczna była mniejsza niż spodziewano się przed przystąpieniem do badań. Przykładowe wyniki obserwacji prowadzonych w kopalni węgla kamiennego przedstawiono na rysunku 3. Stężenie radonu w otworze przez cały okres obserwacji było małe i nie przekraczało 600 Bq/m^3 . Można było jednak zaobserwować, że przez okres kilkunastu dni wzrastało, a wstrząs nastąpił po spadku stężenia o około 100 Bq/m^3 . W tym przypadku trudno mówić

o wyraźnie widocznej korelacji między kierunkiem zmian stężeń radonu a energią wstrząsu i momentem, w którym on nastąpił. Wyniki uzyskane z pozostałych otworów były jeszcze mniej jednoznaczne.



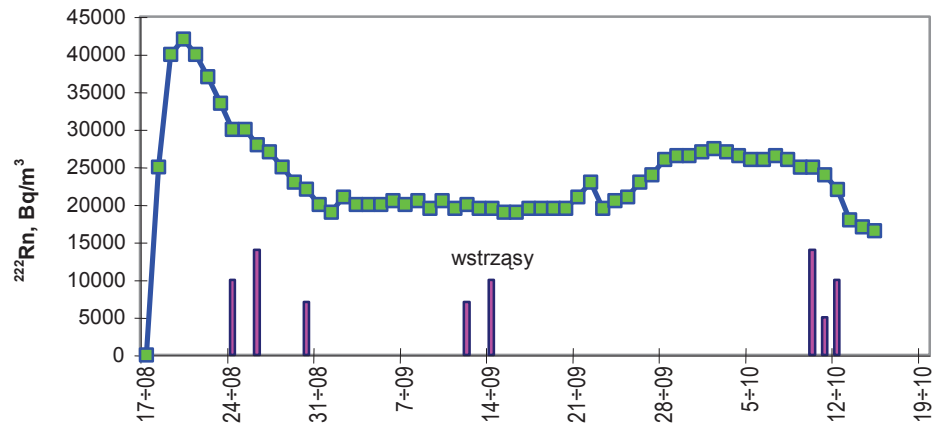
Rys. 3. Obserwacje zmian stężeń radonu w pokładzie zagrożonym tąpnięciami w kopalni węgla kamiennego:
d – kolejny dzień obserwacji

Fig. 3. Changes of radon concentration in the coal seam endangered by tremors in one of Upper Silesian coal mines:
d – subsequent day of observations

Bardziej obiecujące były wyniki obserwacji prowadzonych w kopalni miedzi „Rudna”. Na poligon badawczy wybrano jeden z rejonów na poziomie 100 m, charakteryzujący się dużą aktywnością sejsmiczną. Przed rozpoczęciem obserwacji występowały w omawianym rejonie wstrząsy o energii 10^6 J. W stropie wyrobisk, w dolomicie ponad łupkiem miedzionośnym wywiercono pięć otworów badawczych długości około 10 m. Zaobserwowano, że mimo niewielkich odległości między otworami, uzyskane wyniki pomiarów różnią się bardzo istotnie. Na przykład w jednym z otworów stężenia były stosunkowo małe, bo wahały się między 2000 a 2700 Bq/m³, a nieznaczne zmiany trudno było korelować z występującymi w tym okresie wstrząsami. W innym otworze, w którym obserwacje prowadzono równocześnie z wyżej opisanymi, stężenie radonu było znacznie większe. Po krótkim okresie narastania osiągnęło 40 000 Bq/m³, po czym nastąpił spadek stężenia radonu. W ciągu około dwóch tygodni stężenie radonu osiągnęło około 20 000 Bq/m³ (rys. 4). W tym czasie wystąpiły dwa wstrząsy o energii 10^4 i 10^7 J. Przez okres około 3 tygodni stężenie radonu było stabilne i utrzymywało się na poziomie 20 000 Bq/m³. Po tym czasie znowu zaczęło narastać, osiągając 30 000 Bq/m³. W ciągu następnych dwóch tygodni stężenie radonu zmalało prawie dwukrotnie. W tym czasie znowu wystąpiły dwa wstrząsy o energii 10^6 i 10^5 J. Przeanalizowano czynniki, wyróżniające otwór, w którym wyniki były najbardziej spektakularne. Stwierdzono, że ponad wszelką wątpliwość wpływ na migrację radonu mają:

- porowatość i szczelinowatość skał otaczających,
- zawodnienie.

Pewne znaczenie może mieć również kąt nachylenia otworu.



Rys. 4. Kolejne dni obserwacji zmian stężenia radonu w kopalni miedzi

Fig. 4. Changes of radon concentration and tremors in copper mine

Omawiany otwór wywiercono w strefie dolomitu kawernistego, charakteryzującego się specyficznymi właściwościami fizycznymi. W odróżnieniu od dominującego dolomitu zwięzłego, cechował się on dużą porowatością i kruchością, często był zawilgocony i rozkruszony. Właściwości skały ułatwiały zapewne migrację gazów, dzięki czemu transport radonu mógł w tej warstwie zachodzić na znaczną odległość. Spadek stężeń radonu przed wstrząsem był spowodowany zaciskaniem się szczelin wraz ze wzrostem naprężeń w górotworze.

Być może wszelkie obserwacje stężeń radonu do celów wspomagania prognozy zjawisk geodynamicznych powinny być prowadzone w skałach słabo zwięzłych, gdyż w nich sygnał radonowy może być przenoszony na większe odległości.

WNIOSKI

W okresie prowadzenia obserwacji, w gazach w pokładach węgla w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym mierzone stężenia radonu ^{222}Rn wahały się w szerokich zakresach od kilku do około 10 000 Bq/m³.

W wielu przypadkach odnotowano znaczny spadek stężenia radonu przed wyrzutem i wyraźny wzrost stężenia po wyrzucie, co dawało nadzieję na opracowanie „radonowego wskaźnika wyrzutowego”.

Stwierdzono, że związek między stężeniem radonu a sytuacją wyrzutową najlepiej uwidacznia się, jeśli stężenie radonu przedstawiane jest w funkcji postępu przodka.

Nie stwierdzono korelacji między obowiązującymi wskaźnikami zagrożenia wyrzutowego (tzn. ciśnieniem i desorpcją gazu) a stężeniami radonu.

Badania prowadzone w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym wykazały, że stężenia radonu w gazach wahały się w zakresach od kilkuset do ponad 40 000 Bq/m³.

Wyraźny związek między zmianami stężenia radonu a zjawiskami geodynamicznymi, jakimi są wstrząsy górnicze, zaobserwowano w kopalni miedzi „Rudna”. Podobnie, jak w przypadku wyrzutów gazów w kopalniach dolnośląskich zaobserwowano znaczny spadek stężenia radonu przed wstrząsem i wyraźny wzrost po wstrząsie.

Zawartość radonu w gazach w dużej mierze jest uwarunkowana sytuacją geologiczno-górnictwem. Stwierdzono, że parametry fizyczne skał, takie jak stopień ich spękania, uszczelnienie i porowatość mają wpływ na szybkość i zasięg migracji radonu w górotworze. Warunki technicznych eksploatacji mające wpływ na migracje radonu, to zmiany szybkości postępu ściany, a szczególnie jej zatrzymania i uruchamiania oraz zmiany kierunków przewietrzania ścian, w których są prowadzone obserwacje.

Nie udało się dotychczas powiązać zmian stężenia radonu z występowaniem zjawisk geodynamicznych, takich jak wyrzuty gazów i skał oraz wstrząsy górnicze. Dotychczas prowadzone badania dostarczyły dużej liczby danych pomiarowych, jak również przyczyniły się do uściślenia opisu zjawisk, mających wpływ na transport radonu w górotworze. W przypadku kontynuowania badań, nabyte doświadczenia stanowią podstawę do lepszego ich zaprojektowania, polegającego między innymi na:

- poprzedzeniu pomiarów rozpoznaniem geologiczno-geofizycznym, pozwalającym na zlokalizowanie optymalnych poligonów badawczych,
- zastosowaniu multiparametrycznej metody pomiarowej umożliwiającej jednoczesny pomiar wielu parametrów (stężenie radonu, ciśnienie, temperatura i inne),
- zainstalowaniu równocześnie większej liczby detektorów, co umożliwiłoby porównywanie i uśrednianie danych.

Literatura

1. Hargraves A.J. (1983): *Instantaneous outbursts of coal and gas, a review*. Proceedings of Australian Institute of Mining and Metallurgy No 285, s. 1–37.
2. Kisin J.G. (1982): *Ziemiętrząszenia i podziemne wody*. Moskwa, Izd. Nauka.
3. Lebecka J. i inni (1988): *Zmiany stężenia radonu w gazach pokładów wyrzutowych*. W: *Zastosowania technik radiometrycznych w przemyśle, medycynie i ochronie środowiska*, T. 1. Warszawa, IchTiJ, s. 301–310.
4. Lebecka J. i inni (1995): *Changes of radon concentration in gases due to seismic events caused by mining*, Report of the EU Project No ERB CIPA CT 923025. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
5. Lebecka J., Mnich K., Lebecki K., Kobiela A. (1990): *Use of the measurements of the concentration of radon in gases in carboniferous strata for prediction of instantaneous outbursts of gas and rocks*. Proc. of Int. Symp. on Nuclear Techniques in Exploration and Exploitation of Energy and Mineral Resources. Vienna, IAEA.
6. Lebecka J., Wysocka M., Chałupnik S. (1991): *Radon monitoring for the prediction of mine outbursts*. Second Workshop on Radon Monitoring in Radioprotection Environmental and/or Earth Sciences. Trieste, World Scientific Publishing Co.Pye.Ltd., s. 299–306.
7. Nikolin V.J., Lysikov B.A., Katch W.J.T. (1972): *Prognoz wybrosopasnosti ugolnykh i porodnykhpastow*. Izd. Donbass.
8. Rikitake T. (1976): *Earthquake prediction developments in solid earth*. Geophysics 9, 357.

9. Scholtz C., Sykes L.R., Aggarwal Y.P. (1973): *Earthquake Prediction, a Physical Basis*, Science, Vol. 181, s. 803–810.
10. Wyższy Urząd Górniczy w Katowicach (2006): Materiały na posiedzenie Rady Ochrony Pracy w dniu 6.06.2006 r.

Recenzent: dr inż. Krystyna Stec