

APARATURA DO POMIARU STĘŻENIA RADONU W POWIETRZU

Jakub Bartak, Bronisław Machaj, Jan Paweł Pieńkos

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa

Abstract

RADIOMETERS FOR RADON CONCENTRATION IN AIR

Constant grow of science and technology stimulates development of new improved measuring tools. New measuring demand arise also in radon concentration measurements. Varying rock stress and rock cracks influencing radon emanation encouraged research aimed at use of this phenomenon to predict crumps of mine formation among others based on variation of radon emanation. A measuring set was developed in the Institute of Nuclear Chemistry and Technology enabling long term monitoring of radon concentration in mine bore-hole. The set consists probe and probe controller. Detection threshold of the probe is 230 Bq/m³. The set can operate in the environment with methane explosion hazard. A radiometer employing Lucas cell as radiation detector for radon concentration in air was also developed its detection threshold is approx. 10 Bq/m³. Replaceable Lucas cells of the radiometer allows for measurement of high as well as low radon concentration in short time intervals.



1. WSTĘP

Radon jest gazem szlachetnym, bezbarwnym i bezwonny. W przyrodzie występuje głównie jego izotop promieniotwórczy ²²²Rn jako produkt rozpadu szeregu promieniotwórczego ²³⁸U. W formacjach geologicznych radon wydziela się z siatki krystalicznej minerałów skałotwórczych [1, 2]. Jest on łatwo rozpuszczalny w wodzie, którą zazwyczaj nasycone są skały. Również sole radu, rozpuszczalne w wodzie są źródłem radonu. Tak więc radon wydostaje się z podłoża skalnego poprzez pęknięcia, mikropory oraz z wód podziemnych i uchodzi do atmosfery. Radon rozpadając się emituje promieniowanie alfa. Kolejne krótkożyciowe pochodne rozpadu radonu ²¹⁸Po i ²¹⁴Po również przy rozpadzie emitują promieniowanie alfa. Dwie pozostałe krótkożyciowe pochodne: ²¹⁴Pb i ²¹⁴Bi przy rozpadzie emitują promieniowanie beta oraz kwanty gamma. W trakcie oddychania człowieka radon oraz jego krótkożyciowe pochodne razem z powietrzem dostają się do płuc. Ponieważ ²²²Rn ma czas połowicznego rozpadu 3,8 doby i jako gaz szlachetny nie wiąże się z innymi pierwiastkami wobec tego jego część zostaje wydalona z organizmu przy oddychaniu. Natomiast jego pochodne będące metalami są deponowane w płucach. Zatem przebywanie człowieka w miejscach, gdzie występują wysokie stężenia radonu i jego pochodnych stwarza zagrożenie dla jego zdrowia [1-4]. Niebezpieczeństwo to występuje głównie w kopalniach, jaskiniach, ale również mo-

że występować w budynkach mieszkalnych. Ilość radonu zależna jest od warunków geologicznych, tj. rodzaju podłoża, powierzchni emanującej radon, przepuszczalności warstwy geologicznej oraz warunków wentylacji. Aby ocenić stopień zagrożenia w danym miejscu czy pomieszczeniu konieczny jest pomiar stężenia radonu i jego pochodnych.

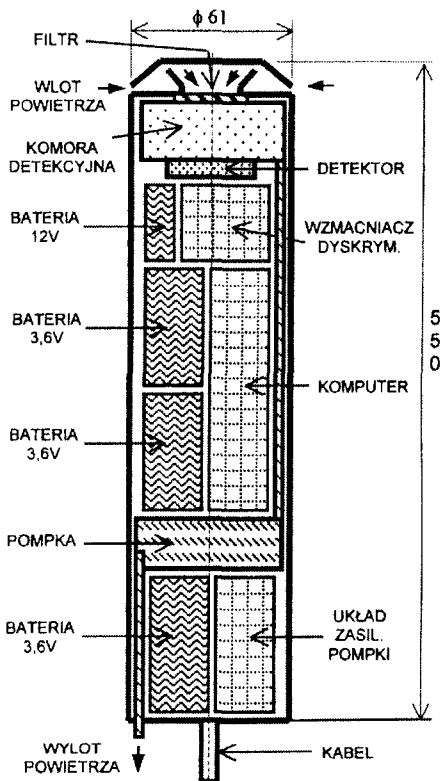
Do pomiaru stężenia radonu stosuje się różne metody zarówno aktywne jak i pasywne [1-6]. W Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej (IChTJ) opracowano dwa typy przyrządów do pomiaru stężenia radonu w powietrzu w sposób aktywny. Pierwszy z nich zestaw – ZPRG1 (fot.1) jest przeznaczony do prowadzenia długookresowych pomiarów zmian stężenia radonu w powietrzu glebowym i zmian jego ekshalacji w wyrobiskach górniczych [6, 7]. Drugi to przenośny radiometr RMR1 (fot. 2) współpracujący z komorami Lucasa o czułości umożliwiającej pomiar stężenia radonu w budynkach mieszkalnych i innych pomieszczeniach, gdzie przebywają ludzie.

2. ZESTAW ZPRG1

2.1. Budowa i zasada działania

Do pomiarów stężenia radonu w kopalniach ze względu na panujące tam warunki, a szczególnie w kopalniach metanowych nie można stosować wysokoczułych przyrządów zawierających fotopowielacze lub komory jonizacyjne zasilane wysokim napięciem, dlatego stosuje się detektory krzemowe zasilane niskim napięciem, umożliwiające konstrukcję iskrobezpieczną [9], odporną na warunki kopalniane. Zestaw ZPRG1 do długookresowych pomiarów stężenia radonu składa się z sondy radonowej SRDN2 oraz programatora PSR. Rysunek 1 przedstawia, w uproszczony sposób, budowę sondy SRDN2, natomiast schemat blokowy sondy przedstawiono na rys. 2. Sonda zbudowana jest w kształcie walca. Wszystkie elementy konstrukcji sondy kontaktujące się z otoczeniem wykonane są ze stali kwasoodpornej. Badane powietrze dostaje się do komory detekcyjnej w sondzie na drodze dyfuzji lub w wyniku wymuszonej przez pompkę wymiany, poprzez odpowiednio ukształtowany wlot powietrza oraz filtr. Obecny w powietrzu radon rozpada się, także rozpadają się pochodne radonu. Emitowane w komorze detekcyjnej cząstki alfa rejestrowane są przez detektor krzemowy typu ULTRA-CAM. Impulsy z detektora wzmacniane są we wzmacniaczu ładunkowym, a następnie po uformowaniu poprzez układ separacji galwanicznej, podawane są na wejście licznika mikrokomputera. Proces pomiarowy nadzoruje mikrokomputer, który również obsługuje transmisję wyników

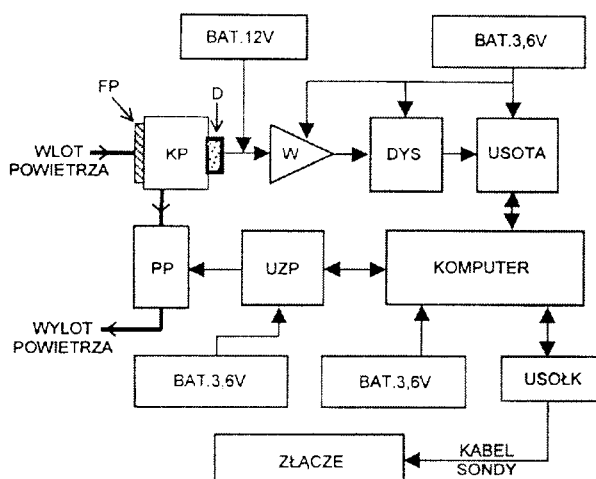
do programatora. Do zasilania układów sondy służą trzy baterie litowe o pojemności 13Ah każda. Detektor krzemowy zasila bateria alkaliczna 12 V. Sonda wyposażona jest w kabel zakończony specjalnym pyło- i wodoszczelnym złączem, umożliwiającym podłączenie programatora.



Rys. 1. Sonda radonowa SRDN2.

Ponieważ sonda przewidziana jest do pracy w kopalniach, gdzie może występować zagrożenie metanowe i gdzie nie można używać zwykłych przenośnych komputerów personalnych, dlatego został skonstruowany odpowiedni dla sondy programator. Umożliwia on programowanie sondy, przeglądanie oraz odczyt wyników pomiarów z sondy, które następnie można przesłać do komputera personalnego poprzez łącze RS232C. Sonda po zaprogramowaniu pracuje samodzielnie i programator można odłączyć.

Sonda umożliwia pomiar radonu w trybie biernym lub aktywnym. W trybie biernym wymiana powietrza w komorze detekcyjnej sondy odbywa się na drodze dyfuzji powietrza z zewnątrz sondy do komory detekcyjnej poprzez filtr na wlocie do komory. Na skutek zmian naprężeń w skalnym podłożu, zmiany ciśnienia atmosferycznego, zmienia się ilość radonu wydostającego się do atmosfery. Niekiedy oprócz informacji o wartości stężenia radonu istotne



Rys. 2. Schemat blokowy sondy SRDN2: FP – filtr powietrzny, D – detektor krzemowy, KP – komora pomiarowa, WI – wzmacniacz impulsów, DYS – dyskryminator impulsów, USOTA – układ separacji optycznej toru analogowego, PP – pompka powietrzna, UZP – układ zasilania pompki, USOŁK – układ separacji optycznej łącza komunikacyjnego.

może być jak szybko zmienia się stężenie radonu w powietrzu. Przy pracy dyfuzyjnej czas odpowiedzi sondy na skokową zmianę stężenia radonu jest w granicach 0,5 godziny, co przy zwykłych pomiarach zupełnie wystarcza. W trybie aktywnym wymianę powietrza w komorze detekcyjnej sondy wymusza pompka membranowa. Zastosowanie wymuszonego obiegu powietrza przez pompkę skraca czas reakcji sondy na skokową zmianę stężenia radonu do czasu pompowania.

2.2. Parametry ZPRG1

Czułość sondy (współczynnik kalibracji) wynosi $40 \text{ Bq/m}^3/\text{imp/h}$. Próg detekcji sondy wynosi 226 Bq/m^3 . Czas odpowiedzi zdefiniowany jako czas narastania lub opadania do 0,5 wartości sygnału dla trybu biernego wynosi ponad 30 minut, natomiast dla trybu czynnego jest praktycznie równy czasowi pompowania powietrza. Maksimum i minimum odpowiedzi niezależnie od trybu pracy sondy następuje po około 3 godzinach, co wynika z faktu obecności krótkożyciowych pochodnych radonu w komorze detekcyjnej. Czas zliczania dla jednego pomiaru można zadawać od 1 do 99 minut, czas pompowania od 0 do 3 minut.

Pamięć urządzenia może pomieścić wyniki z 8000 pomiarów. Oryginalne rozwiązania układowe umożliwiły znaczną redukcję mocy zasilającej układy sondy w stosunku do rozwiązań konwencjonalnych. Zastosowa-

ne baterie litowe pozwalają na ciągłą pracę sondy przez 3 lata bez wymiany baterii. Wyjątek stanowi zasilanie pompki gdzie zapotrzebowanie na energię jest zależne od parametrów cyklu pomiarowego. Dla pomiarów w cyklu: 1 minuta pompowanie i 60 minut zliczanie jedna bateria starczy na 4800 pomiarów. Masa sondy wynosi około 7 kg. Do zasilania służy akumulator kadmowo-niklowy, który pozwala na pracę programatora bez doładowywania przez 100 godzin. Programator ma wbudowany układ kontroli ładowania



Fot. 1. Zestaw ZPRG1.

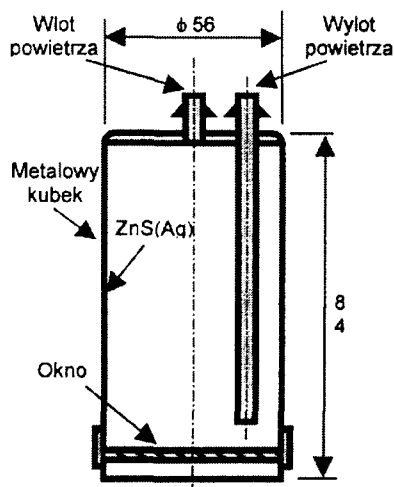
akumulatora oraz czujniki do pomiaru temperatury, wilgotności i ciśnienia atmosferycznego. Masa programatora z futerałem wynosi: około 3,5 kg. Zestaw posiada opinię atestacyjną dotyczącą bezpieczeństwa przeciwwybuchowego KDB Nr.00.370W /Urządzenie iskrobezpieczne Ex_iA – IP54 [8].

3. RADIOMETR RMR1

3.1. Budowa i zasada działania

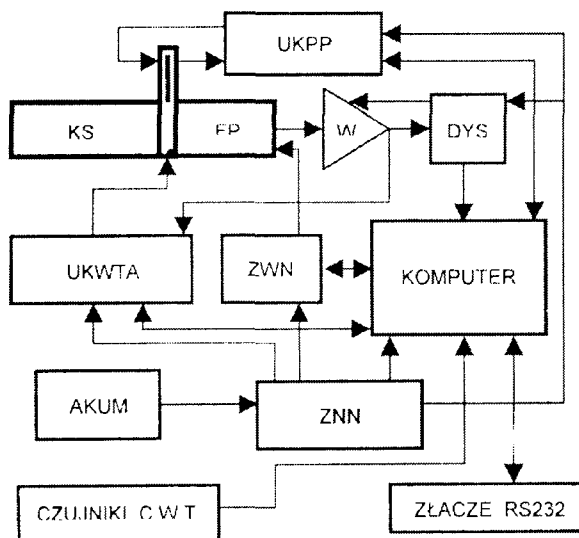
Radiometr RMR1 jest urządzeniem przenośnym współpracującym z komorami Lucasa [1-3]. Na rys. 3 pokazano konstrukcję komory Lucasa do pomiarów chwilowych, opracowaną w IChTJ. Radiometr posiada głowicę pomiarową zawierającą fotopowielacz o średnicy fotokatody 50 mm zasilany z programowo sterowanego zasilacza wysokiego napięcia. Głowica zawiera również przesłonę fotokatody, mechanizm napędowy do przesłony, zespół czujników położenia przesłony i stabilne źródło światła dla automatycznej kontroli wzmocnienia toru pomiarowego. Rysunek 4 przedstawia schemat blokowy radiometru. Całością pracy urządzenia zarządza mikrokomputer. Do zasilania radiometru służy akumulator kadmowo-niklowy.

Radiometr może mierzyć stężenie radonu w sposób chwilowy jak też ciągły. Do pomiaru ciągłego stosowana jest odmiana komory Lucasa tzw. bierna. Radon wnika do komory na drodze dyfuzji przez odpowiedni filtr.



Rys. 3. Komora Lucasa opracowana w IChTJ.

Pomiar chwilowy radonu za pomocą komory Lucasa wykonuje się w następujący sposób. Do wcześniej przygotowanej komory pobiera się za pomocą ręcznej pompki, próbę powietrza zawierającego radon. Następnie po



Rys. 4. Schemat blokowy miernika: FP – fotopowielacz, KS – komora scyntylacyjna (Lucasa), W – dyskryminator impulsów, DYS – dyskryminator impulsów, UKPP – układ kontroli położenia przesłony, UKWTA – układ kontroli wzmacnienia toru analogowego, ZNN – zasilacz niskiego napięcia, ZWN – zasilacz wysokiego napięcia.

upływie 3 godzin, to jest po ustaleniu się stanu równowagi promieniotwórczej pomiędzy radonem i jego pochodnymi, należy założyć komorę scyntylicyjną do gniazda głowicy pomiarowej radiometru i zainicjować pomiar. Ponieważ każda komora scyntylicyjna może mieć inny współczynnik kalibracyjny, dlatego w pamięci nieulotnej radiometru przechowywane są indywidualne współczynniki kalibracji komór Lucasa. Komory Lucasa identyfikowane są poprzez wygrawerowane indywidualne numery. Przed pomiarem użytkownik wpisuje na klawiaturze numer identyfikujący komorę. Możliwa jest łatwa aktualizacja wartości współczynników kalibracyjnych dla poszczególnych komór w pamięci urządzenia. Błyski światła wzbudzone w scyntylicytorze przez promieniowanie alfa od radonu i jego pochodnych są wzmacniane przez fotopowielacz. Następnie impulsy z fotopowielacza są formowane i zliczane przez licznik mikrokomputera. Radiometr ma wbudowany mechanizm korekcji wzmocnienia toru pomiarowego, w celu stabilizacji wzmocnienia fotopowielacza, które jest zależne od temperatury, a także podlega fluktuacjom w czasie. Sterowane źródło światła wywołuje sygnał na fotopowielaczu. Jeśli sygnał z fotopowielacza jest inny od oczekiwanego, ulega zmianie napięcia zasilające fotopowielacz tak długo, aż sygnał osiągnie pożądaną wartość. Zastosowany w radiometrze układ z przesłoną chroni fotopowielacz przed nadmiernym oświetleniem w przypadku błędu obsługi, które może doprowadzić do zniszczenia fotopowielacza. Oprócz radonu urządzenie mierzy temperaturę, wilgotność oraz ciśnienie atmosferyczne. Wyniki pomiarów są gromadzone w pamięci radiometru. Miernik wyposażony jest w łącze komunikacyjne RS232C do przesyłania wyników pomiarów.



Fot. 2. Radiometr RMR1 z komorami Lucasa.

3.2. Parametry radiometru RMR1

Czułość miernika (współczynnik kalibracji) wynosi $0,8 \text{ Bq/m}^3/\text{imp/h}$, a próg detekcji wynosi 11 Bq/m^3 dla interwału pomiarowego 60 minut. Czas zliczania dla jednego pomiaru może być zadawany od 1 do 99 minut.

Zadawana liczba pomiarów zawiera się od 1 do 9999 pomiarów lub do zapęłnienia pamięci. Radiometr może pracować w zakresie temperatur od 0 do +50°C, przy wilgotności względnej od 0 do 90%, przy ciśnieniu od 800 do 1050 hPa. Zasilanie stanowi akumulator kadmowo-niklowy 6 V 4 Ah. Czas pracy w trybie pomiaru ciągłego do 500 h, natomiast w trybie pojedynczych pomiarów do 100 h. Przy podłączonym zasilaniu sieciowym, czas pracy może być nieograniczony. Radiometr posiada układ kontroli ładowania akumulatora. Masa urządzenia wynosi ok. 5 kg.

4. PODSUMOWANIE

Zestaw ZPRG1 jest przydatny do pomiarów radonu wszędzie tam, gdzie występują jego wyższe stężenia i występują trudne warunki jak np. w kopalniach, w tym z zagrożeniem metanowym. Istotną zaletą pomiaru radonu za pomocą zestawu ZPRG1 jest możliwość ciągłej rejestracji zmian stężenia radonu w powietrzu, co stwarza całkiem nowe możliwości pomiarowe, nieosiągalne za pomocą dotychczas stosowanej aparatury. Obserwuje się pewną zbieżność pomiędzy zmianami w emanacji radonu a zjawiskami sejsmicznymi, w tym z tąpnięciami górotworu w kopalniach, dlatego też powyższy przyrząd może być przydatny do badań mających na celu opracowanie metody umożliwiającej prognozowanie tąpnięć w kopalniach. Innym zastosowaniem mogą być pomiary powietrza glebowego.

Radiometr RMR1 przeznaczony jest do pomiarów radonu w dużym zakresie stężeń. Umożliwia pomiar chwilowy oraz ciągły. Bardzo istotną zaletą pomiaru opartego o komory Lucasa jest to, że w przypadku kontaminacji komora Lucasa może być łatwo wymieniona na inną. Przyrząd może pracować w warunkach polowych i szerokim zakresie temperatur. Jednoczesny pomiar parametrów środowiskowych takich jak temperatura, wilgotność względna powietrza, ciśnienie atmosferyczne mogą okazać się bardzo przydatne w pomiarach środowiskowych.

LITERATURA

- [1]. Czubek J.A.: Krytyczna ocena rutynowych pomiarów radonu w atmosferze kopalnianej wykonywanych w Polsce. Postępy Techniki Jądrowej, 3/4, 2-16 (1993).

- [2]. Skowronek J.: Charakterystyka zagrożenia krótkożyciowymi produktami radonu w kopalniach węgla kamiennego. Prace Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 1992.
- [3]. Ewans R.D.: The Atomic Nucleous. McGraw-Hill Book Company, 1970.
- [4]. Kusyk M., Mamont-Cieśla K.: Badania metod pomiaru radonu stosowanych w CLOR w wysokiej wilgotności. 17 Szkoła Jesienna „Radon – występowanie i konsekwencje”, Zakopane, 22-26.09.1997.
- [5]. Domański T., Chruścielewski W.: Porównanie różnych metod pomiaru stężenia poszczególnych produktów rozpadu radonu Rn-222 w powietrzu oraz energii potencjalnej promieniowania alfa. Medycyna Pracy, 27, 2 (1976).
- [6]. Skubacz K., Chałupnik S., Skowronek J.: Kalibracja i testowanie sondy radonowej SRDN2. Główny Instytut Górnictwa ZATTLiR 03.2000.
- [7]. Sonda Radonowa SRDN2 – Instrukcja obsługi. IChTJ, Warszawa 1999.
- [8]. Bartak J., Machaj B., Pieńkos P.: Nowa aparatura do pomiaru stężenia radonu w powietrzu. XII Zjazd Towarzystwa Badań Radiacyjnych. Materiały Zjazdu. Instytut Fizyki Jądrowej UJ, Kraków 10-12.09.2001.
- [9]. Frączek J.: Aparatura przeciwwybuchowa w wykonaniu iskrobezpiecznym. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1995.

**V. ZASTOSOWANIE TECHNIK JĄDROWYCH
W BIOLOGII I MEDYCYNIE**
