

CENTRALNE LABORATORIUM
OCHRONY RADIOLÓGICZNEJ

CENTRAL LABORATORY FOR
RADIOLOGICAL PROTECTION

CLOR-88/D



2.15

Raport Nr CLOR-88/D

METODA
CIĄGŁEGO POMIARU
RADONU W POWIETRZU

WARSZAWA

This report has been reproduced directly from
the best available copy

Распространяет:
ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ
ПРИ УПОЛНОМОЧЕННОМ ПРАВИТЕЛЬСТВА ПНР
по Использованию Ядерной Энергии
Дворец Культуры и Науки
Варшава, ПОЛЬША

Available from:
NUCLEAR ENERGY INFORMATION CENTER
of the Polish Government Commissioner for Use
of Nuclear Energy
Palace of Culture and Science
Warsaw, POLAND

Drukuje i rozprawdza:
OŚRODEK INFORMACJI O ENERGII JĄDROWEJ
Pełnomocnika Rządu d/s Wykorzystania Energii Jądrowej
Warszawa, Pałac Kultury i Nauki

Wydaje: Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Nakład: 575 egz. Objętość ark. wyd.: 0,5 Ark.druk.0,7
Data złożenia maszynopisu: III.1972 Oddano do dru-
ku: 14.IV.1972r., Druk ukończono: IV.1972r. Zam. nr: 135/72



CENTRALNE LABORATORIUM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ
CENTRAL LABORATORY FOR RADIOLOGICAL PROTECTION
Warsaw, Poland

Report nr CLOR-88/D

METODA CIĄGŁEGO POMIARU STĘŻENIA RADONU W POWIETRZU
CONTINUOUS MEASUREMENTS OF Rn-222 CONCENTRATION IN AIR
МЕТОД БЕСПРЕРЫВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА
В ВОЗДУХЕ

M. Biernacka
J. Jagielak
A. Żak

W A R S Z A W A

1972

STRESZCZENIE

Opisano konstrukcję urządzenia oraz metodę umożliwiającą mierzenie w sposób ciągły stężenia Rn-222 w powietrzu. Dolna granica pomiaru wynosi 3000 pCi/m³. Opisany przyrząd i metoda mogą być użyteczne przy pomiarach stężenia Rn-222 w atmosferze kopalni uranu, w zakładach przeróbki rudy uranowej oraz na stanowiskach pracy z otwartymi źródłami Ra-226.

ABSTRACT

Continuous measurement method of Rn-222 concentration in air and the construction of the device were described. Detection limit of this method is 3000 pCi/m³. The device is intended for measurements of Rn-222 concentration in uranium mines, in industrial establishments for processing uranium ore and for routine control of work with open sources of Ra-226. (auth)

РЕЗЮМЕ

Представлено конструкцию инструмента и метод непрерывного измерения концентрации Rn-222 в воздухе. Нижний диапазон измерения составляет 3000 пкюри/м³. Представленный инструмент и метод могут быть использованы при измерениях концентрации Rn-222 в атмосфере урановой шахты, в заводах с обработкой урановой руды, а тоже в местах с открытыми источниками Ra-226.

WSTĘP

Zmienność stężenia Rn-222 w powietrzu na poszczególnych stanowiskach pracy, a także w całych pomieszczeniach, wynikająca z samego procesu technologicznego lub wadliwej czy nieciągłej wentylacji powoduje, że metody pomiarowe oparte na wyrywkowym poborze prób są w wielu wypadkach niewystarczające, ponieważ nie dają pełnego obrazu rzeczywistego zagrożenia pracowników od Rn-222 i jego pochodnych. Dlatego też podjęto prace o charakterze metodycznym i aparaturowym, których celem było uzyskanie dostatecznie czułej i pewnej metody pomiarów ciągłych.

APARATURA POMIAROWA

Schemat ideowy przedstawiający zasadę pracy urządzenia pomiarowego pokazano na rys. 1. Powietrze badane jest zasysane do komory rozpadowej poprzez filtr wstępny o średnicy 60 mm, charakteryzujący się dużą sprawnością zbierania aerozoli, Pozwala to przyjąć, że do komory rozpadowej przedostaje się wraz z powietrzem jedynie gazowy Rn-222, zaś wszystkie jego pochodne oraz pyły niepromieniotwórcze są zbierane na filtrze wstępnym [1]. Komora rozpadowa o objętości 50 l ma tak dobrany kształt, aby zapewniał równomierny przepływ powietrza, bez zakłóceń i prądów wirowych. Komora rozpadowa jest połączona z komorą pomiarową, w której umieszcza się filtr membranowy o średnicy 100 mm, na którym są osadzone pochodne radonu powstałe w komorze rozpadowej. Nad filtrem jest umocowana sonda scyntylicyjna wyposażona w scyntylator ZnS/Ag/. Odległość d między filtrem membranowym a scyntylatorem jest regulowana. Pomiaru przeprowadzano dla $d = 4$ mm.

Na rys.2 przedstawiono, zmierzone spektrometrem półprzewodnikowym, widmo promieniowania alfa RaC^{226} pobranego z powietrza atmosferycznego na stosowany przez nas filtr "Synpor 3". Z kształtu widma wynika, że osadzanie aerozoli na tym filtrze ma przede wszystkim charakter powierzchniowy, co stanowi bardzo cenną zaletę przy pomiarach promieniowania alfa.

Pompa ssąca zapewnia ciągły pobór i przepływ badanego powietrza. Istnieje możliwość skokowej regulacji prędkości przepływu. Prędkość przepływu odczytywano przy pomocy manometru cieczowego pracującego na zasadzie pomiaru różnicy ciśnień przed i za zwężką.

Impulsy z sondy scyntylacyjnej są wzmacniane przez wzmacniacz liniowy. Wzmocnienie wzmacniacza oraz wielkość wysokiego napięcia na fotopowielaczu dobrano ze względu na najbardziej korzystny stosunek sygnału do szumów. Przy doborze warunków pracy posługiwano się źródłem $Pu-239$. Integrator posiada 5 zakresów pomiarowych, których liniowość została sprawdzona przy pomocy generatora impulsów wzorcowych.

Rejestrator pozwala na ciągły zapis mierzonego stężenia $Rn-222$ i jest wyskalowany w impulsach na minutę. Prędkość przesuwu taśmy w rejestratorze jest regulowana w granicach od 10 do 160 mm/h. Stosowano prędkość równą 30 mm/h. Błąd rejestracji przy zmianach temperatury $\pm 15^{\circ}C$ wynosi $\pm 10\%$.

METODA POMIARU

Objętość stosowanej komory rozpadowej wynosi 50 l. Przy natężeniu przepływu zasysanego powietrza równym 25 l/min, średni czas, w którym $Rn-222$ znajduje się w komo-

rze wynosi 2 min. Powstałe w tym czasie produkty rozpadu Rn-222 osadzają się na membranowym filtrze zbierającym. Są to głównie α -aktywne: Po-218 /RaA/ oraz Bi-214 /RaC/, a także β -aktywny Pb-214 /RaB/. Stężenie Rn-222 w powietrzu jest określone na podstawie pomiarów promieniotwórczości alfa produktów rozpadu wychwyconych przez ten filtr.

Oznaczmy przez:

V - natężenie przepływu powietrza,

Q_{Rn}, Q_A, Q_B, Q_C - liczba atomów odpowiednio: Rn-222, RaA, RaB, RaC w 1 l powietrza badanego,

$\lambda_{Rn}, \lambda_A, \lambda_B, \lambda_C$ - stałe rozpadu, odpowiednio dla Rn-222, RaA, RaB i RaC.

Wprowadzamy współczynniki równowagi, zdefiniowane jako:

$$f_A = \frac{\lambda_A Q_A}{\lambda_{Rn} Q_{Rn}} \quad \text{skąd} \quad Q_A = \frac{\lambda_{Rn}}{\lambda_A} Q_{Rn} f_A$$

$$f_B = \frac{\lambda_B Q_B}{\lambda_{Rn} Q_{Rn}} \quad \text{skąd} \quad Q_B = \frac{\lambda_{Rn}}{\lambda_B} Q_{Rn} f_B$$

$$f_C = \frac{\lambda_C Q_C}{\lambda_{Rn} Q_{Rn}} \quad \text{skąd} \quad Q_C = \frac{\lambda_{Rn}}{\lambda_C} Q_{Rn} f_C$$

Równanie aktywności N_{α} mierzonej na filtrze zbierającym, po czasie t potrzebnym do osiągnięcia równowagi promieniotwórczej, ma postać:

$$\begin{aligned} N_{\alpha} = & Q_A V (1 - e^{-\lambda_A t}) + \frac{\lambda_B \lambda_C Q_A V}{(\lambda_B - \lambda_A)(\lambda_C - \lambda_A)} (1 - e^{-\lambda_A t}) + \\ & + \left[\frac{\lambda_A \lambda_C Q_A V}{(\lambda_A - \lambda_B)(\lambda_C - \lambda_B)} + \frac{\lambda_C Q_B V}{\lambda_C - \lambda_B} \right] (1 - e^{-\lambda_B t}) + \\ & + \left[\frac{\lambda_A \lambda_B Q_A V}{(\lambda_A - \lambda_C)(\lambda_B - \lambda_C)} + \frac{\lambda_B Q_B V}{\lambda_B - \lambda_C} + Q_C V \right] (1 - e^{-\lambda_C t}) \end{aligned}$$

Czas życia RaC jest tak krótki /160 μs /, że jego rozpad przez emisję cząstek może być opisany równaniem dla RaC . Podstawiając do równania aktywności N_{α} wartości Q_A , Q_B , Q_C wyrażone przez Q_{Rn} oraz f_A , f_B i f_C możemy wyznaczyć stosunek $N_{\alpha}/Q_{Rn}V$:

$$\begin{aligned} \frac{N_{\alpha}}{Q_{Rn}V} &= \frac{\lambda_{Rn}}{\lambda_A} f_A (1 - e^{-\lambda_A t}) + \frac{\lambda_{Rn} \lambda_B \lambda_C f_A}{\lambda_A (\lambda_B - \lambda_A) (\lambda_C - \lambda_A)} (1 - e^{-\lambda_A t}) + \\ &+ \left[\frac{\lambda_{Rn} \lambda_C f_A}{(\lambda_A - \lambda_B) (\lambda_C - \lambda_B)} + \frac{\lambda_{Rn} \lambda_C f_B}{\lambda_A (\lambda_C - \lambda_B)} \right] (1 - e^{-\lambda_B t}) + \\ &+ \left[\frac{\lambda_{Rn} \lambda_B f_A}{(\lambda_A - \lambda_C) (\lambda_B - \lambda_C)} + \frac{\lambda_{Rn} f_B}{\lambda_B - \lambda_C} + \frac{\lambda_{Rn} f_C}{\lambda_C} \right] (1 - e^{-\lambda_C t}) \end{aligned}$$

Dla czasu przejścia powietrza badanego przez komorę rozpadową, wynoszącego 2 min. oraz czasu ustalenia się równowagi promieniotwórczej na filtrze, $t = 2,5$ h, stosunek $N_{\alpha}/Q_{Rn}V$ wynosi $4,5 \cdot 10^{-4}$ [2], gdzie: N_{α} jest aktywnością zmierzona na filtrze w impulsach na sekundę, Q_{Rn} jest liczbą atomów $Rn-222$ w 1 litrze badanego powietrza, V jest natężeniem przepływu powietrza równym 25 l/min, tj. 0,41 l/s.

Stężenie $Rn-222$ wyrażone w Ci/l określone jest wzorem

$$A_{Rn} = \frac{\lambda_{Rn} Q_{Rn}}{3,7 \cdot 10^{10}} \quad (1)$$

stąd:

$$Q_{Rn} = \frac{3,7 \cdot 10^{10} \cdot A_{Rn}}{\lambda_{Rn}} \quad (2)$$

gdzie λ_{Rn} = stała rozpadu $Rn-222$ równa $2,1 \cdot 10^{-6} s^{-1}$.

Ponieważ

$$\frac{N_{\alpha}}{Q_{Rn} V} = 4,5 \cdot 10^{-4} \quad (3)$$

z (2) i (3):

$$\frac{N_{\alpha} \cdot \lambda_{Rn}}{3,7 \cdot 10^{10} \cdot A_{Rn} \cdot V} = 4,5 \cdot 10^{-4}$$

skąd

$$A_{Rn} = \frac{2,1 \cdot 10^{-6}}{3,7 \cdot 10^{10} \cdot 0,41 \cdot 4,5 \cdot 10^{-4}} \cdot N_{\alpha}$$
$$A_{Rn} = 3 \cdot 10^{-13} \cdot N_{\alpha} \quad (4)$$

Równanie (4) zostało wyprowadzone w oparciu o założenie 100% sprawności urządzenia. W praktyce sprawność ta, która głównie zależy od sprawności systemu detekcji oraz kształtu i wielkości komory rozpadowej, wynosi zaledwie kilka procent. Tak więc wzór praktyczny na stężenie mierzonego radonu ma postać:

$$A_{Rn} = 3 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{N_{\alpha}}{\eta} \quad (5)$$

gdzie η - sprawność układu, [%].

WYZNACZANIE SPRAWNOŚCI η UKŁADU ORAZ DOLNEJ GRANICY POMIARU

Sprawność układu pomiarowego η wyznaczone wykonując długotrwałe pomiary w pomieszczeniu zamkniętym o podwyższonym stężeniu radonu wahającym się od 7000 do 20.000 pCi/m³. Wielkość tego stężenia w czasie doświadczenia wielokrotnie mierzono metodą kolb scyntylicyj-

nych. Sprawność urządzenia obliczona ze wzoru (5) wynosi 3%.

Znając poziom biegu własnego określono także dolną granicę pomiaru. Wynosi ona 3000 pCi/m^3 , co stanowi 0,1 maksymalnego dopuszczalnego stężenia Rn-222 w powietrzu dla pracowników zatrudnionych w warunkach narażenia kategorii A [3].

UWAGI KOŃCOWE

Opisane urządzenie i metoda mogą mieć zastosowanie przy pomiarach Rn-222 w kopalniach uranu, w zakładach przeróbki rudy uranowej, na stanowiskach pracy z otwartymi źródłami Ra-226 - wszędzie tam, gdzie istnieje możliwość przekroczenia maksymalnego dopuszczalnego stężenia Rn-222 w powietrzu.

Czułość metody zależy głównie od objętości i kształtu komory rozpadowej oraz prędkości przepływu badanego powietrza. Im większa objętość komory i prędkość przepływu tym większa czułość metody. Prędkość przepływu ograniczona jest zjawiskiem turbulencji.

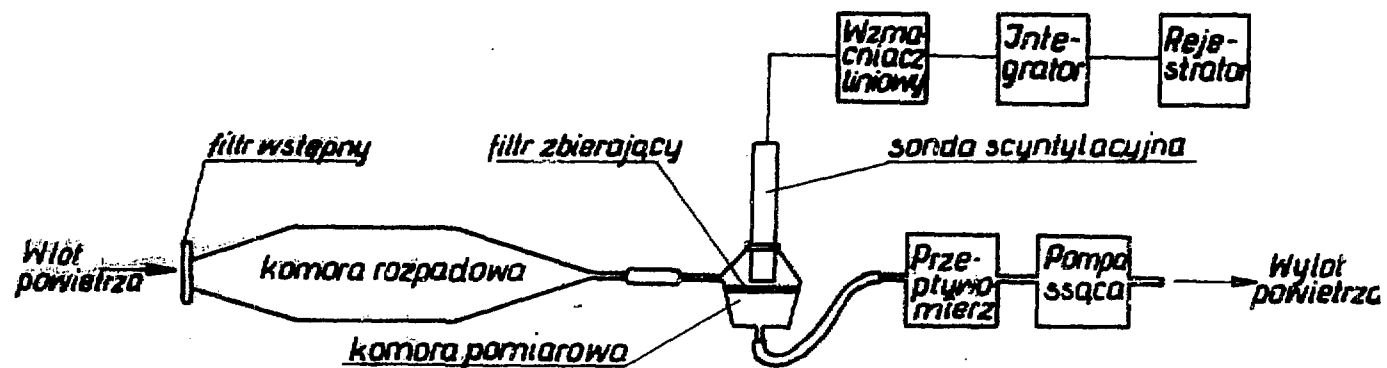
Dolna granica pomiaru jest wystarczająco niska, aby zapewnić pełną przydatność metody do celów kontroli stężenia Rn-222 w powietrzu, w warunkach narażenia zawodowego.

PODZIĘKOWANIE

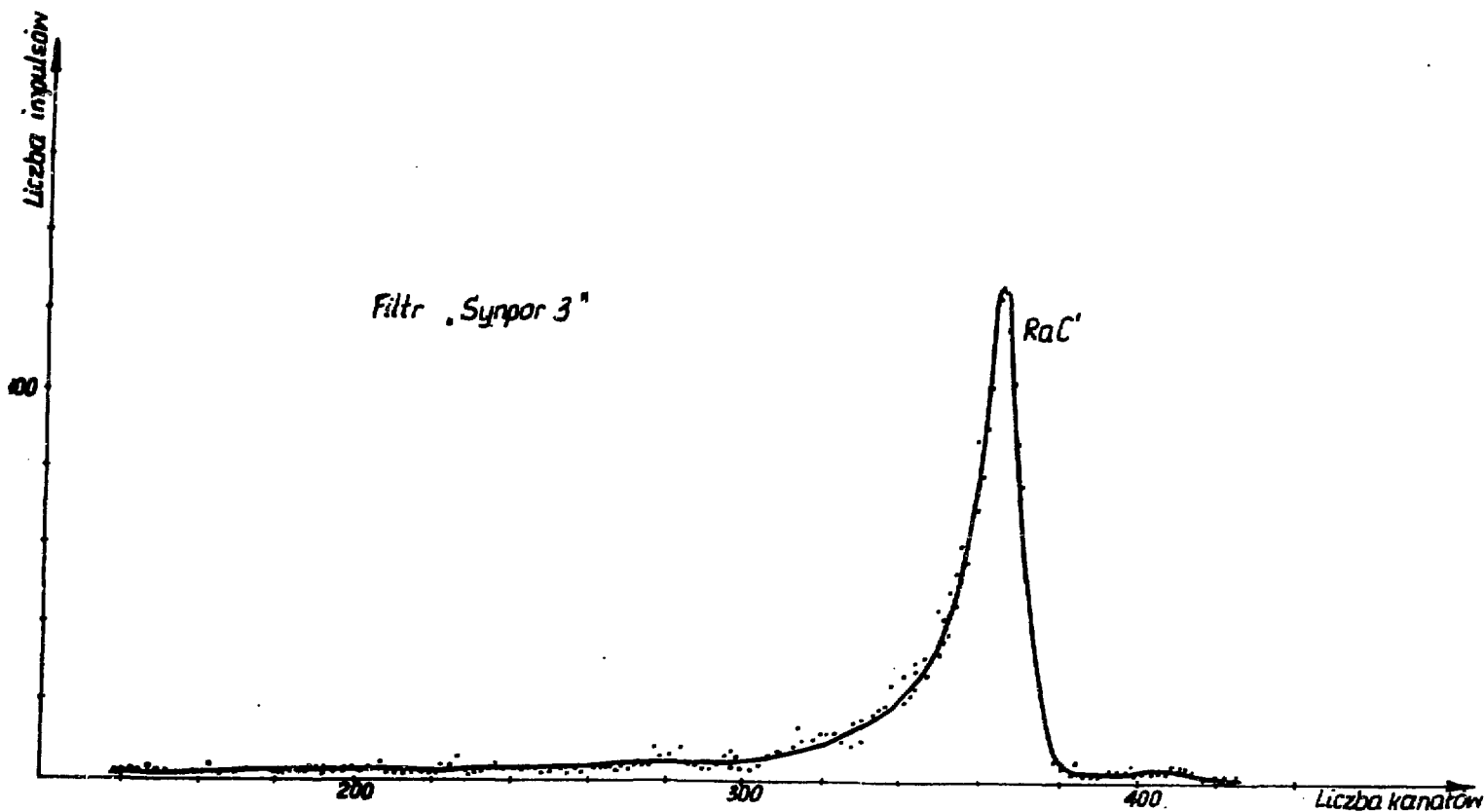
Autorzy dziękują st.technikom CLOR: T.Olkowskiej oraz S.Szymańskiemu za pomoc przy pracach związanych z uruchomieniem urządzenia oraz pomiarami stężenia Rn-222.

LITERATURA

1. Thomas J.W. and Le Clare P.C.: A Study of the Two-Filter Method for ^{222}Rn . Health Physics, 18, p. 113, /1970/.
2. Chapis A.: Mésures de la Concentration du Radon et de la Granulométrie des Ions Radioactifs dans une Mine d'Uranium.
3. Zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej oraz Pełnomocnika Rządu do Spraw Wykorzystania Energii Jądrowej z dnia 15 grudnia 1969 r. w sprawie największych dopuszczalnych dawek promieniowania jonizującego oraz innych wskaźników z zakresu ochrony przed promieniowaniem. /Mon. Pol. nr 1 z dn. 13.1.1970 r. poz. 7/.



Rys.1. Schemat urządzenia do ciągłego pomiaru stężenia Rn-222 w powietrzu.



Rys. 2. Widmo promieniowania RaC' pobranego z powietrza atmosferycznego, zmierzone spektrometrem półprzewodnikowym.