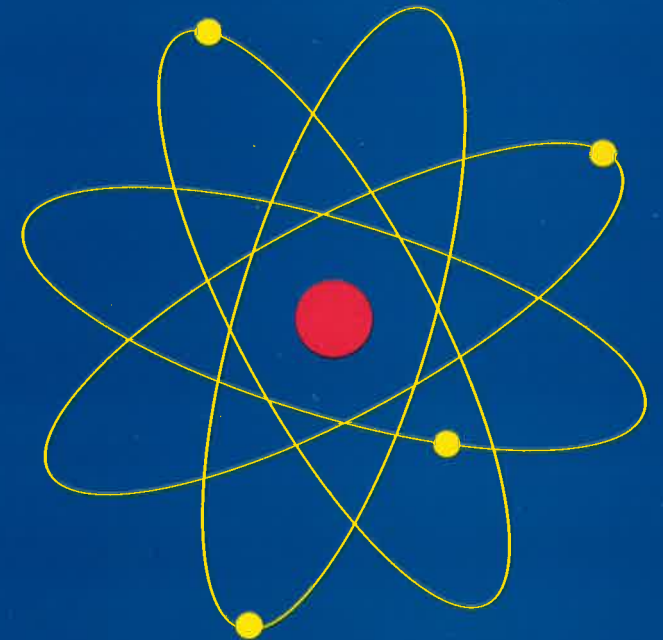


*BEZPIECZEŃSTWO  
JĄDROWE*

*i*

*OCHRONA  
RADIOLOGICZNA*



PAŃSTWOWA AGENCJA ATOMISTYKI

# BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE i OCHRONA RADIOLOGICZNA

---

BIULETYN INFORMACYJNY PAŃSTWOWEJ AGENCJI ATOMISTYKI

Wydawca  
PAŃSTWOWA AGENCJA ATOMISTYKI

Redakcja: 00-921 Warszawa, ul. Krucza 36  
tel. 29 85 93, 695 98 22  
fax 29 01 64

Redaktor Naczelny  
LESZEK MŁYNARCZYK

Przewodniczący Rady Programowej  
WITOLD ŁADA

Wydanie publikacji dofinansowane przez Komitet Badań Naukowych

ISSN 0867-4752

Druk: WEMA

Nr 23 – 1995  
Warszawa

## SPIS TREŚCI

Od Redakcji .....	2
Tadeusz Niewiadomski, Michał Waligórski Radon jako społeczny problem zdrowotny .....	3
Jolanta Lebecka Radon w kopalniach .....	21
Karol Muras Górnictwo uranowe w Polsce w latach 1948 – 63. Problem zagrożeń dla ludzi i środowiska naturalnego .....	41

Szanowni Państwo,

Kolejny numer naszego pisma w całości poświęcamy omówieniu problemów związanych z tzw. zagrożeniem radonowym.

Występowanie radonu w przyrodzie jest związane z rozpadem U-238 i Th-232. Zjawisko to ma charakter całkowicie naturalny i na jego występowanie nie mamy wpływu.

Mechanizm migracji radonu w środowisku, a także medyczne skutki oddziaływania radonu na organizm ludzki są przedmiotem badań wielu ośrodków naukowo-badawczych na całym świecie. W ich wyniku zostały dobrze rozpoznane zarówno mechanizm i skutki biologicznego oddziaływania radonu i jego pochodnych na organizm człowieka, jak również czynniki i uwarunkowania środowiskowe, decydujące o możliwości wystąpienia i skali ewentualnego zagrożenia radonowego.

Znajomość problematyki radonowej ogranicza się, jak dotychczas, do dość wąskiego grona specjalistów. Natomiast w szerszych kręgach społeczeństwa wiedza o potencjalnych i rzeczywistych zagrożeniach od radonu, jak również wiedza o metodach i środkach przeciwdziałania tym zagrożeniom lub minimalizacji skutków na działanie radonu jest bardzo ograniczona.

Uznaliśmy więc za celowe możliwie szerokie przedstawienie naszym czytelnikom tej problematyki.

Główny Inspektor Dozoru Jądrowego

Tadeusz Niewiadomski, Michał Waligórski

## 1. WSTĘP

Już w XV wieku zauważono wysoką śmiertelność wśród górników pracujących pod ziemią, a w wieku XIX zidentyfikowano raka płuc jako jedną z głównych jej przyczyn. W latach dwudziestych naszego wieku postawiono tezę, że choroba jest spowodowana wdychaniem radonu, którego wysokie stężenie stwierdzono w kopalniach. W latach siedemdziesiątych wykazano, że radon gromadzi się w podwyższonych stężeniach wewnątrz budynków mieszkalnych, powodując pochłonięcie stosunkowo dużych dawek przez ludzi w nich mieszkających i co za tym idzie, może być powodem pewnej liczby przypadków raka płuc. Rozpoczęto więc badania stężenia radonu w domach i zainicjowano działania dla obniżenia jego szkodliwego wpływu na zdrowie człowieka. Dziś działania takie są prowadzone we wszystkich rozwiniętych krajach świata.

Problemy związane z działalnością „antyradonową” są dotychczas mało znane w Polsce. Artykuł poniższy ma na celu przybliżenie ich polskiemu czytelnikowi. Przedstawiono w nim właściwości radonu, jego działanie biologiczne, występowanie w świecie i w kraju, działalność zaradczą prowadzoną w różnych krajach oraz sugestie działań, jakie powinny zostać podjęte w Polsce w związku z zagrożeniem radonowym.

Sugestie te mają charakter subiektywny i przedstawiają poglądy autorów, którzy nie czują się wystarczająco kompetentni we wszystkich omawianych zagadnieniach. O ile w obszarze fizyki radonu i technik pomiarowych kompetencje te można uznać za zadowalające, to na pewno nie są one dostateczne w sprawach legislacyjnych i organizacyjnych. Przedstawione na ten temat poglądy i sugestie działań należy traktować więc jako zachętę do dyskusji specjalistów z odpowiednich dziedzin, a nie jako wytyczne lub zalecenia do przyjęcia w skali krajowej.

## 2. RADON, JEGO ŹRÓDŁA I WŁAŚCIWOŚCI

### Radon

Uran-238 i tor-232, występujące na Ziemi we wszystkich minerałach i glebach, tworzą szeregi promieniotwórcze, w których jednym z ogniw jest promieniotwórczy gaz radon występujący w postaci dwu izotopów  $^{222}\text{Rn}$  i  $^{220}\text{Rn}$  powstałych po rozpadzie radu. Po rozpadzie obu tych izotopów powstają kolejne radionuklidy, będące źródłem największych dawek dla przeciętnego mieszkańca Ziemi.

Radon jest gazem, ma więc zdolność przemieszczania się w środowisku, w którym powstał i emanacji do powietrza atmosferycznego. Okres półrozpadu radonu-222 wynosi 3,8 dnia, a radonu-220 zaledwie 58 sekund. Ten ostatni może przemieszczać się w czasie swego istnienia na niewielkie odległości, więc stopień jego emanacji jest niewielki, a dawki jakie powoduje są znacznie niższe niż od radonu-222.

Radon na terenach otwartych wydobywa się z podłoża do powietrza atmosferycznego w stopniu zależnym od ilości radu w glebie, od rodzaju i stanu górnej warstwy gleby (skład, struktura, porowatość, wilgotność) i od warunków pogodowych (ciśnienie, wiatr, pokrywa śnieżna, zlodowacenie). Stężenie radonu w dolnych warstwach powietrza atmosferycznego na otwartym terenie zmienia się w szerokich granicach w zależności od miejsca na Ziemi i czasu.

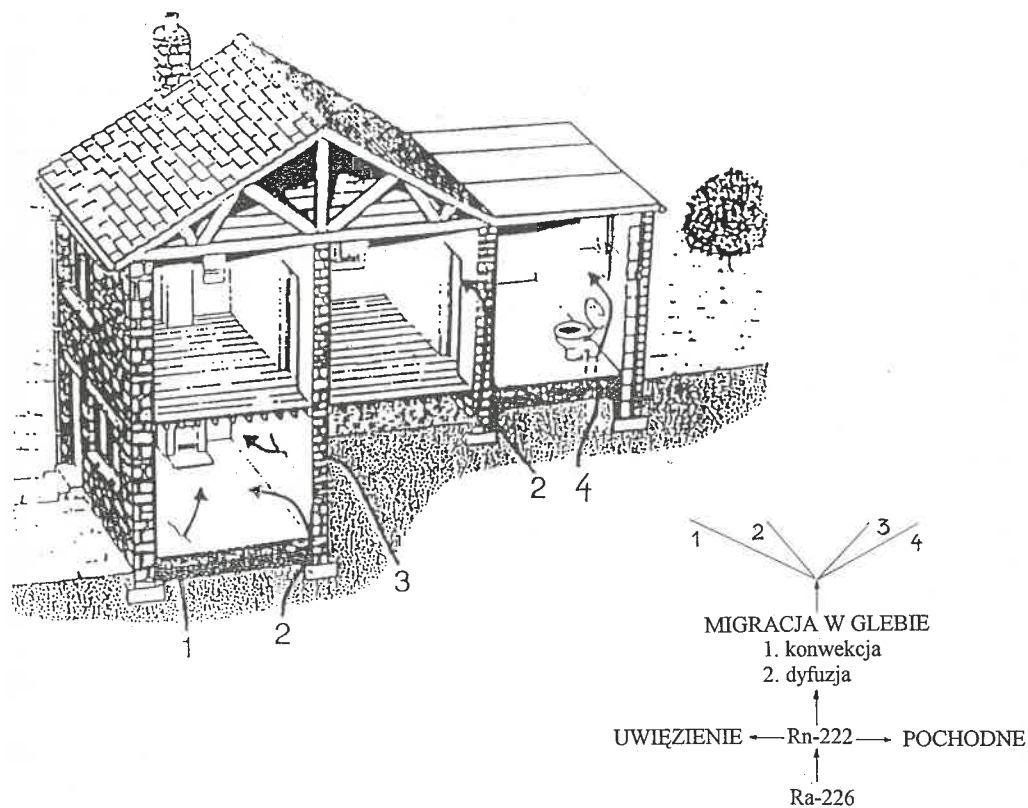
Wewnątrz budynków powstaje podciśnienie wysysające powietrze z podłoża i przemieszczające je z dolnych części budynku do górnych.

**W budynkach proces naturalnej emanacji jest potęgowany „efektem kominowym”.**

Ilość radonu wyciąganego z powietrzem zależy nie tylko od jego stężenia w powietrzu zawartym w glebie i jej cech, ale również od konstrukcji budynku, a przede wszystkim od

stanu elementów budowlanych odgraniczających budynek od podłoża, na którym jest posadowiony. Wysysanie jest najbardziej wydajne w przypadku braku litej płyty betonowej pod budynkiem. Gdy płyta taka istnieje, to wysysanie zachodzi głównie poprzez szczeliny, pęknięcia i inne nieszczelności w tej płycie np. w miejscach wejść rur i przewodów rozmaitych instalacji. Pokazano to przykładowo na rys. 1.

Oprócz podłoża źródłem radonu w budynkach są materiały budowlane, ale ich wpływ jest znacznie mniejszy niż podłoża i uwiadczenia się zazwyczaj dopiero na wyższych piętrach, gdzie radon dociera z podłoża w stanie znacznie rozrzedzonym. Ponieważ stopień emanacji radonu ze ścian jest niższy niż z podłoża, radon w budynkach może stwarzać znaczące ryzyko radiacyjne, głównie na kondygnacjach przyziemnych.



Rys. 1. Drogi wnikania radonu z gleby do wnętrza domu

1 – pęknięcia i szczeliny podłoża, 2 – luki i szpary konstrukcyjne budynku, 3 – pęknięcia w ścianach (kontakt z glebą), 4 – nieszczelności wokół rur kanalizacyjnych

Istnieją dwa dalsze potencjalne źródła radonu w domach. Są to: woda z ujęć lokalnych (studnie gruntowe lub głębinowe) i gaz ziemny. Obecność radonu w tych mediach może być spowodowana wysokimi stężeniami radonu w gruncie i jego wnikaniem z tymi mediami do domu. Jednakże nawet w USA, gdzie woda z ujęć lokalnych jest często używana, nie jest ona znaczącym źródłem radonu w powietrzu mieszkań (tabela 1). Odnosi się to również do radonu wydzielanego z gazu ziemnego.

Poza budynkami radon w wysokich stężeniach występuje również w podziemnych kopalniach, jaskiniach, tunelach, komorach leczniczych w uzdrowiskach i w zakładach dostarczających wodę z ujęć podziemnych.

Stężenie radonu w powietrzu wyraża się w jednostkach Bq/m<sup>3</sup>.

Tabela 1. Przybliżony wkład różnych źródeł do stężenia radonu w budynkach [Bq/m<sup>3</sup>] przy założeniu wymiany powietrza 0,5 na godzinę (przykład USA)

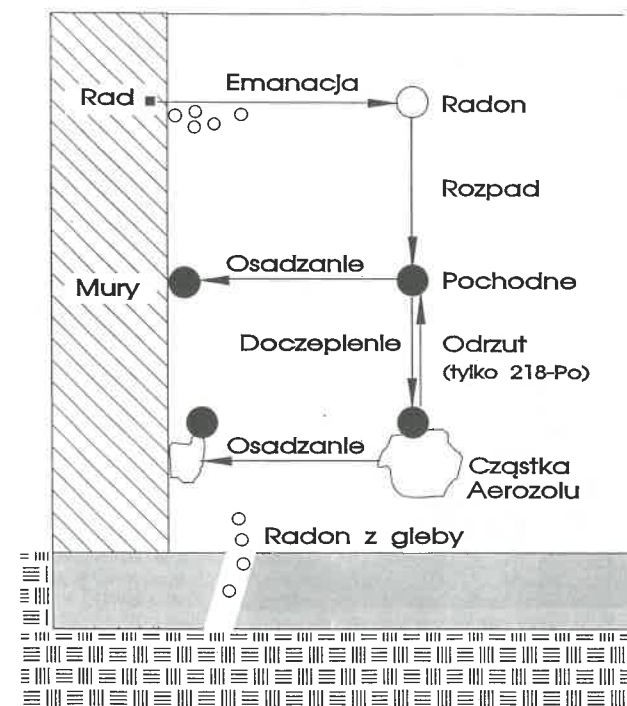
Źródło	Dom jedno-rodzinny	Dom wielo-rodzinny
Podłoże	50	> 0
Woda wodociągowa	0,4	0,4
Materiały budowlane	2	4
Powietrze zewnętrzne	10	10
Obserwowane stężenie wewnątrz	55	12

### Produkty rozpadu radonu

Po rozpadzie obu izotopów radonu powstają kolejno 4 krótkożyciowe, również promieniotwórcze pochodne, będące w przeciwieństwie do radonu ciałami stałymi. W terenie otwartym stężenie każdej z pochodnych jest na ogół takie samo jak radonu, natomiast w budynkach równowaga ta jest prawie zawsze zakłócona.

Pochodne, jako ciała stałe, mają zdolność przyczepiania się do pyłów, cząstek dymu, drobin pary wodnej, a w szczególności do ścian budynków. Są również usuwane z powietrzem z pomieszczeń w trakcie naturalnej lub wymuszonej wentylacji. Procesy te (pokazane na rys. 2) powodują stan, który jest nazywany brakiem równowagi radioaktywnej między radonem a pochodnymi, natomiast jej stopień określa się za pomocą tzw. współczynnika równowagi.

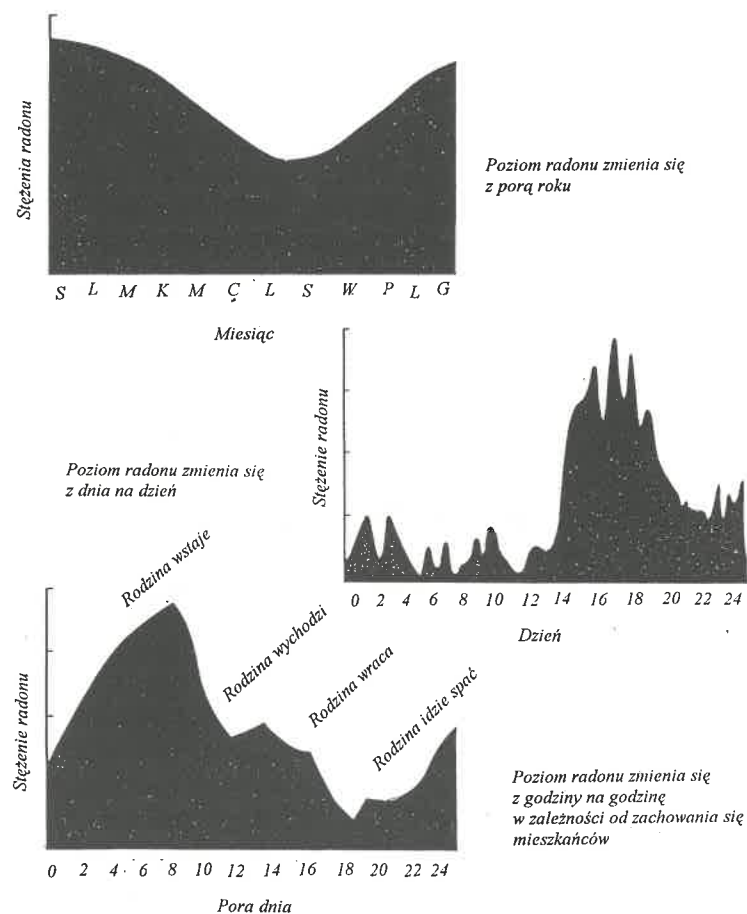
Dwie krótkożyciowe pochodne radonu rozpadają się poprzez emisję beta, a dwie emitują cząstki alfa. Cząstki alfa są główną przyczyną skutków biologicznych, dlatego poświęca się im więcej uwagi, wprowadzając wielkości pozwalające zdefiniować i wyrazić ryzyko. Całkowita energia cząstek alfa, wydzielana w określonej objętości powietrza, nazywa się stężeniem energii potencjalnej alfa, które wyrażane jest w J/m<sup>3</sup>. (dżul na m<sup>3</sup>). Jeśli człowiek oddycha przez pewien okres powietrzem z pochodnymi radonu otrzymuje ekspozycję będącą iloczynem czasu i średniej energii potencjalnej (J h/m<sup>3</sup>).



Rys. 2. Losy pochodnych radonu wewnątrz budynku

Rozmiary skutków biologicznych są proporcjonalne do ekspozycji.

Liczne czynniki i warunki wpływają na stężenie radonu i jego pochodnych w budynkach, nic więc dziwnego, że stężenia te są nie tylko wyższe, ale i bardziej zróżnicowane niż na wolnej przestrzeni. Zazwyczaj najpoważniejszą przyczyną zmian stężenia radonu w budynkach jest stopień wentylacji. Każde otwarcie drzwi, czy okien – nawet na krótki czas – obniża stężenie radionuklidów, częstokroć radykalnie. Z tego powodu, w naszych warunkach klimatycznych, stężenie ich w zimie jest ok. dwukrotnie wyższe niż w lecie, kiedy okna są częściej otwarte. Na rys. 3 przedstawiono typowe przebiegi zmian stężenia radonu w ciągu roku i dnia.



Rys. 3. Czasowe zmiany stężenia radonu w mieszkaniach w zależności od pory roku, dnia i zachowania się mieszkańców

### 3. BIOLOGICZNE SKUTKI WDYCHANIA POCHODNYCH RADONU

#### Podstawy eksperymentalne

Wszechstronne studia populacji górniczej wykazały wzrost „nadliczbowych” przypadków raka płuc ze wzrostem ekspozycji na pochodne radonu (tabela 2). Wyniki badań ogółu ludzi nie są już tak jednoznaczne. Jedne potwierdzają korelację liczby zgonów na raka płuc z ilością wchłoniętego radonu (pochodnych) drugie nie. Poważne studium, które potwierdziło tę korelację, opracowano w Szwecji. Jego wyniki opublikowane w roku 1993 wykazują, że ludzie narażeni w sposób ciągły na radon w stężeniach ponad 400 Bq/m<sup>3</sup> cho-

Tabela 2. Wyniki badań częstości zgonów na raka płuc grup górników ekspozowanych na radon

Górnicy kopalni	Średnia ekspozycja J h/m <sup>3</sup>	Spodziewana liczba zgonów*	Obserwowana liczba zgonów
Colorado, USA	1,8	49	157
Nowy Meksyk, USA	0,4	17	68
Ontario, Kanada	0,13	58	87
Beaverlodge, Kanada	0,15	29	65
Czechy	0,8	122	574
Francja	0,24	21	45
Malmberger, Szwecja	0,34	15	51

\* bez narażenia na radon

rowali prawie dwukrotnie częściej na nowotwory płuc niż reszta populacji mieszkająca w warunkach względnie „normalnych”.

Analizując wszystkie badania populacji górników oraz niektóre badania ogółu ludzi zauważono, że palenie tytoniu potęguje działanie rakotwórcze pochodnych radonu. Wiadomo, że samo palenie jest czynnością zwiększającą poważnie prawdopodobieństwo zachorowania na raka płuc, jednakże w przypadku równoczesnego działania produktów spalania tytoniu i ekspozycji na pochodne radonu skutki zdrowotne są wyższe niż wynikałoby to z prostego sumowania się obu przyczyn. Takie współdziałanie nazywa się **efektem synergistycznym**. Badania szwedzkie wykazały, że w przypadku jednakowych ekspozycji na radon ryzyko raka płuc osób, które nigdy nie paliły było czterokrotnie niższe niż dla ogółu populacji i dziesięciokrotnie niższe niż ryzyko palących jedną paczkę papierosów dziennie.

#### Mechanizm biologicznego działania

W czasie oddychania powietrze wraz z radonem i produktami jego rozpadu jest zasysane przez usta lub nos do płuc.

**Radon jest wydalany, natomiast produkty jego rozpadu są zatrzymywane ze stu-procentową wydajnością na śluźce nabłonka dróg oddechowych.**

Szczególne znaczenie biologiczne mają izotopy polonu <sup>218</sup>Po i <sup>214</sup>Po rozpadające się przez emisję cząstek alfa. Cząstki te odznacza-

ją się wysoką skutecznością biologiczną, dwudziestokrotnie wyższą niż promieniowanie gamma, rentgenowskie i cząstki beta. Dziś uważa się, że cząstki alfa ze szczególną wydajnością powodują uszkodzenia łańcuchów kwasu dezoksyrybonukleinowego (DNA), w których zawarta jest informacja genetyczna każdej komórki. Uszkodzenia, nie usunięte przez liczne i bardzo skuteczne mechanizmy obronne organizmu, mogą po ok. 20 – 30 latach ujawnić się jako rak płuc.

#### Życiowe ryzyko raka płuc

Ryzyko występujące po chronicznej ekspozycji na pochodne radonu oszacowano po długotrwałych badaniach. Ryzyko to lub prawdopodobieństwo podawane jest w liczbach zachorowań na jednostkę ekspozycji skumulowanej w ciągu życia. Oszacowana ostatnio wartość życiowego prawdopodobieństwa zgonu dla osób ze społeczności złożonej z palących i nie palących wynosi:

$$8 \cdot 10^{-5} \text{ na mJ h/m}^3$$

Oznacza to, że z miliona osób, z których każda otrzymała w swym życiu ekspozycję 1 mJ h/m<sup>3</sup> hipotetycznie umrze na raka płuc 80 osób więcej niż w grupie bez takiej ekspozycji. Ekspozycja 1 mJ h/m<sup>3</sup> jest wynikiem oddychania przez 70 lat powietrzem o stężeniu gazowego radonu 1 Bq/m<sup>3</sup>. Przy realnych stężeniach w budynkach np. ok. 40 Bq/m<sup>3</sup> skumulowana ekspozycja wynosi (z uwzględ-

nieniem przebywania 30% czasu poza budynkami) 33 mJ h/m<sup>3</sup>, a życiowe prawdopodobieństwo przedwczesnego zgonu ok. 0,0026. Przy stężeniach przekraczających 200 Bq/m<sup>3</sup> ryzyko wzrasta do 0,017. Ponieważ „naturalne” prawdopodobieństwo zgonu na raka płuc wynosi 5%, to na obszarach gdzie stężenie radonu jest przeciętne, co dwudziesty zgon na raka płuc może być spowodowany radonem, a na terenach gdzie przekracza ono 200 Bq/m<sup>3</sup> – już co trzeci.

Dotychczasowa doktryna przyjęta w ochronie przed promieniowaniem zakłada bezprogową, liniową zależność skutków od dawki (dwa razy większa dawka powoduje dwa razy wyższą liczbę zachorowań). Trzeba tu jednakże wspomnieć, że doktryna liniowej zależności jest poważnie krytykowana z różnych pozycji. Krytyka ta opiera się m.in. na wynikach prac, w których stwierdzono dobroczynne działanie małych dawek promieniowania czyli tzw. **hormezę**. W obecnym opracowaniu nie uwzględniono istnienia hormezy, która nie jest uznana przez oficjalne organizacje międzynarodowe.

#### 4. POZIOMY RADONU W RÓŻNYCH KRAJACH

Badania stężeń radonu w budynkach mieszkalnych przeprowadzono w wielu krajach. Wyniki niektórych z nich przedstawiono w **tabeli 3**. Regułą jest, że rozkład statystyczny stężeń w domach ma charakter logarytmiczno-normalny, tzn. że istnieje znacząca liczba domów, w których stężenia są wielokrotnie wyższe od średniej. Najwyższe średnie stężenia znaleziono w Szwecji (122 Bq/m<sup>3</sup>), we Francji (100 Bq/m<sup>3</sup>) i w Finlandii (90 Bq/m<sup>3</sup>).

W USA stwierdzono stężenie wyższe niż 150 Bq/m<sup>3</sup> w 6% domów, a wyższe niż 370 Bq/m<sup>3</sup> w 0,65%. We wschodniej Pensylwanii 50% mieszkań ma radon o stężeniu wyższym niż 170 Bq/m<sup>3</sup>, a w New Jersey w okolicy Clinton w 50% mieszkań (ze zbadanych ok. 160) stężenie przekracza 3000 Bq/m<sup>3</sup>. W Szwecji oceniono, że w ok. 10% mieszkań występuje stężenie większe od 270 Bq/m<sup>3</sup>, a w 2% przekracza ono 800 Bq/m<sup>3</sup>. W Finlandii oszacowano, że w ok. 4% domów jest przekroczone 400 Bq/m<sup>3</sup>, a w 1,4% 800 Bq/m<sup>3</sup>. W Norwegii

stężenie 200 Bq/m<sup>3</sup> znaleziono w 3,7% domów, a w Danii w 2%. W Niemczech w 0,2% domów radon przekracza 500 Bq/m<sup>3</sup>. We Włoszech na terenie wulkanicznym Alto Lazio w pobliżu Rzymu w więcej niż 50% domów stężenie radonu przekracza 200 Bq/m<sup>3</sup>, a w Wielkiej Brytanii na terenach Zachodniej Kornwalii i Devon istnieją duże obszary, na których w podobnym procencie domów stężenie jest wyższe od 400 Bq/m<sup>3</sup>.

W Polsce badania stężenia radonu w mieszkaniach były dotychczas prowadzone na ograniczoną skalę. Zespół specjalistów z Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej przeprowadził w latach osiemdziesiątych cykl pomiarów w czterech porach roku, w siedmiu województwach, w ponad 450. mieszkaniach, badając zależność stężeń od pory roku i rodzaju materiałów budowlanych. W badaniach tych stwierdzono, iż średnia arytmetyczna stężeń wynosiła 50 Bq/m<sup>3</sup> oraz, że w miesiącach letnich stężenie jest najniższe a jesienią najwyższe przy czym współczynnik przewyższenia jesień/lato wyniósł średnio 2,5.

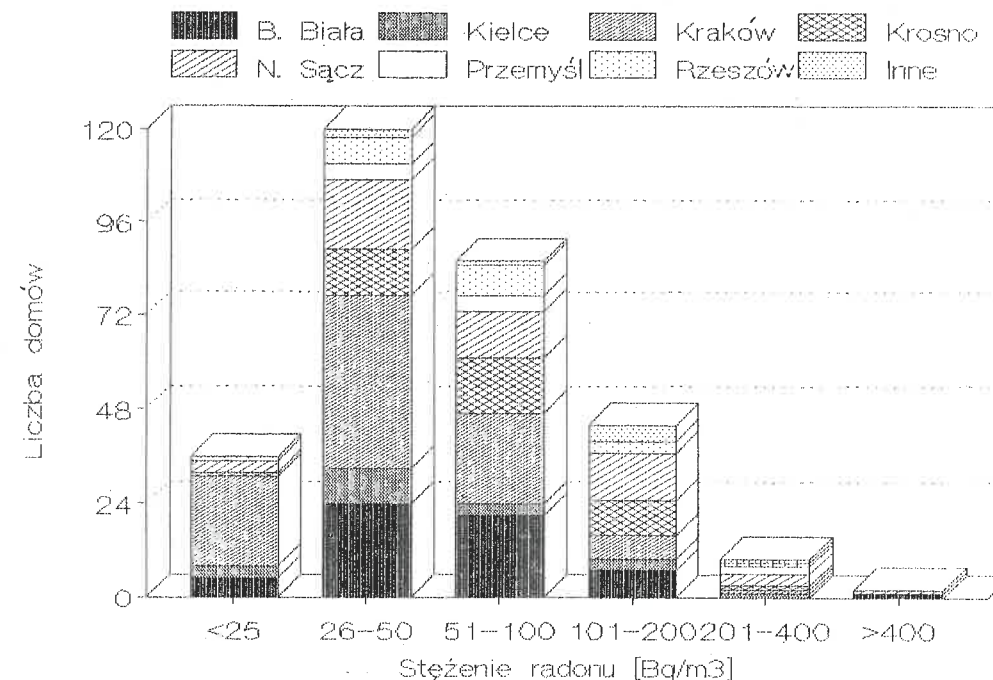
Stwierdzono również, że głównym źródłem radonu jest podłoga a nie materiały budowlane a największe prawdopodobieństwo znalezienia mieszkań o wysokich stężeniach istnieje w województwach jeleniogórskim i wałbrzyskim. W jeleniogórskim poziom radonu przekraczający w skali roku 200 Bq/m<sup>3</sup> znaleziono w ok. 8% mieszkań.

W Instytucie Fizyki Jądrowej wykonano w latach 1991 – 1993 badania w ok. 300 mieszkaniach dziesięciu województw południowo-wschodniej Polski. Badania, których zbiorcze wyniki przedstawiono na **rys. 4**, wykazały, że średnia arytmetyczna stężeń radonu wynosi: na całym obszarze objętym pomiarami 75 Bq/m<sup>3</sup>; na terenie Krakowa 50 Bq/m<sup>3</sup>, zaś w nowosądeckim 92 Bq/m<sup>3</sup>. W badaniach tych oszacowano również, że w 5% badanych mieszkań stężenie radonu przekracza 200 Bq/m<sup>3</sup> i że największe prawdopodobieństwo takich stężeń występuje na terenach górzystych.

Tabela 3. Średnioroczne stężenia radonu; wyniki otrzymane w różnych krajach (stężenia gazowego radonu)

Kraj	Domów	Średnia [Bq/m <sup>3</sup> ]	Rozrzut [%]
USA	817	55	2,8
Kanada	9999	42	2,7
Szwecja	500	122	2,0
Dania	348	68	2,0
Finlandia	4500	90	4,0
Finlandia*	860	35	–
Norwegia	720	52	–
Niemcy	6000	49	1,8
Holandia	1000	45	1,6
Francja	1552	100	2,6
Wielka Brytania	2000	25	2,6
Irlandia	1036	58	2,0

\* z wyłączeniem parteru



Rys. 4. Częstość występowania stężeń radonu w mieszkaniach w województwach południowo-wschodniej Polski

## 5. METODY POMIARU STĘŻEŃ RADONU I POCHODNYCH

Ze względu na bardzo niskie stężenie radonu i pochodnych w powietrzu (jest ono rzędu 1 atom na ok.  $10^{18}$  atomów gazów powietrza) jego pomiary oparte są na detekcji promieniowania związanego z rozpadem poszczególnych radionuklidów. Promieniowanie powoduje akty jonizacji w detektorze, a pomiar polega na wykryciu i zarejestrowaniu tej jonizacji lub jej następstw, takich jak scyntylacje, przepływy prądu, trwałe lub meta-trwałe naruszenie struktury przenikanej materii.

Pomimo tej jednorodności podstaw detekcji, praktyczne techniki pomiarowe przybierają bardzo zróżnicowane formy, zależne od konkretnych potrzeb. Podstawowe cechy technik to czułość i czas potrzebny na wykonanie pomiaru (możliwość całkowania w krótszych lub dłuższych okresach czasu) oraz pasywność lub aktywność (tzn. czy zastosowany detektor lub przyrząd może pracować bez zasilania i obsługi czy też ich wymaga). Jedne z technik są przeznaczone do pomiarów stężenia radonu, inne zaś umożliwiają pomiar pochodnych. Jedne stosuje się w pomiarach „krótkotrwałych”, w których pobiera się próbkę powietrza, inne zaś w pomiarach ciągłych, bardziej odpowiadających warunkom rzeczywistej ekspozycji ludzi. Niektóre z technik wymagają w miejscu pomiaru rozbudowanej aparatury, podczas gdy inne polegają na umieszczeniu tam niewielkiego detektora. Na koniec niektóre techniki są tanie i łatwe w użyciu (tzw. techniki pasywne), a więc mogą być używane przez nie przeszkolonych ludzi po przeczytaniu przez nich prostej instrukcji (przygotowanie przyrządu i odczyt odbywa się w odpowiednim laboratorium), inne zaś mogą być stosowane tylko w badaniach i eksperymentach prowadzonych przez specjalistów.

Wynik pomiarów chwilowych (a do takich można zaliczać nawet pomiary trwające kilka miesięcy), ze względu na znaczną zmienność stężeń w czasie, nie jest wiarygodną miarą średniej mocy ekspozycji w domu, natomiast wynik taki jest wskaźnikiem czy można tam spodziewać się dużych stężeń. Wygoda stosowania, niski koszt i inne zalety metod krótko-

trwałych leżą u podstaw ich powodzenia w pomiarach przesiewowych (zwanymi „screening”), umożliwiających szybkie znalezienie mieszkań o podwyższonych stężeniach radonu.

**Choć skutki zdrowotne są spowodowane przez wdychanie pochodnych radonu, najczęściej wykonuje się pomiary stężeń radonu a nie pochodnych,**

ponieważ:

- pomiary radonu są stosunkowo proste i znacznie mniej kosztowne niż pomiary pochodnych,
- średni współczynnik równowagi  $F$  w mieszkaniach w naszych warunkach klimatycznych jest zmienny w stosunkowo wąskich granicach (0,3 – 0,5), więc niepewności wynikłe z jego zmian nie są duże.

Prawie zawsze mierzy się tylko stężenie  $^{222}\text{Rn}$  ze względu na to, że wnosi on zasadniczy wkład do dawek na płuca. Toron mierzony jest tylko w niektórych specjalistycznych badaniach o charakterze poznawczym.

W praktyce stosuje się w mieszkaniach najczęściej pomiar stężenia radonu dwiema metodami, przy czym obie są pasywne: krótkotrwałego screeningu w wielu domach i kilkumiesięcznych pomiarów w wybranych miejscach, gdzie zachodzi potrzeba potwierdzenia wysokich wyników screeningu. Pomiary krótkotrwałe wykonuje się zazwyczaj metodą niewielkich pojemników z węglem aktywnym, umieszczanych w miejscu pomiaru na kilka dni i poddawanych następnie w laboratorium pomiarom metodą spektrometrii gamma. Ostatnio często stosuje się w tym celu detektory elektretowe, w których, dzięki wzbudzonemu w teflonie polu elektrostatycznemu, pochodne są „wylapywane”, powodując zmiany tego pola, łatwe do zmierzenia.

Pomiary sprawdzające, kilkumiesięczne wykonuje się najczęściej detektorami śladowymi albo małogabarytowymi, umieszczonymi w kubkach dyfuzyjnych albo wielkopowierzchniowymi, eksponowanymi bez osłon. Detektory śladowe obu typów trawi się chemicznie po ekspozycji w celu uwidocznienia śladów jakie pozostawiły na swej drodze cząstki alfa, zlicza się ich gęstość pod mikroskopem opty-

cznie lub metodą komputerowej analizy śladów lub, w przypadku detektorów wielkogabarytowych, metodą elektroiskrową.

Ostatnio zaczyna się stosować skomplikowane urządzenia elektroniczne z różnego typu detektorami (scyntylicyjnymi, półprzewodnikowymi, jonizacyjnymi), które są zwykle przeznaczone do pomiarów krótkotrwałych, umożliwiających badania screeningowe i specjalistyczne.

**Prawie wszystkie te metody dają wyniki względne, wymagające kalibracji** wykonywanej w odpowiednio wyposażonych laboratoriach, w komorach kalibracyjnych w których stwarza się dobrze określone, powtarzalne i kontrolowane warunki ekspozycji. W najprostszymi komorach wytwarza się znane stężenie radonu, a w komorach przeznaczonych do kalibracji przyrządów mierzających stężenie pochodnych, oprócz radonu wprowadza się aerozole, na których osadzają się pochodne. Urządzenia takie używane są w wielu krajach, a w Polsce są w użyciu w Instytucie Medycyny Pracy w Łodzi, w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej w Warszawie, w Głównym Instytucie Górniczym w Katowicach i Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie.

**Dokładność pomiarów wykonywanych przez poszczególne laboratoria jest sprawdzana poprzez pomiary porównawcze zwane „intercomparisons”.**

Są one organizowane przez laboratoria o renomie międzynarodowej i polegają na przesłaniu przez jednostki uczestniczące przyrządów pomiarowych do organizatora, u którego są eksponowane dawką nieznaną uczestnikom, a ci – po ekspozycji – określają jej wartość. Uczestnictwo w takich eksperymentach poprawia dokładność pomiarów w poszczególnych laboratoriach i ujednocza wyniki, dzięki czemu mogą być one lepiej porównywalne. W krajach, w których pomiary radonowe są wykonywane przez firmy prywatne, uczestnictwo w „intercomparisons” i dobre wyniki nobilitują uczestnika i są dla niego argumentem reklamowym i promocyjnym.

W Polsce eksperymentu porównawczego dotychczas jeszcze nie zorganizowano choć produjące laboratoria brały udział w porównaniach międzynarodowych. Jest rzeczą oczywistą, że z chwilą, kiedy badania i ekspertyzy radonowe staną się bardziej powszechne niż dziś, trzeba będzie zorganizować krajowy system kontrolujący poszczególne instytucje wykonujące badania.

## 6. STRATEGIA I METODY REDUKCJI STĘŻENIA RADONU

Obniżenie ryzyka radonowego poprzez identyfikację domów z wysokimi stężeniami radonu i redukcję tego stężenia jest trudne, skomplikowane, czasochłonne i kosztowne oraz wymaga działań prowadzonych przez osoby o różnorodnych specjalnościach na wielu płaszczyznach, w skomplikowanych układach organizacyjnych. Dlatego, aby osiągnąć ten cel jak najmniejszymi kosztami, w możliwie krótkim czasie, **niezbędne jest ustalenie rozsądnych norm oraz dobrze przemyślana i sprawnie działająca organizacja wiarygodnego monitoringu, działań zapobiegawczych i pomiarów kontrolnych.**

Wymaga to opracowania odpowiedniej strategii działania, obejmującej:

- wyznaczenie ostatecznych celów tej działalności;
- określenie struktury organizacyjnej i stworzenie zwartego systemu aktów prawnych określających zadania i obowiązki poszczególnych instytucji;
- przyjęcie odpowiednich wytycznych i norm;
- opracowanie technik i metod informowania społeczeństwa o zagadnieniach radonowych;
- ustalenie sposobów identyfikacji terenów i domów, gdzie z dużym prawdopodobieństwem można oczekiwać wysokich stężeń radonu;
- opracowanie metod przewidywania i technik zapobiegania wysokim stężeniom w nowo budowanych obiektach i redukcji radonu w domach już zbudowanych oraz ustalenie metod kontroli skuteczności ich działania;

– organizację infrastruktury specjalistycznych instytucji wykonujących pomiary i udzielających porad.

W realizacji tej strategii powinni ze sobą ściśle współpracować specjaliści różnych dziedzin nauki, urzędnicy administracji państwowej i samorządowej, konstruktorzy biur projektowych i budowlanych, wreszcie firmy i pracownie świadczące wykonywanie pomiarów, doradztwo i działania zaradcze na terenie całego kraju.

► **CEL.** Ostatecznym celem całokształtu działań jest obniżenie liczby zgonów na raka płuc głównie poprzez znalezienie obszarów i domów ze stężeniami przekraczającymi przyjętą normę i obniżenie tego stężenia szczególnie tam, gdzie jest ono wysokie.

► **ORGANIZACJA.** We wszystkich krajach, w których realizuje się programy radonowe ustalono, najczęściej poprzez ustawy parlamentarne, niezbędną do realizacji celu organizację władz, służb państwowych i innych instytucji biorących udział w programie oraz wprowadzono niższego rzędu akty prawne regulujące zasady ich działania, zakresy odpowiedzialności, zadania i obowiązki. A oto kilka przykładów działań ogólnopństwowych.

**W Wielkiej Brytanii,** w wyniku badań prowadzonych przez *National Radiation Protection Board (NRPB)*, który jest rządowym doradcą w sprawach radonowych i jest statutowo zobowiązany do takiego doradztwa również wobec organizacji pozarządowych oraz osób prywatnych, *Department of the Environment (DOE)* ustalił w 1990 roku wartość **poziomu działania** (wyjaśnienie tego pojęcia zob. niżej) na  $200 \text{ Bq/m}^3$ , a następnie uznał okręgi: Kornwalię i Devon za obszary wysokiego ryzyka. Działania te poprzedził wydany przez *DOE Building Regulation 1985 – Part C: Radon Interim Guidance on Construction of New Dwellings*. Inna organizacja, *The Building Research Establishment (BRE)*, prowadzi badania radonu w domach od 1987 r. *DOE* wydał w roku 1991 poradnik *The Householders Guide to Radon*. Wprowadzono zasadę, że wszystkie po-

miary muszą być wykonywane przez *NRPB* lub przez instytucję upoważnioną przez ten organ. Z chwilą, kiedy na niektórych terenach stwierdzono wysokie stężenia i kiedy niekompetentne firmy usiłowały wykonywać pomiary bez takiego upoważnienia, władze zostały zmuszone do energicznego przeciwdziałania tym praktykom, wywołującym niepokój społeczny, chaos i wprowadzającym wielu mieszkańców w błąd.

**W Szwecji** rząd rozpoczął rozeznanie zagadnienia radonu w domach w 1979 r., tworząc państwowy organ doradczy *Radon Committee\**. Na podstawie raportów tego komitetu rząd określił kompetencje i zakres odpowiedzialności władz centralnych i lokalnych w sprawach radonowych. Limity stężeń radonu w mieszkaniach podano w *Swedish Building Code* w zaleceniach *The National Board of Health and Welfare (NBHW)* i *The National Housing Board (NHB)*.

Ustalono następujące zakresy odpowiedzialności. *The Swedish Radiation Protection Institute (SRPI)* nadzoruje techniki pomiarowe i ocenę ryzyka. *NBHW* jest odpowiedzialny za ustalanie limitów dla istniejących domów, a *NHB* za limity w nowych domach. Te instytucje są zobowiązane również do opracowywania i dostarczania osobom prywatnym oraz władzom lokalnym informacji i porad na tematy radonowe, opartych na zaleceniach *SRPI*. Rząd, zgodnie z zaleceniami *Radon Committee* zdecydował w 1979 r. o możliwości udzielania pomocy finansowej tym osobom prywatnym, które mieszkając w warunkach wysokiego stężenia radonu pragną przebudować dom pod kątem zmniejszenia tego stężenia.

Władze lokalne są odpowiedzialne za wykonywanie pomiarów radonu w gruncie i klasyfikację gleb zgodnie z danymi przedstawionymi niżej. Wydają one również zgodę na budowę domów na terenach podwyższonego ryzyka radonowego, sugerując niezbędne środki dla jego zmniejszenia, biorąc pod uwagę wszystkie czynniki powodujące wysokie stężenia radonu, oraz zlecają wyko-

nianie pomiarów w domu po jego zbudowaniu. Na szczeblu lokalnym władze nadzorujące sprawy zdrowia i środowiska są zobowiązane do wykonywania bezpłatnych pomiarów w domach, gdzie istnieją przesłanki do występowania wysokich stężeń radonu. Wskaźnikiem do organizacji takich pomiarów jest określenie stężenia radonu w gruncie i informacja o użytych materiałach budowlanych. Program tej identyfikacji ma być skończony przed upływem 10 lat (informacja z 1990 r.).

Do końca roku 1992 wydano już 30 oficjalnych publikacji, broszur informacyjnych i innych materiałów opublikowanych przez różne instytucje centralne. Istnieje ok. 50 firm posiadających licencję na wykonywanie pomiarów radonu w domach. Stosowane przez te firmy przyrządy pomiarowe są standaryzowane w *SRPI*. Opracowano 9 metod pomiarowych dla oszacowania średniego stężenia radonu w domach. Dwanaście firm i piętnaście zarządów miejskich wykonuje pomiary radonu w gruncie.

**W Republice Federalnej Niemiec** nie ma jeszcze regulacji prawnych, które nakazywałyby właścicielowi domu obniżenie wysokich poziomów radonu. W przypadku znalezienia domów o bardzo wysokich stężeniach, powyżej  $1000 \text{ Bq/m}^3$  akcja taka była przeprowadzana w ramach „badań naukowych”, a więc bez odpłatności ze strony właściciela budynku, który tylko wyrażał na nią zgodę.

**W USA** Kongres uchwalił w roku 1988 jako długofalowy cel osiągnięcie w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej poziomu radonu takiego, jaki panuje na zewnątrz. Głównymi wykonawcami tego programu są: *US Department of Energy* (głównie poprzez *Environmental Protection Agency, EPA*), *Office of Energy Research* oraz *Office of Health and Environmental Research*. *Environmental Measurement Laboratory (EML)* opracowuje metody, prowadzi standardowe pomiary i, w ramach tzw. *Quality Assurance Programme*, zapewnia odpowiednią jakość pomiarów prowadzonych przez różne firmy. Wydano szereg aktów prawnych opierając się na zale-

ceiach *Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej (ICRP)* i *Międzynarodowej Organizacji Zdrowia (WHO)*, uwzględniających poziomy radonu w podłożu, stwierdzone w dotychczasowych badaniach przeprowadzonych na dużą skalę.

**W Polsce** nie podjęto dotychczas szerszych działań dla redukcji radonu, z wyjątkiem kilku programów badawczych o ograniczonej wartości dla osiągnięcia głównego celu, oraz wspomnianego niższego punktu w zarządzeniu Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki (PAA). Pierwszym koniecznym krokiem, który powinien być zrobiony **zanim społeczeństwo uświadomi sobie zdrowotne skutki wdychania pochodnych radonu**, jest ustalenie odpowiedzialności poszczególnych organów władzy oraz powołanie nowego organu doradczego rządu, grupującego specjalistów z Ministerstwa Zdrowia i Opieki Społecznej, Ministerstwa Zasobów Leśnych i Ochrony Środowiska, Ministerstwa Budownictwa oraz Państwowej Agencji Atomistyki.

Organ ten powinien rozpocząć pracę od przygotowania aktów prawnych dla rządu oraz na ich podstawie sformułować projekty wytycznych i zaleceń dla odpowiednich organów władzy państwowej i samorządowej, a także zlecić opracowanie poradników dla organizacji specjalistycznych i dla ogółu ludzi o sposobie przeprowadzania akcji zapobiegawczych, po czym stwierdzić ich poprawność. Akty te będą musiały przejść normalną drogę legislacyjną obowiązującą w naszym kraju.

Organ ten powinien również zalecić rządowi upoważnienie odpowiedniego laboratorium do opracowania standardowych metod pomiarowych do stosowania w kraju, wytypowania i ewentualnie sponsorowania produkcji odpowiedniej aparatury oraz wydanie zalecenia jej stosowania. Trzeba będzie również określić instytucję uprawnioną do udzielania licencji na prowadzenie odpowiednich pomiarów i odpowiedzialnej za zorganizowanie systemu zapewnienia ich jakości, przy zakazie wykonywania pomiarów i udzielania porad przez instytucje i osoby nie upoważnione.

\* Nazwy instytucji podano w brzmieniu angielskim.



Jest rzeczą oczywistą, że każdy etap działania będzie wymagał nakładów pieniężnych zarówno ze strony budżetu państwa, władz lokalnych, jak i osób prywatnych.

**Odpowiednie zorganizowanie programu radonowego w Polsce pozwoli na uniknięcie zbędnych wydatków na przypadkowe badania i propozycje badawcze**, które, jak to wykazała przeszłość, nie przybliżają osiągnięcia ostatecznego celu jakim jest obniżenie zachorowalności w kraju na raka płuc.

► **NORMY.** Celem wprowadzenia norm jest ograniczenie ryzyka od radonu do poziomu uznanego za akceptowalny przez specjalistów z uwzględnieniem realiów i możliwości ekonomicznych. Normy powinny dotyczyć:

- górnego poziomu stężenia radonu jaki jest dopuszczalny w domach mieszkalnych, szkołach, szpitalach, biurach i innych miejscach przebywania ludzi,
- „radono-odpornych” technik budowlanych.

**Ustalenie poziomów stężenia radonu**, którego przekroczenie zobowiązuje do stosowania środków zaradczych, jest podstawowym wymogiem. Zazwyczaj wyznacza się jeden lub dwa poziomy stężenia radonu: **poziom działania i poziom interwencji**.

**Poziom działania** (action level) to taka graniczna wartość stężenia radonu (uśredniona w okresie pełnego roku) w pomieszczeniach gdzie przebywają stale ludzie, której przekroczenie powoduje obowiązek podjęcia działań zaradczych. Zwykle ustala się inne normy dla domów istniejących niż dla nowo budowanych.

W istniejących domach redukcja stężenia radonu jest kosztowna szczególnie wówczas, gdy – w przypadku niskiej normy – należałoby ją zastosować w zbyt wielu domach. W nowo budowanych domach zapobieganie zagrożeniu radonowemu polega na wprowa-

dzeniu odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych, a jego koszty są mniej związane ze stopniem redukcji.

Według *Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej (ICRP)* dla domów istniejących:

*„Wybór poziomu działania jest skomplikowany, zależny nie tylko od poziomu ekspozycji ale również od spodziewanych rozmiarów akcji, która pociąga za sobą skutki ekonomiczne dla społeczeństwa i poszczególnych ludzi. Choć właścicielom będącym mieszkańcami można pozostawić decyzję czy podjąć akcję, wymagane są jednolite poziomy ustalone na skalę krajową. Najlepszym wyborem poziomu działania jest taki, który powoduje objęcie akcją zapobiegawczą znaczącą, ale realnie możliwą do objęcia, liczbę domów. Nie należy więc oczekiwać, że te same poziomy działania są właściwe dla wszystkich krajów.”*

Poziomy działania w domach istniejących w różnych krajach ustalono w granicach od 150 Bq/m<sup>3</sup> (USA) do 750 Bq/m<sup>3</sup> (Kanada), a dla przyszłych od 100 Bq/m<sup>3</sup> (Czechy) do 750 Bq/m<sup>3</sup> (Kanada). Akcja redukcji radonu nie jest zazwyczaj przymusowa, choć w niektórych krajach istnieją naciski administracyjne i możliwość uzyskania pomocy finansowej dla redukcji radonu.

**Najczęściej spotykaną wartością stężenia gazowego radonu dla poziomu działania jest 200 Bq/m<sup>3</sup> (co odpowiada ekwiwalentnemu stężeniu równowagi 100 Bq/m<sup>3</sup>)\*.**

Taką właśnie normę w Polsce dla domów oddawanych w Polsce do użytku po 1 stycznia 1995 r. ustala „Zarządzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 31.03.1988 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego i wskaźników pochodnych określających zagrożenie pro-

mieniowaniem jonizującym”. Nie ustalono w nim normy stężenia radonu dla istniejących mieszkań.\*

**Poziom interwencji** (intervention level) określa stężenia radonu zobowiązujące **bezwzględnie** do działań zaradczych. Ustalono go w nielicznych krajach. Na podstawie dotychczasowych pomiarów wykonanych w Polsce brak jest przesłanek do wprowadzenia poziomów interwencji.

**Budowlane normy techniczne dla zmniejszenia dopływu radonu** zapewniają redukcję z najważniejszego źródła, jakim jest podłoga i są do zastosowania właściwie tylko w nowo budowanych domach. Wymagania mające na celu ograniczenie radonu w nowych budynkach są precyzowane w odpowiednich normach skierowanych do architektów i firm budowlanych, a nadzór nad ich przestrzeganiem należy do lokalnych architektów miejskich i gminnych, którzy zatwierdzają plany budowlane i wydają zgodę na budowę domu.

W Polsce tego rodzaju zalecenia czy normy nie zostały opracowane.

► **INFORMACJA DLA OGÓŁU SPOŁECZEŃSTWA.** Zasadniczym warunkiem sprawnej realizacji programu redukcji radonu jest istnienie społecznej świadomości powszechności radonu i jego szkodliwości zdrowotnej oraz wynikająca z niej akceptacja społeczeństwa dla działań instytucji publicznych i zachęta do działalności własnej.

Osiąga się te warunki drogą wielokierunkowego informowania społeczeństwa. Do tego informowania powinni być włączeni kompetentni i posiadający społeczny autorytet naukowcy i dziennikarze wykorzystujący środki masowego przekazu i wydawnictwa o różnym zakresie specjalizacji. Działalność ta powinna być podobna do akcji antynikotynowej, a może nawet z nią połączona, jako że istnieje syner-

gistyczne działanie obu tych czynników w wywoływaniu raka płuc.

Jako przykład podstawowego działania informacyjnego można tu przytoczyć USA, gdzie naczelny lekarz wydał oświadczenie powszechnie cytowane w środkach masowego przekazu i broszurach na temat radonu:

*„Radon we wnętrzu domów stanowi narodowy problem zdrowotny. Radon powoduje rok w rok tysiące zgonów. Miliony domów wykazują podwyższone poziomy radonu. Stężenie radonu powinno być badane w każdym domu. Jeśli stwierdzi się podwyższony poziom radonu, należy ten poziom obniżyć”.*

Sposób informowania o problemie radonu ma zasadnicze znaczenie dla właściwego odbioru społecznego tego problemu. W przypadku niewłaściwego podejścia można u zbyt wielu ludzi wywołać niepotrzebne obawy i histerię lub odwrotnie – nie wzbudzić żadnego zainteresowania. Obie postawy mogą utrudnić realizację programów zmniejszenia ryzyka radonowego.

W wielu krajach odpowiednie agencje przesyłają broszurki informacyjne wszystkim, którzy zwrócą się z zapytaniem o radon. Broszurka tego typu (a właściwie rozkładany afisz) pt. „**Promieniotwórczy radon**” została opracowana i wydana w Polsce na zlecenie Departamentu Szkolenia i Informacji Społecznej Państwowej Agencji Atomistyki. Jest to pozycja godna polecenia jako pierwszy kontakt z problematyką radonową.

Wszyscy zainteresowani powinni mieć dostęp do informacji o geografii zagrożenia radonem. W dalszej części rozdziału opisano sposoby identyfikacji i rozmiary tych terenów w Szwecji, Finlandii i USA gdzie prawdopodobieństwo wysokich stężeń w domach jest duże. Należy oczekiwać na podobną klasyfikację w Polsce. Informacjami o „radono-czynności” gruntu powinny dysponować zarówno in-

\* Nie jest to przyjęta powszechnie norma. W różnych krajach dla poziomu działania przyjmowane są różne wartości graniczne stężenia radonu w budynkach. W 1994 r. zostały ustanowione „Podstawowe Międzynarodowe Normy Ochrony Radiologicznej i Bezpieczeństwa Źródeł Promieniowania Jonizującego”, opracowane pod wspólnym patronatem Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, Światowej Organizacji Zdrowia, Organizacji Wyżywienia i Rolnictwa ONZ, Międzynarodowej Organizacji Pracy i wielu innych organizacji międzynarodowych. W normach tych dopuszczalna średnioroczna wartość stężenia radonu w budynkach została ustalona w przedziale 200 – 600 Bq/m<sup>3</sup> (Red.).

\* Zgodnie z ww. „Podstawowymi Międzynarodowymi Normami...” zarządzenie Prezesa PAA z dn. 31.03.1988 r. zostało obecnie, w porozumieniu z Ministrem Zdrowia i Opieki Społecznej znowelizowane (w przygotowaniu do opublikowania). W zarządzeniu ustala się następujące dopuszczalne stężenia radonu w budynkach:

- 1) 400 Bq/m<sup>3</sup> – w budynkach istniejących i oddawanych do użytku przed 1.01.1998 r.,
- 2) 200 Bq/m<sup>3</sup> – w budynkach oddawanych do użytku po 1.01.1998 r. (Red.).

stytucje lokalne, np. SANEPID, wojewódzkie wydziały budownictwa, inspektoraty dozoru budowlanego, jak również prawnie określona jednostka centralna, choć trudno dziś przesądzać jaka, komu podporządkowana i o jakiej strukturze.

Zainteresowany powinien mieć dostęp do informacji, gdzie i na jakich warunkach (czas, koszt) można wykonać licencjonowane badania stężenia radonu w istniejących budynkach i emanacji radonu na działce, którą zamierza nabyć lub na której planuje zbudować dom. Taka sytuacja panuje w wielu uprzednio wymienionych krajach. Do chwili obecnej nie powstały jeszcze w Polsce firmy oferujące tego typu usługi i brak jest systemu udzielania licencji na pomiary i doradztwo radonowe. Dochodzą sygnały o powstawaniu „dzikich” firm oferujących swe usługi, głównie pomiarowe.

➤ **IDENTYFIKACJA TERENÓW I DOMÓW PODWYŻSZONEGO RYZYKA.** Choć radon działa szkodliwie na całą populację, prowadzone w krajach rozwiniętych działania są skierowane głównie na chronienie ludzi mieszkających w warunkach podwyższonego stężenia. Jest to ważna wskazówka dla Polski. Znalazienie domów i mieszkań z wysokimi stężeniami radonu jest podstawowym elementem każdej rozsądnej strategii obniżania tego stężenia. Badania w tym kierunku wykonywane są zwykle dwuetapowo:

- określa się rodzaje terenów oraz typy budynków, gdzie z dużym prawdopodobieństwem można oczekiwać wysokich stężeń radonu,
- wykonuje się szczegółowe badania na tych obszarach i w tych typach domów.

Kluczową kwestią w sformułowaniu strategii identyfikacji jest: ile domów wchodzi w zakres działań, oraz jak te domy są rozmieszczone. Liczba domów wytypowanych do działań zapobiegawczych w sposób zasadniczy zależy od ustalonego poziomu działania.

**Zmiana poziomu działania o współczynnik dwa powoduje zwykle pięciokrotną zmianę liczby domów a więc i kosztów.**

Odnosi się to głównie do domów istniejących, gdyż w przypadku nowo budowanych koszty kształtują się inaczej.

Szukając domów o podwyższonych stężeniach i planując w nich redukcję radonu należy pamiętać, że **nie ma dwu podobnych domów!**

Nawet w tych, które wyglądają identycznie i stoją tuż obok siebie, stężenia radonu i pochodnych mogą być różne i zastosowane środki redukcji mogą dać różne efekty. W wyniku wielu często trudno uchwytnych czynników, nawet na terenach, gdzie stwierdzono wysoki poziom stężeń radonu w glebie, wyszukanie wszystkich domów, w których rzeczywiście radonu jest dużo i oddzielenie ich od domów niskiego stężenia jest czasochłonne.

Realizując program identyfikacji, a następnie redukcji radonu napotyka się prawie zawsze na trudność wynikającą z faktu, że domy, w których trzeba działać są prywatne. Wszystkie czynności jakich wymaga program, a więc przeprowadzenie pomiarów czy decyzja wyboru techniki redukcji muszą być wykonane w ścisłej współpracy władz lokalnych, specjalistów i właściciela, za jego zgodą i często z jego inicjatywy. Fakt, iż nie można narzucać ludziom żadnych działań związanych z radonem, powoduje konieczność uświadomienia szerokich kręgów społeczeństwa o potrzebie przeciwdziałań zagrożeniu radonowemu w celu uzyskania społecznej akceptacji dla tych działań i stymulowania chęci pokrycia kosztów.

Oprócz domów mieszkalnych i miejsc pracy, szczególna uwaga władz i instytucji odpowiedzialnych za program radonowy powinna być ukierunkowana na przedszkola i szkoły, gdyż dzieci należy szczególnie chronić przed wpływem promieniowania. Podobną uwagę należy zwrócić na szpitale.

#### **Klasyfikacja terenów**

Jeśli podłoże jest głównym źródłem radonu w budynkach, to podstawą do wskazania terenów, gdzie może wystąpić intensywna penetracja radonu z gleby do budynku, jest szczegółowa mapa całego kraju lub poszczególnych jego części. Mapy takie sporządzają służby

geologiczne, które dysponują podstawowym materiałem kartograficznym, geologicznym i glebowym. Istniejące w wielu krajach (m.in. w Polsce w Państwowym Instytucie Geologii) mapy geologiczne, sporządzone podczas poszukiwań uranu w ubiegłych latach lub opracowywane obecnie, mogą być bazą dla sporządzenia dokumentacji radonowej, ale trzeba pamiętać, że mapa „uranowa” zazwyczaj znacznie różni się od mapy „radonowej”.

**Mapy radonowe powinny informować nie tylko o zawartości radu w górnej warstwie podłoża, ale również o charakterze i przepuszczalności tej warstwy dla gazów.**

Jeśli rad jest zawarty wewnątrz dużych ziaren minerałów wówczas wydobyć się radonu do powietrza glebowego a następnie do atmosferycznego jest mało prawdopodobne (współczynnik uwolnienia jest rzędu kilku procent). Natomiast gdy rozpuszczalne związki radu lub poprzedzających go nuklidów zostały w przeszłości wtórnie zatrzymane na silnie rozwiniętej powierzchni ziarn gleby (głina), wówczas prawdopodobieństwo uwolnienia radonu jest duże (współczynnik uwolnienia kilkadziesiąt procent). Z drugiej strony jednakże struktury wyłapujące na swej powierzchni rad są zwykle słabo przepuszczalne dla uwolnionego radonu, co w efekcie zmniejsza ilość radonu wydobywającego się do atmosfery.

W jaki sposób sklasyfikowano tereny w różnych krajach? W Szwecji podzielono powierzchnię kraju na trzy „klasy” pod względem ryzyka radonowego i określono zalecane środki zabezpieczające dla budowanych na nich domów.

Tereny wysokiego ryzyka obejmują 10% powierzchni kraju o podłożu granitowym, pegmatitowym i z łupków, gdzie stężenie radonu w gruncie jest większe niż 50 kBq/m<sup>3</sup>, a struktura jest dobrze przepuszczalna dla gazów. Na takich terenach niezbędne jest budownictwo „radon-safe” z grubą, szczelną płytą fundamentową i wymuszoną wentylacją pod tą płytą.

Za tereny normalnego ryzyka (70% powierzchni) uważa się gleby z normalną zawartością uranu ze średnim stężeniem radonu w glebie 10 – 50 kBq/m<sup>3</sup> i przeciętną przepuszczalnością. Należy tam stosować budowę zabezpieczającą przed radonem z unikaniem otworów w fundamentach.

Terenami niskiego ryzyka jest 20% powierzchni ze skałami wapiennymi, piaskowcami i pierwotnymi skałami wulkanicznymi, gdzie stężenie radonu w glebie jest niższe niż 10 kBq/m<sup>3</sup>, a gleby wykazują niską przepuszczalność (głina). Na takich terenach nie trzeba stosować żadnych środków zabezpieczających przed radonem.

Podobną klasyfikację jak w Szwecji wprowadzono w Finlandii (na 4 klasy).

W USA zaproponowano wprowadzenie wielkości zwanej **indeks potencjalnego źródła radonu „Y”**. Indeks ten, obliczony według odpowiedniego wzoru uwzględniającego parametry gleby, jest miarą potencjalnego ryzyka radonowego i wskazówką czy i w jakim stopniu należy stosować środki zapobiegawcze przy budowie domu.

W Polsce wykonane dotychczas pomiary wskazują, że terenami podwyższonego ryzyka mogą być pewne (jeszcze bliżej nie zlokalizowane) obszary województw: jeleniogórskiego, wałbrzyskiego, bielsko-bialskiego, nowosądeckiego i krośnieńskiego. Oszacowano, że na tych obszarach w kilku procentach domów może być przekroczony poziom działania (ustalony dla nowych domów) 100 Bq/m<sup>3</sup> ekwiwalentnego stężenia równowagi.\*\* Obecny stan wiedzy i znajomości technik „antyradonowych” nie pozwala na określenie czy i jakie techniki budowlane należy stosować na tych terenach.

**Rejony Polski południowo-zachodniej i podgórskie już dziś powinny być objęte programami badań i działań dla redukcji radonu.**

\* Klasyfikacja taka ma szczególny sens dla budynków niskich.

\*\* Taka norma będzie obowiązywać dla budynków oddawanych do użytku po 1.01.1998 r. – p. przypis str. 15 (Red.).

## Inne czynniki mogące zwiększać ryzyko radonowe

Z informacji w rozdziale 2 wiemy, że udział radonu emitowanego z materiałów budowlanych może być istotny na wyższych kondygnacjach. W Polsce, w celu określenia, które z materiałów mogą emanować takie ilości radonu, by wytworzone wewnątrz budynków stężenie uznać za przekraczające normę, stosuje się metodę i wzory opracowane w latach osiemdziesiątych (kiedy to panowało przekonanie, że materiały budowlane są głównym źródłem radonu w mieszkaniach) wspólnie przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) i Instytut Techniki Budowlanej (ITB). Ich stosowanie i przestrzeganie z dużym zapasem zabezpiecza przed podwyższonymi stężeniami radonu pochodzącego od materiałów budowlanych.

➤ **METODY PRZEWIDYWANIA.** Przewidywanie stężeń radonu w planowanym do budowy domu jest skomplikowane, trudne i obarczone dużą dozą niepewności. W krótkim opisie można przedstawić tylko ogólne zarysy podejścia do takiego przewidywania. Wstępnym krokiem w tym kierunku jest opisany powyżej podział kraju na obszary poziomów ryzyka. Podział taki zakłada *a priori*, że jednakowe warunki radonowe panują na dużych obszarach, co – jak wiemy – najczęściej nie ma miejsca. Ze względu na ten fakt niezbędna jest każdorazowo weryfikacja dla konkretnego domu, ponieważ założenie z góry występowania wysokich stężeń radonu i narzucenie związanych z nimi restrykcji budowlanych pociąga za sobą znaczne koszty.

Weryfikację taką powinna przeprowadzać wyspecjalizowana firma, która zazwyczaj mierzy stężenia radonu w glebie lub lepiej – stopień emanacji na miejscu przyszłej budowy, a następnie – na podstawie otrzymanych wyników oraz analizy charakteru chemicznego i mineralogicznego na różnych głębokościach tej gleby – ocenia prawdopodobny stopień wnikania radonu w przypadku planowanej konstrukcji domu. Jedną z najczęściej obecnie stosowanych metod polega na pomiarze stopnia emanacji radonu z równoczesnym pomiarem przenikalności gleby, z uwzględnieniem czasowych zmian parametrów wpływających na zdolność wydobywania

się radonu z gleby. Można również mierzyć stężenie radonu w powietrzu glebowym na głębokości 0,7–1 m gdzie wpływ warunków pogodowych jest niewielki.

Stopień wnikania radonu można ocenić, stosując komputerowe modele transportu radonu, oparte na analitycznym lub cyfrowym rozwiązaniu równań transportu i wnikania do domu. Obecnie dziedzina ta szybko rozwija się w świecie i można przypuszczać, że wyniki uzyskiwane metodami modelowania komputerowego będą coraz dokładniej odzwierciedlać stan rzeczywisty transportu radonu do domów określonego typu. Do dziś jednak żaden z istniejących modeli nie daje wyników w pełni odpowiadających stężeniom stwierdzanym w późniejszych pomiarach.

➤ **TECHNIKI ZAPOBIEGANIA I REDUKCJI.** Działania dla zmniejszenia ryzyka radonowego przybierają inną postać w przypadku, gdy chodzi o zapobieganie wysokim stężeniom w domach, które są w fazie projektu, a inną dla redukcji radonu w domach już istniejących. Zastosowanie każdej z metod czy to zapobiegania czy redukcji wymaga wiedzy technicznej i dużego doświadczenia, dlatego zawsze zleca się projekt i wykonanie firmom specjalistycznym. Firmy takie powinny mieć uprawnienia przyznane przez instytucje państwowe upoważnione do licencjonowania (w Wielkiej Brytanii jest to NPBR, w Szwecji – SRPI, a w USA – EPA) oraz stosować metody przez nie zalecane. Dla sprawdzenia skuteczności redukcji wykonywane są pomiary kontrolne przed i po jej wprowadzeniu, z zastosowaniem metod odpowiednio wiarygodnych.

**Redukcja jest stosunkowo łatwa przy niewielkich przewidywanych lub występujących przewyższeniach stężenia, lecz bywa skomplikowana, gdy stężenia te są wysokie.**

Istnieją następujące podstawowe techniki zmniejszania ryzyka radonowego, które są stosowane w nowo budowanych i istniejących domach. Są to:

- uszczelnianie,
- podnoszenie ciśnienia w części mieszkalnej,
- wentylacja i depresja podpodłogowa.

**Uszczelnianie** polega na zastosowaniu membrany, np. płyty izolacyjnej lub folii polietylenowej pod podłogą w celu zamknięcia szczelin i pęknięć w płycie podłogowej. Membrana taka, mówiąc najogólniej, zmniejsza ilość radonu, który przenika z podłoża do przestrzeni mieszkalnej.

**Podwyższenie ciśnienia** w budynku ma za zadanie zmniejszenie wpływu „efektu kominowego” oraz wiatru. Uzyskuje się je umieszczając na strychu wentylator nawiewowy, który włącza powietrze z zewnątrz, powodując podwyższenie w domu ciśnienia, co zapobiega zasysaniu radonu z podłoża. Nawiew taki w praktyce bywa uciążliwy.

**Wentylacja przestrzeni podpodłogowej** usuwa poza dom radon, który przeniknął z podłoża, uniemożliwiając jego przejście do wyższych pomieszczeń. Wentylacja taka wymaga istnienia przestrzeni podpodłogowej, którą można przewietrzać w sposób naturalny lub wymuszony. Stosując wentylację o dostatecznej mocy można zawsze obniżyć poziom radonu do akceptowalnego. Wentylacja wymuszona jest zwykle kosztowna w eksploatacji i hałaśliwa.

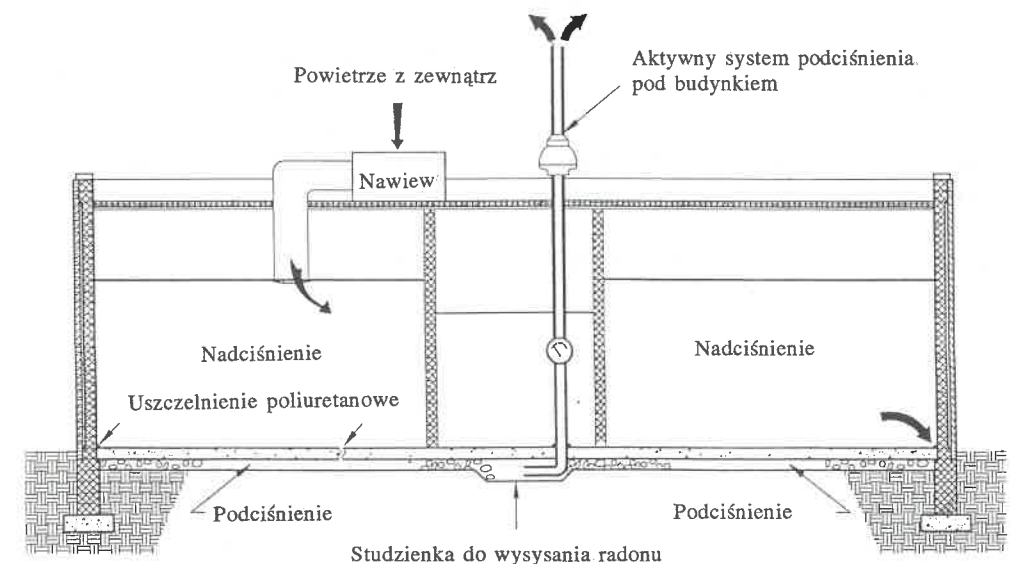
**Depresja podpodłogowa** lub inaczej, pułapka radonowa, jest w zasadzie najskuteczniejszym czynnikiem redukującym radon w budynkach, a przy wysokim poziomie rado-

nu, przekraczającym  $700 \text{ Bq/m}^3$ , w praktyce jedynym. Pułapka radonowa jest właściwie wgłębieniem w kształcie studzienki w gruncie pod domem lub w piwnicy, z wentylatorem wyciągającym powietrze poza obrys domu, a więc wytwarzającym we wgłębieniu podciśnienie. Taka pułapka wysysa radon z przestrzeni pod domem przed jego przeniknięciem do wnętrza.

Przedstawione zasadnicze sposoby redukcji radonu są stosowane zarówno w nowo budowanych (zapobieganie), jak i istniejących domach.

W praktycznych zastosowaniach wyżej wymienionych metod (i innych również), w istniejących domach głównym czynnikiem utrudniającym wybór metody i wpływającym na skuteczność redukcji, jest różnorodność ich konstrukcji. W wielu starszych domach nie ma płyty betonowej, a w wielu innych brak jest podpiwniczenia. W takich konstrukcjach zarówno stosowanie uszczelnienia, jak i podciśnienia jest albo niemożliwe, albo zbyt kosztowne. W istniejących domach właściwą porą na przeprowadzenie redukcji jest remont domu. W takich bowiem sytuacjach wydatki na redukcję niewiele zwiększają koszty remontu.

Przykładem skuteczności metod zapobiegania zagrożeniu radonowemu jest szpital (jednokondygnacyjny, typowy budynek o powierzchni  $6000 \text{ m}^2$  – rys. 5) zbudowany na



Rys. 5. Typowe środki redukcji radonu zastosowane w budynku szpitalnym w USA

terenie bogatym w radon, w którym na podstawie zaleceń EPA zastosowano:

- mocne ubicie gliny pod budynkiem dla zmniejszenia przenikania radonu;
- dziesięciocentymetrową luźną warstwę kruszywa pod płytą podłogową;
- instalację wytwarzającą podciśnienie w ww. warstwie kruszywa z wylotem ponad budynkiem;
- płytę podłogową z bardzo szczelnymi, poliuretanowymi przejściami;
- instalację nawiewu z poddasza, wytwarzającą nadciśnienie w budynku.

Po zakończeniu budowy i instalacji wykonano pomiary. Bez działania systemów wentylacyjnych stwierdzono stężenie radonu od ok. 20 do 200 Bq/m<sup>3</sup> (to ostatnie w łazienkach dla pacjentów), a po uruchomieniu obu systemów wentylacji w żadnym z pomieszczeń stężenie nie przekraczało 20 Bq/m<sup>3</sup>.

► **INFRASTRUKTURA ORGANIZACJI I ZAPOBIEGANIA.** Ze wszystkich przedstawionych powyżej rozważań wynika jednoznacznie, że niezależnie od utworzenia struktury organizacyjnej służb państwowych doradzających rządowi w zakresie ochrony przed radonem i opracowujących projekty aktów prawnych i norm musi w kraju istnieć sieć licencjonowanych firm lub laboratoriów, które będą przeprowadzać pomiary w miejscach wskazanych przez odpowiednie organizacje lub osoby prywatne oraz muszą działać kompetentni urzędnicy lokalni opracowujący i upowszechniający rzeczowe informacje, przygotowani do udzielania praktycznych rad i wskazówek. Rozsądek mówi, że zarówno urzędnicy służb państwowych i samorządowych, jak i laborato-

ria wykonujące pomiary powinny znajdować się możliwie blisko każdego zainteresowanego problemem radonu, a więc instytucje te muszą być dość gęsto rozmieszczone na terenie całego kraju, a przynajmniej na tych terenach, gdzie stwierdzono duże prawdopodobieństwo wystąpienia wysokich stężeń radonu. Wszyscy ci specjaliści powinni posiadać odpowiednią wiedzę, muszą zostać przeszkoleni, a ich działalność musi być stale nadzorowana dla utrzymania właściwego poziomu ich działań.

## 7. ZAKOŃCZENIE

Autorzy zdają sobie sprawę z „egzotyczności” poruszanej tematyki i nurtującego niektórych przeświadczenia o przedwczesności wprowadzania w życie skomplikowanych działań dla obniżenia tak mało zrozumiałego ryzyka. Problem polega jednak na tym, że ogół społeczeństwa, a nawet liczne ogniwa władzy nie zdają sobie sprawy z szybkości przebiegu procesów zbliżających nas do zachodniej Europy, gdzie problemom radonowym poświęca się wiele wysiłku organizacyjnego i pieniędzy. Motywem do poruszania problematyki radonowej w Polsce jest przeświadczenie, że:

- rozpowszechnienie się świadomości „radonowej” w Polsce to kwestia krótkiego czasu,
- przygotowanie do właściwych działań musi być długotrwałe,
- działania przygotowawcze muszą się rozpocząć z dużym wyprzedzeniem w stosunku do działań właściwych.

W przypadku szybkiej adaptacji Polski do warunków krajów zachodnioeuropejskich jest to problem kilku lat, a w niekorzystnych układach kilkunastu.

# RADON W KOPALNIACH

*Jolanta Lebecka*

## WPROWADZENIE

Narażenie radiacyjne górników jest jednym z tematów spotykających się od kilkunastu lat nie tylko z dużym zainteresowaniem, lecz również budzącym niepokój i wywołującym wiele dyskusji. Zagrożenia z jakimi stykają się górnicy, w tym również narażenie na szkodliwe wyziewy ziemi, są przedmiotem obaw i trosk od bardzo dawna. Jedną z najstarszych wzmianek o schorzeniach płuc u górników można znaleźć u Tytusa Lukrecjusza Karusa [47] w „De Rerum Natura” z I wieku p.n.e.

Zawarty w VI. księdze opis zgubnego w skutkach oddziaływania wyziewów ziemi na górników wydobywających rudę w podziemnych kopalniach odnosi się do starożytnego miasta w Tracji (Grecji), w pobliżu góry Anganion znanej ze starożytnych kopalń złota, a także srebra i innych metali. Należy sądzić, że chorobą wywołaną przez wyziewy Ziemi były radiogeniczne nowotwory płuc, a nie pylica. Wskazują na to między innymi stosunkowo wysokie stężenia radonu w domach oraz podwyższone natężenie promieniowania gamma występujące w tej okolicy [16] (średnie stężenie <sup>222</sup>Rn w domach przekracza 100 Bq/m<sup>3</sup>, a moc dawki promieniowania gamma na zewnątrz budynków wynosi około 100 nGy/godz.).

Raka płuc po raz pierwszy zdiagnozowano w 1879 roku u górników kopalń z okolic Schneebergu i Jachimowa, gdzie schorzenie to było znane jako Schneebergkrankheit. Natomiast na możliwy związek tej choroby z radonem wskazano dopiero 40 lat później, pełne zaś rozpoznanie przyczyny tej choroby nastąpiło dopiero w 50. latach. Obecnie zwiększone ryzyko zachorowania na nowotwory płuc i krtani przy narażeniu na radon jest nie tylko faktem w pełni uznanym, lecz uważanym za najpoważniejszy efekt naturalnego promieniowania jonizującego dla ogółu ludności. Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicz-

nej (ICRP) określa współczynnik ryzyka zachorowania na nowotwory układu oddechowego jako 3,8 na 1 Jhm<sup>-3</sup> [18]. Nie ma też obecnie żadnych wątpliwości, że górnicy są narażeni na działanie radonu w większym stopniu niż ogół ludności.

Zwiększone narażenie na radon i w ogóle narażenie radiacyjne występuje nie tylko w kopalniach uranu, lecz także w kopalniach innych surowców mineralnych, chociaż w kopalniach nieuranowych narażenie jest mniejsze. Narażenie radiacyjne w kopalniach, zwłaszcza w kopalniach nieuranowych wyróżniają jednak pewne cechy, które każą nieco inaczej patrzeć na to zagadnienie niż na narażenie spowodowane stosowaniem sztucznych izotopów promieniotwórczych.

- W kopalniach jest to narażenie na działanie radioizotopów **naturalnych**, na których obecność mamy bardzo ograniczony wpływ; aby je całkowicie wyeliminować, musielibyśmy zaniechać eksploatacji górniczej.
- Narażenie to nie stwarza zagrożenia wystąpienia wypadku radiacyjnego.
- Jest to jedno z wielu zagrożeń naturalnych w górnictwie.

W Polsce, jako kraju o rozwiniętym górnictwie, problemowi narażenia górników na radon poświęca się dużo uwagi. Badania występowania produktów rozpadu radonu były prowadzone w kopalniach rud metali oraz w niektórych kopalniach węgla przez Instytut Medycyny Pracy (IMP) w Łodzi już w końcu lat 60. [11], zaś Główny Instytut Górnictwa (GIG) w latach 70. rozpoczął w kopalniach węgla kamiennego badania nad występowaniem radonu oraz radonośnych wód i osadów [45]. Również Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) wykonało w początku lat siedemdziesiątych pomiary stężeń radonu w niektórych kopalniach. Obecnie stan narażenia gór-

### Notka o autorach

*Tadeusz Niewiadomski* – prof. dr hab., Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie

*Michał Waligórski* – doc. dr hab., Centrum Onkologii, Oddział w Krakowie

ników polskich kopalń na produkty rozpadu radonu jest stosunkowo dobrze rozpoznany. Można śmiało stwierdzić, że w kopalniach polskich wykonano więcej pomiarów radonu lub produktów jego rozpadu niż w jakimkolwiek innym kraju, w którym nie ma górnictwa uranowego. Zarówno pod względem liczby istniejących kopalń, jak i wielkości wydobycia dominuje w Polsce górnictwo węgla kamiennego. Na istniejących obecnie 70. podziemnych kopalń węgla 6 jest w trakcie likwidacji. W kopalniach tych wykonuje się rocznie około 7 do 8 tysięcy pomiarów stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu na stanowiskach pracy. Ponadto wykonywana jest pewna liczba pomiarów ekspozycji indywidualnej poszczególnych górników. W kopalniach innych surowców mineralnych wykonuje się również kilka tysięcy pomiarów ekspozycji indywidualnej i stężeń na stanowiskach pracy. Jako jeden z nielicznych krajów mamy od kilku lat, wdrożony w kopalniach węgla, system kontroli narażenia radiacyjnego górników, a także przepisy dotyczące profilaktyki tego narażenia. Prowadzone są systematyczne szkolenia dozoru górniczego w zakresie ochrony radiologicznej w kopalniach.

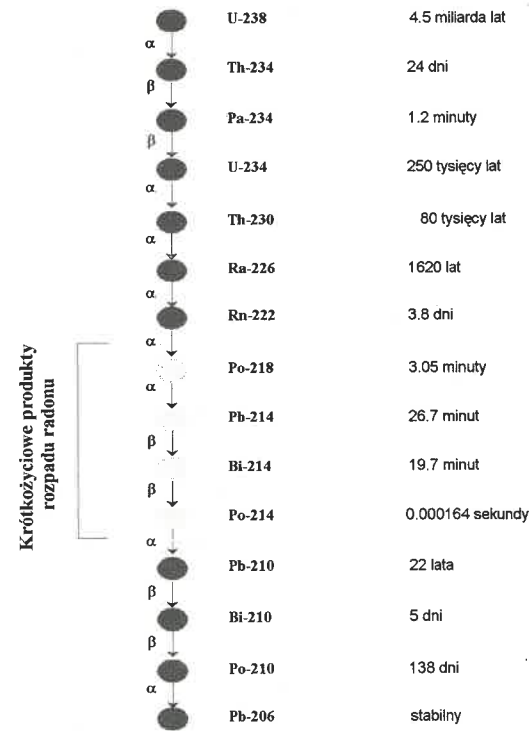
Pomimo to obecny stan nie jest bynajmniej idealny, a wokół tego tematu wciąż trwa polemika [6, 29], w której uczestniczą nie tylko naukowcy i technicy, lecz także działacze związkowi i dziennikarze. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest niejednorodność a nawet niespójność metod i systemów pomiarowych stosowanych w różnych branżach górniczych i co za tym idzie, różnice w ocenie stanu narażenia radiacyjnego górników. Niniejszy artykuł nie ma charakteru polemicznego. Skupię się głównie na opisie stanu narażenia radiacyjnego i systemu jego kontroli w polskich kopalniach węgla kamiennego jako na problemie najbliższym mi znanym i najbardziej istotnym ze względu na to, że górnicy kopalń węgla kamiennego stanowią zdecydowanie najliczniejszą grupę wśród górników w Polsce. Nawiążę przy tym do sytuacji w kopalniach innych su-

rowców oraz sytuacji w innych krajach. W polskich kopalniach węgla poza radonem i jego pochodnymi górnicy narażeni są również na promieniowanie gamma [33, 44, 40]. Jest to spowodowane tym, że w niektórych kopalniach występują wody o dość znacznej zawartości radu, który w pewnych warunkach ulega wytrąceniu tworząc stosunkowo silnie promieniotwórcze osady. Osady te nie tylko stanowią źródło promieniowania gamma, lecz mogą także stanowić źródło skażeń ludzi i środowiska naturalnego. Zjawisko to jest dobrze znane w kopalniach węgla na Górnym Śląsku, lecz występuje również w innych kopalniach w Polsce oraz w innych krajach, np. w Niemczech. Narażenie górników na promieniowanie gamma oraz na skażenia wewnętrzne radem jest mniejsze niż narażenie na produkty rozpadu radonu. Mimo, iż żadne z wymienionych źródeł narażenia radiacyjnego w kopalniach nie może być zaniedbywane, główne źródło narażenia radiacyjnego górników stanowią krótkożyciowe produkty rozpadu radonu.

## RADON I JEGO POCHODNE

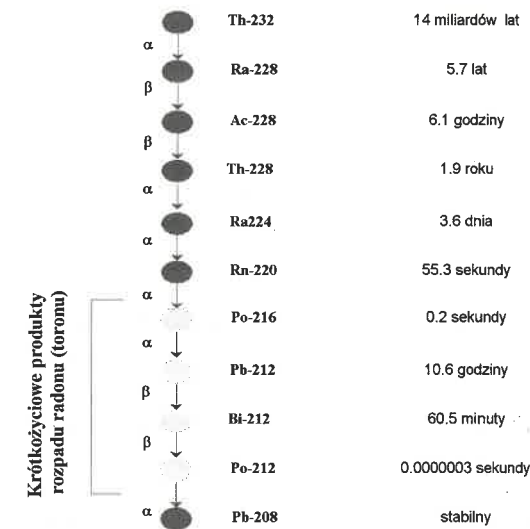
Radon jest najpoważniejszym źródłem dawek promieniowania jonizującego na jakie narażony jest człowiek. Wydobywa się z materiałów zawierających rad. Ponieważ rad bardzo powszechnie występuje w przyrodzie, więc i radon jest wszędzie obecny. O zachowaniu się radonu w środowisku oraz jego oddziaływaniu na organizmy żywe decyduje fakt, że jest on gazem szlachetnym oraz, że rozpada się on na radioizotopy polonu, bizmutu i ołowiu, które są chemicznie aktywne, mają krótkie czasy życia i emitują promieniowanie alfa. Radon powstaje w wyniku rozpadu radu. Powstałe atomy radonu, głównie w wyniku procesów odrzutu dostają się do porów materiału, w którym powstają, po czym migrują wraz z innymi gazami. Tak więc pewna część, na ogół niewielka, radonu powstającego z radu wydostaje się wraz z gazami do atmosfery.

Schematy szeregu torowego i uranowego przedstawiono na **rys. 1 i 2**.



Rys. 1. Radioaktywny szereg uranu (4n+2)

W przyrodzie występują trzy izotopy radonu:  $^{222}\text{Rn}$  ( $T_{1/2} = 3,8$  dnia),  $^{220}\text{Rn}$  ( $T_{1/2} = 55$  s),  $^{219}\text{Rn}$  ( $T_{1/2} = 3,92$  s). Wszystkie ulegają rozpadowi alfa. Należą one odpowiednio do szeregów: uranoworadowego, torowego i aktynowego. W przyrodzie w znaczących ilościach występują jedynie  $^{222}\text{Rn}$ , zwany potocznie radonem oraz  $^{220}\text{Rn}$ , zwany potocznie toronem. Jak pokazano na **rys. 1**, cztery radionuklidy powstające w wyniku rozpadu  $^{222}\text{Rn}$  mają czasy połowicznego rozpadu krótsze niż 30 minut, w związku z czym – jeśli zostaną zdeponowane w układzie oddechowym, to jest bardzo prawdopodobne, że ulegną rozpadowi do  $^{210}\text{Pb}$  nim zostaną usunięte z płuc. Podobnie w wyniku rozpadu  $^{220}\text{Rn}$  powstaje szereg krótkożyciowych radioizotopów (**rys. 2**), przy czym największa dawka pochodzi od wdychania  $^{212}\text{Pb}$  o okresie połowicznego rozpadu 10,6 godziny. Niektóre z krótkożyciowych produktów rozpadu radonu emitują promieniowanie alfa, które z powodu swojego krótkiego zasięgu w tkankach daje duże dawki promieniowania w układzie oddechowym. Z tej przyczyny krót-



Rys. 2. Radioaktywny szereg toru (4n)

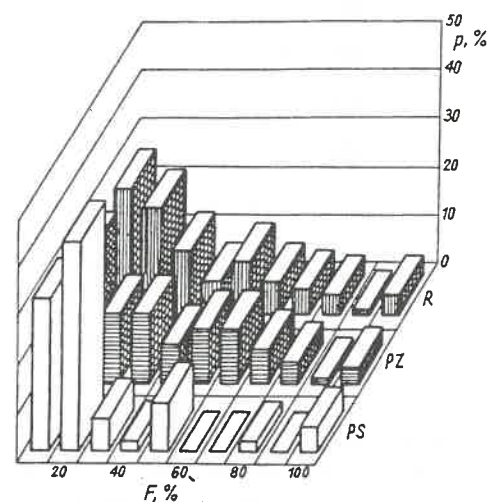
kożyciowe produkty rozpadu radonu grają tak dużą rolę w narażeniu człowieka na promieniowanie naturalne.

Krótkie czasy życia oraz mały zasięg promieniowania emitowanego przez pochodne radonu i toronu powodują poważne trudności związane z pomiarem stężeń tych izotopów w powietrzu, zwłaszcza, gdy pomiary trzeba wykonać w trudnych warunkach np. w kopalniach, gdzie często aparaturze stawiane są dodatkowe wymagania dotyczące bezpieczeństwa jej stosowania w atmosferze wybuchowej. Z drugiej strony okazuje się, że dla celów ochrony radiologicznej wystarczające jest określenie całkowitej energii, jaką w postaci cząstek alfa wyemitują pochodne radonu i toronu obecne w powietrzu. Wprowadzono więc wielkość **stężenie energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu** (według PN-88/Z-70071 symbolem tej wielkości jest  $C_\alpha$ , w literaturze anglojęzycznej używa się skrótu PAEC).  $C_\alpha$  jest to całkowita energia jaką w postaci promieniowania alfa

oddająby krótkożyciowe produkty rozpadu radonu zawarte w jednostce objętości powietrza, gdyby uległy całkowitemu rozpadowi. Jednostką  $C_\alpha$  jest  $1 \text{ J/m}^3$ .  $C_\alpha$  jest znacznie łatwiej mierzalne od stężenia poszczególnych pochodnych.

To, jaka część radonu stale tworzącego się z radu w danym materiale wydostaje się do atmosfery, zależy przede wszystkim od porowatości i szczelinowości danego materiału, lecz również od takich czynników fizycznych, jak: ciśnienie i temperatura oraz obecność wody. Wyrobiska górnicze kopalń podziemnych stanowią przestrzeń otoczoną skałami porowatymi, na ogół silnie spękanymi. Ze skał często wykrapla się woda, w której radon dobrze się rozpuszcza, dzięki czemu jest łatwo przez nią transportowany. Wyrobiska górnicze są przewietrzane, lecz intensywność przewietrzania jest bardzo zróżnicowana. Z tych powodów w atmosferze kopalnianej stężenie radonu jest zwykle wyższe niż na otwartym powietrzu i wyższe niż wewnątrz budynków. Stężenie produktów rozpadu radonu w powietrzu jest zawsze mniejsze niż stężenie radonu. Dzieje się tak dlatego, że gaz, który dopiero co wydostał się z materiału stałego, nie zawiera jeszcze pochodnych radonu, lecz tylko sam radon. Potrzeba trochę czasu, aby wytworzyły się pochodne radonu. Tym samym można by powiedzieć, że im starsze powietrze, tym większa jest szansa na zrównanie aktywności radonu i produktów jego rozpadu. Z drugiej strony pochodne radonu są łatwo usuwane z atmosfery, gdyż łatwo przyczepiają się do ścian i różnych przedmiotów (np. maszyn, elementów obudowy itp.). Efekt ten, zwany „plate out”, dotyczy zwłaszcza tzw. „frakcji wolnej” pochodnych radonu, a więc tych pochodnych, które po powstaniu z radonu nie zdążyły się jeszcze połączyć z większymi cząsteczkami. Te zaś pochodne radonu, które połączyły się z pyłami, opadają wraz z nimi na spąg wyrobiska. W rezultacie tych wszystkich procesów oraz przewietrzania wyrobisk pomiędzy radonem a produktami jego rozpadu wytwarza się pewien stan równowagi promieniotwórczej, określany tzw. współczynnikiem równowagi promieniotwórczej  $F$ , który

silnie zależy od warunków lokalnych i w kopalni ulega silnym zmianom w przestrzeni, a także w czasie (rys. 3). Z tego powodu, o ile można z pewnym przybliżeniem wyciągać wnioski o stężeniu pochodnych radonu na podstawie stężenia radonu w budynkach (przyjmuje się zwykle  $F = 0,5$ ), o tyle w kopalniach przybliżenie takie jest zbyt ogólne, gdyż  $F$  zmienia się w granicach od poniżej 0,1 do 0,9 [38]. Nie ulega wątpliwości, że warunki panujące w kopalni sprzyjają powstawaniu wysokich stężeń radonu i produktów jego rozpadu w atmosferze kopalnianej. Górnicy kopalń podziemnych są więc w większym stopniu narażeni na działanie krótkożyciowych produktów rozpadu niż ogół ludności. Prowadzi to do większego ryzyka zachorowania na nowotwory płuc i oskrzeli.



Rys 3. Rozkład współczynników równowagi promieniotwórczej między radonem a jego krótkożyciowymi produktami rozpadu:

PS – prądy powietrza świeżego, PZ – prądy powietrza zużytego, R – wszystkie prądy razem,  $F$  – współczynnik równowagi promieniotwórczej,  $p$  – udział obserwacji

## POMIARY POCHODNYCH RADONU

W pomiarach wykonywanych masowo, jak na przykład pomiary służące ocenie narażenia na radon i produkty jego rozpadu w mieszkaniach, mierzy się zwykle sam radon, zaś oceny narażenia na produkty jego rozpadu dokonuje

się przyjmując określony stały współczynnik równowagi  $F$ . Robi się tak dlatego, że pomiar radonu, a zwłaszcza jego izotopu  $^{222}\text{Rn}$ , jest znacznie łatwiejszy niż pomiar produktów jego rozpadu. Znaczne różnice stanu równowagi promieniotwórczej pomiędzy radonem a produktami jego rozpadu, jakie występują w różnych miejscach w wyrobiskach górniczych kopalń podziemnych, powodują, że dla określenia narażenia radiacyjnego górników nie wystarczy wykonanie pomiaru radonu, lecz konieczny jest pomiar jego pochodnych. Zachodzi więc potrzeba pomiaru stężeń krótkożyciowych izotopów o czasach życia od ułamków milisekundy do kilkudziesięciu minut, występujących w powietrzu w postaci aerozoli i bardzo drobnych pyłów. Nie ma więc mowy o pobieraniu próbek powietrza lub próbek pyłów, wywożeniu ich na powierzchnię i dopiero tam dokonywaniu pomiaru, gdyż cała operacja trwałaby tak długo, że prawie wszystkie pochodne radonu w międzyczasie rozpadłyby się. Pomiar musi być wykonany od razu na miejscu lub przynajmniej musi na miejscu być w jakiś sposób zarejestrowana informacja o stężeniach pochodnych radonu, która może być później odczytana w warunkach laboratoryjnych. Dodatkowym utrudnieniem są warunki panujące w kopalni, tzn. wilgoć, zapylenie, możliwość uszkodzeń mechanicznych, obecność metanu, a tym samym konieczność stosowania zabezpieczeń przeciwwybuchowych. Niebagatelną sprawą jest również trudność kalibracji przyrządów służących do pomiaru pochodnych radonu, wynikająca głównie z tego, że nie można wytworzyć atmosfery wzorcowej o znanym stężeniu pochodnych radonu, lecz trzeba dokonywać kalibracji przez porównanie z wynikami pomiarów otrzymanych inną metodą. Przy tym wszystkim przyrządy pomiarowe muszą być stosunkowo proste i tanie, aby mogły być powszechnie stosowane w kopalniach.

Metody pomiaru stężeń pochodnych radonu dzieli się na:

- **aktywne** – badane powietrze jest przepompowywane przez filtr – mierzy się promieniowanie emitowane przez pochodne radonu osiadłe na filtrze,

- **pasywne** – rejestrują promieniowanie emitowane przez radon i produkty jego rozpadu znajdujące się w atmosferze w pobliżu detektora.

Metody aktywne są z reguły dokładniejsze, lecz droższe. Metody pasywne (głównie detektory śladowe oraz elektrety) są bardzo powszechnie stosowane do pomiarów radonu. Są one wówczas tak skonstruowane, że do przestrzeni pomiarowej przenika z otaczającej atmosfery wyłącznie radon bez pochodnych. W przypadku użycia detektorów śladowych do pomiaru pochodnych radonu stosuje się detektory nie osłonięte, rejestrujące zarówno promieniowanie radonu, jak i produktów jego rozpadu. Zakłada się przy tym, że w pewnych granicach wynik pomiaru jest niezależny od współczynnika równowagi  $F$ , którego wartość się przyjmuje. Pomiar pochodnych radonu metodami pasywnymi jest tani, lecz mniej dokładny niż pomiar metodami aktywnymi. Szczególnie duże błędy mogą występować przy dużej zmienności współczynnika równowagi  $F$ . Zaletą metod pasywnych jest możliwość wykonywania pomiarów całkujących w długich (kilkumiesięcznych) okresach. Z kolei metody aktywne umożliwiają szybkie wykonanie pomiarów. O tym, jak trudne jest wykonywanie pomiarów radonu, a tym bardziej produktów jego rozpadu, świadczą wyniki pomiarów porównawczych wykonywanych przez grupy różnych laboratoriów na świecie [14, 20]. Szczególnie trudno jest wykonywać te pomiary w podziemnych kopalniach, gdzie panują bardzo uciążliwe warunki.

W ostatnich latach rozpoczęto na świecie retrospektywne pomiary stężeń radonu w pomieszczeniach, jakie występowały na przestrzeni kilkunastu lat poprzedzających pomiar. Są one oparte na pomiarze aktywności długożyciowych produktów rozpadu radonu  $^{210}\text{Po}$  [36] lub  $^{210}\text{Pb}$  [22], związanych z powierzchniami gładkimi (np. lustra) lub uwieczonych w materiałach o dużej porowatości. Metody te są dotychczas stosowane wyłącznie do retrospektywnej oceny stężeń radonu w budynkach. W ostatnich miesiącach podjęte zostały próby dokonania takiej oceny dla wyrobisk górni-

czych kopalń podziemnych [17]. W tym przypadku mierzy się długożyciowe produkty rozpadu radonu, zgromadzone na filtrach pyłomierzy górniczych. Metoda ta nie jest jednak jeszcze dopracowana.

W kopalniach polskich stosowane są następujące metody pomiarowe:

- „Przystawki ALFA-31” – metoda aktywna, detektory TL – pomiar energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów radonu (i toronu) zebranych na filtrze pyłomierza górniczego – *pomiar całkujący w okresie jednej zmiany roboczej*,
- „Kasety ECS i HCS” – nie osłonięte, pasywne detektory śladowe LR-115 umieszczone w kasetach nahełmowych [10] – wynik pomiaru ekspozycji na pochodne radonu zależy od stopnia równowagi promieniotwórczej pomiędzy radonem a produktami jego rozpadu – *pomiar całkujący w okresie jednego miesiąca lub kwartału*,
- „Radiometry RGR” – metoda aktywna, detektor półprzewodnikowy – pomiar stężenia poszczególnych produktów rozpadu radonu (bez toronu) zebranych na filtrze w okresie 5 lub 20 minut – *pomiar wartości chwilowej*.
- „Dozymetry osobiste – francuskie” [1] – metoda aktywna, detektor śladowy – pomiar energii potencjalnej alfa produktów rozpadu radonu i toronu zebranych na filtrze dawkomierza osobistego – *pomiar całkujący w okresie jednego miesiąca*.

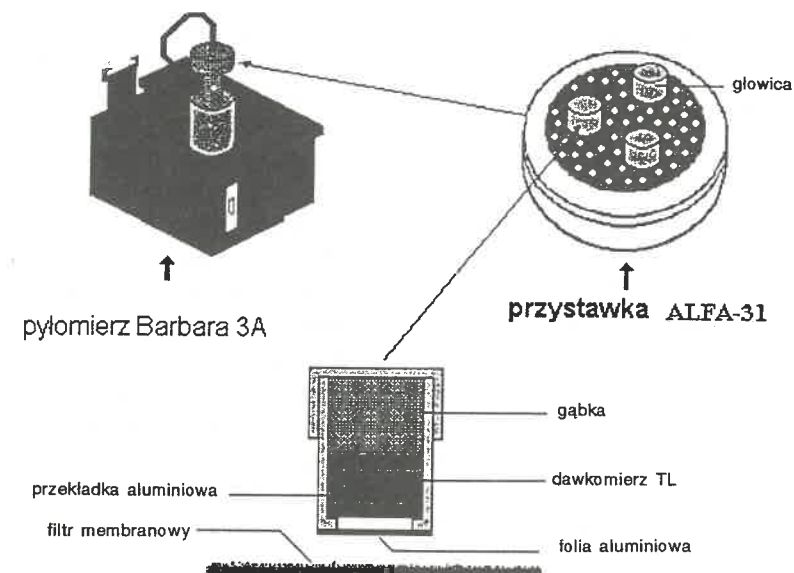
Powyższe metody zostały w sposób krytyczny omówione przez A. Czubka [5]. Jak widać, już w samych zasadach pomiarów wykonywanych różnymi metodami kryją się pewne różnice powodujące, że wielkości mierzone nie są tożsame. Ponadto różne metody obarczone są różnymi błędami, niekiedy grubymi. W przypadku wysokich stężeń pochodnych radonu rozbieżności pomiędzy wynikami uzyskiwanymi „Przystawkami ALFA-31” oraz detektorami śladowymi nie są drastyczne, natomiast w przypadku niskich stężeń rozbieżności sięgają jednego, a nawet czasem dwóch rzędów wielkości [24]. Ja chciałabym się ograniczyć do szczegółowego opisu metody pomiaru

„Przystawką ALFA-31”, ze szczególnym zwróceniem uwagi na pewne aspekty, które do tej pory nie zostały uwypuklone. Pragnę tak uczynić z następujących powodów:

- metoda ta jest powszechnie i rutynowo stosowana we wszystkich kopalniach węgla kamiennego (KWK),
- na podstawie wyników uzyskiwanych tą metodą dokonuje się oceny stanu narażenia radiacyjnego górników KWK,
- metoda ta jest mi najlepiej znana.

Koncepcja „Przystawki ALFA-31” polega na połączeniu zalet metody aktywnej i pasywnej. Dużą czułość i dokładność pomiarów uzyskuje się dzięki temu, że stosunkowo duże ilości powietrza ( $0,3 \text{ m}^3/\text{godz.}$ ) są przepompowywane przez filtr, nad którym znajdują się dawkomierze czułe na promieniowanie alfa. Prostotę i niski koszt urządzenia uzyskano wykorzystując jako pompę pyłomierze, które już były w posiadaniu wszystkich kopalń. Pozwoliło to również na wykorzystanie do pomiarów istniejących już, dobrze zorganizowanych służb kopalnianych.

Od kilku lat we wszystkich kopalniach węgla kamiennego systematycznie wykonuje się pomiary stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu na stanowiskach pracy. Pomiary te wykonuje się na ogół jednocześnie z pomiarami zapylenia. „Przystawka ALFA-31” jest miernikiem aktywnym stanowiącym połączenie pyłomierza grawimetrycznego z przystawką służącą do pomiaru pochodnych radonu [28, 25, 46] – **rys. 4**. Badane powietrze jest zasysane przez pompę typowego pyłomierza górniczego „Barbara 3A”, poprzez filtr membranowy, na którym osiadają pyły i aerozole wraz z pochodnymi radonu. Umieszczona nad filtrem „Przystawka ALFA-31” jest uchwytem, w którym zamocowane są dawkomierze termoluminescencyjne. Urządzenie pobiera próbkę w ciągu 6 godzin (jednej zmiany roboczej). Na wlocie powietrza do pyłomierza znajduje się separator ziarna pyłu (na ogół mikrocyklon), który oddziela ziarna grubsze tak, że do filtru docierają wyłącznie ziarna o średnicy poniżej 10 mm



Rys. 4. Pyłomierz „Barbara 3A” z „Przystawką ALFA-31”

(tzw. frakcja wdychalna), a elementy układu wlotu powietrza do pyłomierza wychwytyują te produkty rozpadu radonu, które jeszcze nie zdążyły związać się z pyłami lub aerozolami (frakcja wolna). W rezultacie **zmierzone stężenie energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu (i toronu) dotyczy wyłącznie związanej frakcji wdychalnej**. Z punktu widzenia narażenia radiacyjnego górników ta właśnie wielkość ma najistotniejsze znaczenie, bowiem jest rzeczą oczywistą, że interesuje nas tylko frakcja wdychalna, zaś udział frakcji wolnej w powietrzu kopalnianym jest tak mały, że praktycznie nie ma to większego znaczenia. Dawkomierze TL magazynują energię cząstek alfa emitowanych przez pochodne radonu zgromadzone na filtrze. „Zbieranie” energii cząstek alfa w dawkomierzach TL odbywa się przez cały okres pompowania powietrza oraz przez kilkanaście godzin po jego zakończeniu. Dzięki temu w dawkomierzach zmagazynowana jest energia cząstek alfa emitowanych zarówno przez pochodne  $^{222}\text{Rn}$ , jak i  $^{220}\text{Rn}$ . Na drugi dzień po zakończeniu pompowania filtr jest ważony, na podstawie czego określa się zapylenie powietrza. „Przystawka ALFA-31” wraz z dawkomierzami TL jest przesyłana

do laboratorium TLD, gdzie odczytuje się stężenie energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu. Ze względu na to, że mierzy się bezpośrednio pochodne radonu, a nie radon, wynik pomiaru nie jest obciążony błędem jaki wnosi założenie określonego współczynnika równowagi promieniotwórczej (co ma miejsce w niektórych innych metodach). Kalibracja „Przystawek ALFA-31” odbywa się w komorze radonowej metodą ciekłych scyntylatorów [2, 32]. Poziom detekcji pochodnych radonu za pomocą pyłomierza „Barbara 3A” z „Przystawką ALFA-31” przy sześciogodzinnym pomiarze jest nie gorszy niż  $0,05 \mu\text{J}/\text{m}^3$  na poziomie ufności 0,95. Błąd pomiaru w takich warunkach wynosi kilka procent. Szczegółowe dane techniczne tego przyrządu zamieszczone są w publikacjach [28, 25, 46], zaś wyniki porównań międzylaboratoryjnych w artykule Lebeckiej i wsp. [26]. Połączenie pomiaru zapylenia i stężenia energii potencjalnej alfa pochodnych radonu w jednym przyrządzie jest oryginalnym polskim rozwiązaniem [46]. Na wzór naszego przyrządu w Wielkiej Brytanii i w Republice Południowej Afryki opracowano podobne, wykorzystujące pyłomierze osobiste i detektory śladowe [8, 49].

## ZASADY KONTROLI I OGRANICZANIA NARAŻENIA RADIACYJNEGO GÓRNIKÓW

W Polsce kontrola i ograniczenie narażenia górników na działanie naturalnych substancji promieniotwórczych obowiązuje od 1989 roku, kiedy została wprowadzona w życie Polska Norma PN-88/Z-70071 „Ochrona radiologiczna w podziemnych zakładach górniczych. Limity narażenia i metody kontroli”. W ślad za tą normą wydane zostały przez Wspólnotę Węgla Kamiennego *Instrukcja kontroli narażenia.....*[19] oraz *Wytyczne bezpiecznego prowadzenia robót górniczych.....*[51]. Od tego czasu w kopalniach węgla kontrola jest prowadzona systematycznie. Obejmuje ona nie tylko krótkożyciowe produkty rozpadu radonu, lecz również promieniowanie gamma, a także promieniotwórcze wody i wytrącające się z nich osady. Wymienione wyżej *Wytyczne bezpiecznego prowadzenia robót* [51] dzieliły wyrobiska na zagrożone i nie zagrożone radiacyjnie bez podziału na klasy zagrożenia. Podstawę podziału stanowiły wartości stężeń i natężeń poszczególnych czynników zagrożenia na stanowiskach pracy, przy czym zgodnie z wówczas przyjętymi przelicznikami wartości maksymalnych dawek rocznych, jakie mógł otrzymać górnik zatrudniony na stanowisku nie zagrożonym radiacyjnie, wynosiły od 2,5 do 7,7 mSv, w zależności od tego, ile czynników zagrożenia występowało w danym miejscu równocześnie. Zwykle dawki te były mniejsze, gdyż czas pracy na danym stanowisku był krótszy od nominalnego. Zgodnie z wyżej wspomnianą Polską Normą autoryzowany limit dawki rocznej dla górników wynosił 35 mSv.

**Obecnie** limit ten został zmieniony przez przepisy wykonawcze do wydanej w 1994 roku ustawy *Prawo geologiczne i górnicze* [48]. Ustawa ta mówi, że kryteria zagrożeń określa Prezes Wyższego Urzędu Górniczego (WUG) w porozumieniu z Ministrem Przemysłu i Handlu, a w przypadku zagrożeń radiacyjnych działa on w porozumieniu z Prezesem Państwowej Agencji Atomistyki (PAA). Na tej podstawie zostało wydane *Zarządzenie Preze-*

*sa Wyższego Urzędu Górniczego w sprawie określania kryteriów oceny zagrożeń naturalnych oraz trybu zaliczania złóż kopalni, ich części lub wyrobisk górniczych do poszczególnych stopni zagrożeń* [52]. Zarządzenie to dzieli wyrobiska dołowe na dwie klasy zagrożenia radiacyjnego:

- **klasę A** – wyrobiska, w których wartość rocznego efektywnego równoważnika dawki mieści się w zakresie od 5 do 20 mSv,
- **klasę B** – wyrobiska, w których wartość rocznego efektywnego równoważnika dawki jest większa niż 20 mSv.

Zarządzenie to określa również na podstawie pomiarów jakich wielkości należy przeprowadzać klasyfikację wyrobisk. Są to:

- stężenie energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu,
- moc dawki promieniowania gamma,
- stężenie radu w wodach i osadach.

Niezmiernie ważną rzeczą jest, gdzie wykonuje się pomiary. Kontrola środowiska pracy ma na celu:

- znalezienie miejsc, w których występuje zagrożenie radiacyjne,
- dostarczenie danych umożliwiających ocenę dawek, na jakie narażeni są górnicy,
- dostarczenie danych dla podjęcia decyzji o konieczności wprowadzenia kontroli dawek indywidualnych otrzymywanych przez górników,
- dostarczenie informacji na temat rejonów i miejsc, gdzie należy stosować środki zapobiegawcze,
- dostarczenie informacji na temat skuteczności stosowanych środków zapobiegawczych.

W przypadku pochodnych radonu bardzo istotne jest znalezienie miejsc, w których może występować zagrożenie. Opracowana w końcu lat osiemdziesiątych *Instrukcja kontroli narażenia...*[19] dla kopalń węgla kamiennego oparta została na wynikach kilkuletnich badań stężeń radonu i jego pochodnych w kopalniach węgla. Ustalono, że w pierwszej kolejności należy wykonać pomiary w miejscach, gdzie przepływa zużyte powietrze z poszczególnych rejonów wentylacyjnych, a więc w tzw. sta-

acjach pomiarowych rejonowych prądów wentylacyjnych. Jeśli tam zostanie stwierdzone podwyższone stężenie pochodnych radonu, to obowiązkowo trzeba wykonać pomiary na stanowiskach pracy znajdujących się w tym rejonie. Stanowiska te, to przede wszystkim ściany eksploatacyjne oraz przodki drążonych wyrobisk korytarzowych. Pomiary wykonuje się nie w samej ścianie, lecz na wylocie zużytego powietrza w niewielkiej odległości od ściany. Stężenie pochodnych radonu w tym miejscu jest z reguły nieco wyższe niż w samej ścianie, co daje gwarancję, że ocena stanu narażenia w ścianie nie jest optymistyczna. W tym samym miejscu wykonywane są również obowiązkowe pomiary zapylenia, co pozwala na wykonywanie obu tych pomiarów jednocześnie, a tym samym znaczne zmniejszenie ich kosztów. Podobnie przedstawia się sprawa w przodkach wyrobisk korytarzowych. Ponadto osoba sprawująca nadzór nad kontrolą narażenia radiacyjnego w kopalni ma możliwość i obowiązek wyznaczania dodatkowo innych miejsc pomiarowych, co do których zachodzi obawa, że stężenia pochodnych radonu mogą tam być podwyższone.

Limit dawki dla górników został określony w *Rozporządzeniu Ministra Przemysłu i Handlu w sprawie bezpiecznego prowadzenia ruchu w podziemnych zakładach górniczych* [35]. Zgodnie z tym rozporządzeniem w wyrobiskach zagrożonych radiacyjnie należy wprowadzić takie metody organizacji pracy i zwal-

czania zagrożenia radiacyjnego, aby roczny efektywny równoważnik dawki dla osób pracujących w tych zakładach nie przekroczył wartości 50 mSv, a w ciągu kolejnych pięciu lat wartości 100 mSv. W rozporządzeniu tym określono także dwa poziomy dawek, determinujące działania zapobiegawcze:

- **inspekcyjny**, wynoszący 2 mSv/rok, przekroczenie którego nakłada na zakład obowiązek kontroli warunków w miejscu pracy,
- **interwencyjny**, wynoszący 5 mSv/rok, przekroczenie którego nakłada obowiązek prowadzenia działań prewencyjnych w celu obniżenia lub likwidacji zagrożenia na stanowiskach pracy.

Poziom interwencyjny odpowiada dolnemu zakresowi klasy A wyrobisk zagrożonych radiacyjnie. Oznacza to, że we wszystkich wyrobiskach zagrożonych radiacyjnie działania zmierzające do likwidacji lub ograniczenia zagrożenia są obowiązkowe.

W rozporządzeniu określono również wartości limitów pochodnych dla poszczególnych wskaźników zagrożenia (**tabela 1**) oraz podano podstawowe zasady działań prewencyjnych w odniesieniu do poszczególnych źródeł zagrożenia radiacyjnego.

*Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu* wraz z załącznikami również szczegółowo określa wymogi i zasady kontroli zagrożenia radiacyjnego w kopalniach podziemnych. W wyrobiskach zaliczonych do klasy A zagrożenia radiacyjnego wymagana jest kontrola

**Tabela 1. Limity poszczególnych wskaźników zagrożenia radiacyjnego**

Wskaźnik zagrożenia	Poziom inspekcyjny (2 mSv)	Poziom interwencyjny (5 mSv)	Poziom kontroli indywidualnej (20 mSv)	Średnioroczny limit dawki (20 mSv)	Jednoroczny limit dawki (50 mSv)
Stężenie energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu $C_{\alpha}$ , $\mu\text{J}/\text{m}^3$	0,8	2	8	8	20
Moc dawki promieniowania gamma, $X$ , $\mu\text{Gy}/\text{h}$	1,2	3	12	12	30
Stężenie izotopów radu w wodzie, $C_{Raw}$ , $\text{kBq}/\text{m}^3$	300	750	3000	3000	7500
Stężenie izotopów radu w osadzie, $C_{Rad}$ , $\text{kBq}/\text{kg}$	60	150	600	600	1500



środowiska pracy. W wyrobiskach zaliczonych do klasy B zagrożenia radiacyjnego wymagana jest kontrola środowiska pracy i kontrola indywidualna zatrudnionych tam osób. Wymaganą częstotliwość kontroli poszczególnych wskaźników zagrożenia podano w **tabeli 2**.

Zgodnie z wspomnianymi przepisami, laboratoria wykonujące pomiary i badania powinny być akredytowane w Centrum Badań i Akredytacji (CBiA) lub powinny być upoważnione przez Prezesa PAA w porozumieniu z Prezesem WUG. Osoby nadzorujące oraz osoby wykonujące pomiary w kopalniach muszą być przeszkolone na kursach, których program jest zatwierdzony przez Prezesów PAA i WUG. Przepisy, o których mowa wyżej obowiązują w kopalniach podziemnych wszystkich surowców mineralnych. Tym samym zasady kontroli i profilaktyki narażenia radiacyjnego w kopalniach zostały ujednoczone.

Omówione wyżej przepisy są zgodne z najnowszymi zaleceniami Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej (ICRP) [18] oraz opublikowanymi w 1994 r. Podstawowymi Międzynarodowymi Normami Ochrony Ra-

diologicznej i Bezpieczeństwa Źródeł Promieniowania Jonizującego [21].

Jedną z głównych zalet działającego w polskim górnictwie systemu kontroli zagrożenia radiacyjnego jest jego prostota a zarazem efektywność [23].

- Pomiary (pobory próbek) są wykonywane przez kopalnie, przy czym są one na ogół połączone z rutynowymi pomiarami innych wielkości, ważnych ze względu na bezpieczeństwo pracy. Na przykład pomiar pochodnych radonu jest zwykle wykonywany tym samym przyrządem jednocześnie z pomiarem zapylenia. Takie rozwiązanie znacznie upraszcza, obniża koszty i zwiększa pewność oraz wiarygodność pomiarów.
- Odczyty wartości mierzonych oraz oznaczenia, czyli pomiary w ścisłym tego słowa znaczeniu dokonywane są w upoważnionym do tego laboratorium, akredytowanym przez CBiA. Laboratorium takie stale uczestniczy w programach międzynarodowych testów międzylaboratoryjnych i pomiarów porównawczych. Zapewnia to wysoki poziom, rzetelność i niezależność badań, a także zaufanie pomiędzy klientem a laboratorium.

Tabela 2. Wymagana częstotliwość kontroli środowiskowej poszczególnych wskaźników zagrożenia

Źródło narażenia	Wielkość mierzona (wskaźnik zagrożenia)	Zakres mierzonych wartości	Wymagana częstotliwość kontroli	Zmiana częstotliwości kontroli
Krótkożyciowe produkty rozpadu radonu	$C_\alpha$ – stężenie energii potencjalnej alfa	$C_\alpha \leq 0,8 \mu\text{J}/\text{m}^3$	raz na kwartał	Częstotliwość kontroli można zmniejszyć, jeśli średnia z trzech kolejnych pomiarów jest mniejsza od dolnej granicy przedziału.
		$0,8 \mu\text{J}/\text{m}^3 < C_\alpha \leq 2 \text{ mJ}/\text{m}^3$	raz na miesiąc	
		$C_\alpha > 2 \mu\text{J}/\text{m}^3$	trzy razy w miesiącu	
Promieniowanie gamma	$X$ – moc dawki ekspozycyjnej	$X \leq 1,2 \mu\text{Gy}/\text{h}$	raz w roku	Zwiększenie częstotliwości kontroli jest wymagane już po jednorazowym otrzymaniu wyniku powyżej górnej granicy przedziału.
		$1,2 \mu\text{Gy}/\text{h} < X \leq 3 \mu\text{Gy}/\text{h}$	raz na kwartał	
		$X > 3 \mu\text{Gy}/\text{h}$	raz w miesiącu	
Wody radowe	$C_{Raw}$ – stężenie izotopów radu	$C_{Raw} \leq 300 \text{ kBq}/\text{m}^3$	raz w roku	
		$C_{Raw} > 300 \text{ kBq}/\text{m}^3$	raz na kwartał	
Osady	$C_{Rao}$ – aktywność właściwa izotopów radu	$C_{Rao} \leq 60 \text{ kBq}/\text{kg}$	raz na 4 lata	
		$60 \text{ kBq}/\text{kg} < C_{Rao} \leq 150 \text{ kBq}/\text{kg}$	raz w roku	
		$C_{Rao} > 150 \text{ kBq}/\text{kg}$	raz na kwartał	

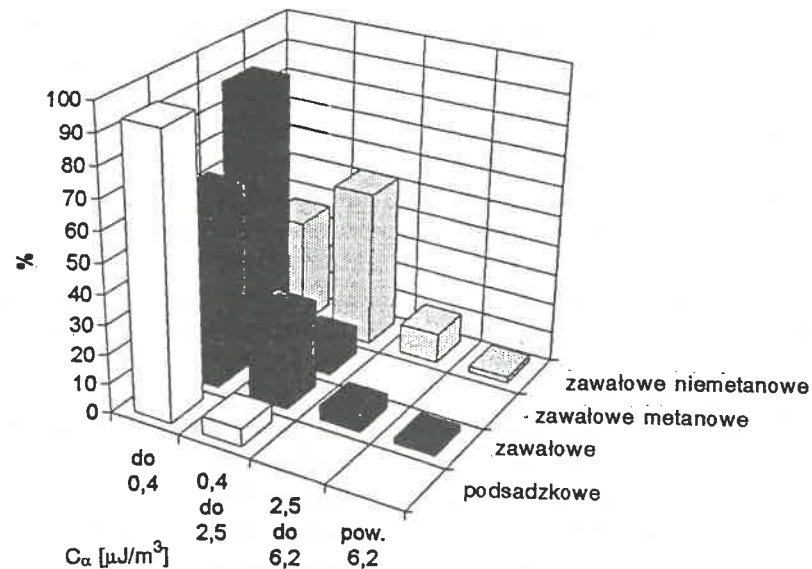
- Metody i przyrządy pomiarowe, a także system ich odczytów i kalibracji pozwala na uzyskanie dobrej czułości, precyzji i dokładności pomiarów.
- Prostota systemu organizacyjnego umożliwia łatwą i skuteczną jego kontrolę przez urzędy górnicze, dozór jądrowy oraz inne upoważnione organa kontroli. Daje też organom do tego upoważnionym możliwość łatwego dostępu do informacji, gwarantując jednocześnie niezbędne zaufanie pomiędzy klientami a laboratorium badawczym.
- System jest zgodny z zaleceniami międzynarodowymi i w dużym stopniu odpowiada przepisom niektórych krajów Unii Europejskiej, np. Wielkiej Brytanii [53].  
W systemie kontroli i profilaktyki wciąż odczuwa się jeszcze braki w prostych i skutecznych metodach ograniczania stężeń radonu i produktów jego rozpadu. Trwają obecnie intensywne prace badawcze na ten temat. Poza tym dotychczas odczuwało się niedostatki w dokumentowaniu stanu narażenia radiacyjnego górników.

## STAN NARAŻENIA RADIACYJNEGO GÓRNIKÓW W POLSCE

W Polsce ocena stanu narażenia radiacyjnego górników różnych surowców mineralnych jest przeprowadzana na podstawie wyników pomiarów stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu, wykonywanych różnymi metodami. Jak wspomniałam wyżej, występują istotne rozbieżności pomiędzy wynikami uzyskiwanymi za pomocą różnych metod. Stąd trudno jest dokonać poprawnej i spójnej oceny dla całego górnictwa. W tej sytuacji dokonam takiej oceny na podstawie dostępnych danych z własnym komentarzem na temat ich znaczenia.

Według danych z *Raportu o stanie zagrożenia radiacyjnego w kopalniach węgla kamiennego* w 1994 roku [37], sporządzonego w Głównym Instytucie Górnictwa, na 70 czynnych w Polsce kopalni węgla kamiennego w 20. było co najmniej jedno wyrobisko, w którym

stężenie energii potencjalnej alfa  $C_\alpha$  przekraczało wartość  $0,8 \mu\text{J}/\text{m}^3$ . Osoby przebywające tam (2000 godzin w ciągu roku) otrzymałyby od pochodnych radonu roczną dawkę promieniowania wynoszącą co najmniej 2 mSv. Dla porównania, średnie stężenie radonu w budynkach mieszkalnych na terenie Śląska [50] wynosi  $55,7 \text{ Bq}/\text{m}^3$ , co przy współczynniku równowagi  $F = 0,5$  odpowiada średniemu stężeniu pochodnych radonu  $0,14 \mu\text{J}/\text{m}^3$ . Ani rozkład stężeń radonu, ani jego pochodnych, ani współczynników równowagi nie jest równomierny w obrębie tej samej kopalni. Wartości te zmieniają się w bardzo szerokich granicach. Na przykład  $C_\alpha$  w obrębie tej samej kopalni może się zmieniać od poniżej  $0,02 \mu\text{J}/\text{m}^3$  do kilkunastu  $\mu\text{J}/\text{m}^3$ , zaś  $F$  może się zmieniać od  $< 0,05$  do  $0,90$  [38]. Dlatego jako zagrożone radiacyjnie klasyfikuje się poszczególne wyrobiska, a nie całe kopalnie. Jest to słuszne nie tylko w odniesieniu do pochodnych radonu, lecz również w odniesieniu do promieniowania gamma oraz promieniotwórczych osadów i wód. Obserwuje się jednak pewne prawidłowości (rys. 5). Stężenia pochodnych radonu są z reguły niższe w tych kopalniach i tych wyrobiskach, gdzie występują zagrożenia gazowe. Jest to zrozumiałe zważywszy, że w kopalniach gazowych wymagane jest bardziej intensywne przewietrzanie. Stężenia pochodnych radonu są niższe w miejscach, gdzie stosuje się podsadzkę niż tam, gdzie eksploatację prowadzi się z zawałem stropu [38, 27, 33]. Podsadzka utrudnia bowiem wydostawanie się radonu ze spękanych skał. Wysokie stężenia radonu i pochodnych spotyka się w kopalniach z rozwiniętą siecią wyrobisk, dużym obszarem zrobów zawałowych, słabszym przewietrzaniem i z dużymi dopływami wód radowych. Liczba wyrobisk zagrożonych radiacyjnie w poszczególnych kopalniach jest różna, tym samym różna jest liczba osób zatrudnionych w warunkach zagrożenia radiacyjnego. Szacuje się [37], że na około 214 tysięcy osób zatrudnionych pod ziemią w kopalniach węgla kamiennego około 2100 osób pracowało w warunkach zagrożenia radiacyjnego, tzn.



Rys. 5. Rozkład stężeń pochodnych radonu w zależności od systemu prowadzenia stropu i obecności metanu

z tytułu pracy w kopalni było narażonych na otrzymanie dawek rocznych przekraczających 5 mSv, zaś około 32 tysiące osób w wyrobiskach, w których przekroczony jest poziom inspekcyjny, tzn. występuje narażenie na otrzymanie dawek rocznych przekraczających 2 mSv (tabela 3). Jest to dawka dodatkowa ponad normalną dawkę roczną 2,8 mSv, jaką statystyczny Polak otrzymuje z różnych źródeł naturalnych i sztucznych [12]. Średnia dawka, jaką otrzymał statystyczny górnik zatrudniony w podziemiach kopalń węgla kamiennego w Polsce w 1994 roku, wynosi 0,90 mSv, z czego od krótkożyciowych produktów rozpadu radonu pochodzi 0,55 mSv. Wartości te są oczywiście przybliżone. Obliczono je na podstawie średniej wartości  $C_{\alpha}$  z 7095 rutynowych pomiarów wykonanych w 1994 roku „Przystawkami ALFA-31” oraz na podstawie analogicznych danych dotyczących innych źródeł zagrożenia radiacyjnego w kopalniach.

Największe stężenie energii potencjalnej alfa pochodnych radonu  $C_{\alpha}$ , zmierzone w 1994 roku w kopalni węgla, wynosiło  $5,7 \mu\text{J}/\text{m}^3$ , co oznacza, że gdyby ludzie pracowali w tym wyrobisku przez cały rok w najbardziej niekorzystnych warunkach, a stężenie pochodnych radonu utrzymywałoby się na niezmiennym po-

ziomie – dawka roczna wyniosłaby 14 mSv, czyli średnioroczny limit dawki (20 mSv) nie zostałby przekroczony. Trzeba zaznaczyć, że tak wysokie stężenia pochodnych radonu zdarzają się w polskich kopalniach dość rzadko. Na przykład w 1994 roku tylko 1,3% wszystkich wyników pomiarów przekraczało wartość  $2 \mu\text{J}/\text{m}^3$ .

Główny Instytut Górnictwa co roku sporządza raporty o stanie narażenia radiacyjnego w kopalniach węgla kamiennego. Dane z tych raportów wskazują, że w latach ubiegłych zdarzały się wyższe stężenia pochodnych radonu, sięgające kilkunastu  $\mu\text{J}/\text{m}^3$ , a w 1987 roku w jednej z kopalń w jednym, nieczynnym już wyrobisku jednorazowo odnotowano nawet wartość  $63 \mu\text{J}/\text{m}^3$ . W ostatnich latach systematycznie zmniejszają się średnie stężenia pochodnych radonu w wyrobiskach podziemnych kopalń węgla, a co za tym idzie, maleje średnia dawka promieniowania otrzymywana przez górników. Tendencję tę zilustrowano na rys. 6. Jest to spowodowane głębokimi zmianami zachodzącymi obecnie w przemyśle węglowym. Przede wszystkim ogranicza się znacznie obszar czynnych wyrobisk. Eksploatacja jest bardziej skoncentrowana. W miejsce dużej liczby ścian eksploatacyjnych wprowadza się ściany

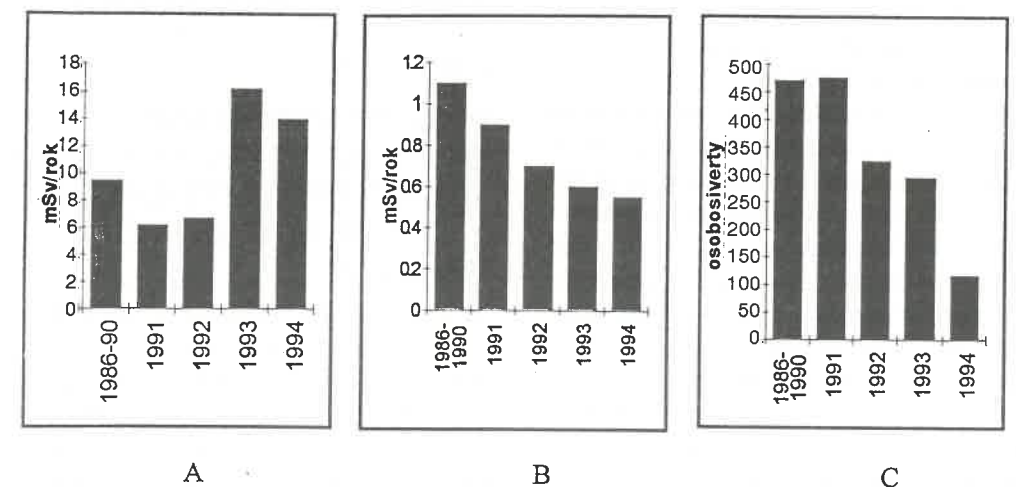
Tabela 3. Stan narażenia radiacyjnego górników KWK w 1994 roku

Narażenie na otrzymanie dawek	mSv/rok	< 2	2 do 5	5 do 20	> 20
Stan wg przepisów		poniżej poziomu inspekc.	przekroczony poziom inspekc.	klasa zagrożenia A	klasa zagrożenia B
Procent zatrudnionych pod ziemią	%	85	14	1	0
Liczba kopalń z wyrobiskami zagrożonymi					
	pochodnymi radonu	50	20	7	0
	promieniowaniem $\gamma$	67	3	1	0
	wodami radowymi	70	0	0	0
	promieniotwórczymi osadami	68	2	0	0

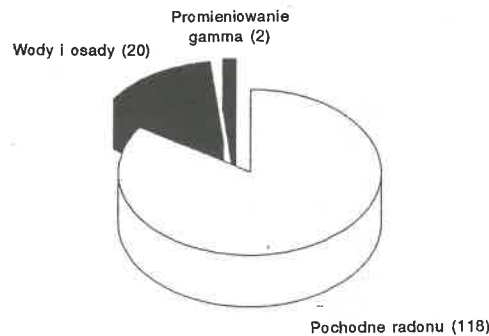
wysokowydajne. Następuje poprawa przewietrzania wyrobisk. Draj się mniej wyrobisk przygotowawczych. Izoluje się wyrobiska, w których obecnie nie przewiduje się eksploatacji. Ponadto na obniżenie dawek wpłynęły również w pewnym stopniu działania techniczne i organizacyjne, wynikające ze stosowania od 1989 roku *Wytycznych klasyfikacji wyrobisk oraz bezpiecznego prowadzenia robót w warunkach zagrożenia radiacyjnego powodowanego naturalnymi substancjami promieniotwórczymi* [51]. Wydatnie zmniejsza się również dopływy wód do wyrobisk, a zwłaszcza wód słonych, które często zawierają rad. W ostatnich latach systematycznie zmniejsza się nie tylko dawka średnia, lecz w jeszcze większym stopniu dawka kolektywna otrzymywana

przez górników (rys. 6 i 7). To z kolei jest spowodowane znacznym spadkiem zatrudnienia w górnictwie. O ile w 1989 roku w podziemiach kopalń węgla było zatrudnionych około 320 tys. osób, to w 1994 roku liczba ta wynosiła około 214 tysięcy.

Pomimo iż stan narażenia radiacyjnego górników kopalń węgla nie wydaje się być alarmujący, podjęto próby wykonania badań epidemiologicznych zachorowalności na nowotwory płuc i krtani u górników i innych grup zawodowych na terenie Śląska. Jest to sprawa trudna, zważywszy że na Śląsku występuje wiele zanieczyszczeń, w tym również czynników kancerogennych. Badania pilotowe [43] wykonane przez Instytut Onkologii w Gliwicach i Główny Instytut Górnictwa



Rys. 6. Stężenia pochodnych radonu i dawki kolektywne w KWK w latach 1986 – 1994  
A – maksymalne stężenia  $C_{\alpha}$ , B – średnie stężenia  $C_{\alpha}$ , C – dawki kolektywne



Rys. 7. Dawki kolektywne w 1994 r. (osobowości)

wskazują, że efekt narażenia na radon może być istotny. Wyniki te są jednak oparte na razie na zbyt skromnym materiale, wymagają więc dalszych badań celem potwierdzenia lub wykluczenia tej hipotezy. Z kolei wyniki najnowszych badań, przeprowadzonych dla wszystkich górników chorych na pylicę, a więc tych, którzy pracowali w wyjątkowo trudnych warunkach, wskazują na większą zachorowalność na nowotwory płuc [54].

Wartości dawek maksymalnych i średnich z kopalń węgla kamiennego podawanych zarówno w raportach GIG, jak i w publikacjach [42, 38], są prawie dwukrotnie większe od dawek podanych wyżej w tekście i na rys. 6. Wynika to z tego, że w nowych przepisach [35] wprowadzono inne, nowe przeliczniki ekspozycji na efektywny równoważnik dawki, zgodne z najnowszymi zaleceniami organizacji międzynarodowych [21,18].

Dane dotyczące kopalń innych surowców mineralnych oparte są na wynikach pomiarów wykonywanych przez Instytut Medycyny Pracy w Łodzi (IMP) za pomocą nie osłoniętych detektorów śladowych (typu ECS i HCS) noszonych na hełmach górników lub umieszczanych w określonych miejscach [3]. Dane te były prezentowane między innymi na międzynarodowej konferencji NRE-V w Salzburgu w 1991 roku [9]. Jak wynika z przedstawionych tam danych, 16% wszystkich górników w Polsce pracuje w warunkach narażenia na produkty rozpadu radonu w stężeniach przekraczających  $0,85 \mu\text{J}/\text{m}^3$ . Odsetek górników

pracujących w tych warunkach w poszczególnych branżach górniczych jest według IMP następujący: górnicy węgla – 17%, górnicy rud metali – 1%, górnicy innych kopalń – 8,5%. Maksymalne stężenia pochodnych radonu w kopalniach węgla sięgały  $40 \mu\text{J}/\text{m}^3$ , w kopalniach rud metali  $5 \mu\text{J}/\text{m}^3$ , zaś w innych kopalniach  $8,7 \mu\text{J}/\text{m}^3$ . Według IMP w ostatnich latach obserwuje się wzrost stężeń pochodnych radonu w kopalniach węgla. Przedstawiane przez IMP dane dla kopalń węgla odbiegają od wartości przedstawianych w raportach GIG [24, 41], na przykład w 1994 roku według GIG w warunkach narażenia na stężenia pochodnych radonu powyżej  $0,8 \mu\text{J}/\text{m}^3$  pracowało 6,1% górników. Rozbieżności między wynikami otrzymywanymi różnymi metodami są także podkreślane w publikacjach IMP [4]. Występują one zarówno w kopalniach węgla (różnice między wynikami otrzymywanymi „Przystawkami ALFA-31” i detektorami śladowymi), jak i w innych kopalniach (różnice między wynikami otrzymywanymi za pomocą Radiometrów RGR i detektorami śladowymi) [24, 41]. Nadmienić przy tym trzeba, że wyniki pomiarów wykonywanych „Przystawkami ALFA-31” i Radiometrami RGR są spójne. Jak widać na podstawie tych danych, trudno jest dokonać oceny narażenia radiacyjnego dla całego górnictwa, jednak prezentowane przez IMP wartości wskazują, że narażenie radiacyjne w kopalniach niewęglowych jest mniejsze niż w kopalniach węgla.

### PORÓWNANIE STANU OCHRONY RADIOLOGICZNEJ W KOPALNIACH POLSKICH Z SYTUACJĄ W INNYCH KRAJACH

W kopalniach nieuranowych w większości krajów nie prowadzi się w ogóle systematycznej kontroli narażenia górników na radon i jego pochodne. Stąd wiadomości o stanie narażenia górników na radon są bardzo skąpe. Jeszcze mniej wiadomo na temat ich narażenia na promieniowanie gamma oraz o występowaniu w kopalniach nieuranowych promienio-

twórczych wód i osadów. Większość informacji na ten temat pochodzi ze sporadycznie wykonywanych pomiarów przeprowadzonych dla celów badawczych.

Szczegółowe i bardzo dobre przepisy kontroli i profilaktyki zagrożenia radiacyjnego powodowanego naturalnymi substancjami promieniotwórczymi, a zwłaszcza radonem, zostały wydane w 1985 roku w Wielkiej Brytanii [53]. Górnictwo w Wielkiej Brytanii zostało jednak w znacznej mierze zlikwidowane, w związku z czym praktyczne stosowanie tych przepisów jest znacznie ograniczone. W Wielkiej Brytanii wykonuje się przede wszystkim kontrolę środowiska pracy. Pochodne radonu mierzy się przyrządami skonstruowanymi na wzór polskiej przystawki „ALFA-31” do brytyjskiego pyłomierza MRE 113 [8]. Podobnie jak w Polsce, pomiar wykonuje się przez jedną zmianę roboczą.

W Niemczech w 1992 roku rozpoczęto systematyczne, rutynowe pomiary radonu w kopalniach. Są one wykonywane detektorami śladowymi umieszczonymi w kubkach typu Karlsruhe [34].

We Francji w kopalniach węgla pomiary radonu i jego pochodnych wykonuje się na zlecenie kopalń; w niektórych z nich stwierdza się dość wysokie stężenia pochodnych radonu [39]. Serię pomiarów badawczych we wszystkich kopalniach wykonano przed kilku laty. Zgodnie z ówczesnymi zaleceniami EWG [13] kontrolę należało rozpocząć od pomiaru stężenia radonu w szybach wydechowych, a w przypadku gdy stężenie to przekraczało  $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$  (co przy współczynniku równowagi  $F = 0,25$  odpowiada stężeniu pochodnych  $0,62 \mu\text{J}/\text{m}^3$ ), wykonać szczegółowe pomiary w obrębie całej kopalni. W kopalniach innych surowców mineralnych kontrolę środowiska pracy realizuje się na zlecenie kopalń przy dawkach mogących przekraczać 5 mSv na rok przez pomiar dawek indywidualnych u wybranych osób spośród grupy pracowników (dozymetria funkcyjna). Do tego celu używa się mierników aktywnych, takich jakie stosowane są również w niektórych kopalniach w Polsce, o czym wspomniano wyżej.

W Republice Południowej Afryki rozpoczęto w ciągu ostatnich lat systematyczną kontrolę narażenia górników kopalń złota i kopalń węgla na działanie radonu. Według informacji z 1993 roku, rozpoczęto tam wprowadzanie dozymetrii funkcyjnej. Pomiary ekspozycji na pochodne radonu wykonuje się jednocześnie z pomiarami ekspozycji na pyły wdychalne, używając do tego celu pyłomierzy osobistych z przystawkami zawierającymi detektory śladowe.

Systematycznych, rutynowych pomiarów radonu lub jego pochodnych w kopalniach węgla nie prowadzi się dotychczas w USA. W ostatnich miesiącach podjęto pewne próby mające na celu oszacowanie stężeń pochodnych radonu jakie występowały w kopalniach na przestrzeni kilku lat, na podstawie pomiaru długożyciowych produktów rozpadu radonu zgromadzonych na filtrach pyłomierzy górniczych. Wstępne wyniki tych pomiarów wskazują na występowanie w kopalniach amerykańskich wyższych stężeń pochodnych radonu niż w kopalniach polskich [17]. Podjęto także próby skonstruowania przystawki (analogicznej do polskiej „Przystawki ALFA-31”) do amerykańskich pyłomierzy osobistych.

Brakuje szczegółowych danych na temat stanu narażenia radiacyjnego w kopalniach węgla w innych krajach z ostatnich dwóch lat. Wcześniejsze dane na ten temat podaję na podstawie dostępnych publikacji.

Maksymalne stężenia krótkożyciowych produktów rozpadu radonu w Wielkiej Brytanii i w Niemczech są następujące:

<i>Wielka Brytania</i> [7, 30]	
(w pięciu szczegółowo zbadanych kopalniach)	$0,85 \mu\text{J}/\text{m}^3$
<i>Republika Federalna Niemiec</i> [34]	
stężenie $^{222}\text{Rn}$ – $3300 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ,	
co odpowiada około	$5 \mu\text{J}/\text{m}^3$

Z porównania tych wartości z danymi dotyczącymi polskich kopalń wynika, że w polskich kopalniach spotyka się wyższe stężenia pochodnych radonu. Przyczyny tego można upatrywać w bardziej rozwiniętej sieci wyrobisk i słabszej wentylacji w polskich kopalniach. Poza tym w kopalniach za granicą wy-

konuje się mniej pomiarów niż w Polsce i być może nie natrafiono jeszcze na miejsca, gdzie występują wyższe wartości stężeń.

Jeśli zamiast wartości maksymalnych rozpatrzy się wartości średnie, to obraz przedstawia się następująco:

Wielka Brytania	od 0,1 do
(dla poszczególnych kopalń)	0,41 $\mu\text{J}/\text{m}^3$
Republika Federalna Niemiec	ok. 0,3 $\mu\text{J}/\text{m}^3$

Są to więc wartości nie odbiegające w dół od wartości dla kopalń polskich.

W górnictwie innych krajów, poza Polską, do tej pory bardzo małą uwagę zwracano na narażenie górników kopalń nieuranowych na promieniowanie gamma oraz na występowanie w kopalniach promieniotwórczych osadów i wód. Jak wynika z bardzo skąpych na razie informacji, problem ten – choć o znacznie mniejszym znaczeniu niż narażenie na pochodne radonu – zdaje się występować również w innych krajach [15].

## PODSUMOWANIE

Radon, a właściwie krótkożyciowe produkty jego rozpadu są najpoważniejszym źródłem narażenia radiacyjnego górników. Jest to jedno z wielu zagrożeń naturalnych występujących w kopalniach. W większości krajów nie prowadzi się dotychczas systematycznej kontroli tego zagrożenia w kopalniach nieuranowych. W Polsce kontrola i profilaktyka narażenia jest prowadzona rutynowo od kilku lat. W roku bieżącym wprowadzono nowe przepisy dotyczące ochrony radiologicznej w kopalniach. Według kryteriów określonych w tych przepisach około tysiąca (< 0,5%) górników kopalń węgla pracuje w warunkach zagrożenia radiacyjnego (możliwość otrzymania dawek powyżej 5 mSv/rok), zaś na około 20% stanowisk pracy pod ziemią w kopalniach węgla przekroczony jest poziom inspekcyjny (możliwość otrzymania dawek powyżej 2 mSv/rok). W ciągu ostatnich trzech lat obserwuje się spadek dawek średnich oraz dawki kolektywnej w kopalniach węgla. Jest to spowo-

dowane głównie ograniczeniem liczby wyrobisk i wydobywania oraz zmniejszeniem zatrudnienia, a także zmianami organizacyjnymi w górnictwie i stosowaniem profilaktyki zagrożenia radiacyjnego. Tak więc można powiedzieć, że narażenie radiacyjne górników jest sprawą istotną, chociaż stan tego narażenia nie jest alarmujący. Dawki średnie są porównywalne z dawkami średnimi z kopalń węgla w Niemczech i w Wielkiej Brytanii. Dawki maksymalne są w polskich kopalniach wyższe. Dane z kopalń innych surowców mineralnych są trudne do interpretacji, gdyż kontrola narażenia radiacyjnego była tam dotychczas prowadzona innym systemem, który jest niespójny z systemem kontroli w kopalniach węgla. Wprowadzenie nowych przepisów powinno uregulować tę sprawę. Pomiar radonu oraz produktów jego rozpadu w kopalniach są trudne, o czym świadczą na przykład wyniki pomiarów porównawczych wykonywanych z udziałem różnych laboratoriów na świecie. Ze wszech miar słuszne jest wprowadzenie obowiązku systematycznego przeprowadzania pomiarów porównawczych oraz interkalibracji a także określenie wymogów dotyczących jakości badań. Będzie to stanowić rękojmię prawidłowych wyników. Polskie przepisy ochrony radiologicznej w kopalniach są bardzo nowoczesne. Polski przyrząd do jednoczesnego pomiaru zapylenia i stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu w powietrzu spotkał się nie tylko z uznaniem, lecz również z naśladownictwem w innych krajach. Znalazło to nawet wyraz w rekomendacjach zawartych w opracowaniu wykonanym przez British Coal na zlecenie Komisji Wspólnot Europejskich [8]. Konsekwentne dalsze wdrażanie jednolitego systemu kontroli i profilaktyki zagrożenia we wszystkich kopalniach powinno się przyczynić do dalszego ograniczenia narażenia górników. Obecnie wciąż za mało rozwinięte są proste i skuteczne metody profilaktyki zagrożenia. Wymaga też udoskonalenia i usprawnienia system ewidencjonowania i dokumentowania stanu narażenia radiacyjnego górników.

## Literatura

- [1] Bertrand C., Pineau J.F., Materiel de mesure des ambiances radioactives et de dosimetrie des travailleurs dans les mines d'uranium, Limoges 19 – 21 IX 1989.
- [2] Chałupnik S., Lebecka J., Tomza I., A Method of Absolute Measurement of Radon-Daughter Concentration in Air, II Int. Conf. „Low Radioactivities 85”, Bratysława, p. 289, 1985.
- [3] Chruścielewski W., Domański T., System of personal dosimetry introduced in Polish non-uranium mines. In „Radiation Hazards in Mining: Control, Measurement and Medical Aspects”. Ed. M. Gomez. Proc. Int. Conf., 4 – 9 October 1981, Colorado School of Mines, Golden, USA.
- [4] Chruścielewski W., Domański T., Kluszczyński D., Olszewski J., Measurement Systems and their Impact on the Estimation of the Individual Miners Exposures, Fifth International Symposium on the Natural Radiation Environment, Salzburg, Austria, September 22 – 28, 1991.
- [5] Czubek J.A., Krytyczna ocena rutynowych pomiarów radonu w atmosferze kopalnianej wykonywanych w Polsce, Postępy Techniki Jądrowej, Vol. 36, Z. 3 – 4, 1993.
- [6] Czubek J.A., Uwagi do stanowiska Podkomisji w sprawie rozbieżności w ocenie stężeń radonu i produktów jego rozpadu w kopalniach oraz stosowanych w Polsce metod oznaczeń, Postępy Techniki Jądrowej, Vol. 37, Z. 3, 1994.
- [7] Davis A.W., The impact of the ionising radiations regulations on mining operations, The Mining Engineer, Vol. 149, August, No 335, 1989.
- [8] Development of Improved Techniques for Monitoring of Radon decay Products, British Coal, Final report Project No. 7263-02/076/08, Commission of the European Communities, Directorat General for Employment, Industrial Relations & Social Affairs, Health & Safety Directorate, 1993.
- [9] Domański T., Chruścielewski W., Kluszczyński D., Olszewski J., Radiation Hazard in Polish Mines – Measurements and Computer Simulations, Fifth International Symposium on the Natural Radiation Environment, Salzburg, Austria, September 22 – 28, 1991.
- [10] Domański T., Chruścielewski W., Liniecki J., Evaluation of radon and its daughter products concentration in the air using triacetate foils., Nukleonika, 20, 589 – 600, 1975.
- [11] Domański T., Liniecki J., Howlek J., Andryszek C., Stężenie produktów rozpadu radonu w niektórych polskich kopalniach węgla, rud metali i surowców chemicznych, Med. Pracy, 21 23 – 31, 1970.
- [12] Dzikiewicz-Sapiecha H., Biernacka M., „Kontrola narażenia ludności od naturalnych źródeł promieniowania jonizującego w świetle zaleceń ICRP”, referat na Konferencję Naukową Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej – Augustów 1985. Post. Fiz. Med. 1986 nr 3.
- [13] Entwurf des Vorschlags für eine Richtlinie zur Festlegung der Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Generaldirection Umwelt, Nucleare Sicherheit und Katastrophenschutz, XI-a-1 Strahlenschutz, Dok. Nr. 40057/1/92. EN Luxemburg 1992.
- [14] EPA/Office of Radiation and Indoor Air – Las Vegas, International Intercomparison Data, Twilight Mine, USA, 1994.
- [15] Gans I., Radium in Waste Waters from Coal Mines and other Sources in FRG., Proc. Of the Second Special Symposium on Natural Radiation Environment, Bombay, India, 1981.
- [16] Green B.M.R., Hughes J.S., Lomas P.R., „Radiation Atlas. Natural Sources of Ionizing Radiation in Europe”, CEC – NRPB, 1991.
- [17] Holub R.F. & all., Dust Samplers as Means of Measuring Long and Short Lived Radon progeny in Mines, International Symposium on Natural radiation Environment (NRE-VI), June 5 – 9, 1995, Montreal, Quebec, Canada.

[18] ICRP Publication 65: Protection against Radon-222 at Home and at Work. Pergamon Press (September, 1993).

[19] Instrukcja prowadzenia kontroli narażenia radiacyjnego od naturalnych substancji promieniotwórczych w kopalniach węgla kamiennego. Wspólnota Węgla Kamiennego, Katowice, 1988.

[20] International Intercomparison of Measurements of Radon and Radon Decay Products, Badgastein, Austria, September, 29 – 30, 1991.

[21] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. FAO, IAEA, ILO, OECD, PAHO, WHO, 1994.

[22] *Lebecka J., Chalupnik S., Mielnikow A.*, Measurement of Po-210 Deposited on Glass and Other Materials by Liquid Scintillation Counting for Retrospective Evaluation of Radon Concentration in Homes.

[23] *Lebecka J., Jaworski J., Proboszcz M., Chalupnik S.*, Ochrona przed naturalnym promieniowaniem jonizującym w polskich kopalniach węgla kamiennego na tle sytuacji w innych krajach, *Wiadomości Górnicze*, 4/93.

[24] *Lebecka J., Skowronek J., Skubacz K., Chalupnik S., Michalik B., Wysocka M., Mielnikow A.*, Porównanie metod kontroli narażenia radiacyjnego górników stosowanych w Polsce i w innych krajach. Opracowanie wewnętrzne GIG, 1992.

[25] *Lebecka J., Skowronek J., Tomza I., Michalik B., Chalupnik S., Skubacz K.*, A Thermoluminescent Monitor of Low Radon – Daughter Concentrations in Air, *Journal of Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 39, No. 9, 1988.

[26] *Lebecka J., Skubacz K., Chalupnik S., Michalik B.*, Methods of Monitoring of Radiation Exposure Used in Polish Coal Mines, *Nukleonika* 38, No. 4, 137 – 154, 1993.

[27] *Lebecka J., Tomza I., Skowronek J., Skubacz K., Chalupnik S.*, Monitoring of Radiation Exposure from different Natural Sources in Polish Coal Mines., *Int. Conf. on occupational radiation safety in Mining*, Toronto, Canada, 1984.

[28] *Lebecka J., Tomza I., Skubacz K., Niewiadomski T., Ryba E.*, Monitoring of Radon-Daughters in Coal Mine Atmospheres, *Third International Mine Ventilation Congress*, Harrogate, England, 1984.

[29] *Liniecki J.*, Stanowisko Podkomisji w sprawie rozbieżności w ocenie stężeń radonu i produktów jego rozpadu w kopalniach oraz stosowanych w Polsce metod oznaczeń, *Postępy Techniki Jądrowej*, Vol. 37, Z. 3, 1994.

[30] *Page D.*, The Distribution of Radon and Its Decay Products in Some UK Coal Mines, *Fifth International Symposium on the Natural radiation Environment*, Salzburg, 1991.

[31] Polska Norma PN-88/Z-70071, Ochrona radiologiczna w podziemnych zakładach górniczych. Limity narażenia górników na działanie naturalnych izotopów promieniotwórczych i metody kontroli.

[32] Polska Norma PN-89/Z-70074, Ochrona radiologiczna w podziemnych zakładach górniczych. Kalibracja przyrządów do pomiaru stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu.

[33] Praca zbiorowa, Ochrona przed naturalnym promieniowaniem jonizującym w podziemnych zakładach górniczych, *Prace GIG, Seria dodatkowa*, Katowice, 1989.

[34] *Rox A., Herzog W.*, Bestimmung von Radon und seinen Folgenprodukten im Steinkohlebergbau, *Radon Kolloquium*, Berlin, 1991.

[35] Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych.

[36] *Samuelsson C.*, Po-210 as a Tracer for Radon in Dwellings, *Fifth International Symposium on the Natural Radiation Environment (NRE-V)*, Salzburg, September 1991.

[37] *Skowronek J. i współautorzy*, Raport o stanie zagrożenia radiacyjnego w kopalniach węgla kamiennego w 1994 roku, *Dokumentacja wewnętrzna GIG*, 1995.

[38] *Skowronek J.*, Charakterystyka zagrożenia krótkożyciowymi produktami rozpadu radonu w kopalniach węgla kamiennego, *Komunikat GIG*.

[39] *Skowronek J., Lebecka J., Skubacz K., Chalupnik S., Michalik B., Wysocka M.*, Risque radiologique dans les mines de charbonen Pologne, *Radioprotection, GEDIM*, Vol. 27, No. 3, 1992.

[40.] *Skowronek J.*, Radioprotection dans les mines et l'environnement. Rapport du stage, *Dok. wewnętrzna GIG*, Katowice, 1994.

[41] *Skowronek J., Skubacz K., Chalupnik S., Kajdasz R., Nalepa S.*, A Comparison of Environmental and Personal Control of Short-Lived Radon Decay Products in Hard-Coal Mines, *Nukleonika* 38, No. 4, p. 121 – 136, 1993.

[42] *Skowronek J., Skubacz K., Lebecka J.*, Zasady opracowania raportów o stanie zagrożenia radiacyjnego w kopalniach węgla kamiennego. Raport o stanie narażenia radiacyjnego za lata 1986 – 90. *Dok. wewnętrzna Głównego Instytutu Górnictwa*, Katowice, 1991.

[43] *Tausz K., Zemła B. i współautorzy*, Badania epidemiologiczne skutków zdrowotnych narażenia na promieniowanie radioaktywne, będące następstwem działalności górniczej u mieszkańców regionu śląskiego, zwłaszcza u dzieci oraz możliwości wykorzystania ich wyników w praktyce, *Opracowanie wewnętrzne GIG o symbolu 4110002BZ* wykonane na zlecenie Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, Główny Instytut Górnictwa, Katowice, 1992.

[44] *Tomza I., Lebecka J.*, Naturalne źródła promieniowania jonizującego w polskich kopalniach węgla kamiennego, *Przegląd Górniczy*, tom 41, nr 1(737), 1985.

[45] *Tomza I., Lebecka J.*, Radium-Bearing Waters in Coal Mines; Occurrence, Methods of Measurements and Radiation Hazard, *Int. Conf. on Radiation Hazards in Mining*, Golden Co., 1981.

[46] *Tomza I., Lebecka J., Skubacz K., Niewiadomski T., Ryba E.*, Urządzenie do pomiaru zapylenia i stężenia krótkożyciowych produktów rozpadu radonu, *Patent PRL 137434* (1988).

[47] *Tytus Lukrecjusz Karus*, O rzeczywistości (DE RERUM NATURA), w tłumaczeniu Adama Krokiewicza, *Zakład Narodowy Imienia Ossolińskich*, Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Wrocław MCMLVIII.

[48] Ustawa z dnia 4 lutego 1994. Prawo geologiczne i górnicze, *Dziennik Ustaw* nr 27, poz. 96.

[49] *Van Sitterd*, *Informacja ustna*, 1993.

[50] *Wysocka M., Lebecka J., Mielnikow A., Chalupnik S.*, Radon w domach na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

[51] Wytyczne klasyfikacji wyrobisk górniczych oraz bezpiecznego prowadzenia robót w warunkach zagrożenia radiacyjnego powodowanego naturalnymi substancjami promieniotwórczymi. *Wspólnota Węgla Kamiennego*, Katowice, 1988.

[52] Zarządzenie Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego z dnia 3 sierpnia 1994 r. w sprawie określenia kryteriów oceny zagrożeń naturalnych oraz trybu zaliczania złóż kopalin, ich części lub wyrobisk górniczych do poszczególnych stopni zagrożeń, *Monitor Polski* nr 45, poz. 368.

[53] The Protection of Persons against Ionising Radiation Arising from any Work Activity, Part 3: Exposure to Radon. The Ionising Radiations Regulations 1985, *Health and Safety Commission, HMSO Publication Centre*, London 1985.

[54] *Prof. Kazimierz Marek* – informacje ustne.

#### Notka o autorce

*Jolanta Lebecka* – dr nauk technicznych, Kierownik Laboratorium Radiometrii w Głównym Instytucie Górnictwa, Katowice

# GÓRNICCTWO URANOWE W POLSCE W LATACH 1948 – 1963. PROBLEMY ZAGROŻEŃ DLA LUDZI I ŚRODOWISKA NATURALNEGO

*Karol Muras*

## 1. ROZWÓJ GÓRNICCTWA URANOWEGO W POLSCE

O występowaniu mineralizacji uranowej w okolicach Kowar na ziemi jeleniogórskiej wiadomo już było przed II wojną światową. W obrębie Karkonoszy i Rudaw Janowickich znane i eksploatowane były złoża kruszców: żelaza, miedzi, cynku, ołowiu, srebra i fluorytu już w wiekach średnich; początki kowarskich kopalń sięgają XII wieku. W latach dwudziestych naszego wieku wydobyto pewną ilość rudy uranowej ze złoża magnetytu w kopalni *Wolność (Freiheit)* w Kowarach. Według niepewnych danych do 1945 r. wydobyto tu 70 t uranu w rudzie [6].

Po II wojnie światowej Rosjanie znaleźli, jak się przypuszcza, w okolicach Berlina pewną ilość tej rudy. Wstępne poszukiwania geologiczne i rewizje przeprowadzone w kopalniach w obrębie Karkonoszy i Rudaw Janowickich dały wynik pozytywny i 15.09.1947 r. podpisano umowę polsko-radziecką w zakresie poszukiwań i eksploatacji rudy uranowej w Polsce. Od 1948 r. zaczęły pracę *Kowarskie Kopalnie* (z dyrekcją w Kowarach), przemianowane później na Zakłady Przemysłowe R-1. Dyrektorem naczelnym był obywatel polski, personel techniczny, tj. dyrektor techniczny i pracownicy inżynierjno-techniczni, składał się ze specjalistów radzieckich. Pierwsi polscy inżynierowie zaczęli pracę w ZPR-1 dopiero w 1955 r.; cztery lata później nie było tam już radzieckich specjalistów.

Przez ZPR-1 przewinęło się około 25 tys. pracowników [6] i pewna liczba żołnierzy zatrudnionych w pierwszych latach w ramach obowiązkowej służby wojskowej. Najwięcej pracowników było zatrudnionych w początkowym okresie ist-

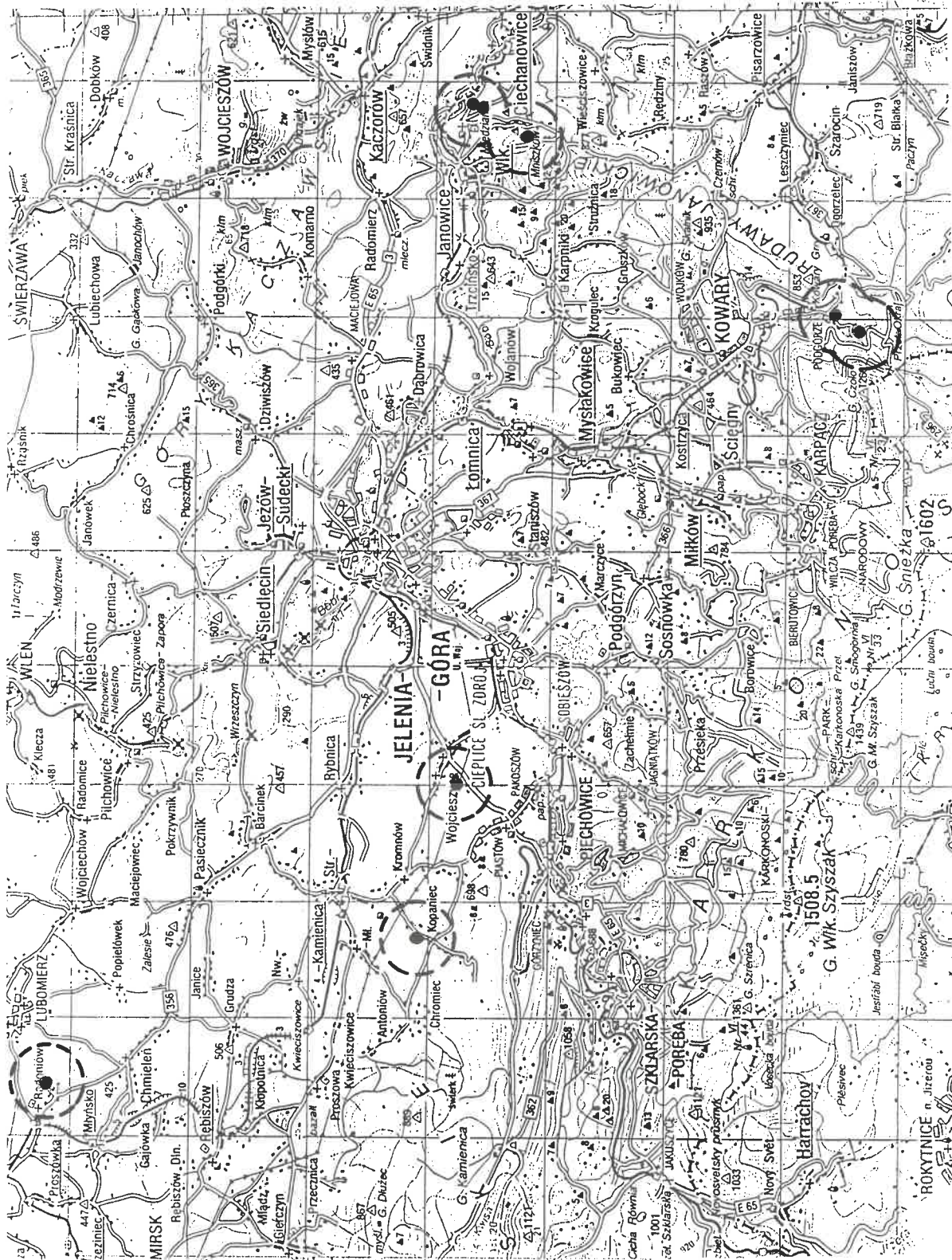
nienia kopalni. Następnie stan załóg zmniejszał się. W 1957 r. pracowało tam około 2000 osób, w tym około 300 pracowników umysłowych; w latach 1959 – 63 było ogółem około 1000 pracowników. W grudniu 1963 r. zamknięto ostatnią kopalnię, a tym samym zakończono w zasadzie działalność górniczą ZPR-1. Po 1965 r. zaprzestano również poszukiwań geologicznych złóż uranu (odtąd poszukiwania te były prowadzone przez Instytut Geologiczny w ramach poszukiwań bazy surowcowej kraju).

W latach 1948 – 63 prace prowadzone w ZPR-1 doprowadziły do odkrycia kilkunastu złóż, w tym siedem o znaczeniu przemysłowym (**rys. 1**): *Wolność, Miedzianka, Podgórze, Wojcieszycze, Kopaliny, Radoniów* (wszystkie w Sudetach) i *Staszic* (w Rudkach k. Nowej Słupii na ziemi kieleckiej), z których wydobyto [6] ponad 600 t uranu w rudzie o zawartości 0,2% U\*. Odkryto także dwa złoża *Okrzeszyn i Grzmiąca*, gdzie przeprowadzono próbną eksploatację. Kopalnie w Okrzeszynie i Grzmiącej miały być wykorzystane na skalę przemysłową w latach późniejszych. Uran w rudzie o zawartości 0,2% U wyeksportowano do ZSRR; ponadto 100 t uranu wysłano tam w postaci koncentratu uranowego o zawartości uranu powyżej 50% [6].

Koncentrat uranowy wyprodukowano w Doświadczalnym Zakładzie Chemicznych Koncentratów Uranowych w Kowarach w latach 1967 – 73 z rudy wydobytej w kopalni *Radoniów*, a także z kopalni *Staszic* i z odpadów leżących na innych hałdach. Zakład ten wybudowano w 1966 r., zlikwidowano w 1973 r.

Znakomitą ilość uranu wydobyto w trzech kopalniach: *Wolność* (164 t), *Podgórze* (ok. 210 t)

\* W drugiej połowie 1962 r. i w 1963 r. wydobyto też w kopalni *Radoniów* ok. 90 t uranu w rudzie o średniej zawartości 0,1% U, którą składano na hałdzie w celu przerobienia w następnych latach na koncentrat uranowy.



Rys. 1. Lokalizacja najważniejszych miejsc występowania rudy uranowej w woj. jeleniogórskim

i Radoniów (ponad 300 t uranu). Największe wydobywanie w historii kopalnictwa uranowego przypadło na lata 1956–58; rekordowym był rok 1957, kiedy to wydobyto 70 t uranu w rudzie, głównie z kopalni *Podgórze* i z kopalni *Radoniów*. W miarę wyczerpywania się złóż kopalnie były sukcesywnie zamykane. Najkrótszy żywot miały kopalnie w Miedziance, Wojcieszycach i kopalnia *Kopaliny* (w Stroniu Śl. k. Łącka Zdroju), eksploatowane w okresie 1948–53. Również w kopalni *Wolność* po 1952 r. rudę uranową wydobywano już tylko ubocznie (kilka ton uranu w roku), w trakcie eksploatacji magnetytu. Kopalnia ta została ostatecznie zamknięta, już jako kopalnia rud żelaza, w 1961 r. Kopalnia *Podgórze* w Kowarach była czynna w latach 1950–58. Z kopalni *Radoniów* położonej we wsi o tej samej nazwie (4 km na wschód od Gryfowa Śl.) wydobywano rudę uranową w latach 1954–63.

Działalność Zakładów Przemysłowych R-1 obejmowała też poszukiwania geologiczne, skoncentrowane przede wszystkim w Sudetach, jak również tzw. prace rewizyjne w istniejących kopalniach węgla, cynku i ołowiu na Górnym Śl., oraz poszukiwania na ziemi kieleckiej i w Karpatach. Do 1952 r. koszty działalności Zakładów, w tym i poszukiwań geologicznych, pokrywane były przez stronę radziecką. Do tych kosztów doliczany był nasz zysk w wysokości 10%. Od 1952 r. z kosztów eksploatacji wyłączono koszty robót poszukiwawczych, które od tego czasu aż do końca 1956 r. były finansowane w połowie przez obie strony: polską i radziecką. Po 1956 r. poszukiwania geologiczne finansowane były w całości przez Polskę. W sumie w latach 1952–60 wydatkowano na poszukiwania geologiczne 171 mln zł (ok. 60 mln rubli). Dochody netto ze sprzedaży rudy uranowej w latach 1948–60 wyniosły ponad 280 mln rubli. Według ówczesnych odceni cena polskiego uranu była wysoka, a produkcja opłacalna. Od 1957 r. obowiązywała cena negocjowana [6].

Wraz z zamknięciem zakładu przerobu rudy uranowej w 1973 r. Zakłady Przemysłowe R-1 zostały zlikwidowane.

## 2. WARUNKI GEOLOGICZNE I SYSTEM EKSPLOATACJI ZŁOŻA [5]

Na obszarze Sudetów uran wydobywany był ze złóż hydrotermalnych występujących w strefie uskoków i pęknięć tektonicznych głównie w gnejsach i granitognejsach oraz łupkach krystalicznych (mikowych)\*. W tego typu złóżach ruda występuje w postaci żył, gniazd i słupów, sięgając głębokości kilkuset metrów. Najgłębsza kopalnia *Wolność* sięgała głębokości 655 m (poziom –655 m). W kopalni *Podgórze* złóż występowało do głębokości 520 m.

Eksploatacja odbywała się tam w strefie uskoku głównego i jego odgałęzieniach, przede wszystkim w miejscach przecięcia z głównym pakietem (warstwą) i paskami (warstewkami) łupków. Ruda występowała w formie brekcji tektonicznej w szczelinach uskoku i impregnacji uranowej łupków. Łupki były głównym obiektem eksploatacji górniczej. Występujące tam minerały to nasturan i czern uranowa (z grupy uraninitu).

W Radoniowie występowały trzy strefy okruszczenia w postaci słupów (ruda w formie brekcji tektonicznej): pierwszy od powierzchni do głębokości 160 m, drugi od głębokości 120 do 515 m, trzeci od powierzchni do głębokości 275 m.

Złóże udostępniano za pomocą sztolni i szybów o przekroju 10 m<sup>2</sup> (w kopalniach *Wolność* i *Podgórze*) lub tylko szybów (w kopalni *Radoniów*), a następnie rozcinano poziomami eksploatacyjnymi co czterdzieści lub pięćdziesiąt metrów. Tak np. w kopalni *Podgórze* od poziomu sztolni, przyjętego jako poziom zero, istniały poziomy wydobywcze –40 m, –80 m, –120 m, –160 m, –200 m, –240 m, –280 m, –330 m, –380 m, –430 m, –480 m i –520 m oraz poziom +40 m powyżej sztolni. Na poziomach wydrążone były chodniki i przekopy będące drogami transportowymi i wentylacyjnymi. Rudę między poziomami wybierano systemem chodników warstwowych (tzw. warstw) od dołu do góry z zastosowaniem

\* Złóża *Okrzeszyn* i *Grzmiąca*, które nie były eksploatowane na skalę przemysłową, należą do złóż osadowych.

podszadki suchej, pozostawiając nad chodnikiem dolnym 4 m i pod chodnikiem górnym 2 m filaru ochronnego. Chodniki warstwowe drążone były w ciele rudnym. Szerokość takiego chodnika wynosiła ok. 2 m, wysokość 1,7 do 2 m. Po wyeksploatowaniu chodnika warstwowego wdzierano się na następne piętro. Warstwy w obrębie tych samych szybików stanowiły blok eksploatacyjny. Skałę urabiano za pomocą materiałów wybuchowych. Odstrzelony urobek transportowano zsypanymi szybikami na najbliższy poziom, skąd wózkami wywożono ręcznie do szybu, a następnie na powierzchnię. Skałę płoną składano na hałdzie. Rudę wywiezioną na powierzchnię badano następnie w wózkach za pomocą aparatury radiometrycznej typu RKS Dub. Wywożono ją następnie do sortowni głównej w Kowarach, gdzie przygotowywano transport kolejowy do ZSRR. Średnia zawartość uranu w rudzie w transporcie wynosiła nieco powyżej 0,2%. Wydobyte było selektywne. Rudę niskoprocentową, tzw. pozabilansową o zawartości 0,03% – 0,1% U, nie nadającą się na eksport, składano na oddzielnej hałdzie kopalnianej. Została ona w późniejszych latach przerobiona na koncentrat uranowy.

Kopalnie przewietrzane były za pomocą świeżego powietrza wchodzącego sztolnią i szybem wdechowym, rozprowadzanego na dole przekopami i chodnikami do wyrobisk eksploatacyjnych. Stąd powietrze wracało poprzez system szybików na powierzchnię. Tam gdzie było to konieczne wyrobiska eksploatacyjne przewietrzano za pomocą przewodów wentylacyjnych tzw. lutni w systemie wentylacji ssącej.

### 3. ZAGROŻENIE ZAŁÓG GÓRNICZYCH

W Zakładach Przemysłowych R-1 istniały następujące zakłady: kopalnie, grupy geologiczno-poszukiwawcze, sortownia rudy, laboratorium, wydział transportu, wydział budowlano-remontowy i zakład produkcji koncentratu uranowego uruchomiony w ostatnich latach działalności ZPR-1. Za-

grożenia występujące w czasie pracy w poszczególnych zakładach były różne, jedno było wspólne: wszyscy pracownicy byli narażeni w mniejszym lub większym stopniu na działanie promieniowania jonizującego.

W kopalniach zagrożenie było największe. Występowały tu niebezpieczeństwa typowo górnicze – wypadki przy pracy, zatrucia na dole gazami, zapylenie powietrza powstające przy urabianiu i transporcie skały i rudy. Trudno powiedzieć, jak przedstawiał się dokładnie stan bezpieczeństwa i higieny pracy w początkowym okresie działalności kopalń. Wiadomo jednak, że urabianie skały w przodkach odbywało się wtedy na sucho (wiercenie bez użycia wody), stąd stężenie pyłu zawierającego dużą ilość krzemionki musiało być bardzo wysokie. Również nie dość dużą wagę przykładano w tym czasie do wentylacji wyrobisk górniczych, dlatego można przypuszczać, że zatrucia gazami nie należały do rzadkich przypadków. Jeśli chodzi o wypadki mechaniczne przy pracy, to nie było ich dużo, ponieważ kopalnie były słabo zmechanizowane.

O zagrożeniach związanych z pracą w warunkach narażających na działanie promieniowania jonizującego nie było mowy do połowy lat pięćdziesiątych. Nie znaczy to jednak, że specjaliści radzieccy nie zdawali sobie sprawy z tego niebezpieczeństwa. Dopiero jednak w 1957 r. temat ten stał się przedmiotem badań. Wykonano wtedy pierwsze oficjalne pomiary dozymetryczne w istniejących kopalniach. Obejmowały one pomiary mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu, stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  w powietrzu, radu i uranu w wodzie, a później także stężenia pyłu w powietrzu oraz zawartości w nim radu  $^{226}\text{Ra}$ . Wprowadzono też kontrolę skażeń odzieży i ciała górników. Przypomnieć należy, że w 1957 r. wydane zostały w Polsce pierwsze przepisy określające maksymalnie dopuszczalne dawki przy stosowaniu promieniowania jonizującego (Dz. Ustaw Nr 34/1957). Wyniki pomiarów były ewidencjonowane i od 1960 r. nanoszone do kartotek osobistych i na planach wyrobisk górniczych w skali 1:1000.

### 3.1. Napromienienie zewnętrzne promieniowaniem gamma

Mierzone było początkowo za pomocą używanych w kopalni radiometrów radzieckich typu UR-4M wykalibrowanych wzorcem radowym, później za pomocą dozymetrów kieszonkowych DK02 i testfilmów, noszonych przez wybranych górników. Te ostatnie pomiary prowadzone były przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej w Warszawie. Mierzona moc dawki na dole w kopalni wynosiła, w zależności od miejsca pomiaru, od kilkuset do kilku tysięcy  $\mu\text{R/h}$  (od kilku do kilkudziesięciu  $\mu\text{Gy/h}$ ). W 1960 r. roczna dawka dla dwudziestu wybranych pracowników dołowych kopalni *Radoniów*, objętych kontrolą przez CLOR, wynosiła od 0,5 do 4,5 rem (5 do 45 mSv), średnio ok. 1 rem (10 mSv) [8].

### 3.2. Stężenie radonu $^{222}\text{Rn}$ i produktów jego rozpadu w powietrzu kopalnianym

Stężenie radonu mierzono za pomocą radzieckiego elektrometru typu SG-1M i jednolitrowej komory jonizacyjnej, do której wciągano powietrze metodą próżniową. Pierwsze wyniki pomiarów wykazały bardzo wysokie stężenia radonu w powietrzu wynoszące nawet ponad 1000 eman\*, tj. ponad  $10^{-7}$  Ci/l. Było tak na niektórych blokach eksploatacyjnych, w miejscach pozbawionych wentylacji, ponieważ przewietrzanie odbywało się tylko szybikami, a ułożenie ich było takie, że prąd powietrza nie obejmował całej warstwy. Zastosowanie dodatkowej wentylacji lutniowej radykalnie poprawiało tę sytuację. Ulepszając wentylację osiągnięto poziom stężenia radonu w powietrzu nie przekraczający generalnie 100 eman ( $10^{-8}$  Ci/l). Tak np. w trzecim kwartale 1957 r.

w kopalni *Podgórze* pomiary wykonane na wszystkich poziomach od 0 do –435 dały wyniki od 5 eman (chodnik na poziomie zero) do 139 eman (blok na poziomie –240), przy czym tylko w dwóch miejscach wyniki przekroczyły 100 eman [6]. Ten poziom stężenia radonu obniżył się jeszcze nieco w następnym okresie i utrzymał się do końca istnienia kopalni.

Podobnie w kopalni *Radoniów*, pierwsze pomiary wykonane w 1957 r. wykazały wysokie stężenia radonu, które zostały następnie obniżone do poziomu nie przekraczającego 100 eman, a w ostatnich latach istnienia tej kopalni jeszcze niżej (przykład na rys. 2). W 1962 r. stężenie wynosiło od 3 do 34 eman, średnio 14 eman ( $1,4 \cdot 10^{-9}$  Ci/l) [8]. Ze względu na stosowanie intensywnej wentylacji coraz ważniejsza była znajomość stężenia produktów rozpadu radonu, a nie samego radonu. Przy intensywnej wentylacji radon nie zdąży się całkowicie rozpaść w kopalni. Krótkożyciowe produkty jego rozpadu tj. RaA, RaB, RaC i RaC' stanowią główne źródło napromienienia nabłonka podstawnego oskrzeli przy wdychaniu powietrza. Stężenie tych krótkożyciowych produktów rozpadu radonu w powietrzu kopalni *Radoniów* w 1962 r. wynosiło od 0,5 do  $23,8 \cdot 10^{-10}$  Ci/l\*\*. Stosunek równowagi promieniotwórczej między nimi a radonem wynosił od 0,15 do 1,06, średnio 0,57\*\*\*. Pomiary produktów rozpadu Rn wykonywano przepuszczając powietrze przez filtr typu Sartorius i analizując otrzymany osad za pomocą radiometru TISS z licznikiem scyntylicyjnym  $\alpha$  [8].

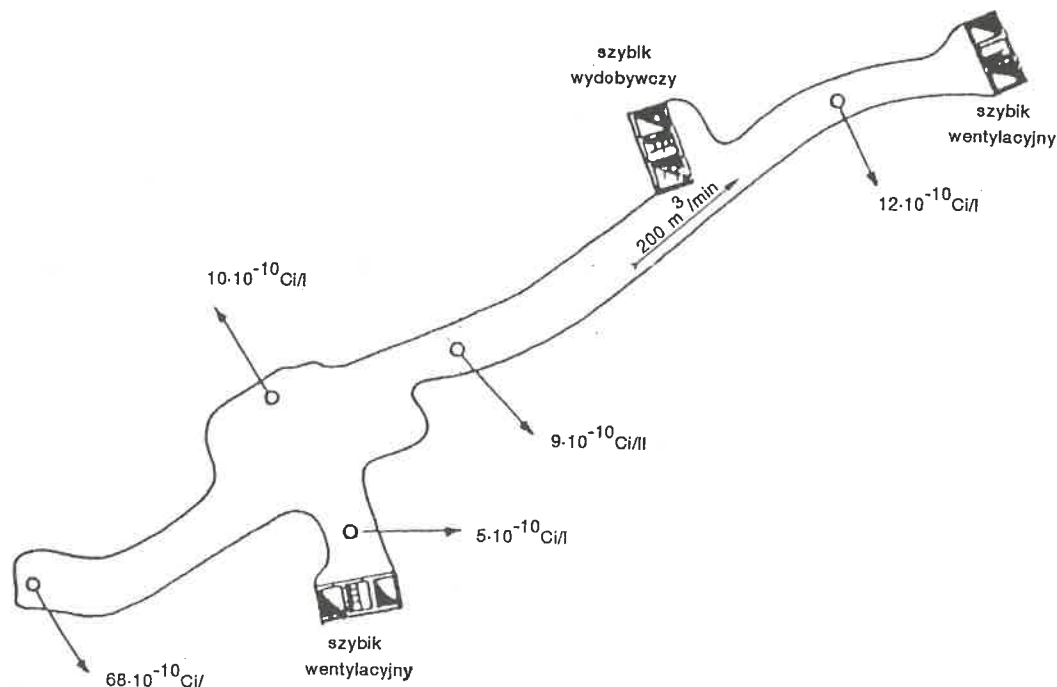
Kopalnie *Podgórze* i *Radoniów* należały do największych i najzasobniejszych w ZPR-1, posiadających najszerszy front robót, a więc i największe powierzchnie odsłoniętych wyro-

\* 1 eman =  $10^{-10}$  Ci/l = 3700 Bq/m<sup>3</sup>; jednostka używana dawniej do pomiarów koncentracji radonu w powietrzu.

\*\* Stężenie to było mierzone jako suma energii cząstek alfa, wyemitowanych w wyniku całkowitego rozpadu dowolnej mieszanki RaA, RaB, RaC, RaC', znajdujących się w jednostce objętości powietrza. Przyjęto przy tym, że podczas całkowitego rozpadu promieniotwórczego 100 pCi RaA, 100 pCi RaB, 100 pCi RaC i 100 pCi RaC' zawartych w 1 litrze powietrza zostanie wypromieniowana energia promieniowania alfa równa  $1,3 \cdot 10^5$  MeV/l. Odpowiada to amerykańskiej jednostce WL (Working Level). 1 WL =  $1,3 \cdot 10^5$  MeV/l =  $2,1 \cdot 10^{-5}$  Jm<sup>-3</sup>. Inaczej mówiąc, przy stężeniu radonu równym 1 eman w równowadze promieniotwórczej z krótkożyciowymi produktami rozpadu radonu stężenie tych produktów (ściślej mówiąc ich wyemitowanej energii potencjalnej promieniowania alfa) wynosi 1 WL.

\*\*\* Stosunek ten oznacza – stosunek zmierzonego równoważnego stężenia krótkożyciowych produktów rozpadu radonu (czyli Rn będącego w równowadze promieniotwórczej) do rzeczywistego stężenia Rn w powietrzu.





Rys. 2. Przykład stężenia radonu w powietrzu, zmierzonego jednego dnia na chodniku warstwowym jednego z bloków eksploatacyjnych w kopalni Radoniów [7]

bisk z bogatą rudą emanującą radon. Wyrobiska górnicze znajdujące się w Grzmiącej, Okrzeszynie, Kopańcu miały zarejestrowany znacznie niższy poziom stężenia radonu w powietrzu. Np. w kopalni *Grzmiąca* w 1959 r. stężenie radonu wynosiło od 5 do 39 eman [6].

Stężenie radonu mierzono też na powierzchni kopalni: w łaźniach, sortowni, pomieszczeniach biurowych, gdzie nie przekraczało ono przeważnie 1 eman, czasem w łaźni była nieco wyższe.

### 3.3. Stężenie pyłu w powietrzu

Przy urabianiu i transporcie rudy lub skały powstawały tumany pyłu. Pierwsze pomiary zapylenia powietrza przeprowadzono w 1959 r. w kopalni *Radoniów*. Próbkę pobierano na filtr i po spaleniu ważono, lub też mierzono ilość ziaren pyłu w powietrzu posługując się konimetrycznym typu Zeiss (Jena). Jednorazowo pomiary wykonała też ekipa Głównego Instytutu Górnictwa z Kopalni Doświadczalnej *Barbara* w Mikołowie. Jako normę zapylenia przyjmowano stężenie 2 mg/m<sup>3</sup> lub 500 pyłków/cm<sup>3</sup> powietrza (dla zawartości SiO<sub>2</sub> powyżej 25%).

Od razu przekonano się, że mimo stosowania wiercenia z użyciem wody, w czasie wiercenia, a także w czasie ładowania mechanicznego, norma ta była przekraczana niekiedy nawet kilkanaście razy. Przy ładowaniu ręcznym urobku w przodku, a także w innych miejscach kopalni stężenie było w normie. Wprowadzone środki ograniczające powstawanie pyłu zmniejszyły to zapylenie, dzięki czemu w 1962 r. w najbardziej zagrożonych miejscach rzadko przekraczało ono 10 mg/m<sup>3</sup>, przeciętnie wynosiło ok. 5 mg/m<sup>3</sup> [8]. Wg pomiarów konimetrycznych przeprowadzonych w 1960 r. ilość ziaren o średnicy 1,6 – 5 μ wynosiła od 100 do 3500 w 1 cm<sup>3</sup> powietrza w przodkach.

### 3.4. Radioaktywność wód podziemnych

Od 1957 r. kontrolowano stężenie radonu, radu i uranu w wodach kopalnianych. Pomiary wykazały, że koncentracja radu w wodzie w kopalniach *Podgórze* i *Radoniów* była rzędu 10<sup>-11</sup> Ci/l dochodząc rzadko do wartości 10<sup>-10</sup> Ci/l, uranu 10<sup>-5</sup> – 10<sup>-4</sup> g/l, a radonu 10<sup>-9</sup> – 10<sup>-8</sup> Ci/l [5, 6].

Oczywiście woda ta nie nadawała się do picia. Ogólnie jednak nie stanowiła większego zagrożenia dla załóg górniczych. Chociaż stężenie radonu w wodzie dochodziło czasem do 10<sup>-8</sup> Ci/l (kilkaset eman), to jednak ze względu na nieduży wypływ wody w kopalni (np. w kopalni *Radoniów* nie przekraczał 250 m<sup>3</sup>/h) rola wody jako źródła wydzielającego radon do atmosfery kopalnianej była mała w porównaniu z rolą emanujących skał. Oceniano, że debit radonu z wody w kopalni *Radoniów* wynosił kilka procent całkowitego debitu radonu w kopalni.

### 3.5. Kontaminacja odzieży i ciała

W ostatnich latach istnienia kopalni *Radoniów* wprowadzono sporadyczną kontrolę odzieży, obuwia, rąk i głowy pracowników podziemnych. Pomiary skażenia prowadzono za pomocą radiometru TISS z licznikiem β + γ o powierzchni 150 cm<sup>2</sup>. Za normę przyjęto skażenie równe 10<sup>-4</sup> μCi/cm<sup>2</sup> dla odzieży i 5 · 10<sup>-5</sup> μCi/cm<sup>2</sup> dla ciała pracownika. Rzadko stwierdzano przekroczenie tych norm. Kontrolowano również stopień dekontaminacji odzieży roboczej po praniu, który wynosił od 70 do 90% [8].

### 3.6. Zwalczanie zagrożenia radiacyjnego w kopalniach

Walkę z zagrożeniem radiacyjnym rozpoczęto od wprowadzenia pomiarów dozymetrycznych w 1957 r. Wtedy też można było już mówić o działalności służby dozymetrycznej, a następnie o ochronie radiologicznej w ZPR-1. Pomiarami dozymetrycznymi zajmowali się najpierw inżynierowie geofizycy, a w 1961 r. utworzono stanowisko st. inżyniera ochrony radiologicznej i bhp w Zakładach Przemysłowych R-1.

Już z pierwszych pomiarów widać było, że główne zagrożenie związane jest z radonem i produktami jego rozpadu w powietrzu. Wiadomo, że przy intensywnym przewietrzaniu stężenie radonu jest wprost proporcjonalne do debitu Rn w kopalni i odwrotnie proporcjonalne do ilości przechodzącego przez wyrobiska powietrza w jednostce czasu [7]. Dlatego też

przystąpiono do ograniczania powierzchni emanujących radon i poprawienia wentylacji w kopalniach. W tym celu wyrobiska prowadzono, w miarę możliwości, w skałach płonnych, otamowano stare nieczynne wyrobiska, przebito nowe szybiki (niektóre bloki eksploatacyjne miały dotychczas tylko jeden szybik), w miejscach gdzie nie dochodziły prądy powietrza wprowadzano przewietrzanie za pomocą lutni; starano się też nie magazynować rudy w szybikach. W 1959 r. w kopalni *Radoniów* zwiększono ilość powietrza z 690 m<sup>3</sup>/min do 1130 m<sup>3</sup>/min, a więc ponad półtora razy, osiągając w 1960 r. 1300 m<sup>3</sup>/min. Dzięki tym wysiłkom udało się zlikwidować ekstremalnie wysokie stężenia radonu pod ziemią i obniżyć przeciętne wartości dla całej kopalni. W następnych latach wartości te utrzymywały się na ogół w tych samych granicach, mimo stałego ulepszania wentylacji, co tłumaczyć można rozszerzającym się frontem robót górniczych, czyli wzrastającą powierzchnią emanujących skał.

Trzeba też wspomnieć, że robiono próby z zastosowaniem wentylacji tłoczącej w przodkach; po przeanalizowaniu wad i zalet obydwu systemów wentylacyjnych, tj. ssącego i tłoczącego, utrzymano w kopalni system wentylacji ssącej [7].

Znaczne wysiłki zmierzały do zmniejszenia zapylenia powietrza kopalniane. Pył zawierał dużą ilość krzemionki (30 – 50% SiO<sub>2</sub>), był też ośrodkiem osadzania się produktów rozpadu radonu i zawierał długożyjące pierwiastki z rodziny uranowej. W pierwszych latach pięćdziesiątych zastosowano w przodkach wiercenie z użyciem wody („na mokro”), w miejsce urabiania skał „na sucho”. Po 1957 r. wprowadzono zraszanie wodą skał w przodku jak też odstrzelonego urobku. Również przy ładowaniu mechanicznym próbowano stosować zraszacze (prysznice na ładowarkach). Prowadzono eksperymenty z zastosowaniem środków chemicznych rozpuszczonych w wodzie, ułatwiających zwilżanie pyłu. Opisane sposoby zmniejszyły ok. dwukrotnie przeciętne zapylenie w kopalni. Próby nakłonienia górników do

używania gąbczastych półmasek (polskich i francuskich) w czasie urabiania skały nie powiodły się, co jest zrozumiałe zważywszy na duży wysiłek fizyczny przy tych robotach pod ziemią.

W celu dezaktywacji odzieży roboczej uruchomiono własną pralnię zakładową. W 1957 r. wprowadzono czterdziestogodzinny, zamiast czterdziestoseściogodzinny, tydzień pracy (wolną sobotę) i dodatkowe urlopy dla wszystkich pracowników dołowych w wymiarze 12 – 14 dniowym w roku, dla lepszej regeneracji organizmu i skrócenia czasu ekspozycji na promieniowanie. Poprawiono też warunki socjalne załóg. Zakłady miały swoją służbę zdrowia: 2 – 3 lekarzy zakładowych, szpitalik z kilkunastoma łózkami, pracownię analityczną w Kowarach i ambulatoria przy kopalniach. Co roku pracownicy dołowi byli poddawani badaniom profilaktycznym. Zakłady miały też własny ośrodek wczasowy nad morzem w Dziwnowie.

### 3.7. Próba oceny zagrożenia radiacyjnego górników i jego skutków

Napromienienie zewnętrzne promieniowaniem gamma było znaczne, choć mieściło się w granicach maksymalnie dopuszczalnej dawki (obecnie limitu dawki równoważnej) wynoszącej 5 rem (50 mSv) rocznie. O wiele poważniejsze było napromienienie wewnętrzne organizmu związane z występowaniem dużych stężeń radonu w powietrzu. Jeżeli przyjąć współczynnik równowagi promieniotwórczej pomiędzy krótkożyjącymi produktami rozpadu radonu a samym radonem równy 0,6, to dla przeciętnego stężenia radonu wynoszącego 14 eman stężenie krótkożyjących produktów rozpadu radonu, czyli energii potencjalnej promieniowania alfa, wyniosłoby 8,4 WL (Working Level), a ekspozycja roczna wyniosłaby ok. 90 WLM, co w obecnie używanych jednostkach energii potencjalnej promieniowania alfa równa się  $0,31 \text{ Jhm}^{-3}$ \*

Dla porównania tego narażenia z narażeniem górników kopalń nieuranowych, też wydychających radon pod ziemią, trzeba wiedzieć, że dla górników nieuranowych w Polsce obowiązuje obecnie tzw. limit autoryzowany, wynoszący  $3,5 \text{ WLM} = 12 \text{ mJhm}^{-3}$ , który nie jest przekraczany; ekspozycja roczna tych górników wynosiła w latach 1991 – 92 średnio ok.  $0,5 \text{ WLM} = 1,7 \text{ mJhm}^{-3}$  [9]. Przyjmuje się, że ekspozycji 1 WLM odpowiada dawka równoważna 10 mSv/rok, czyli dawka ta w naszych kopalniach uranowych była rzędu 102 – 103 mSv (10 – 102 rem) rocznie. Jest to ekspozycja bardzo wysoka\*\*. Jeśli do tego dodać duże zapylenie, szczególnie w pierwszych latach istnienia kopalń, to zagrożenie zdrowia i życia górników uranowych w Polsce należy uznać za bardzo poważne. Występowała wśród nich duża zachorowalność przede wszystkim na pylicę i gruźlicę, a także reumatyzm. Obserwowano u górników zadyszkę i sapanie. Stwierdzano marskość tkanki płucnej. Niewiadomo było jaki w tym udział miały skutki popromienne. Uważano, że występowała tam pylica krzemowa przyspieszona. Obserwowano częste przypadki niewydolności krążenia.

Sporadyczne badania górników emerytów wykazały duże skażenie wewnętrzne długożyjącymi izotopami radu; we włosach, kośćcu i zębach znaleziono  $^{210}\text{Pb}$  (RaD), który ma okres połowicznego rozpadu równy 22 lata, w ilościach przekraczających kilkadziesiąt razy tło [6]. Tak więc po zakończeniu pracy w kopalniach uranowych byli pracownicy podziemi podlegają dalej napromienieniu od zgromadzonych w organizmie radioizotopów, a dawki te mogą być rzędu  $10^2 \text{ mSv}$  rocznie [12].

Obecnie istnieje przy Państwowej Agencji Atomistyki Biuro ds. Roszczeń b. Pracowników Zakładu Produkcji Uranu w Jeleniej Górze, które opiekuje się byłymi pracownikami ZPR-1 i załatwia niektóre ich sprawy i roszczenia.

## 4. ZAGROŻENIA DLA ŚRODOWISKA NATURALNEGO

### 4.1. Rodzaje zagrożeń

Górnictwo uranowe spowodowało znacznie mniejsze szkody górnicze aniżeli pozostały polski przemysł wydobywczy, ponieważ te niewielkie i nieliczne stosunkowo kopalnie uranowe zlokalizowane były z dala od skupisk ludności. Jednakże roboty górnicze, przeważnie na niedużą skalę, prowadzono w bardzo wielu miejscach, zwłaszcza w Sudetach. Ślady po nich pozostały do dziś, przede wszystkim w postaci nieuporządkowanych zwalów, gdzie często jeszcze dziś wydobywa się kamień budowlany. Są też pozostałości w postaci sztolni, szybików i szybów nie zawsze dobrze zabezpieczonych, np. otwarte, głębokie szyby w Miedziance i Mniskowie ogrodzone są lichą barierką.

Zaburzone zostały też stosunki wodne i możliwe jest mieszanie się wód z różnych poziomów tak, że można żywić obawę, czy istniejące tam zasoby wodne mogą być zawsze wykorzystane dla zaopatrzenia ludności w wodę pitną [1]. Obniżył się poziom wód gruntowych; wpływ odwodnienia górotworu powyżej sztolni nr 19 kopalni *Podgórze* widać gołym okiem w postaci obumierającej partii lasu. Z drugiej strony niektóre studnie pozostające bez wody w czasie działalności kopalń teraz pełne są wody np. w Radoniowie [5].

W czasie eksploatacji górniczej kopalnie uranowe stanowiły stałe źródło poważnej emisji radonu do atmosfery i wypływu wód podziemnych, o podwyższonej koncentracji naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, na powierzchnię. Nie kontrolowano emisji radonu do powietrza atmosferycznego, dlatego trudno obecnie coś na ten temat powiedzieć. Jeśli chodzi o wypływ kopalnianych wód radioaktywnych, to w latach 1957 – 63 były wykonywane analizy stężenia Rn, Ra i U w tych wodach. I tak, woda wypływająca z kopalni *Podgórze*, ze sztolni nr 19a, zawierała stężenie radonu rzędu  $10^{-9} \text{ Ci/l}$ ,  $^{226}\text{Ra} - 10^{-12} \text{ Ci/l}$ , uranu –  $10^{-5} \text{ g/l}$  [5]. Woda

ta zasilala potok górski Jedlicę, płynącą następnie przez Kowary.

Wody wypływające na powierzchnię z kopalni *Radoniów* miały wyższe stężenia radu ( $10^{-11} \text{ Ci/l}$ ) i uranu ( $10^{-4} \text{ g/l}$ ); zasilaly one lokalny potok Młyńska Struga, przyczyniając się do podniesienia poziomu jego naturalnej aktywności.

A jak przedstawia się obecnie problem oddziaływania odpadów pozostałych po eksploatacji górniczej, złożonych na zwalach (hałdach), w kilkudziesięciu różnych miejscach, przede wszystkim w Sudetach Zachodnich?

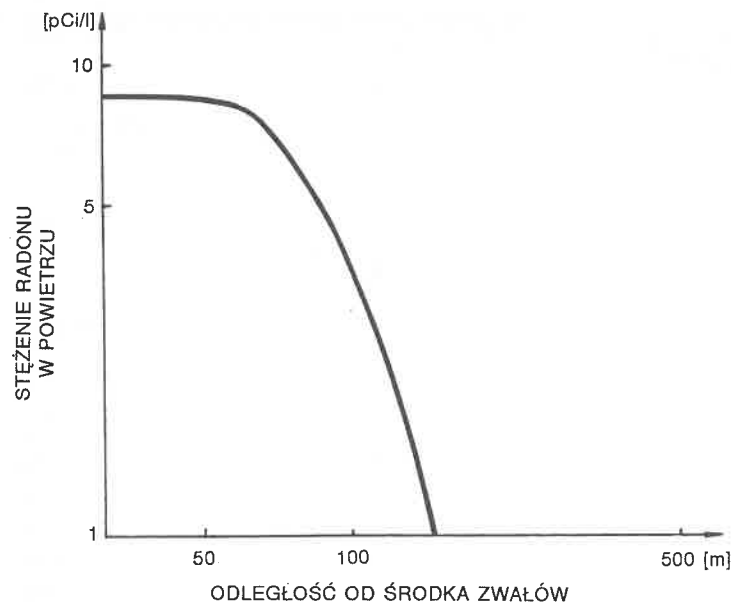
Wiadomo już z licznych opracowań (np. [3]), że naturalne pierwiastki promieniotwórcze są w naturalny sposób usuwane z odpadów do atmosfery, gleby, wód podziemnych i powierzchniowych. Powietrze jest kontaminowane głównie przez radon i jego pochodne, w zależności od stopnia emisji radonu, ten zaś zależy przede wszystkim od koncentracji radu w odpadach. Na rys. 3 pokazano stężenie radonu w powietrzu nad niedużą hałdą odpadów o powierzchni 5 ha, kiedy stopień emisji Rn na jednostkę powierzchni wynosi  $280 \text{ pCi/m}^2\text{s}$  (na podstawie [3]). Stężenie to będzie proporcjonalnie niższe lub wyższe dla innego stopnia emisji radonu. Zważywszy, że na hałdach pozostałych po ZPR-1 nie ma już, z pewnymi wyjątkami, rudy o zawartości powyżej 0,03% U\*, a powierzchnia zwalówisk jest znacznie mniejsza niż 5 ha i przyjmując, że przeciętny stopień emisji radonu wynosi  $1 \text{ pCi/m}^2\text{s}$ , przy koncentracji radu w odpadach równej  $1 \text{ pCi/g}$  [3], to stężenie radonu nad tymi hałdami będzie wielokrotnie niższe niż na rys. 3, ale przekraczać może znacznie naturalne tło (dla woj. jeleniogórskiego wynosi ono ok.  $6 \text{ Bq/m}^3$ , tj.  $0,16 \text{ pCi/l}$ ). To wzmożone tło będzie się utrzymywać nad hałdą przez tysiące lat (rys. 4).

Część pierwiastków promieniotwórczych może też być transportowana przez wiatr w postaci małych cząstek pyłu oraz przez wody erodujące hałdę i może powodować skażenie okolicznej gleby. W ten sposób nieustabili-

\* Ruda taka znajduje się jeszcze na zwalach w Grzmiącej k. Głuszycy i w Okrzeszynie k. Kamiennej Góry, gdzie nie była ona przerabiana na koncentrat uranowy.

\*  $1 \text{ WLM} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Jhm}^{-3}$  w układzie SI, Working Level Month – amerykańska jednostka ekspozycji. Jest to iloczyn 1 WL i 1 M (M oznacza miesięczny czas trwania ekspozycji, przyjęty umownie jako 170 godzin).

\*\* Podobne zagrożenia występowały w tym czasie również w kopalniach uranowych w innych krajach, np. w USA w 1959 r. prawie w połowie próbek pobranych w 357 kopalniach stężenie energii potencjalnej promieniowania alfa wynosiło ponad 3 WL, a w 22% ponad 10 WL [4].



Rys. 3. Stężenie radonu w pobliżu zwałów odpadów, pozostałych po przerobieniu rudy uranowej [3]. Powierzchnia zwałów wynosi 5 ha. Stopień emisji Rn równa się 280 pCi/m<sup>2</sup>s.

zowane hałdy mogą powodować skażenie gleby na terenie o powierzchni kilkakrotnie większej niż powierzchnia hałdy [3].

Wody podziemne mogą ulec skażeniu w procesie wypłukiwania pierwiastków ze stałych odpadów i przenoszenia ich w głąb ziemi, w tym do wód podziemnych. Wody podziemne z kolei, jak i te spływające z hałdy, są potencjalnym źródłem skażenia wód powierzchniowych, z którymi się łączą.

Próby oceny zagrożenia radiacyjnego pochodzącego od pozostałości po byłych kopalniach uranowych w Polsce podjął w 1991 r. Wojskowy Instytut Chemii i Radiometrii [11], wykorzystując do tego celu prace własne jak również opracowania Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej [10] i Ośrodka Badań i Kontroli Środowiska w Jeleniej Górze [2]. W 1993 r. również Instytut Medycyny Pracy w Łodzi dokonał wstępnych badań na niektórych hałdach w woj. jeleniogórskim [5].

W wyniku dotychczasowych prac dokonano inwentaryzacji najważniejszych zwałów po byłych wyrobiskach górniczych; prace inwentaryzacyjne są kontynuowane. Zbadano stężenia naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w próbkach odpadów na zwałach i w pobliżu nich, oceniono moc dawki promieniowania gamma na zwałach i terenach sąsiadujących, badano

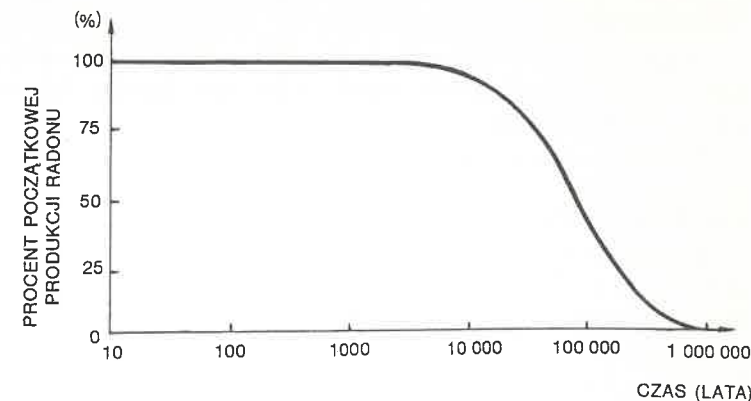
próbki wody i szaty roślinnej. Były to badania wstępne, niekompletne, wymagające kontynuacji. Można jednak już wyciągnąć pewne wnioski i wskazać na potencjalne zagrożenia:

- Tereny, na których znajdowały się złoża rud uranowych należą do obszarów o podwyższonej naturalnej radioaktywności, co jest związane z ich budową geologiczną.

- Nie stwierdzono dotychczas, ażeby ludność skupiona w miejscowościach, w których wydobywano uran, była generalnie zagrożona bezpośrednio przez promieniowanie jonizujące, pochodzące ze zwałów kopalnianych. Na zwałach tych spotyka się jednak okazy rudy (niekiedy nieduże wysypiska rudy, np. w Kopańcu k. Starej Kamienicy), a także miejsca o wzmożonym promieniowaniu, które mogą być zagrożeniem, przede wszystkim dla ludzi pracujących tam przy eksploatacji kruszywa. Dlatego praca tych ludzi musi być pod kontrolą. Hałdy muszą być oznakowane tablicami ostrzegawczymi, a okoliczna ludność odpowiednio poinformowana.

- Kruszywo pochodzące z tych zwałów, przeznaczone dla budownictwa musi podlegać kontroli radiometrycznej. W Radoniowie stwierdzono odcinek lokalnej drogi o dość wysokim stopniu radioaktywności. Być może, że odcinek ten został skażony na skutek wielolet-

Rys. 4. Wytwarzanie się radonu w stosie odpadów pozostałych po przerobieniu rudy uranowej na przestrzeni 1 000 000 lat. Po 265 000 lat ilość wytwarzanego radonu w odpadach zmniejszy się do 10% wielkości początkowej [3]



nego transportu rudy samochodami z kopalni do Kowar, a może też wykorzystano do utwardzenia tej drogi materiał skalny z hałdy rudnej.

- Należy przeprowadzić prace badawcze dotyczące wielkości emisji radonu i pyłu z hałd oraz skażenia gleby otaczającej te miejsca. Np. wstępne badania pięciu próbek, przeprowadzone przez Instytut Medycyny Pracy w Łodzi, wokół hałdy w Radoniowie, wykazały wysokie stężenie <sup>226</sup>Ra w glebie (70–473 Bq/m<sup>3</sup>, średnio 172 Bq/m<sup>3</sup>). Podobnie było w pojedynczych próbkach pobranych w Kopańcu i poniżej hałdy kopalni *Wolność* w Kowarach.

- Najważniejszym wydaje się być problem radioaktywności wód. Wielokrotne badania prowadzone jeszcze w okresie poszukiwań i eksploatacji rudy uranowej wykazały [5], że tereny te charakteryzują się znacznie podwyższoną naturalną promieniotwórczością wód powierzchniowych i podziemnych. Wycieki wody z kopalni stanowiły dodatkowe źródło skażenia wód powierzchniowych. Po likwidacji kopalni stosunki wodne uległy zmianie; z byłych wyrobisk górniczych mają miejsce wypływy wody, które należałoby dokładnie zbadać. Tak np. woda podziemna wypływająca ze sztolni 19a, w okresie istnienia kopalni *Podgórze*, mająca stężenie radu rzędu pCi/l, a zasilająca potok Jedlicę, w dalszym ciągu wypływa z tej sztolni do Jedlicy. Obecnie stężenie pierwiastków promieniotwórczych może tam być wyższe.

W Kowarach, w pobliżu nieczynnych wyrobisk byłej kopalni *Wolność*, znajduje się jedno z głównych ujęć wody pitnej. Zwrócić trzeba też uwagę na to, że staw osadowy po byłym

zakładzie przerobu rudy uranowej, w którym znajdują się wszystkie odpady z przerobionej rudy (szacunkowo ok. 30 Ci <sup>226</sup>Ra), graniczy z Jedlicą.

W pobliżu eksploatowanych kopalń niektóre studnie gospodarskie były pozbawione wody (np. w Radoniowie), obecnie wróciła do nich woda. Jaka to jest woda?

## 5. UWAGI KOŃCOWE

Pozostałości po byłych kopalniach uranowych należałoby uporządkować i zagospodarować. Istniejące wyrobiska górnicze muszą być dobrze zabezpieczone, a szkody górnicze zlikwidowane. Zniszczone tereny trzeba rekultywować.

Tereny byłych kopalni, zwłaszcza w Sudetach, są bardzo atrakcyjne turystycznie i te walory mogłyby być wykorzystane przez lokalne władze dla turystycznego zagospodarowania tych ziem. Fakt istnienia tam kiedyś kopalnictwa uranowego i wielowiekowa tradycja górnicza dodają im atrakcyjności. W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych sztolnia 19a w Kowarach była wykorzystana jako inhalatorium radonowe, które miało swoich wiernych pacjentów w całym kraju. Obecnie jest nieczynna. Wydaje się, że słuszne są pomysły wykorzystania tej sztolni jako miejsca wycieczek dla turystów, którzy interesują się górnictwem. Można by tam zorganizować małą ekspozycję górniczą przedstawiającą rozwój górnictwa, w tym uranowego, na tych ziemiach. Nie bez znaczenia są przepiękne widoki, które można oglądać z tarasu byłej kopalni.

## Piśmiennictwo

[1] *Adamski W.*: Podziemne wyrobiska górnicze rejonu Kowar oraz ich wpływ na stoki wodne i powstawanie szkód górniczych. Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1984.

[2] Badanie stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych na zwałach b. wyrobisk górniczych Sudetów Zachodnich. Ośrodek Badań i Kontroli Środowiska w Jeleniej Górze. Jelenia Góra, 1990.

[3] Final Environmental Impact Statement for Standards for the Control of Byproduct Materials from Uranium Ore Processing (40 CFR 192), vol. 1, United States Environmental Protection Agency, September 1983, EPA 520/1-83-008-1.

[4] *Holaday D.A., Doyle H.N.*: Environmental studies in the uranium mines. Radiological Health and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials, IAEA, Vienna 1964.

[5] Informacja własna autora.

[6] Materiały archiwalne b. Zakładów Przemysłowych R-1 (korespondencja, sprawozdania, plany produkcyjne itp.), Archiwum Państwowe w Jeleniej Górze.

[7] *Muras K.*: Problemy zwalczania radonu i pyłów szkodliwych dla zdrowia w kopalni Radoniów. Materiały I polsko-jugosłowiańskiego sympozjum na temat geologii i metod poszukiwania złóż uranu. Karpacz 1960.

[8] *Muras K.*: Dozimetrija na rudnicima urana u Polskoj. Materiały II jugosłowiańsko-polskiego sympozjum na temat geologii i metod poszukiwania złóż uranu. Hercegnovi 1963.

[9] Nadzór sanitarny nad narażeniem radiacyjnym górników w najbardziej zagrożonych kopalniach w Polsce. Zagrożenie radiacyjne złóż górniczych powodowane naturalnym radioaktywnym skażeniem powietrza w kopalniach w Polsce. Praca wykonana na zlecenie Ministerstwa Zdrowia i Opieki Społecznej, Instytut Medycyny Pracy w Łodzi, Łódź 1992.

[10] Ocena stanu radiologicznego w Sudetach Zachodnich na podstawie prac przeprowadzonych przez CLOR w latach 1967–91, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej w Warszawie, Warszawa 1991.

[11] Ocena zagrożenia radiacyjnego w rejonie wyeksploatowanych kopalń rud uranowych w Sudetach Zachodnich w miejscowościach: Kowary, Radoniów, Okrzeszyn-Uniemyśl, Kopaniec, Miedzianka, Mniszków i Stare Rochowice oraz inwentaryzacja obiektów górnictwa uranowego w gminach Kamienna Góra i Lubawka, „Uranos”, Wojskowy Instytut Chemii i Radiometrii, Warszawa 1991.

[12] *Sciocchetti G., Scacco F., Clemente G.F.*: The radiation hazards in Italian non uranium mines-aspects for Radiation Protection.

Radiation Hazards in Mining: control, measurements, and medical aspects, International Conference, October 1981, Colorado School of Mines, Golden, CO (USA). Published by Society of Mining Engineers of American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc., New York, NY, 1981.

## Notka o autorze

*Karol Muras* – dr inż., pracownik b. Zakładów Przemysłowych R-1 w Kowarach