

Tomisław Domański, Wojciech Chruścielewski,
Dariusz Kluszczyński, Jerzy Olszewski

ZAGROZENIE RADIACYJNE POWODOWANE NATURALNYM RADIOAKTYWNYM SKAZENIEM POWIETRZA W KOPALNIACH*

Z Zakładu Skażeń Promieniotwórczych IMP Łódź

Kierownik Zakładu: prof. dr hab. T. Domański

Praca prezentuje dane z lat 1978 - 1989 dotyczące stężeń produktów rozpadu radonu ^{222}Rn w powietrzu we wszystkich podziemnych kopalniach w Polsce oraz ekspozycji górników tam zatrudnionych. W pracy zamieszczono średnie roczne ekspozycje górników oraz rozkład oczekiwanych rocznych ekspozycji indywidualnych w poszczególnych rodzajach kopalń z uwzględnieniem podziału zagrożenia radiacyjnego na trzy kategorie. Omówiono również aspekty zdrowotne wynikające z ekspozycji górników na pochodne radonu.

1. ŹRÓDŁA RADIOAKTYWNEGO SKAZENIA POWIETRZA W KOPALNIACH

W powietrzu podziemnych kopalń rud metali, surowców chemicznych oraz węgla w Polsce, podobnie jak i w innych krajach, obserwuje się naturalne występowanie promieniotwórczego gazu radonu (^{222}Rn) oraz promieniotwórczych krótkożyjących produktów jego rozpadu, tzw. pochodnych radonu: RaA (^{218}Po), RaB (^{214}Pb), RaC (^{214}Bi) + RaC' (^{214}Po) w stężeniach znacznie wyższych od przeciętnych stężeń atmosferycznych. Źródłem powstawania radonu i produktów jego rozpadu są naturalne domieszki radioaktywnego pierwiastka uranu (^{238}U), występujące w większości minerałów i kopalin. Domieszki te są zazwyczaj procentowo tak nikle, iż odzyskanie uranu jest zazwyczaj nieopłacalne, tym niemniej ich obecność wystarcza, aby w wyniku rozpadu promieniotwórczego powodować powstawanie gazu radonu, który jako gaz szlachetny z łatwością przedostaje się z minerału do powietrza w wyrobiskach górniczych. Produkty rozpadu radonu występują głównie w połączeniu z cząsteczkami pyłu o submikronowych średnicach, tworząc tzw. aerozole promieniotwórcze. Zarówno radon, jak i niektóre z wymienionych produktów jego rozpadu są emiterami tzw.

*Raport ten jest opracowany na podstawie wyników badań prowadzonych przez Instytut Medycyny Pracy w Łodzi w ramach CPBR 11.5.65 ("Kancerogeneza Przemysłowa") i CPBR 11.11.20 ("Medycyna Pracy").

cząstek alfa-promieniowania, charakteryzującego się bardzo dużą zdolnością jonizacji. Charakterystyczne parametry promieniowania jonizującego emitowanego przez radon i produkty jego rozpadu podane są w tabeli 1. Wdychanie radonu i aerozoli promieniotwórczych wraz z powietrzem powoduje napromieniowanie układu oddechowego. Ponad 90% dawki dla układu oddechowego (komórek podstawowych nabłonka oskrzeli) pochodzi od promieniowania alfa emitowanego przez produkty rozpadu radonu, które są deponowane głównie w tej części układu oddechowego, tzn. na powierzchni nabłonka oskrzeli [1]. Dawka pochodząca od samego radonu, nie podlegającego deponowaniu ze względu na postać gazową, jest mniejsza o ponad 2 - 3 rzędy wielkości, tak iż w porównaniu z dawką od produktów rozpadu radonu może być całkowicie pominięta w rozważaniach wielkości narażenia radiacyjnego.

T a b e l a 1

Charakterystyczne parametry promieniowania jonizującego emitowanego przez radon i tzw. krótko żyjące produkty jego rozpadu

Izotop	Okres połowicznego zaniku	Energia promieniowania wyrażona w jednostkach MeV *		
		alfa	beta	gamma
²²² Rn (radon)	3,82 dnia	5,48	100%	
²¹⁸ Po (RaA)	3,05 min	6,00	100%	
²¹⁴ Pb			0,59 56%	0,24
(RaB)	26,8 min		0,65 44%	0,30
²¹⁴ Bi (RaC)			0,4 9%	0,61
			1,0 23%	1,12
	19,9 min		1,51 40%	1,76
			3,26 19%	
²¹⁴ Po (RaC')	1,6·10 ⁻⁴ sek	7,68	100%	

* 1 MeV = 1,6·10⁻¹³J (wg układu SI)

Przebywanie oraz praca w warunkach występowania podwyższonych stężeń radonu i aerozoli promieniotwórczych prowadzi do otrzymania przez układ oddechowy człowieka dawki promieniowania jonizującego, która może spowodować powstanie choroby nowotorowej poprzedzonej zazwyczaj długim okresem tzw. utajenia. Okres ten sięga 20 - 25 lat po ekspozycji, prawdopodobieństwo zaś indukowania nowotworu zależy od wielkości dawki, tzn. od wielkości przebytej ekspozycji. Górnicy pracujący w warunkach występowania zwiększonych stężeń radonu są grupą ludzi zawodowo narażonych na działanie promieniowania jonizującego, chociaż jest to promieniowanie całkowicie naturalne, lecz wzmożone działalnością człowieka. Ten typ ekspozycji na promieniowanie jonizujące określany jest w zaleceniach Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA), adoptowanych przez WHO i ILO, jako "technologicznie wzmożona ekspozycja naturalna" (technologically enhanced natural radiation exposure) [2]. W odniesieniu do tego typu ekspozycji i tej grupy eksponowanych ludzi zastosowanie mają wszystkie zasady ograniczania i prewencji podobnie, jak dla innych typów narażenia na promieniowanie jonizujące.



2. KRYTERIA OCENY ZAGROZENIA RADIACYJNEGO GÓRNIKÓW

Dawka promieniowania jonizującego, jaką otrzymują komórki nabłonka oskrzeli jest bezpośrednio skorelowana z ilością pochłoniętej przez te komórki energii cząstek alfa. Dlatego uważa się, że najbardziej właściwym kryterium oszacowania zagrożenia radiacyjnego jest pomiar stężenia, tzw. energii potencjalnej promieniowania alfa produktów rozpadu radonu w powietrzu. Parametr ten został wprowadzony i jest powszechnie stosowany od lat, ponieważ badania epidemiologiczne przeprowadzone wśród górników narażonych na radon i produkty jego rozpadu w Czechosłowacji, USA i innych krajach wykazały, że ekspozycja określana za pomocą tego parametru najlepiej koreluje się z nasileniem obserwowanych efektów popromiennych. Tradycyjną, umowną jednostką pomiarową (z braku oficjalnego odpowiednika w technicznym nazewnictwie polskim) jest tzw. 1 WL, będący skrótem angielskich słów "Working level". Jednostka 1 WL jest to energia promieniowania alfa, jaka zostaje wypromieniowana podczas całkowitego rozpadu promieniotwórczego 3,7 Bq (100 pCi) RaA, 3,7 Bq (100 pCi) RaB, 3,7 (100 pCi) RaC i 3,7 Bq (100 pCi) RaC', zawartych w litrze powietrza [3]; stąd:

$$1 \text{ WL} = 1,3 \cdot 10^5 \text{ MeV} \cdot \text{liter}^{-1} = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ Jm}^{-3}$$

Jednostka ta jest tradycyjnie powszechnie stosowana do określania stężenia aerozoli promieniotwórczych produktów rozpadu radonu w powietrzu.

Przebyta przez górnika ekspozycja na aerozole promieniotwórcze rozumiana jest jako iloczyn stężenia i czasu przebywania w tym stężeniu (lub jako cała ze stężenia po czasie jego trwania, o ile stężenie ulega zmianom w czasie). Umowną jednostką ekspozycji jest 1 WLM, podobnie oznaczany od angielskich słów "Working Level Month". 1 WLM jest to iloczyn 1 WL i 1 M (oznaczający miesięczny czas trwania ekspozycji, przyjęty umownie jako równy 170 godz.). Proste obliczenie wskazuje, że:

$$1 \text{ WLM} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Jhm}^{-3}$$

Przejście z powyżej opisanych jednostek ekspozycji wyrażonych w WLM lub odpowiednikach SI na jednostki tzw. efektywnego równoważnika dawki, wyrażone w tzw. sievertach (Sv) nie jest proste i jednoznaczne ze względu na odmienny mechanizm oddziaływania promieniowania emitowanego przez produkty rozpadu radonu w stosunku do innych rodzajów promieniowania. Z tego względu, biorąc pod uwagę obliczenia różnych autorów, Komitet Naukowy ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego (UNSCEAR) w raportach z 1977, 1982 oraz 1988 roku, a także Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (ICRP) zaleca, że dla celów ochrony przed promieniowaniem jonizującym można przyjąć, iż ryzyko radiacyjne (liczba ewentualnych nowotworów złośliwych układu oddechowego) odpowiadające ekspozycji 1 WLM jest takie samo, jak ryzyko radiacyjne związane z napromieniowaniem całego ciała dawką 0,01 Sv [4-7].

Przepisy wykonawcze do ustawy "Prawo Atomowe", bazując na zasadzie równoważności ryzyka radiacyjnego, przyjmują Limit Graniczny ekspozycji na pochodne ra-

donu na poziomie 5 WLM [8]. Jednocześnie zgodnie z zasadami ograniczania narażenia Polska Norma [9] wprowadza w kopalniach tzw. Limit Autoryzowany niższy niż limit graniczny. Limit Autoryzowany dotyczy wielkości ekspozycji otrzymywanej przez górnika w ciągu roku i wynosi zgodnie z Polską Normą 3,5 WLM. Przyjęcie w kopalniach niższych limitów powodowane jest koniecznością wprowadzenia racjonalnego marginesu bezpieczeństwa, gdyż w podziemnych kopalniach mogą występować inne rodzaje zagrożeń radiacyjnych (np. wody skażone radem), a także dużej zmienności w czasie poziomów tych zagrożeń.

Dla celów praktyki pomiarowej ustalone zostały również inne wskaźniki, których nazwy, wartości i znaczenia przedstawione są w tabeli 2.

T a b e l a 2

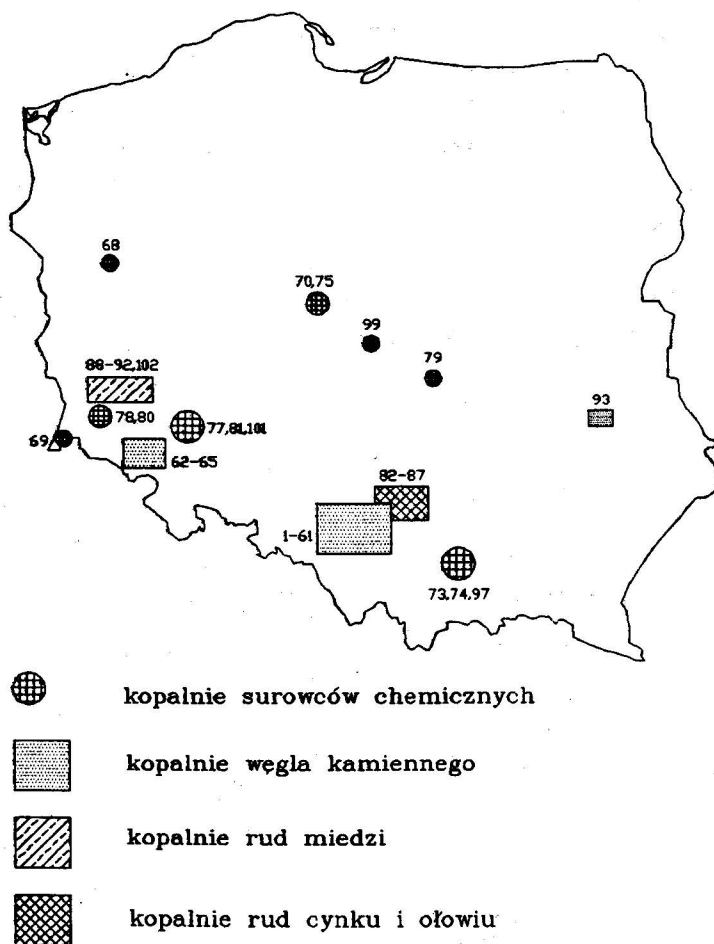
Wskaźniki normatywne stosowane do oceny narażenia radiacyjnego powodowanego przez produkty rozpadu radonu w kopalniach

Nazwa wskaźnika	Symbol	Wartość wskaźnika		Znaczenie wskaźnika
		w jednostkach tradycyjnych	w jednostkach SI	
Limit Graniczny	LG_{α}	5 WLM	17 mJhm^{-3}	wartość rocznej ekspozycji człowieka odpowiadająca równoważnikowi dawki rocznej 5 rem (50 mSV)
Limit Autoryzowany	LA	3,5 WLM	12 mJhm^{-3}	wartość rocznej ekspozycji indywidualnej górnika obowiązująca w polskich kopalniach
Limit Roboczy	LR_{α}	0,3 WL	$6,2 \mu\text{Jm}^{-3}$	wartość stężenia przy którym w ciągu 2000 godz. pracy w ciągu roku nie zostanie przekroczony Limit Autoryzowany
				$LR_{\alpha} = \frac{LA_{\alpha}}{2000 \text{ godz.}}$
Poziom Dozymetrii	PD_{α}	1,5 WLM	$5,1 \text{ mJhm}^{-3}$	wartość oczekiwanej średniej rocznej ekspozycji górników, przy której przekroczeniu wymagane jest wprowadzenie indywidualnej kontroli dozymetrycznej górników
				$PD_{\alpha} = 3/10 LG_{\alpha}$
Poziom Inspekcyjny	PI_{α}	0,02 WL	$0,4 \mu\text{Jm}^{-3}$	wartość średniego rocznego stężenia powyżej którego wymagane jest szczególne zbadanie warunków narażenia
				$PI_{\alpha} = 1/20 \frac{LG_{\alpha}}{2000 \text{ godz.}}$



3. WYNIKI BADAŃ PRZEPROWADZONYCH W LATACH 1987 - 1989

Badania poziomu zagrożenia radiacyjnego pochodzącego od pochodnych radonu przeprowadzone były we wszystkich podziemnych kopalniach w Polsce. Terytorialne usytuowanie kopalń z podziałem na cztery zasadnicze rodzaje wydobywanego surowca: węgiel kamienny, rudy miedzi, rudy cynku i ołowiu oraz surowce chemiczne, do których zaliczono umownie również węgiel brunatny, przedstawione jest na rysunku 1.



Rys. 1. Terytorialne usytuowanie kopalń w Polsce
(numery oznaczają kody kopalń stosowane
w tabelach w tekście)

Badania polegały na wykonywaniu we wszystkich kopalniach pomiarów stężeń jednodolną metodą, opartą na zastosowaniu dozymetrycznej techniki pomiarowej tzw. detektora śladowego [10 - 13] w postaci kaset noszonych przez grupy górników na hełmach. Grupy górników były wybierane spośród załogi przez służby wentylacyjne lub służby bhp w ten sposób, aby były to grupy jak najbardziej reprezentatywne dla całej załogi. Pomiary wykonywano w cyklach miesięcznych z różną częstotliwością, zależnie od rodzaju kopalń. W kopalniach węgla kamiennego, które były przedmiotem rozpoznania, wykonywano pomiary w okresach kwartalnych, natomiast w kopalniach rud metali i surowców chemicznych częstotliwość pomiarów była zależna

od znanego już wcześniej poziomu zagrożenia i był to jeden, cztery lub dwanaście miesięcznych cykli pomiarowych w ciągu roku. W każdym cyklu pomiarowym stosowano kilkanaście do kilkudziesięciu kaset pomiarowych. Ze zbioru wyników pomiarów dla każdej kopalni obliczone zostały wartości średniego rocznego stężenia oraz oczekiwane roczne ekspozycje górników w kopalniach.

Aktualne wyniki pomiarów stężeń w roku 1989 dla kopalni rud metali i surowców chemicznych przedstawione są odpowiednio w tabeli 3 i 4. Natomiast tabela 5 przedstawia wyniki stężeń w kopalniach węgla, zebrane w latach 1987 -1989. Wyniki te wskazują, iż w niektórych kopalniach okresowo występują stężenia wyższe niż aktualnie obowiązujące limity stężeń, np. w kopalniach: Turów, Boguszków, Bolesław Śmiały, Sosnowiec, Czerwone Zagłębie, Kazimierz-Juliusz, Niwka-Modrzejów, Anna, Marcel, Rymer, Jankowice, ZMP, Budryk.

Zbiory wyników stężeń dla poszczególnych kopalni poddane zostały odpowiedniej analizie statystycznej, która pozwoliła określić rozkłady oczekiwanych ekspozycji rocznych wszystkich górników zatrudnionych w każdej rozpatrywanej kopalni. Analiza tych rozkładów pozwala na określenie tzw. kategorii narażenia załóg górniczych, tzn. zakresów oczekiwanych ekspozycji rocznych (E_a) górników w kopalniach. Zasada określania kategorii narażenia radiacyjnego górników przedstawiona jest w tabeli 6.

T a b e l a 3

Wyniki pomiarów stężeń pochodnych radonu w kopalniach
rud metali wg stanu na dzień 31.12.1989

Kod	Nazwa kopalni	Średnie roczne stężenie [WL]	Rozstęp wyników pomiarów stężeń miesięcznych od - do [WL]		Liczba pomiarów	Przybliżona liczba zatrudnionych
82	Bolesław	0,036	0	0,245	330	700
85	Trzebionka	0,002	0	0,024	258	1000
86	Olkusz	0,031	0	0,105	226	500
84	Pomorzany	0,021	0	0,136	379	1400
83	Dąbrówka	0,011	0	0,102	320	200
87	Marchlewski	0,031	0	0,129	87	100
92	Konrad	0,027	0	0,107	108	800
91	Lubin	0,007	0	0,049	178	4000
89	Rudna	0,015	0	0,195	118	6000
88	Polkowice	0,015	0	0,074	72	4000
90	Sieroszowice	0,014	0	0,118	52	2300
102	Lubichów	0,024	0	0,130	46	200



T a b e l a 4

Wyniki pomiarów stężeń pochodnych radonu w kopalniach
surowców chemicznych wg stanu na dzień 31.12.1989

Kod	Nazwa kopalni	Średnie roczne stężenie [WL]	Rozstęp wyników pomiarów stężeń miesięcznych od - do [WL]		Liczba pomiarów	Przybliżona liczba zatrudnionych
68	Sieniawa	0,002	0	0,014	25	200
69	Turów	0,014	0	0,423	56	200
70	Konin	0,001	0	0,006	15	350
73	Wieliczka	0,004	0	0,030	39	560
74	Bochnia	0,020	0	0,103	75	300
75	Kłodawa	0,0001	0	0,002	45	800
77	Boguszków	0,047	0	0,342	544	100
101	Stanisławów	0,026	0	0,150	100	50
78	Nowy Łąd	0,003	0	0,051	63	200
79	Zarnów	0,023	0	0,093	81	100
80	Bolko	0,029	0	0,276	121	150
81	Wiry	0,008	0	0,100	221	40
97	Siedlec-Moszczenica	0,001	0	0,008	15	250
99	Łęczyca	0,009	0	0,029	67	200

T a b e l a 5

Wyniki pomiarów stężeń pochodnych radonu w kopalniach
węgla kamiennego wg stanu na dzień 31.12.1989

Kod	Nazwa kopalni	Zagłębie	Średnie roczne stężenie [WL]	Rozstęp wyników pomiarów stężeń miesięcznych od - do [WL]		Liczba pomiarów miesięcznych	Przybliżona liczba zatrudnionych
1	Jaworzno	Górno-śląskie	0,036	0	0,206	183	6000
2	Komuna Paryska		0,047	0	0,246	181	3500
3	Siersza		0,053	0	0,250	174	5000
4	Janina		0,014	0	0,221	180	4500
5	Brzeszcze		0,029	0	0,167	149	7000
6	Silesia		0,073	0	0,241	181	700
7	Bolesław Smiały		0,036	0	0,327	188	3700
8	Piast		0,027	0	0,164	218	5900

Kod	Nazwa kopalni	Zagłębie	Średnie roczne stężenie [WL]	Rozstęp wyników pomiarów stężeń miesięcznych od - do [WL]		Liczba pomiarów miesięcznych	Przybliżona liczba zatrudnionych
9	Ziemowit		0,064	0	0,190	176	8000
10	Julian		0,019	0	0,119	184	4000
11	Andaluzja		0,019	0	0,102	179	4800
12	Jowisz		0,020	0	0,182	206	2300
13	Grodziec		0,022	0	0,104	167	1600
14	General Zawadzki		0,013	0	0,299	147	3000
15	Siemianowice		0,019	0	0,237	159	5000
16	Czerwona Gwardia		0,033	0	0,244	137	3000
17	Sosnowiec		0,037	0	0,318	182	4900
18	Czerwone Zagłębie		0,029	0	0,426	166	5800
19	Kazimierz Juliusz		0,052	0	0,366	142	4000
20	Niwka Modrzejów		0,029	0	0,372	159	3500
21	Mysłowice		0,023	0	0,151	155	3500
22	Wieczorek		0,022	0	0,265	176	4800
23	Wujek		0,012	0	0,185	190	4500
24	Katowice		0,010	0	0,078	175	3000
25	Gottwald		0,015	0	0,173	105	4000
26	Barbara Chorzów		0,019	0	0,203	213	2500
27	Lenin		0,030	0	0,354	174	8000
28	Murcki		0,034	0	0,107	188	3500
29	Polska		0,003	0	0,051	220	2500
30	Staszic		0,020	0	0,130	172	4600
31	Wawel	Górno-śląskie	0,006	0	0,072	180	3300
32	Pokój		0,010	0	0,072	204	3200
33	Nowy Wirek		0,004	0	0,031	184	3800
34	Halemba		0,021	0	0,253	182	900
35	Bobrek		0,006	0	0,100	155	2800
36	Dymitrow		0,018	0	0,109	169	4000
37	Szombierki		0,007	0	0,062	138	3200



tab. 5 cd.

Kod	Nazwa kopalni	Zagłębie	Srednie roczne stężenie [WL]	Rozstęp wyników pomiarów stężeń miesięcznych od - do [WL]	Liczba pomiarów miesięcznych	Przybliżona liczba zatrudnionych
38	Rozbark		0,025	0 0,151	157	4000
39	Powstańców Śląskich		0,010	0 0,236	178	6900
40	Miechowice		0,023	0 0,209	167	2700
41	Śląsk		0,010	0 0,149	169	1900
42	Dębieńsko		0,021	0 0,260	138	3500
43	Pstrowski		0,013	0 0,126	162	7300
44	Zabrze		0,033	0 0,258	172	6100
45	Sośnica		0,008	0 0,068	220	7200
46	Makoszowy		0,027	0 0,121	163	5100
47	Gliwice		0,009	0 0,096	145	5000
48	Knurów		0,025	0 0,186	160	8600
49	Szczygłowice		0,032	0 0,693	142	5200
50	Rydułtowy		0,034	0 0,234	176	4300
51	Anna		0,060	0 0,309	179	3600
52	Marcel		0,041	0 0,444	170	3600
53	Rymer		0,039	0 0,312	127	2600
54	Jankowice		0,081	0 1,92	172	4900
55	1 Maja		0,015	0 0,113	195	4900
56	Jastrzębie		0,035	0 0,265	177	5200
57	Moszczenica		0,016	0 0,155	168	3900
58	Manifest Lipcowy		0,016	0 0,114	163	5500
59	Borynia		0,030	0 0,158	164	7000
60	XXX-lecie PRL		0,029	0 0,249	176	200
61	ZMP	Górno-śląskie	0,049	0 0,579	179	2500
66	Chwałowice		0,025	0 0,289	183	3100
67	Krupiński		0,032	0 0,187	174	1000
94	Czeczot		0,058	0 0,257	178	1300
95	Budryk		0,117	0 0,306	149	400
96	Morcinek		0,015	0 0,173	191	100
62	Wałbrzych	Dolno-śląskie	0,030	0 0,277	144	3600
63	Victoria		0,026	0 0,268	160	3400

Kod	Nazwa kopalni	Zagłębie	Średnie roczne stężenie [WL]	Rozstęp wyników pomiarów stężeń miesięcznych od - do [WL]		Liczba pomiarów miesięcznych	Przybliżona liczba zatrudnionych
64	Thorez	Lubelskie	0,028	0	0,203	156	2700
65	Nowa Ruda		0,012	0	0,104	145	4000
93	Bogdanka		0,074	0	0,266	140	2000

T a b e l a 6

Zasada określania kategorii narażenia radiacyjnego górników

Kategoria narażenia górników	Zakres oczekiwanych w danej kopalni ekspozycji rocznych górników (E_α)	Wymagania dotyczące oceny narażenia górników
A	$E_\alpha > 1/10 LG_\alpha$	określenie i ewidencjonowanie ekspozycji indywidualnych
B	$1/50 LG_\alpha < E_\alpha \leq 1/10 LG_\alpha$	określenie i ewidencjonowanie ekspozycji kolektywnej
C	$E_\alpha \leq 1/50 LG_\alpha$	nie wymagana ocena ekspozycji górników

Przyjęte wartości $1/50 LG_\alpha$ i $1/10 LG_\alpha$ wynikają z aktualnie obowiązujących w Polsce przepisów w zakresie ochrony radiologicznej, a ich znaczenie jest następujące:

- $1/50 LG_\alpha$ jest wartością graniczną ekspozycji rocznej dla poszczególnych osób z tytułu skażenia środowiska naturalnego,
- $1/10 LG_\alpha$ jest wartością ekspozycji, powyżej której wymagane jest określenie i ewidencjonowanie indywidualnych ekspozycji osób narażonych.

T a b e l a 7

Narażenie radiacyjne górników w poszczególnych kopalniach rud metali wg podziału na kategorie (stan na dzień 31.12.1989)

Kod	Nazwa kopalni	Procentowy udział załogi górniczej w poszczególnych kategoriach narażenia radiacyjnego			Średnia ekspozycja roczna wyrażona w % limitu granicznego LG_α
		A	B	C	
82	Bolesław	25	75	0	8
85	Trzebionka	0	0	100	<1
86	Olkusz	5	95	0	7
84	Pomorzany	0	99	1	5
83	Dąbrówka	0	62	38	2



Kod	Nazwa kopalni	Procentowy udział załogi górniczej w poszczególnych kategoriach narażenia radiacyjnego			Średnia ekspozycja roczna wyrażona w % limitu granicznego LGα
		A	B	C	
87	Marchlewski	17	83	0	7
92	Konrad	2	98	0	6
91	Lubin	0	54	46	2
89	Rudna	0	77	23	3
88	Polkowice	0	91	9	3
90	Sieroszowice	0	81	19	3
102	Lubichów	4	94	2	6

T a b e l a 8

Narażenie radiacyjne górników w poszczególnych kopalniach surowców chemicznych wg podziału na kategorie (stan na dzień 31.12.1989)

Kod	Nazwa kopalni	Procentowy udział załogi górniczej w poszczególnych kategoriach narażenia radiacyjnego			Średnia ekspozycja roczna wyrażona w % limitu granicznego LGα
		A	B	C	
68	Sieniawa	0	0	100	<1
69	Turów	4	22	74	3
70	Konin	0	0	100	<1
73	Wieliczka	0	2	98	<1
74	Bochnia	1	98	1	5
75	Kłodawa	0	0	100	<1
77	Boguszów	55	45	0	11
101	Stanisławów	0	100	0	6
78	Nowy Łąd	0	3	97	<1
79	Zarnów	0	100	0	6
80	Bolko	7	92	1	6
81	Wiry	0	32	68	2
97	Siedlec Moszczenica	0	0	100	<1
99	Łęczycza	0	33	67	2

Narażenie radiacyjne górników w poszczególnych kopalniach węgla kamiennego wg podziału na kategorie (stan na dzień 31.12.1989)

Kod	Nazwa kopalni	Zagłębie	Procentowy udział załogi górniczej w poszczególnych kategoriach narażenia radiacyjnego			Średnia ekspozycja roczna wyrażona w % limitu granicznego LGa
			A	B	C	
1	Jaworzno		28	72	0	9
2	Komuna Paryska		61	39	0	11
3	Siersza		73	27	0	12
4	Janina	Górno-śląskie	0	79	21	3
5	Brzeszcze		3	97	0	7
6	Silesia		99	1	0	17
7	Bolesław Smiały		28	72	0	8
8	Piast		2	95	3	5
9	Ziemowit		98	2	0	15
10	Julian		0	98	2	4
11	Andaluzja		0	96	4	4
12	Jowisz		1	92	7	5
13	Grodziec		1	97	2	5
14	General Zawadzki		1	64	35	3
15	Siemianowice		1	95	4	4
16	Czerwona Gwardia		20	80	0	8
17	Sosnowiec		30	70	0	9
18	Czerwone Zagłębie		17	81	2	7
19	Kazimierz Juliusz		71	29	0	12
20	Niwka Modrzejów		11	89	0	7
21	Mysłowice		2	95	3	5
22	Wieczorek		5	85	10	5
23	Wujek		0	60	40	3
24	Katowice		0	61	39	2
25	Gottwald		1	73	26	4
26	Barbara Chorzów		1	96	3	4



Kod	Nazwa kopalni	Zagłębie	Procentowy udział załogi górniczej w poszczególnych kategoriach narażenia radiacyjnego			Średnia ekspozycja roczna wyrażona w % limitu granicznego LGα
			A	B	C	
27	Lenin	Górno-śląskie	17	82	1	7
28	Murcki		10	90	0	8
29	Polska		0	2	98	<1
30	Staszic		0	98	2	5
31	Wawel		0	18	82	1
32	Pokój		0	57	47	2
33	Nowy Wirek		0	2	98	1
34	Halemba		4	88	8	5
35	Bobrek		0	21	79	1
36	Dymitrow		0	97	3	4
37	Szombierki		0	27	73	2
38	Rozbark		3	96	1	6
39	Powstańców Śląskich		1	41	58	2
40	Miechowice		3	96	1	5
41	Śląsk		0	53	47	2
42	Dębieńsko		2	95	3	5
43	Pstrowski		0	80	20	3
44	Zabrze		20	80	0	8
45	Sośnica		0	43	57	1
46	Makoszowy		3	97	0	1
47	Gliwice		0	51	49	2
48	Knurów		7	90	3	6
49	Szczygłowice		17	82	1	8
50	Rydułtowy		23	77	0	8
51	Anna		84	16	0	14
52	Marcel		41	59	0	10
53	Rymer		37	62	1	9
54	Jankowice		90	10	0	19
55	1 Maja		0	91	9	3
56	Jastrzębie		29	70	1	8
57	Moszczenica		0	86	14	4

Kod	Nazwa kopalni	Zagłębie	Procentowy udział załogi górniczej w poszczególnych kategoriach narażenia radiacyjnego			Średnia ekspozycja roczna wyrażona w % limitu granicznego LGα
			A	B	C	
58	Manifest Lipcowy		0	90	10	4
59	Borynia		8	92	0	7
60	XXX-lecie PRL		9	91	0	7
61	ZMP	Górno-śląskie	53	47	0	11
66	Chwałowice		6	93	1	6
67	Krupiński		13	87	0	7
94	Czeczot		91	9	0	14
95	Budryk		100	0	0	27
96	Morcinek		0	85	15	4
62	Wałbrzych	Dolno-śląskie	20	75	5	7
63	Victoria		8	91	1	6
64	Thorez		6	94	0	7
65	Nowa Ruda		0	69	31	3
93	Bogdanka	Lubelskie	96	4	0	18

W tabelach 7 - 9 przedstawione jest narażenie radiacyjne górników w poszczególnych kopalniach wg podziału na przyjęte kategorie; podano także średnie roczne dla całych załóg poszczególnych kopalni. Tabela 10 przedstawia łączną liczebność załóg górniczych w Polsce, ekspozowanych na poziomie ekspozycji rozpatrywanych kategorii narażenia.

T a b e l a 10

Łączna liczba górników w Polsce ekspozowanych na poziomie odpowiadającym danej kategorii narażenia w rozpatrywanych rodzajach kopalń

Kategoria narażenia	Liczba górników			Razem
	węgla	rud metali	surowców chemicznych	
A	48 500	200	300	49 000
B	194 000	15 800	700	210 500
C	39 500	5 000	2 500	47 000
Razem	282 000	21 000	3 500	306 500



Z danych zwartych w tabelach 7 - 9 wynika, iż w 59 kopalniach należy oczekiwać ekspozycji indywidualnych górników na poziomie kategorii A.

W niektórych kopalniach, np. Silesia, Ziemowit, Jankowice, Cieczot, Budryk, Anna prawie cała załoga jest narażona na poziomie kategorii A. Istnieją też kopalnie, w których prawie cała załoga jest ekspozowana na poziomie kategorii C. Statystyczne obliczenia wskazują, że w niektórych z uprzednio wskazanych kopalń, gdzie prawie cała załoga jest ekspozowana na poziomie kategorii A, mogą istnieć przypadki (od kilku do kilkudziesięciu) występowania rocznych ekspozycji górników powyżej przyjętego dla kopalni w Polsce Limitu Autoryzowanego (LA_G), a nawet Limitu Granicznego (LG_G), np. w kopalni Jankowice.

4. OMÓWIENIE PROBLEMU ORAZ UZYSKANYCH WYNIKÓW

Występowanie zagrożeń radiacyjnych w podziemnych kopalniach uranowych i nie-uranowych, a w szczególności opisywane w niniejszym rozdziale występowanie radio-aktywnych skażeń powietrza, nie jest zjawiskiem odosobnionym i specyficznym dla kopalń w Polsce. Występowanie skażeń powietrza w kopalniach wielu krajów jest znane i wielokrotnie było sygnalizowane w kolejnych raportach Komisji ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego, tzw. Raporty UNSCEAR z roku 1972, 1977, 1982, 1988. Z tego względu sam fakt istnienia skażeń powietrza w podziemnych obszarach kopalni nie powinien być przedmiotem sensacji, a wręcz przeciwnie należy go uważać za zjawisko naturalne, tym bardziej, że skażenia powietrza w polskich kopalniach były i są kontrolowane przez Instytut Medycyny Pracy w Łodzi od 1966 r. [14], a wyniki pomiarów były wielokrotnie publikowane w krajowych i zagranicznych czasopiśmie i książkach naukowych [15 - 20] oraz przedstawiane na sympozjach naukowych.

Szczegółowe dane nt. wysokości stężeń i częstości ich występowania w różnych typach kopalni w latach 1966 - 1970, 1972 - 1974, a następnie w latach 1976 - 1988 są opisane w wielu raportach Instytutu Medycyny Pracy [18, 19], dostępnych w większości bibliotek naukowych w kraju, a odbiorcami tych raportów były zainteresowane ministerstwa, którym podlegały kopalnie, nadrzędne jednostki organizacyjne kopalni, a także niektóre kopalnie. Ponadto zgodnie z praktyką i obowiązkiem Instytut Medycyny Pracy w Łodzi informował i informuje, tzn. przysyła raporty naukowe do Departamentu Inspekcji Sanitarnej MZiOS lub bezpośrednio do Głównego Inspektora Sanitarnego.

Jak wspomniano powyżej, w przypadku zainteresowania poszczególnych kopalni wielokrotnie realizowano specjalne badania lub powtarzano serie pomiarów na zlecenia badawcze tych kopalni lub kombinatów (w szczególności prowadzono wielokrotnie pomiary na bezpośrednie zlecenia Kombinatu Górniczo-Hutniczego Miedzi w Lubinie).

Pełna informacja załóg górniczych o występowaniu zjawiska skażeń powietrza w kopalniach i jego natężeniu oraz o możliwych skutkach zdrowotnych istniała od roku 1981. W roku 1981 na życzenie Związku Zawodowego NSZZ "Solidarność" pracownicy naukowcy Instytutu odbyli bezpośrednie spotkania z delegatami załóg górniczych w Lubinie, Bytomiu oraz Jastrzębiu, podczas których prowadzono wykłady o narażeniu

radiacyjnym w kopalniach oraz przedstawiono wszystkie wyniki zebrane na przestrzeni lat 1966 - 1981.

Badania rozpoznawcze, a następnie szereg badań i prac metodycznych, w końcu kompleksowa ocena narażenia załóg górniczych wszystkich kopalni w kraju, przedstawiona w poniższym raporcie, realizowane były początkowo z funduszy Ministerstwa Zdrowia i Opieki Społecznej, a następnie z funduszy Programów Rządowych PR-6 (Zwalczanie Chorób Nowotworowych), MZ (Medycyna Pracy), CPBR (Kancerogeneza Przemysłowa), CPBR (Medycyna Pracy). Zwłaszcza fundusze z Programów Rządowych w latach 1982 - 1989 przyczyniły się do stworzenia operatywnego i dobrze wyposażonego aparaturowo ośrodka pomiarowego w IMP w Łodzi [21] oraz umożliwiły dokonanie wspomnianej, jednoczesnej i kompleksowej oceny narażenia załóg górniczych w całym przemyśle górniczym w Polsce [19]. Przeprowadzone badania umożliwiają ocenę prawdopodobieństwa występowania efektów zdrowotnych powodowanych przez to narażenie.

Należy wyraźnie stwierdzić, iż przy omawianych poziomach ekspozycji górników w kopalniach wykluczone jest powstawanie tzw. ostrych efektów popromiennych. Natomiast nawet przy tych poziomach stężeń długotrwała ekspozycja na radon i produkty jego rozpadu stwarza określone prawdopodobieństwo indukowania nowotworów złośliwych w układzie oddechowym człowieka (rak płuc wywodzący się z nabłonka oskrzeli). Dzieje się tak, ponieważ działanie promieniowania jonizującego przy tych poziomach ekspozycji jest tzw. działaniem bezprogowym, co należy rozumieć w ten sposób, iż każda dawka promieniowania lub każda ekspozycja na radon i produkty jego rozpadu może wywołać indukcję nowotworu. Prawdopodobieństwo tego efektu zależy wprost proporcjonalnie od wielkości ekspozycji, jednak nie można bezpośrednio przewidzieć, u której osoby - spośród ekspozowanych - nowotwór będzie indukowany. Można natomiast z pewnym przybliżeniem określić liczbę takich przypadków w całej grupie ekspozowanej, znając liczebność grupy, średnią ekspozycję roczną oraz zakładając przeciętny okres pracy zawodowej, np. 30 lat.

Obliczenia takie przeprowadzono na podstawie aktualnych wyników pomiarów, wykonywanych w okresie 1987 - 1989. Są one przedstawione w tabeli 11.

T a b e l a 11

Narażenie radiacyjne górników w polskich podziemnych kopalniach
oraz oczekiwane efekty popromienne określone na podstawie
wyników przeprowadzonych w latach 1987 - 1989

Rodzaj kopalni	Liczebność załóg górniczych narażonych na promieniowanie [tys.]	Średnia ważona ekspozycja roczna górnika [WLM]	Obliczona ekspozycja kolektywna całej załogi w rozpatrywanych kopalniach [WLM]	Przewidywana ekspozycja życiowa górnika po 30 latach pracy [WLM]	Oczekiwana liczba nowotworów płuc po 30 latach pracy zawodowej *
Kopalnie węgla kamiennego	282	0,315	88 830	9,45	390 - 1200
Kopalnie surowców chemicznych	3,5	0,075	263	2,25	1 - 3
Kopalnie cynku i ołowiu oraz miedzi	21	0,161	3 381	4,83	15 - 46

* Dla porównania oczekiwana liczba wypadków śmiertelnych przy pracy w całym górnictwie podziemnym w Polsce w okresie 30 lat wynosi 2700 (wg wskaźnika wypadków przy pracy z 1970 r.)



Do obliczeń użyto wskaźników pozwalających na przeliczenie wielkości ekspozycji na liczbę przypadków nowotworów; wskaźników rekomendowanych przez ICRP i NSCEAR [5, 7]. Liczby indukowanych nowotworów przedstawione w omawianej tabeli są mniejsze, lecz wciąż porównywalne z liczbami wypadków przy pracy za ten sam okres przyjęty do oszacowania.

Należy podkreślić, iż częste niedocenywanie problemu lub wręcz bagatelizowanie zagrożenia radiacyjnego, pochodzącego od radioaktywnych skażeń powietrza w kopalniach wynika stąd, iż wypadki przy pracy są skutkami doraźnie obserwowanymi, natomiast efekty radiacyjne na skutek okresu utajenia choroby nowotworowej objawiają się pod koniec pracy zawodowej górnika lub dopiero po jej zakończeniu, tzn. po przejściu górnika na emeryturę. Wytwarza to paradoksalną sytuację i paradoksalny argument, że "górnicy nie chorują na raka płuc" – często używany przez przeciwników systemu ochrony radiologicznej w kopalniach.

Ochrona radiologiczna załóg górniczych w Polsce w aspekcie ochrony przed radioaktywnymi skażeniami powietrza, szczególnie w kopalniach rud metali i surowców chemicznych znajduje się na poziomie podobnym do tego, jaki istnieje w przodujących pod tym względem krajach (Francja, USA). Stosowany system dozymetrów indywidualnych jest w chwili obecnej jedyny, jaki jest wprowadzony i stosowany na skalę masową w krajach Europy Śr.-Wsch. Polscy specjaliści byli zapraszani i reprezentowali dwukrotnie kraje RWPG w międzynarodowym skalowaniu przyrządów dozymetrycznych, jakie były organizowane przez kraje EWG w Wielkiej Brytanii w roku 1987 i we Francji w 1989 r. (W 1987 r. uzyskano drugie miejsce pod względem dokładności pomiarów wśród 23 laboratoriów, biorących udział w interkalibracji).

Do chwili obecnej prowadzono systematyczny nadzór radiologiczny w kopalniach rud metali oraz w kopalniach surowców chemicznych. W kopalniach węgla nadzór radiologiczny może być wprowadzany już teraz, a do końca br. mógłby zostać wprowadzony także we wszystkich innych kopalniach.

Podstawowe cele realizacji nadzoru nad narażeniami radiacyjnym załóg górniczych to:

- kontrola stężeń naturalnych radioaktywnych zanieczyszczeń powietrza oraz ekspozycji górników na te czynniki w celu niedopuszczenia do ich wzrostu w miarę pogłębiania się i poszerzania obszarów eksploatacji kopalń. Istnieje bowiem szereg dowodów, opisanych w piśmiennictwie naukowym oraz wynikających z badań Instytutu, iż w miarę "starzenia się" kopalni (poszerzenie się obszarów eksploatacji) obserwuje się stały trend wzrostowy poziomu naturalnych skażeń powietrza;
- zgromadzenie wyników pomiarów indywidualnych lub grupowych ekspozycji górników w celu naukowego zbadania, jak przedstawia się w Polsce korelacja wielkości ekspozycji górników ze skutkami zdrowotnymi w tej populacji;
- spełnienie wymogów przepisów ustawy "Prawa Atomowego" i odpowiednich przepisów wykonawczych, nakładających na pracodawcę obowiązek systematycznej kontroli i ewidencji narażenia indywidualnego oraz kolektywnego (grupowego) ludzi, których narażenie odpowiada kategorii A i B oraz systematycznej kontroli środowiska pracy pod względem bezpieczeństwa radiacyjnego.

Dotychczasowe doświadczenia w zakresie realizowania nadzoru nad narażeniem radiacyjnym górników wskazują, że jest on akceptowany przez załogi, a jego brak stwarzać może pozory zaniedbania bezpieczeństwa i higieny pracy na tym polu.

Podstawowym problemem, jaki wyłania się obecnie w realizacji nadzoru pomiarowego nad zagrożeniem załóg górniczych jest sprawa sposobu i kosztów jego realizacji. Dotychczas nadzór był realizowany przez Instytut Medycyny Pracy w Łodzi w ramach prac badawczych, a koszty były pokrywane głównie ze środków finansowych Programów Rządowych. Teraz jednak – w sytuacji przechodzenia na system ekonomiczny oparty na samofinansowaniu się różnych instytucji, a w tym również i instytutów naukowo-badawczych – dalsze realizowanie nadzoru pomiarowego nad narażeniem załóg górniczych oraz kreślenie ewentualnych skutków zdrowotnych nie może być realizowane na dotychczasowych zasadach, tj. jako finansowane centralnie prace naukowe. Mimo tego Instytut Medycyny Pracy w Łodzi może w dalszym ciągu wykonywać pomiary wymagane przez przepisy prawne dla zapewnienia nadzoru radiacyjnego załóg górniczych, ale pod warunkiem pokrywania jego bieżących kosztów przez poszczególne kopalnie. Koszty te w skali krajowej są znikome, a najbardziej przekonujący jest chyba ten argument, że kilkusobowe laboratorium pomiarowe w Instytucie Medycyny Pracy w Łodzi jest w stanie zapewnić stały nadzór nad skażeniami powietrza i ekspozycją górników w 97 kopalniach w całej Polsce.

PIŚMIENNICTWO

1. Tsivoglou E.C., Ayer H.E., Holaday D.A.: Occurrence of nonequilibrium atmospheric of radon and its daughters. *Nucleonics* 1953, 11, 40 – 45
2. IAEA. Basic Safety Standards for Radiation Protection Safety Series no 9. Vienn, IAEA 1982
3. United States Public Health Service, Control of radon and daughters in uranium mines and calculations on biological effects, USPHS Publ. No. 494, 1957
4. UNSCEAR 77. Sources and effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly UN. Publication No. E. 77. IK. I. New York 1977
5. UNSCEAR 82. Ionizing Radiation; Sources and biological effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly. New York 1982
6. UNSCEAR 88. Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly. New York 1988
7. ICRP Publication 32; Occupational Limits for Inhalation of Radon-222, Radon-220 and Their Short-Lived Daughters Recommendations of the ICRP adopted in March 1981
8. Zarząd. Prezesa PAA z dn. 31 marca 1988 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego i wskaźników pochodnych określających zagrożenie promieniowaniem jonizującym. *Mon Pol* 1988, 14, poz. 124
9. Limity narażenia górników na działanie naturalnych izotopów promieniotwórczych i metody kontroli. Polska Norma PN-88, Z-70071



10. Domański T., Chruścielewski W., Liniecki J.: Evaluation of radon and its daughter products concentration in the air using triacetate cellulose foils. *Nukleonika* 1974, 20, 589 - 600
11. Chruścielewski W., Domański T.: System of personal dosimetry introduced in Poland nonuranium mines; Proceedings of the International Conference on Radiation Hazards in Mining. U.S. Dept. Labor, 4-9 Oct. Golden, USA 1981
12. Orzechowski W., Chruścielewski W., Domański T.: Measurement of exposure to radon and its progeny using Kodak LR-115 Type II foil; I. Laboratory investigations of the detector response. Proc. of the specialist Meeting on the Assessment of Radon and Daughter Exposure and Related Biological Effects. March 3 - 8, 1980, Centro di Studi Nucleari della Casaccia Roma, Italy. Rd. Press. Radiobiology Division, Univ. Utah, Salt Lake City, 1980, 20 - 29
13. Chruścielewski W. i in.: Measurement of exposure to radon and its progeny using Kodak LR-115 Type II foil; II. Calibration of the detector. Proc. of the Specialist Meeting on the Assessment of Radon and Daughter Exposure and Related Biological Effects. March 3 - 8, 1980, Centro di Studi Nucleari della Casaccia Roma, Italy, RD Press Radiobiology Division, Univ. Utah, Salt Lake City, 1980, 30 - 38
14. Domański T. i in.: Stężenia produktów rozpadu radonu w niektórych polskich kopalniach węgla, rud metali i surowców chemicznych. *Med Pr* 1970, 21, 23 - 31
15. Domański T., Liniecki J., Chruścielewski W.: Concentration of the radon progeny in the air of polish nonuranium mines. Proc. Int. Conf. Radiation Hazards in Mining; Control, Measurement, and Medical Aspects, Colorado School of Mines, Golden, CO /USA/, October 4 - 9, 1981, 629 - 635
16. Chruścielewski W. i in.: Radon concentration in air of Polish underground coal mines. Proc. Int. Conf. on Occupational Radiation Safety in Mining. H. Stocker, ed. Can Nucl Assoc 1985
17. Olszewski J., Domański T., Chruścielewski W.: Ocena narażenia radiacyjnego w kopalniach w Polsce. *Stud Mat Monogr IMP Łódź* 1985, 3(21), 21 - 29
18. Domański T., Chruścielewski W.: Narażenie radiacyjne górników kopalń rud metali i kopalń węgla kamiennego powodowane występowaniem radonu i aerozoli promieniotwórczych w powietrzu. *Stud Mat Monogr IMP Łódź* 1985, 1(19), 95 - 121
19. Chruścielewski W. i in.: Narażenie radiacyjne w polskich kopalniach węgla kamiennego, rud cynku, miedzi i ołowiu oraz surowców chemicznych. *Stud Mat Monogr IMP Łódź* 1988, 29, 5 - 30
20. Kluszczyński D., Zórawski A., Olszewski J.: Radiation exposure of miners and systems of radiation protection in Polish nonuranium mines. *Pol J Occup Med* 1988, 1, 88 - 98
21. Zórawski A. i in.: Zasoby i możliwości Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi w zakresie realizacji nadzoru radiologicznego związanego z występowaniem izotopów ^{222}Rn i ^{226}Ra w środowisku pracy podziemnych kopalń i zakładów przyrodoleczniczych. *Stud Mat Monogr IMP Łódź* 1988, 29, 31 - 82

T. Domański, W. Chruścielewski, D. Kluszczyński, J. Olszewski

RADIATION RISKS DUE TO NATURAL RADIOACTIVE CONTAMINATION OF ATMOSPHERE IN MINES

Summary

This work presents data for the period 1982 - 1988 on the concentrations of radon ^{222}Rn decay products in the atmosphere of all underground mines in Poland, and on the exposure of miners working there. Mean yearly exposures and the distribution of the expected individual yearly exposures in particular mines were classified into three radiation risk categories. Health effects of miners exposure to radon derivatives have also been discussed.

