

# ZAGROŻENIE RADIACYJNE W KOPALNIACH I WOKÓŁ KOPALŃ RUD MIEDZI W POLSCE

Paweł Jodłowski<sup>1/</sup>, Stefan J. Kalita<sup>1/</sup>, Paweł Olko<sup>2/</sup>, Edward Chruściel<sup>1/</sup>,  
Adam Maksymowicz<sup>2/</sup>, Michał Waligórski<sup>3/</sup>, Nguyen Dinh Chau<sup>1/</sup>,  
Paweł Bilski<sup>3/</sup>, Maciej Budzanowski<sup>3/</sup>

<sup>1/</sup> Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

<sup>2/</sup> KGHM Polska Miedź S.A., Lubin

<sup>3/</sup> Instytut Fizyki Jądrowej, Kraków



PL0201711

## Abstract

### RADIOLOGICAL HAZARD IN SITE AND AROUND COPPER ORE MINES IN POLAND

In the paper an analysis of radiological hazard inside and around KGHM Polska Miedź S.A. (Poland) copper ore mines is presented. The analysis was conducted on the basis of radioactivity level data, which were collected by the mine services in the 90th. Dose rate of gamma radiation, radium isotopes concentration in water, radioactivity of sediments and concentration of radon decay products were the subjects of the analysis. Radioactivity level in the area of copper ore mines does not differ much from the values typical of the region. On the basis of the collected data the radioactive hazard to copper miners was estimated. A simplified equation used in mining was applied for. The value of  $0.2 \pm 1.5$  mSv of the annual effective dose was obtained.

## 1. WPROWADZENIE

Celem niniejszej pracy była ocena zagrożenia radiacyjnego górników oraz ludności zamieszkałej w okolicy kopalń rud miedzi w Polsce. Wszystkie te kopalnie należą do KGHM Polska Miedź S.A. (zwanej dalej KGHM). Źródłem zagrożenia radiacyjnego w kopalniach są: radon i jego pochodne w powietrzu kopalnianym (czynnik dominujący), promieniowanie gamma, wody kopalniane o podwyższonej zawartości izotopów radu oraz wytrącone z tych wód osady zawierające rad. W Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW), gdzie obserwuje się tzw. anomalie radiohydrogeologiczną, stężenie radu w wodach dochodzi do  $400 \text{ kBq/m}^3$ , zaś w osadach do  $500 \text{ kBq/kg}$  [1]. Opisywane zjawiska, choć na znacznie mniejszą skalę występują też w kopalniach rud miedzi KGHM.

Zgodnie z obowiązującym prawem KGHM obowiązany jest do wykonywania systematycznych pomiarów wymienionych wyżej źródeł zagrożenia. Pomiary te wykonywane są przez służby kopalń, zaś część z nich zlecana jest instytucjom naukowym. Ponadto na zlecenie KGHM została wykonana analiza sytuacji radiologicznej w otoczeniu kopalń.

Na podstawie tych danych autorzy dokonali oceny zagrożenia radiacyjnego górników oraz ludności zamieszkałej w otoczeniu kopalń KGHM [2]. Analiza uwzględnia przede wszystkim wyniki rutynowych, powtarzalnych okresowo pomiarów, gdyż są one najbardziej kompletne i obejmują najdłuższe okresy. Pomiary weryfikujące niektóre z tych danych wykonane przez niezależne instytucje (w tym pomiary weryfikujące wykonane przez autorów) nie są przywoływane, jeśli ich wyniki potwierdzają wyniki pomiarów rutynowych. Autorzy dysponowali danymi z lat 1992-1995. Ponieważ nie stwierdzono wyraźnej tendencji zmian analizowanych wielkości w tym okresie, dlatego dane z tych lat potraktowano zbiorczo.

## 2. RADON I JEGO POCHODNE W KOPALNIACH

Podstawę analizy zagrożenia radonem i jego pochodnymi stanowiły:

- Wyniki rutynowych pomiarów wartości chwilowych stężenia energii potencjalnej alfa  $C_\alpha$  wykonanych radiometrem górniczym RGR-11. Metoda polega na zbieraniu produktów rozpadu radonu na filtrze i pomiar detektorem półprzewodnikowym emitowanych przez nie cząstek alfa. Pomiary wykonały służby kopalń w latach 1993-1995. W każdej z kopalń co roku wykonywano co najmniej 100 pomiarów [3].
- Prowadzone przez Instytut Medycyny Pracy (IMP) pomiary miesięcznych ekspozycji wykonane za pomocą dozymetrów osobistych (odkryte detektory śladowe z folią LR-115) noszonych przez górników na hełmach. Do wyznaczenia  $C_\alpha$  używany jest dla kopalń miedzi średni ważony współczynnik równowagi promieniotwórczej  $F_0=0,26$ . Autorzy dysponowali niekompletnymi wynikami tych pomiarów z lat 1992-1995 [4].

Tabela 1. Szacunkowe średnie wartości stężeń energii potencjalnej alfa w kopalniach KGHM wyznaczone radiometrami górniczymi RGR-11 i metodą detektorów śladowych (IMP).

| Kopalnia     | Pomiary RGR-11<br>(w latach 1993-1995)<br>$C_\alpha [\mu\text{Jm}^{-3}]$ | Pomiary RGR-11<br>$C_\alpha [\mu\text{Jm}^{-3}]$ | Pomiary IMP<br>$C_\alpha [\mu\text{Jm}^{-3}]$ |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Konrad       | 0,40                                                                     | -                                                | 1,8 (1993-1995)                               |
| Lubichów     | 0,30                                                                     | -                                                | 1,0 (1993-1995)                               |
| Lubin        | 0,51                                                                     | 0,39 (1993 r.)                                   | 1,3 (1992 r.)                                 |
| Polkowice    | 0,33                                                                     | 0,40 (1993 r.)                                   | 0,98 (1992 r.)                                |
| Rudna        | 0,22                                                                     | 0,29 (1994 r.)                                   | 0,41 (02.1994-02.1995)                        |
| Sieroszowice | 0,19                                                                     | 0,27 (1993 r.)                                   | 0,87 (1992 r.)                                |

Dla wszystkich kopalń KGHM zestawiono w tabeli 1 dane pomiarowe uzyskane przez IMP (metoda detektorów śladowych LR-115) i przez służby kopalniane (radiometr RGR). Niemal we wszystkich przypadkach wyniki uzyskane metodą IMP są ok. 2-3 razy wyższe niż uzyskane za pomocą radiometrów RGR. Metoda IMP daje rozkłady  $C_\alpha$  przesunięte w kierunku wyższych wartości. I tak kilkadziesiąt procent wyników pomiarów uzyskanych metodą IMP oraz zaledwie kilka procent wyników pomiarów wykonanych radiometrami RGR przekracza wartość  $0,8 \mu\text{Jm}^{-3}$  odpowiadającą rocznej dawce efektywnej 2 mSv.

Przyczyny opisanych rozbieżności, obserwowanych również w czasie innych pomiarów (pomiar porównawczy w USA, pomiary w kopalniach węgla wykonane radiometrami RGR-11 oraz metodą przystawki ALFA-31), były analizowane przez zespół IMP oraz przez komisję Państwowej Agencji Atomistyki [5]. Sprawa ta nigdy nie została jednoznacznie rozstrzygnięta.

Wartości stężeń energii potencjalnej alfa, przedstawione w powyższej analizie porównawczej, mimo dużych rozbieżności pomiędzy metodami świadczą o stosunkowo niskim poziomie zagrożenia radiacyjnego pochodnymi radonu w kopalniach KGHM. Powodem tak dobrej sytuacji radiologicznej jest, oprócz warunków geologicznych, silna wentylacja kopalń, co utrudnia osiągnięcie wysokich wartości współczynnika równowagi F.

Tabela 2. Rozkład stężeń energii potencjalnej alfa wyznaczonych radiometrami RGR w kopalniach KGHM (w latach 1993-1995).

| Kopalnia     | Rozkład stężeń energii potencjalnej alfa $C_\alpha$ [%] |                                 |                                 |                                 | $C_{\alpha \text{ maks.}}$<br>[ $\mu\text{Jm}^{-3}$ ] |
|--------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------|
|              | 0,0÷0,17<br>$\mu\text{Jm}^{-3}$                         | 0,17÷0,4<br>$\mu\text{Jm}^{-3}$ | 0,4÷0,85<br>$\mu\text{Jm}^{-3}$ | 0,85÷2,5<br>$\mu\text{Jm}^{-3}$ |                                                       |
| Konrad       | 36                                                      | 32                              | 21                              | 11                              | 1,72*                                                 |
| Lubichów     | 28                                                      | 38                              | 33                              | 1                               | 0,92                                                  |
| Lubin        | 1                                                       | 37                              | 60                              | 2                               | 1,10                                                  |
| Polkowice    | 35                                                      | 31                              | 33                              | 1                               | 0,96                                                  |
| Rudna        | 37                                                      | 57                              | 6                               | 0                               | 0,76                                                  |
| Sieroszowice | 62                                                      | 31                              | 6                               | 1                               | 1,04                                                  |

\* wyznaczono na jednym stanowisku pracy w 1994 roku; wartość średnia  $C_\alpha$  w 1994 roku na tym stanowisku wynosiła  $1,1 \mu\text{Jm}^{-3}$ .

Przedstawiona w dalszej części pracy ocena zagrożenia górników opiera się na wynikach pomiarów wykonanych radiometrami RGR (tabela 2); tylko w nielicznych miejscach badanych kopalń wyniki pomiaru  $C_\alpha$ , prowadzone tą metodą, dawały wartości przewyższające  $0,8 \mu\text{Jm}^{-3}$ .

### 3. RADON W OTOCZENIU KOPALŃ

W 1991 roku IMP badał stężenie radonu w powietrzu atmosferycznym w otoczeniu kopalń KGHM [6]. Badania prowadzono za pomocą detektorów śladowych zamkniętych w kasetach środowiskowych. Średnie wartości stężeń radonu Rn-222 mierzone w rejonach położonych bezpośrednio w sąsiedztwie kopalń, w rejonie lokowania odpadów flotacyjnych oraz w miejscowościach położonych w otoczeniu KGHM mieszczą się w zakresie stężeń obserwowanych w środowisku, tzn. od kilku do kilkunastu  $\text{Bqm}^{-3}$ .

Pomiary stężenia radonu na otwartej przestrzeni nie przynoszą jednak istotnej informacji na temat ewentualnego zagrożenia radonem w sąsiedztwie KGHM. Aby uzyskać taką informację, należy przeprowadzić badania stężeń radonu w budynkach mieszkalnych.

Powód, dla którego działalność KGHM mogłaby wpływać na podwyższenie stężeń radonu w mieszkaniach, jest dwojaki: używanie, przez lokalnych producentów do produkcji pustaków i betonów, surowców odpadowych z kopalń i hut (np. żużli) o dużym stężeniu Ra-226 oraz usytuowanie budynków mieszkalnych (szczególnie niskiego budownictwa jednorodzinne) na terenach o silnej emanacji radonu z gruntu zmienionej przez działalność górnictwa.

### 4. PROMIENIOWANIE GAMMA

Dane o wartościach dawek i mocy dawek promieniowania gamma przynoszą pomiary Głównego Instytutu Górnictwa (GIG) z 1995 roku [7]. GIG wykonywał pomiary mocy dawki w kopalniach KGHM i w wybranych punktach na powierzchni kopalń (łaźnie, lampownie), a dla wybranej grupy górników przeprowadzał pomiar rocznej indywidualnej dawki równoważnej promieniowania zewnętrznego. Tabela 3 przedstawia wyniki tych pomiarów. Dawki roczne górników zostały oszacowane przez autorów poprzez ekstrapolację na cały rok wyników uzyskanych przez GIG w okresach pomiarowych. Maksymalna zmierzona wartość mocy dawki wynosiła  $130 \text{ nGy/h}$ , a wartość średnia –  $60 \text{ nGy/h}$ . Maksymalna wartość rocznej dawki indywidualnej wynosiła  $0,9 \text{ mSv}$ , zaś średnia –  $0,6 \text{ mSv}$ . Są to dawki znacząco niższe od rocznego limitu narażenia zawodowego górników, wynoszącego  $20 \text{ mSv}$ . Tak więc, zagrożenie radiacyjne górników KGHM promieniowaniem gamma jest nieznaczne.

Moc dawki promieniowania gamma w otoczeniu KGHM została wyznaczona przez IMP techniką TLD w długookresowych półrocznych po-

miarach [6]. Pomiary obejmowały miejsca znajdujące się w otoczeniu kopalń KGHM, okolicach zbiorników osadowych oraz jako tło w miejscowościach oddalonych od kopalń: Ścinawa i Przemków. Najwyższą moc dawki zmierzono na terenie kopalni „Konrad” (na powierzchni) – 160 nGy/h, a najniższą w rejonie zbiornika „Żelazny Most” – 60 nGy/h. Średnia moc dawki wynosiła 98 nGy/h. Moc dawki w Ścinawie wynosiła 140 nGy/h, zaś w Przemkowie – 90 nGy/h. Dla porównania, moc dawki w województwie łęgińskim mieści się w przedziale 62-88 nGy/h [8].

Tabela 3. Moc dawki promieniowania gamma w kopalniach KGHM i dawki roczne górników (1995 r.).

| Kopalnia     | Moc dawki promieniowania $\gamma$<br>[nGy/h] |         |          |                 | Dawki roczne górników<br>[mSv] |         |          |                 |
|--------------|----------------------------------------------|---------|----------|-----------------|--------------------------------|---------|----------|-----------------|
|              | mini-<br>malna                               | średnia | $\sigma$ | maksy-<br>malna | mini-<br>malna                 | średnia | $\sigma$ | maksy-<br>malna |
| Lubin        | 21                                           | 67      | 24       | 130             | -                              | -       | -        | -               |
| Polkowice    | 10                                           | 40      | 17       | 73              | 0,21                           | 0,52    | 0,14     | 0,92            |
| Rudna        | 25                                           | 57      | 18       | 96              | -                              | -       | -        | -               |
| Sieroszowice | 19                                           | 62      | 32       | 130             | 0,25                           | 0,63    | 0,14     | 0,90            |

$\sigma$  - odchylenie standardowe.

Jak widać moc dawki promieniowania gamma zmierzona w otoczeniu KGHM nie odbiega od wartości typowych dla tego rejonu Polski. Nie ma więc podstaw do przypuszczeń, że działalność KGHM podwyższa poziom promieniowania gamma w otoczeniu.

## 5. RAD W WODACH DOŁOWYCH

Problematykę poboru i pomiaru prób wody koordynowało CBPM „Cuprum” [9], zaś analizy próbek wykonane zostały w GIG metodą ciekłych scyntylatorów. Próbkę wód pobierano w kopalniach bezpośrednio z górotworu oraz ze ścieków i w komorach pomp. Oznaczano stężenie izotopów radu (Ra-226+Ra-228+Ra-224). Wyniki zawiera tabela 4.

Analiza zebranych wyników pomiarów pozwala wyróżnić dwa typy wód: wody z kopalń południowych „Lubin” i „Polkowice” o małym stężeniu radu (tylko pojedyncze próbki mają stężenie powyżej 1 kBq/m<sup>3</sup>) oraz wody o dużym stężeniu radu z kopalń północnych: „Rudna” i „Sieroszowice” (stężenie do ok. 100 kBq/m<sup>3</sup>). Sytuacja ta jest odbiciem panujących na terenie KGHM warunków hydrogeologicznych (tzw. dwudzielność hydrogeologiczna).

Tabela 4. Stężenia radu w wodach w kopalniach KGHM. Dane z lat 1992-1995.

| Kopalnia                 | Wody z górotworu      |         |          |            | Wody w ściekach i komorach pomp |         |          |            |
|--------------------------|-----------------------|---------|----------|------------|---------------------------------|---------|----------|------------|
|                          | mini-malna            | średnia | $\sigma$ | maksymalna | mini-malna                      | średnia | $\sigma$ | maksymalna |
|                          | [kBq/m <sup>3</sup> ] |         |          |            | [kBq/m <sup>3</sup> ]           |         |          |            |
| Lubin <sup>1</sup>       | 0,1                   | 0,50    | 0,66     | 2,2        | 0,1                             | 0,77    | 1,12     | 3,1        |
| Polkowice <sup>1</sup>   | 0,1                   | 0,14    | 0,07     | 0,5        | 0,1                             | 0,18    | 0,16     | 0,5        |
| Rudna <sup>2</sup>       | 9,4                   | 32      | 22       | 97         | 1,3                             | 3,7     | 2,7      | 8,7        |
| Sierszowice <sup>2</sup> | 0,7                   | 19      | 34       | 106        | 0,1                             | 9,7     | 19       | 66         |

$\sigma$  – odchylenie standardowe. <sup>1</sup> dane z lat 1992, 1994. <sup>2</sup> dane z lat 1992, 1994, 1995; dane za 1992 rok – Ra-226+Ra-228.

W kopalniach „Rudna” i „Sierszowice” stężenie radu w wodach osiąga poziom kilkudziesięciu kBq/m<sup>3</sup> z maksymalną wartością ok. 100 kBq/m<sup>3</sup>. Są to już znaczące stężenia, zważywszy że maksymalne stężenie radu w wodzie, odnotowane w 1995 roku w GZW, wynosiło 173 kBq/m<sup>3</sup> [10].

## 6. PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ NATURALNA OSADÓW I PRÓBEK STAŁYCH

Podstawę analizy stanowiły raporty z lat 1992-1995 przedstawione przez CBPM „Cuprum”; pomiary wykonał GIG metodą półprzewodnikowej spektrometrii gamma. Analizowano stężenia potasu K-40 oraz izotopów radu (Ra-226+Ra-228+Ra-224) w osadach dołowych kopalń KGHM

Tabela 5. Stężenia izotopów radu oraz K-40 w osadach dołowych kopalń KGHM (w latach 1992-1995).

| Kopalnia                 | Stężenie Ra-226+Ra-228+Ra-224 |         |          |            | Stężenie K-40 |         |          |            |
|--------------------------|-------------------------------|---------|----------|------------|---------------|---------|----------|------------|
|                          | mini-malna                    | średnia | $\sigma$ | maksymalna | mini-malna    | średnia | $\sigma$ | maksymalna |
|                          | [kBq/kg]                      |         |          |            | [kBq/kg]      |         |          |            |
| Lubin <sup>1</sup>       | 0,02                          | 0,20    | 0,15     | 0,52       | 0,23          | 0,60    | 0,27     | 1,11       |
| Polkowice <sup>1</sup>   | 0,11                          | 0,23    | 0,05     | 0,28       | 0,34          | 0,64    | 0,14     | 0,85       |
| Rudna <sup>2</sup>       | 0,06                          | 0,16    | 0,08     | 0,28       | 0,22          | 0,44    | 0,09     | 0,55       |
| Sierszowice <sup>2</sup> | 0,03                          | 0,23    | 0,42     | 1,42       | 0,21          | 0,35    | 0,13     | 0,59       |

$\sigma$  – odchylenie standardowe. <sup>1</sup> dane z lat 1992, 1994. <sup>2</sup> dane z lat 1992, 1994, 1995.

oraz w materiale ze zbiornika odpadowego „Żelazny Most”. Wyniki zestawiono w tabeli 5. Stężenia radu w osadach w kopalniach KGHM są, jak na warunki górnicze, niskie – nie przekraczają one 1,4 kBq/kg, przy średniej wartości 0,2 kBq/kg.

Pomiary promieniotwórczości naturalnej próbek gleby, minerałów, materiałów powstających w czasie przeróbki rudy miedzi przeprowadził detektorem NaI(Tl) w 1991 roku IMP [6]. Stężenia Ra-226 w tych materiałach nie odbiegają zbytnio od wartości obserwowanych w środowisku; maksymalne stężenie – 162 Bq/kg odnotowano dla koncentratu. Nie ma więc podstaw do przypuszczeń, że działalność kopalń KGHM powoduje znaczące zwiększenie koncentracji tych izotopów w próbkach stałych występujących w okolicy. Wniosek ten nie dotyczy zawierającego znaczące ilości radu żużla pomiedziowego, produkowanego w części hutniczej KGHM.

## 7. OCENA ZAGROŻENIA GÓRNIKÓW

Na podstawie danych zgromadzonych przez poszczególne kopalnie KGHM, w szczególności danych analizowanych we wcześniejszych rozdziałach, oszacowano roczne dawki efektywne otrzymywane przez górników. Korzystano ze stosowanego w praktyce w górnictwie uproszczonego wzoru [11]:

$$H=H_{\alpha}+H_{\gamma}+H_{Ra}=0,0014\cdot C_{\alpha}\cdot t+X\cdot t/1000+[(0,0066\cdot C_{Raw})+(0,033\cdot C_{Rao})]\cdot t/1800$$

gdzie:  $H$ ,  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\gamma}$ ,  $H_{Ra}$  – roczna dawka efektywna [mSv] odpowiednio: całkowita, od krótkożyciowych produktów rozpadu radonu, promieniowania gamma, radu w wodach i osadach;  $C_{\alpha}$  – stężenie energii potencjalnej alfa [ $\mu\text{J}/\text{m}^3$ ];  $X$  – moc dawki promieniowania gamma [ $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ];  $C_{Raw}$  – stężenie izotopów radu w wodach [ $\text{kBq}/\text{m}^3$ ];  $C_{Rao}$  – stężenie izotopów radu w osadach [ $\text{kBq}/\text{kg}$ ];  $t$  – czas pracy. Korzystając ze wzoru należy pamiętać, że chcąc, na podstawie znajomości wskaźników zagrożeń, wyliczyć dawkę, należałoby zbudować model stanowiska pracy uwzględniający: czas i rodzaj pracy, rodzaj i intensywność kontaktu z radioaktywnymi wodami i osadami (wchłonięcia). Wzór ten reprezentuje jeden, uproszczony model, uśredniony dla różnych warunków pracy.

Zastosowano metodologię używaną przez GIG dla oceny zagrożenia radiacyjnego w kopalniach węgla kamiennego [10]. Dla poszczególnych wskaźników zagrożenia wyliczono dawkę maksymalną i dawkę średnią w poszczególnych kopalniach oraz dla porównania w kopalniach węgla kamiennego [10] (tabela 6). Dawkę maksymalną oszacowano biorąc pod

uwagę maksymalne zmierzone wartości poszczególnych wskaźników zagrożenia, zaś dawkę średnią przyjmując wartości średnie tych wskaźników; przyjęto czas pracy pod ziemią równy 1800 godz.

Tabela 6. Szacowane średnie i maksymalne dawki efektywne w KGHM (w latach 1993-1995).

| Wskaźnik zagrożenia          | Kopalnia „Konrad” i „Lubichów”                                  |     | Kopalnia „Lubin” |     | Kopalnia „Polkowice” |     | Kopalnia „Rudna” |     | Kopalnia „Sieroszowice” |     | Kopalnie węgla kamiennego |      |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----|------------------|-----|----------------------|-----|------------------|-----|-------------------------|-----|---------------------------|------|
|                              | średnia (śr.) i maksymalna (max) roczna dawka efektywna H [mSv] |     |                  |     |                      |     |                  |     |                         |     |                           |      |
|                              | śr.                                                             | max | śr.              | max | śr.                  | max | śr.              | max | śr.                     | max | śr.                       | max  |
| Produkty rozpadu radonu      | 0,9                                                             | 2,8 | 1,3              | 2,8 | 0,8                  | 2,4 | 0,6              | 1,9 | 0,5                     | 2,6 | 0,6                       | 20,8 |
| Promienowanie gamma          | -                                                               | -   | 0,1              | 0,2 | 0,1                  | 0,1 | 0,1              | 0,2 | 0,1                     | 0,2 | 0,1                       | 21,6 |
| Wody i osady zawierające rad | -                                                               | -   | -                | 0,1 | -                    | 0,1 | -                | 0,6 | -                       | 0,7 | -                         | 5,1  |
| Razem                        | -                                                               | -   | 1,4              | -   | 0,9                  | -   | 0,7              | -   | 0,6                     | -   | 0,7                       | -    |

Nie wyznaczano sumarycznej dawki maksymalnej, gdyż wartości maksymalne wskaźników zagrożenia występują na różnych stanowiskach pracy. Dawkę średnią oszacowano jedynie dla zagrożenia produktami rozpadu radonu oraz dla promieniowania gamma; dla tych dwóch źródeł zagrożenia oszacowano sumaryczną dawkę średnią. Według GIG nie ma sensu szacowanie dawki średniej od radonośnych wód i osadów, gdyż występują one tylko w niektórych miejscach kopalń.

## 8. WNIOSKI

Zagrożenie radiacyjne w kopalniach KGHM jest niskie; maksymalne roczne dawki efektywne otrzymywane przez górników nie przekraczają 3 mSv, a średnie są na poziomie 0,5÷1,5 mSv. Są to niskie dawki w porównaniu z obowiązującymi limitami (20 mSv rocznie dla górników) i porównywalne z poziomem naturalnego tła promieniowania (2,4 mSv rocznie w Polsce).

Działalność KGHM nie powoduje wzrostu naturalnego poziomu promieniowania w otoczeniu. Aby ten wniosek był w pełni uzasadniony, należy przeprowadzić badania stężenia radonu w budynkach mieszkalnych w okolicach KGHM oraz radioaktywności wód powierzchniowych.

Praca finansowana przez KGHM Polska Miedź S.A.



## LITERATURA

- [1]. Chałupnik S.: Kopalnie jako źródło skażeń promieniotwórczych środowiska. Prace Naukowe GIG, Seria Konferencje, 7 (1996).
- [2]. Chruściel E. i in.: Oddziaływanie promieniotwórcze w kopalniach i wokół kopalń rud miedzi – zagrożenie radiacyjne. Sprawozdanie AGH z umowy 5.220.290. Kraków 1996.
- [3]. KGHM, Arkusze pomiarowe stężeń energii potencjalnej alfa dla radiometrów RGR (1993-95).
- [4]. Kacprzyk J.: Badanie stanu zagrożenia radiacyjnego powodowanego występowaniem radonu i jego pochodnych w kopalni Rudna w 1994 r. IMP 1995. Protokoły pomiarowe  $C_\alpha$  (1993-1995).
- [5]. Czubek J.A.: Krytyczna ocena rutynowych pomiarów radonu w atmosferze kopalnianej wykonywanych w Polsce. PTJ, 36, 3-4 (1993).
- [6]. Olszewski J., Muras K.: Określenie wielkości promieniowania naturalnego w otoczeniu kopalń rud miedzi. Raport IMP-ZOR-113/92. Łódź 1992.
- [7]. Skowronek J. i in.: Raporty z pomiarów dawek promieniowania gamma metodą TLD. Nr: 36, 57, 65, 72, 83, 89, 92/95. GIG, Katowice 1995.
- [8]. Biernacka M. i in.: Radiologiczna Mapa Polski. CLOR, Warszawa 1990.
- [9]. Kalisz M. i in.: Ocena zagrożenia radiacyjnego od wód i osadów dołowych kopalń LGOM. Sprawozdania CPBM „Cuprum” 1993, 1994, 1996.
- [10]. Skowronek J. i in.: Raport o stanie zagrożenia radiacyjnego górników w 1995 r. GIG, 1996.
- [11]. Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu z 14 kwietnia 1995 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy (....) w podziemnych zakładach górniczych. Dz. U. nr 67/95 (1995).