

# 50

## OCENA ZAGROŻENIA RADIACYJNEGO OD NATURALNYCH IZOTOPÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W WYROBISKACH PODZIEMNYCH KWK „CHWAŁOWICE”

### 50.1 WSTĘP

Zagrożenie radiacyjne w podziemnych zakładach górniczych powodowane jest występowaniem naturalnych nuklidów promieniotwórczych, których stężenia przekraczają wartości występujące w materiałach tworzących wierzchnią warstwę skorupy ziemskiej.

Narażenie radiacyjne spowodowane ekspozycją na naturalne izotopy promieniotwórcze, a w szczególności na krótkożyciowe produkty rozpadu radonu, jest znaczącym składnikiem narażenia, zarówno w środowisku naturalnym, jak i miejscach pracy. Dawka skuteczna, powodowana ekspozycją na radon, a szczególnie jego krótkożyciowe pochodne, przekracza 50% średniej dawki dla przeciętnego człowieka od wszystkich źródeł promieniowania jonizującego. W specjalnych warunkach, takich jak praca w miejscach o ograniczonej wentylacji (piwnice, tunele, wyrobiska górnicze w kopalniach) rola tego czynnika narażenia jest zazwyczaj jeszcze większa.

Drugim czynnikiem zagrożenia radiacyjnego w podziemnych zakładach górniczych są osady o podwyższonych stężeniach radu. Źródłem radu w osadach są wody złożowe, towarzyszące pokładom węgla. Występowanie wód zawierających rad zależy od lokalnych warunków geochemicznych oraz hydrogeologicznych i nie jest zjawiskiem powszechnie występującym we wszystkich kopalniach. Wody złożowe zawierają izotopy radu  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{228}\text{Ra}$ , w stężeniach niejednokrotnie sięgających nawet kilkuset bekereli na litr. Wody dołowe w czasie eksploatacji są uwalniane z górotworu, a następnie usuwane z podziemnych wyrobisk na powierzchnię. W specyficznych warunkach geochemicznych następuje współstrącenie radu i baru, w postaci trudno rozpuszczalnego siarczanu barowo-radowego  $\text{BaRaSO}_4$ . Powstają w ten sposób osady zawierające duże stężenia radu, sięgające nawet kilkuset  $\text{kBq/kg}$ . Zakres mierzonych sumarycznych stężeń  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{228}\text{Ra}$  mieści się w granicach od wartości charakterystycznych dla skał tworzących wierzchnią warstwę skorupy ziemskiej tj. kilkudziesięciu  $\text{Bq/kg}$  do 550  $\text{kBq/kg}$ . Osady zawierające rad są źródłem ekspozycji na zewnętrzne promieniowanie gamma dla

pracujących w ich sąsiedztwie osób. W przypadku bezpośredniego kontaktu, istotnym czynnikiem zagrożenia radiacyjnego jest również wniknięcie drogą oddechową lub przypadkowe wniknięcie drogą pokarmową. Szacuje się, że ilości powstających w jednej kopalni osadów o podwyższonych zawartościach radu mogą sięgać nawet kilku tysięcy ton rocznie.

Radonośne wody złożowe, jako bezpośredni czynnik zagrożenia dla ludzi mogą być istotne jedynie w przypadku wniknięcia drogą pokarmową, co ze względu na ich duże zasolenie jest mało prawdopodobne.

## **50.2 PRZEPISY PRAWNE REGULUJĄCE ZAGADNIENIA ZWIĄZANE Z NARAŻENIEM NA PROMIENIOWANIE W GÓRNICTWIE**

Obowiązującymi aktami prawnymi odnoszącymi się do zagrożeń radiacyjnych są akty wykonawcze do ustaw Prawo atomowe i Prawo geologiczne i górnicze. W czerwcu 2006 roku weszło w życie Rozporządzenie Ministra Gospodarki zmieniające Rozporządzenie w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. Nr 126, poz. 855). Znowelizowane Rozporządzenie wprowadziło istotne zmiany w podejściu do oceny zagrożenia radiacyjnego i skutków jego oddziaływania na górników. Wyczerpujące omówienie zmian prawnych przedstawiono w publikacjach [6]. Kolejna nowelizacja Rozporządzenia przeprowadzona w 2010 roku nie wprowadziła zmian w części dotyczącej zagrożenia radiacyjnego (Rozporządzenie Ministra Gospodarki, 2002) [7].

## **50.3 CZYNNIKI ZAGROŻENIA RADIACYJNEGO W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO**

Najpoważniejszym czynnikiem zagrożenia, jest promieniotwórczy gaz szlachetny radon. Jego produkty rozpadu, tworzą w atmosferze kopalni aerozole, które zdeponowane w układzie oddechowym ulegają rozpadowi, emitując promieniowanie alfa oddziałujące destrukcyjnie na tkanki. Stężenie radonu oraz produktów rozpadu w atmosferze kopalni zależy głównie od warunków technicznych tj. sposobu prowadzenia robót górniczych i systemu wentylacji. Powszechnie obecnie stosowana eksploatacja prowadzona metodą na zawał powoduje, że zroby wypełniają się pokruszonymi skałami, co z kolei sprzyja intensywnej ekshalacji radonu do powietrza w systemie wentylacji kopalni. Zjawiska te powodują wzrost stężenia pochodnych radonu na stanowiskach pracy w podziemnych wyrobiskach kopalń.

Słone wody występujące w niektórych wyrobiskach kopalń węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) zawierają naturalne izotopy promieniotwórcze, a przede wszystkim podwyższone stężenia izotopów radu  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{228}\text{Ra}$ . Rad jest wylugowywany ze skał pod wpływem działania silnie zmineralizowanych wód kopalnianych. Stężenia  $^{226}\text{Ra}$  w wodach dopływających do wyrobisk podziemnych sięgają nawet  $390 \text{ kBq/m}^3$ , podczas gdy stężenia tego izotopu w wodach powierzchniowych zazwyczaj nie przekraczają  $0,1 \text{ kBq/m}^3$  [2, 9]. Czasem radonośne

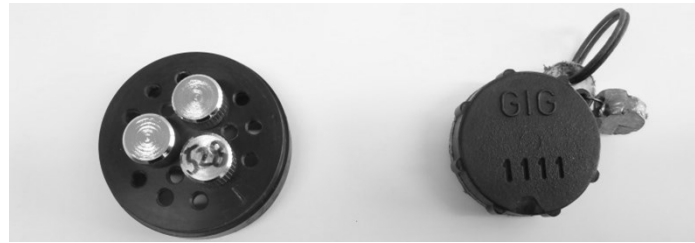
wody kopalniane zawierają również jony baru, których stężenie może sięgać  $1,5 \text{ kg/m}^3$ . Wody zawierające jednocześnie rad i bar zostały nazwane wodami radowymi typu A. Wody tego typu występują przede wszystkim w południowej części GZW oraz w pewnych rejonach niecki głównej, gdzie nad utworami karbońskim zalegają nieprzepuszczalne utwory mioceńskie. W wodach tych stężenia  $^{226}\text{Ra}$  są zazwyczaj wyższe niż stężenia  $^{228}\text{Ra}$ . Drugi typ wód radowych, nazwany typem B, nie zawiera jonów baru, ale są w nim obecne jony siarczanowe  $\text{SO}_4^{2-}$ . Wody te występują przede wszystkim w kopalniach nadwiślańskich, a sumaryczne stężenia izotopów radu są niższe niż w wodach typu A. Jednak w tych wodach obserwuje się wyższe stężenia  $^{228}\text{Ra}$  niż  $^{226}\text{Ra}$ .

Obecność baru w wodach odgrywa kluczową rolę w zachowaniu się radu. Z wód typu A (zawierających bar) rad prędzej czy później ulegnie współstrąceniu wraz z barem po zmieszaniu się tych wód z wodami siarczanowymi, które są bardzo pospolite w przyrodzie. Z wód typu B rad nie wytrąca się, gdyż nie ma nośnika umożliwiającego współstrącanie. Obniżenie stężenia radu następuje na skutek rozcieńczania wód kopalnianych w wodach powierzchniowych, do których są zrzucane oraz na skutek adsorpcji radu na substancji zawieszonych oraz na osadach dennych w ciekach i osadnikach powierzchniowych.

Występowanie promieniotwórczych osadów w wyrobiskach dołowych jest ściśle związane z obecnością wód radowych, szczególnie wód zawierających bar. Z wód takich mogą wytrącać się promieniotwórcze osady. W miejscach wytrącania się lub gromadzenia osadów można oczekiwać wyższych wartości dawek promieniowania gamma, mogą one być również wchłaniane do organizmu i powodować skażenia wewnętrzne. Osady takie mogą powstawać przede wszystkim w miejscach, gdzie następuje mieszanie się wód radowych typu A z wodami zawierającymi siarczan. Są to przede wszystkim chodniki wodne, pompownie, ścieki lub rurociągi prowadzące wody słone, czasami osadniki wód dołowych na powierzchni lub cieki wodne, do których zrzucane są wody kopalniane. Powstawanie takich osadów ma miejsce w niektórych kopalniach, głównie leżących w południowo-zachodniej części GZW.

#### 50.4 METODY BADANIA STANU ZAGROŻENIA

Do kontroli zagrożenia krótkożyciowymi produktami rozpadu radonu stosuje się przystawki ALFA współpracujące z pyłomierzami typu Barbara [3] lub aspiratorami AP-2000EX [8]. Oba przyrządy pozwalają na równoczesny pomiar zapylenia (rys. 1). Pomiary stężenia energii potencjalnej alfa były wykonywane na stanowiskach pracy przez kilka godzin do jednej zmiany roboczej. W laboratorium przeprowadzono odczyty mierników, a wyniki pomiaru były dostępne praktycznie następnego dnia, licząc od momentu ich dostarczenia. Wzorcowanie przyrządów prowadzono zgodnie z procedurami systemu zarządzania, funkcjonującego w Śląskim Centrum Radiometrii Środowiskowej GIG.



Rys. 50.1 Przystawka ALFA-2004-TwoMet i GAMMA-31

Do kontroli dawek promieniowania gamma stosowano dawkomierze GAMMA-31 zawierające detektory termoluminescencyjne (rys. 50.1). Dawkomierze te były używane zarówno do pomiarów środowiskowych, jak i do kontroli dawek indywidualnych. Do kontroli środowiskowej dopuszcza się również stosowanie radiometrów gamma. Jednak tylko niektóre typy tych przyrządów, obecnie już nieprodukowane, mają dopuszczenie do pracy w warunkach zagrożenia wybuchem. Pomiarów te wykonywały służby kopalniane, a ich wyniki nie są uwzględniane w bazach danych GIG. Kontrolę zagrożenia radonośnymi wodami i osadami przeprowadzano w oparciu o metody laboratoryjne stosowane w Głównym Instytucie Górnictwa [1, 4]. Za wyznaczanie stanowisk pomiarowych, wykonywanie pomiarów na stanowisku oraz pobieranie próbek do analiz laboratoryjnych są odpowiedzialne odpowiednie służby kopalniane. Próbkę wód lub osadów były dostarczane do Śląskiego Centrum Radiometrii Środowiskowej GIG, gdzie dokonywano ich analizy. Do przeprowadzania pomiarów środowiskowych chwilowych kopalnia używa radiometru Rk-100 produkcji Polon Bydgoszcz (rys. 50.2). Ponadto przez służby GIG używane są także dwa radiometry: RadEye G10 firmy ThermoFisher i FAG



Rys. 50.2 Radiometr Rk-100

## 50.5 ANALIZA ZAGROŻENIA RADIACYJNEGO W KWK „CHWAŁOWICE”

W KWK „Chwałowice”, każdego roku prowadzone są badania i pomiary, mające na celu wskazanie miejsc występowania podstawowych elementów zagrożenia

radiacyjnego oraz określenie kategorii zagrożenia pracowników [10]. Sposób i częstotliwość prowadzenia kontroli narażenia radiacyjnego określono w tabeli 50.1 stanowiąca część obowiązującego Rozporządzeniu Ministra Gospodarki zmieniające Rozporządzenie w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. Nr 126, poz. 855) [7].

**Tabela 50.1 Wymagania kontroli narażenia radiacyjnego w kopalniach**

Źródło narażenia	Wielkość mierzona	Kryterium	Wymagana częstotliwość kontroli
Krótkożyciowe produkty rozpadu radonu	$C_\alpha$ - stężenie energii potencjalnej alfa w powietrzu	$C_\alpha \leq 0,5 \mu\text{J}/\text{m}^3$	raz na kwartał
		$0,5 \mu\text{J}/\text{m}^3 < C_\alpha$	raz na miesiąc*
Promieniowanie gamma	$\dot{K}$ - moc kermy promieniowania gamma w powietrzu	$\dot{K} \leq 0,5 \mu\text{Gy}/\text{h}$	raz w roku
		$0,5 \mu\text{Gy}/\text{h} < \dot{K}$	raz na kwartał**
Wody radowe	$C_{\text{RaW}}$ - sumaryczne stężenie izotopów radu Ra-226 i Ra-228	-	raz w roku
Osady	$C_{\text{RaO}}$ - sumaryczne stężenie promieniotwórcze izotopów radu Ra-226 i Ra-228	-	raz w roku
Zwiększenie częstotliwości pomiarów jest wymagane już po jednokrotnym otrzymaniu wyniku powyżej górnej granicy przedziału. Częstotliwość pomiarów można zmniejszyć, jeśli wyniki trzech kolejnych pomiarów są mniejsze od dolnej granicy przedziału. Częstotliwość pomiarów nie może być jednak niższa niż raz na kwartał w przypadku pomiarów stężenia energii potencjalnej alfa w powietrzu oraz raz w roku w przypadku pomiarów mocy kermy promieniowania gamma w powietrzu, pomiarów sumarycznego stężenia izotopów radu Ra-226 i Ra-228 w wodach kopalnianych i pomiarów sumarycznej aktywności właściwej izotopów radu Ra-226 i Ra-228 w osadach kopalnianych.			
* W tych przypadkach wykonuje się dodatkowo pomiar stężenia energii potencjalnej alfa w miejscach znajdujących się na dalszej drodze przepływu tego powietrza.			
** W tych przypadkach wykonuje się dodatkowo pomiar stężenia energii potencjalnej alfa w powietrzu krótkożyciowych produktów rozpadu radonu.			

Źródło: [7]

Wielkościami podlegającymi pomiarowi jest stężenie energii potencjalnej alfa w powietrzu, ekspozycja na zewnętrzne promieniowanie gamma, stężenie izotopów radu Ra-226 i Ra-228 w wodach oraz stężenie promieniotwórcze radu Ra-226 i Ra-228 w osadach. Na podstawie wyników pomiarów obliczana jest dawka skuteczna, jaką mogą otrzymać górnicy. Dawkę skuteczną  $E$   $m\text{Sv}$  otrzymaną w ciągu określonego czasu oblicza się jako sumę:

$$E = E_\alpha + E_\gamma + E_{\text{Ra}}$$

Dysponując pomiarami mocy kermy ( $\dot{K}$ ,  $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ) lub stężenia energii potencjalnej alfa ( $C_\alpha$ ,  $\mu\text{J}/\text{m}^3$ ) można wyliczyć dawkę skuteczną dla przewidywanego rocznego czasu pracy ( $t$ ) w miejscach gdzie wielkości te zostały zmierzone:

$$E_\alpha = 0,0014 \cdot (C_\alpha - 0,1) \cdot t \quad E_\gamma = 0,00140 \cdot (\dot{K} - 0,1) \cdot t$$

W sytuacji kiedy  $C_\alpha < 0,1$  lub  $\bar{K} < 0,1$  należy przyjąć, że  $E_\alpha$  lub odpowiednio  $E_\gamma$  są równe 0. Należy tutaj podkreślić, że w tak wyliczonej dawce skutecznej uwzględnione już zostało tło promieniowania.

Ostatni ze składników dawki skutecznej, skuteczną dawkę obciążającą,  $E_{Ra}$ , ocenia akredytowane laboratorium na podstawie szczegółowych informacji dostarczonych przez inspektora ochrony radiologicznej, a w szczególności informacji o czasie kontaktu z wodami kopalnianymi i osadami kopalnianymi, charakterze wykonywanej pracy i zastosowanej technologii, zapyleniu i wilgotności powietrza oraz stosowanych ochronach osobistych.

Dokonywanie ocen (dawki skuteczne, klasyfikacja wyrobisk) następuje w oparciu o „rzeczywisty” roczny czas pracy na danym stanowisku pracy. Pod pojęciem „rzeczywisty” czas pracy należy rozumieć roczny prognozowany czas pracy lub rzeczywisty, w sytuacji, kiedy obliczenia wykonywane są na zakończenie roku kalendarzowego. Dopiero w sytuacji, kiedy nie można w żaden sposób określić czasu działania zagrożenia należy przyjąć, że wynosi rocznie 1800 godzin.

## **50.6 WYNIKI ANALIZY ZAGROŻENIA RADIACYJNEGO W KWK „CHWAŁOWICE” NA PRZYKŁADZIE ROKU 2015**

### **50.6.1 Wyniki pomiarów stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu w powietrzu**

W KWK „Chwałowice”, ze względu na wzmożoną wentylację, która jest związana z zagrożeniem metanowym, czynnik narażenia radiacyjnego wynikający z obecności radonu i produktów jego rozpadu w powietrzu występuje w niewielkim stopniu. Obserwowane stężenia energii potencjalnej alfa na ogół są niskie i nie przekraczają poziomu  $0,1 \mu\text{J}/\text{m}^3$ . Pomiary na stanowiskach pracy były wykonywane przez pracowników Działu Wentylacji kopalni Chwałowice, za pomocą przystawek ALFA-31, które przygotowywano i odczytywano w Śląskim Centrum Radiometrii Środowiskowej GIG. Tylko w 1 przypadku, w pompowni głównego odwadniania poz. 550, mierzona wielkość przekroczyła wartość  $0,5 \mu\text{J}/\text{m}^3$  i wyniosła maksymalnie  $0,71 \pm 0,16 \mu\text{J}/\text{m}^3$ . Pozostałe wyniki nie przekraczały kryterium  $0,5 \mu\text{J}/\text{m}^3$ . W latach poprzednich także występowały tylko pojedyncze przekroczenia wartości  $0,5 \mu\text{J}/\text{m}^3$ . Wobec powyższego nie było potrzeby klasyfikowania wyrobisk jako zagrożonych radiacyjnie, ze względu na występowanie podwyższonych stężeń energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu w powietrzu.

### **50.6.2 Wyniki pomiarów stężenia izotopów radu w wodach**

W kopalni „Chwałowice” występują zarówno wody radowe typu A, z których rad wytrąca się w wyrobiskach podziemnych i tworzy promieniotwórcze osady dołowe, jak i wody radowe typu B, które nie zawierają baru. Na skutek wytrącania się osadów pod ziemią w kopalnianych wyrobiskach dołowych, znacząca część całkowitej aktywności izotopów radu pozostaje pod ziemią.

Wzorem lat ubiegłych, również w roku 2015 przeprowadzono w kopalni Chwałowice pomiary stężenia radu w wodach dołowych i powierzchniowych. Łącznie wykonano analizy dla 12 próbek wód (w tym dołowych), które zostały wcześniej pobrane przez pracowników Działu Mierniczo-Geologicznego oraz Działu Ochrony Środowiska kopalni. W Śląskim Centrum Radiometrii Środowiskowej GIG próbki poddano preparatyce chemicznej, a po jej zakończeniu wykonano pomiary stężeń izotopów radu ( $^{226}\text{Ra}$  i  $^{228}\text{Ra}$ ) metodą ciekłych scyntylatorów.

W roku 2015 sumaryczne stężenie izotopów radu  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{228}\text{Ra}$  przekraczające wartość  $1 \text{ kBq/m}^3$  zmierzono w jednej próbce wody: w wodzie pobranej w Przekopie I Wschodnim, poziom 390 m: punkt pomiarowy 2820 mb i wyniosło łącznie  $3,9 \text{ kBq/m}^3$ . Woda zbiorcza z poziomu 550 m (komora pomp PP 50), która odprowadzana jest do Kolektora Olza oraz woda z poziomu 390 m (komora pomp PP 30) zawierają podwyższone aktywności izotopów radu, w stosunku do wartości typowych dla wód powierzchniowych. Zmierzone wielkości nie przekraczają jednak wartości  $1 \text{ kBq/m}^3$ .

### 50.6.3 Wyniki pomiarów stężenia izotopów radu w osadach

W kopalni „Chwałowice” na skutek występowania wód radowo-barowych dochodzi do spontanicznego wytrącania osadów siarczanu radowo-barowego. Wody o podwyższonych stężeniach izotopów radu trafiają nawet do chodników wodnych po przebyciu kilku kilometrów, co można było obserwować w latach ubiegłych w niektórych wyrobiskach na poziomie 390 metrów i 550 metrów. W 2015 roku osady o znacząco podwyższonych stężeniach izotopów radu ponownie znaleziono w przekopie I wschodnim, zarówno na poziomie 390 metrów, jak i na poziomie 550 metrów.

W 2015 roku, pracownicy kopalni „Chwałowice” pobrali do badań 10 próbek osadów kopalnianych:

- Poziom 390 m – 5 próbek,
- Poziom 550 m – 4 próbki,
- Poziom 700 m – 1 próbka.

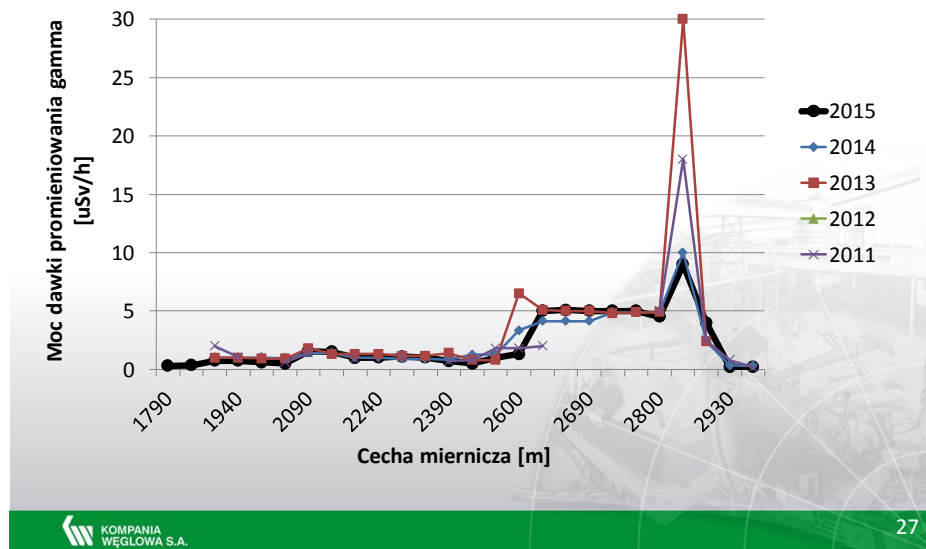
W dostarczonych próbkach oznaczano stężenie izotopów radu ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ) oraz toru ( $^{228}\text{Th}$ ) będącego w równowadze promieniotwórczej z  $^{224}\text{Ra}$ . Badanie wykonano metodą wysokorozdzielczej spektrometrii promieniowania gamma przez GIG Katowice. Najwyższe wartości stwierdzono w przekopie I wschodnim na poz. 390 m sięgające  $151 \text{ 500 Bq/kg}$ . Nieco niższe stężenia izotopów promieniotwórczych stwierdzono w korytach odwadniania przekopu I wschodniego poz. 550 m, które osiągały wartość  $117 \text{ 700 Bq/kg}$ . Z tego powodu wyrobiska te zakwalifikowano jako zagrożone radiacyjnie.

### 50.6.4 Wyniki pomiarów ekspozycji na zewnętrzne promieniowanie gamma

Pomiary ekspozycji na zewnętrzne promieniowanie gamma wykonano z pomocą dawkomierzy GAMMA-31 wyposażonych w detektory termoluminescencyjne (pomiary indywidualne i środowiskowe długotrwałe) oraz z pomocą radiometrów: RadEye G10 firmy ThermoFisher i FAG (pomiary środowiskowe chwilowe) oraz radiometrem Rk-100.

Zmierzone moce kermy i moce dawek osiągają bardzo duże wartości. Maksymalna moc kermy wyniosła  $14.011 \pm 0.509 \mu\text{Gy}/\text{h}$  i została zmierzona, podobnie, jak w latach ubiegłych, w przekopie I wschodnim, poziom 390 m, cecha miernicza 2820 m. Bezpośrednim źródłem zagrożenia w tym miejscu są osady zawierające wysokie stężenia radu. Osady takie nie rozkładają się w sposób równomierny wzdłuż całego wyrobiska, na co wskazują wszystkie uzyskane tam wyniki, zarówno pomiarów dawek jak i pomiarów stężenia radu w osadach. Podobnie podwyższone wartości mocy kermy, sięgające  $1,491 \mu\text{Gy}/\text{h}$  zmierzono w przekopie I wschodnim poz. 550 m. Źródłem podwyższonego poziomu promieniowania są osady zalegające w zamkniętych korytach ściekowych oraz w rurociągach odprowadzających wody z odwadniania wyrobiska.

Na rysunkach 50.3 i 50.4 przedstawiono rozkład wartości mocy dawki promieniowania gamma  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  w wyrobiskach poziomu 390 m i 550 m w latach 2011-2015.

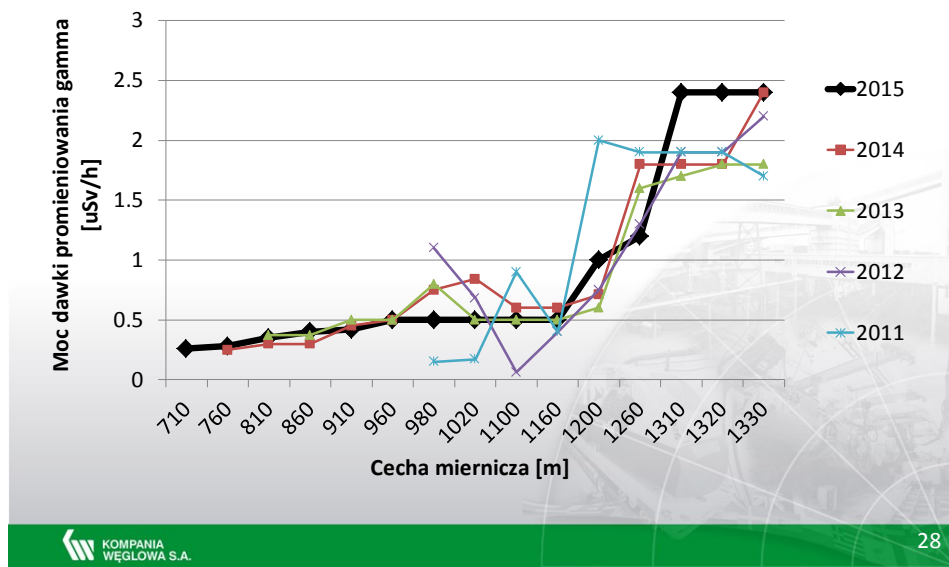


Rys. 50.3 Rozkład wartości mocy równoważnika dawki promieniowania gamma – przekop I wschodni poz. 390 m

Zmierzone radiometrem wartości mocy dawki promieniowania gamma (pomiaru środowiskowe chwilowe) są wyrażone jako moc przestrzennego równoważnika dawki,  $dH^*(10)/dt$ . W celu porównania ze zmierzonymi za pomocą dawkomierzy Gamma-31 mocami kermy, należy moc przestrzennego równoważnika dawki podzielić przez 1.2. W okolicy miejsca gdzie zmierzona z pomocą dawkomierzy Gamma-31 moc kermy była największa (przekop I wschodni, poziom 390 m, cecha miernicza 2820 m), również wskazania radiometru osiągnęły wysokie wartości równe  $8.0 \mu\text{Gy}/\text{h}$  (wartości po przeliczeniu z mocy przestrzennego równoważnika dawki na moc kermy z pomocą współczynnika konwersji 1.2). Oznacza to, że w tym miejscu zalegają osady o najwyższej zawartości izotopów promieniotwórczych. Większe wskazania radiometru wynikają z niejednorodności rozmieszczenia osadów i różnego oddalenia sondy radiometru i dawkomierza Gamma-31 od źródła promieniowania. Biorąc pod uwagę możliwość



przekroczenia wartości dawki 6  $mSv/rok$  (już przy czasie pracy równym około 670 h), kontrolę zagrożenia radiacyjnego w tym miejscu należy prowadzić metodą dozymetrii indywidualnej.



Rys. 50.4 Rozkład wartości mocy dawki promieniowania gamma - przekop I wschodni poz. 550 m

Podwyższone wartości mocy dawki zmierzono również w przekopie I wschodnim na poziomie 550 metrów, gdzie maksymalna wartość wynosiła 2.4  $\mu Gy/h$  dla wskazań z radiometru i 0,423  $\mu Gy/h$  dla oznaczeń wykonanych z pomocą dawkomierzy Gamma-31. Szacowana roczna dawka skuteczna wynosiłaby w tym przypadku około 6.77  $mSv$  (uwzględniając 18% błąd) lub 0.85  $mSv$  odpowiednio dla czasu pracy 1800 godzin. Na poz. 700 m maksymalna moc kermy zmierzona z pomocą dawkomierzy Gamma-31 wynosiła  $0,527 \pm 0,019 \mu Gy/h$ , co po uwzględnieniu błędu i rocznego czasu 1800 godzin odpowiada rocznej dawce 1,1  $mSv$ .

### 50.6.5 Dawki obciążające spowodowane wniknięciem izotopów radu

Zgodnie z wymaganiami zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki [7], (punkt 8.9 oraz 8.13 załącznik nr 9), należy obliczyć dawki obciążające spowodowane wniknięciem do organizmu izotopów radu  $^{226}Ra$  i  $^{228}Ra$  (Dz. U. Nr 126, poz. 855). Obciążające dawki skuteczne zostały oszacowane dla miejsc, gdzie dostępne były następujące informacje:

- wyniki pomiarów stężenia izotopów radu  $^{226}Ra$  i  $^{228}Ra$  w wodach i osadach,
- informacje dostarczone przez Inspektora Ochrony Radiologicznej (IOR) kopalni, dotyczące realnego czasu kontaktu z wodami i osadami kopalnianymi, charakterze wykonywanej pracy, zapyleniu i wilgotności oraz stosowanych ochronach osobistych.

W 2015 roku do obliczenia dawek obciążających wyznaczone zostały przez zakładowego Inspektora Ochrony Radiologicznej wyrobiska na poziomach 390 i 550. Do oszacowania dawek obciążających przyjęto dane, charakteryzujące poszczególne

możliwe stanowiska pracy oraz maksymalne wartości stężenia izotopów radu zmierzone w wodach i osadach występujących w ocenianych wyrobiskach. Jak wynikało z obliczeń, istotne ze względu na zagrożenie radiacyjne oszacowane dodatkowe dawki obciążające, spowodowane wniknięciem do organizmu izotopów radu  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{228}\text{Ra}$  występują w przekopie I wschodnim poz. 550 m, gdzie ich wartość dla najbardziej niekorzystnych warunków pracy wynosić może do 5,4 mSv/rok, zaś dla typowych warunków pracy do 3,5 mSv/rok. Natomiast w przekopie I wschodnim na poz. 390 m odpowiednie maksymalne wartości dochodzą do 1,9 mSv/rok dla najbardziej niekorzystnych i 1,5 mSv/rok dla typowych warunków pracy.

Oszacowane wartości skutecznych dawek obciążających uwzględniają deklarowany czas pracy oraz rodzaj wykonywanych czynności na poszczególnych stanowiskach. Ze względu na fakt, że w wymienionych wyżej miejscach skuteczna dawka obciążająca daje znaczący wkład do dawki całkowitej, czas pracy osób tam zatrudnionych podlega ewidencjonowaniu oraz kontrolowana jest ekspozycję na zewnętrzne promieniowanie gamma.

## 50.7 OSZACOWANIE MAKSYMALNYCH DAWEK ROCZNYCH I OCENA ŁĄCZNEGO ZAGROŻENIA ZE WSZYSTKICH ŹRÓDEŁ NARAŻENIA

W celu oszacowania dawek, na jakie mogą być narażeni górnicy kopalni Chwałowice uwzględniono wszystkie składniki dawki skutecznej, pochodzące od występujących w kopalni czynników zagrożenia radiacyjnego, czyli oddziaływanie zewnętrznego promieniowania gamma ( $E_\gamma$ ), występowanie produktów rozpadu radonu w powietrzu ( $E_{\alpha;}$ ), możliwość skażeń wewnętrznych radem z wód i osadów ( $E_{\text{Ra}}$ ). Sposób wyliczenia całkowitej dawki skutecznej przedstawiono w punkcie nr 5.

Całkowite roczne dawki skuteczne, na jakie narażeni są pracownicy zatrudnieni w podziemnych wyrobiskach KWK „Chwałowice” przedstawiono w tabeli 50.2. Dawki zostały policzone dla stanowisk pracy, dla których zostały dostarczone dane na temat warunków i czasu pracy. Dodatkowo należy podkreślić, iż dla każdego stanowiska wyliczono maksymalne dawki skuteczne, uwzględniając wkład od wniknięcia wód oraz osadów, krótkożyciowych produktów rozpadu radonu i zewnętrznego promieniowania gamma. Do obliczeń przyjęto rzeczywisty czas pracy dla czynności wykonywanych przez określoną grupę. Dawki zostały obliczone dla maksymalnych wartości poszczególnych czynników zagrożenia radiacyjnego zmierzonych w rejonach podlegających ocenie.

W przypadku, kiedy pracownik uczestniczył w wykonywaniu różnych czynności w różnych miejscach, dawka, na otrzymanie której może być narażony, jest sumą dawek wyznaczonych dla danych miejsc i czynności. Na przykład, jeśli brał udział w czynnościach wykonywanych w przekopie I wschodnim, poz. 390 m (tabela 50.2, poz. 1), oraz w działaniach określonych dla przekopu I wschodniego na poz. 550 m (tabela 50.2, poz. 3), to maksymalnie mógł otrzymać dawkę:  $3,305 \text{ mSv} + 0,342 \text{ mSv} = 3,647 \text{ mSv}$ .

Tabela 50.2 Całkowita roczna dawka skuteczna, mSv

Lp.	Wyrobisko/ stanowisko pracy	$E_{\alpha}$	$E_{\gamma}$ Dozymetria indywidualna	$E_{\gamma}$ Dozymetria środowiskowa	$E_{Ra}$	$E^*$	$E^{**}$
1	Przekop I Wschodni, poziom 390, teren nadzorowany „B”	0,733	-	1,048	1,524	-	<b>3,305</b>
2	Przekop I Wschodni, poziom 390, teren kontrolowany „A”	0,082	-	0,958	0,877	-	<b>1,917</b>
3	Przekop I Wschodni, poziom 550, teren kontrolowany „A”	0,07	-	0,271	< 0,001	-	0,342
4	Przekop I Wschodni, poziom 550, teren nadzorowany „B”	0,298	-	0,276	3,466	-	<b>4,040</b>
5	Poziom 550, chodniki wodne	0,085	-	0,165	0,069	-	0,319
6	Pompownia Głównego Odwadniania, poziom 550	0	-	0,611	< 0,001	-	0,612
7	Pompownia w pokładzie 409 – przylegająca do przekopu I Wschodniego, poziom 390	0,018	-	-	< 0,001	-	0,019
8	Przekop kierunkowy na „N” + przekop Paruszowiec III, poziom 550	0,064	-	0,112	0,346	-	0,522

Pogrubioną czcionką oznaczono wartości dawki skutecznej, przekraczające próg 1 mSv/rok

$E^*$  - dawka skuteczna wyliczona na podstawie dozymetrii indywidualnej

$E^{**}$  - dawka skuteczna wyliczona na podstawie dozymetrii środowiskowej

Źródło: [10]

Przyjmując jednak roczny czas pracy 1800 godzin, wyliczone dawki dla poszczególnych stanowisk pracy byłyby takie jak przedstawiono w tabeli 50.3. Stanowiło to podstawę do zaliczenia tych wyrobisk do poszczególnych klas zagrożenia radiacyjnego.

Uzyskane wartości całkowitych dawek skutecznych (wyliczonych na podstawie dozymetrii środowiskowej) przedstawione są na rys. 50.5. W tabeli 50.4, w celu wyjaśnienia opisów na wykresie 50.2, zestawiono szczegółowy opis czynności wykonywanych w wyrobiskach, dla których obliczono całkowite dawki skuteczne.

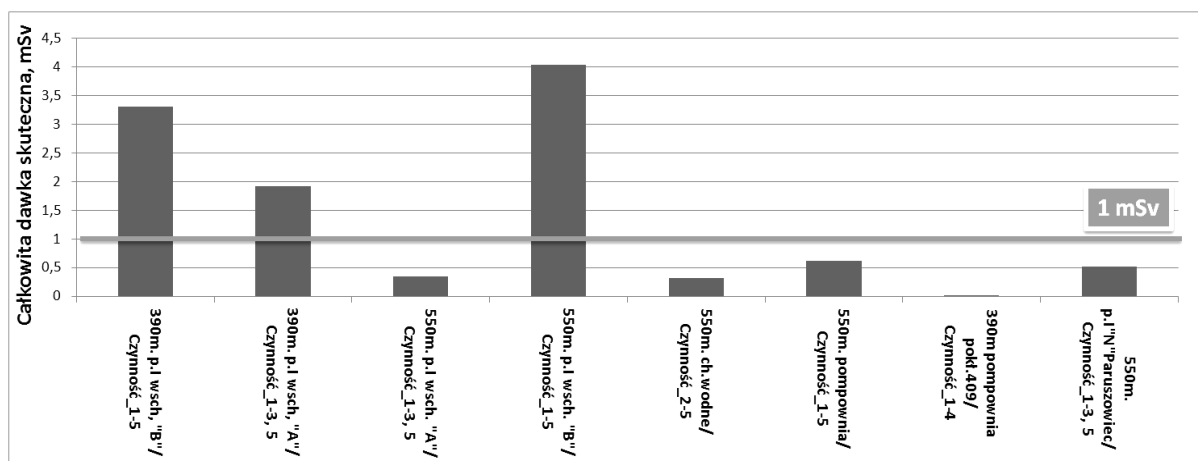
W kopalni „Chwałowice”, na podstawie zarządzenia Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego zastał powołany Zespół do Zwalczania Zagrożeń Naturalnej Promieniotwórczości. Zespół, dysponując wynikami pomiarów i analiz wykonywanych we współpracy KWK „Chwałowice” i GIG, podejmuje działania, mające na celu ograniczenie zagrożenia, wynikającego z obecności podwyższonej naturalnej promieniotwórczości w podziemnych wyrobiskach górniczych, polegające na:

- Ocenie stanu zagrożeń od naturalnych źródeł promieniowania oraz ocenę tendencji kształtowania się tych zagrożeń,

- Formułowaniu i przedstawianiu wniosków i zaleceń niezbędnych do likwidacji zagrożeń i poprawy stanu bezpieczeństwa pracowników
- Zgłaszaniu propozycji i analizowaniu zasadności zaliczenia wyrobisk do poszczególnych klas zagrożenia radiacyjnego,
- Opiniowaniu instrukcji, dokumentacji, technologii itp. mających związek z istnieniem zagrożeń od naturalnej promieniotwórczości.

Tabela 50.3 Wykaz wyrobisk zagrożonych radiacyjnie w KW SA. O/KWK "Chwałowice"

Lp	Nazwa wyrobiska	cechy miernicze	cechy przewoz.	E	Klasa zagrożenia*)		Uwagi
		od - do	od - do		A	B	
		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>mSv</i>			
<b>I</b>	<b>POZIOM 390 M</b>						
1	<b>Przekop I Wschodni</b>						
1.2	cecha miernicza 1500-1900 <i>m</i>	1500-1900	2010-2410	<b>0,33</b>			WYROBISKO NIEZAGROŻONE
1.3	cecha miernicza 1900-2600 <i>m</i>	1900-2600	2410-3110	<b>3,305</b>		<b>B</b>	brak stałych stan. pracy
1.4	cecha miernicza 2600-2900 <i>m</i>	2600-2900	3110-3410	<b>16,69</b>	<b>A</b>		brak stałych stan. pracy
1.5	pompownia w ch. b. 409/2	1900	2410	<b>1,42</b>		<b>B</b>	brak stałych stan. pracy
<b>II</b>	<b>POZIOM 550 M</b>						
2.	<b>Przekop I Wschodni</b>						
2.1	cecha miernicza 850-1200 <i>m</i>	850-1200	1690-2040	<b>0,50</b>			WYROBISKO NIEZAGROŻONE
2.2	cecha miernicza od 1200 <i>m</i> do tamy nr 290 (ok. 150 <i>m</i> )	1200-1350	2040-2190	<b>4,04</b>		<b>B</b>	brak stałych stan. pracy
2.3	za tamą 290 (od tamy do końca wyrobiska)	1350-2400	2190-3240	<b>8,87</b>	<b>A</b>		wyrobisko nieczynne i niedostępne
2.4	Pompownia stara w przekopie cm 980 <i>m</i>	980	1820	<b>2,75</b>		<b>B</b>	brak stałych stan. pracy



Rys. 50.5 Wartości całkowitych dawek skutecznych wyliczonych na podstawie dozymetrii środowiskowej

Tabela 50.4 Opis czynności wykonywanych w wyrobiskach

Nr czynności	Opis czynności
1	Przemieszczanie się ludzi w strefie zagrożenia
2	Transport osadów: załadunek/rozładunek; ręczny/mechaniczny
3	Czyszczenie kanałów i ścieków
4	Czyszczenie chodników wodnych
5	Inne czynności wykonywane w rejonie występowania osadów (nie związane bezpośrednio z osadami lub z wodami)

Zespołem kieruje Kierownik Działu Ochrony Środowiska, który jednocześnie pełni obowiązki Zakładowego Inspektora Ochrony Radiologicznej (IOR). Inspektor ochrony radiologicznej prowadzi dokumentację stanu zagrożenia radiacyjnego obejmującą wyniki pomiarów wskaźników zagrożenia radiacyjnego, wyniki pomiarów dawek indywidualnych, wykaz i dokumentację wyrobisk zaliczonych, do poszczególnych klas zagrożenia radiacyjnego, w tym mapy górnicze określające granice terenów kontrolowanych w rozumieniu przepisów prawa atomowego, rejestr dawek indywidualnych pracowników zaliczonych na podstawie przepisów prawa atomowego do pracowników kategorii A, wykaz pracowników zaliczonych na podstawie przepisów prawa atomowego do pracowników kategorii B. W przypadku konieczności wykonywania prac w warunkach zagrożenia radiacyjnego, na wniosek Zakładowego Inspektora Ochrony Radiologicznej Kierownik Ruchu Zakładu Górniczego kwalifikuje pracowników do odpowiedniej kategorii zagrożenia (A lub B). Pracownicy zostają dopuszczeni do wykonywania prac pod warunkiem uzyskania dopuszczenia do pracy przez lekarza oraz po przeszkoleniu dokonanym przez Zakładowego IOR. Pracownicy zakwalifikowani do kategorii A podlegają indywidualnej dozymetrii, a wysokość skutecznej dawki pochłoniętej jest ściśle kontrolowana i ewidencjonowana. Po zakończonym roku kalendarzowym informacja o wysokości dawki pochłoniętej jest przekazywana do Krajowego Rejestru Dawek oraz do lekarza dopuszczającego do pracy w warunkach zagrożenia radiacyjnego. Pracownicy kategorii B podlegają oszacowaniu w zakresie dawek pochłoniętych na podstawie dozymetrii środowiskowej. Ponadto w KWK Chwałowice stosuje się zasadę kontrolną szacowania dawek z wykorzystaniem dozymetrii indywidualnej. Takiej dozymetrii poddaje się wyznaczoną część pracującej załogi i dozoru.

Prace wykonywane są w oparciu o „Instrukcję wykonywania prac w warunkach zagrożenia radiacyjnego”.

## 50.8 PODSUMOWANIE

Na podstawie wieloletnich analiz zagrożenia radiacyjnego pracowników pracujących w wyrobiskach dołowych KWK „Chwałowice” należy stwierdzić, że w żadnym przypadku dawka, na jaką są narażeni górnicy, nie przekroczyła dawki granicznej 20 mSv/rok.

Mimo szacowanych możliwości przekroczenia dawki pochłoniętej ponad 6 mSv/rok (wyrobiska kategorii A), wyniki prowadzonej w ubiegłych latach dozymetrii indywidualnej pracowników nie wykazały w żadnym przypadku przekroczenia tej

wartości. Najwyższe stwierdzone wartości rocznej dawki pochłoniętej w miejscach pracy ludzi tylko w kilku przypadkach były wyższe niż wartość  $1\text{ mSv/rok}$ , stanowiącą wartość dopuszczalną dawki pochłoniętej dla ogółu ludności, lecz nie przekraczały  $6\text{ mSv}$  (wyrobiska klasy B). Wartości wyższe niż  $6\text{ mSv}$  (wyrobiska klasy A) występowały wyłącznie w wyrobiskach nieczynnych i niedostępnych lub tam gdzie brak jest stałych miejsc pracy.

## LITERATURA

1. S. Chałupnik i J. Lebecka, Determination of Ra-226, Ra-228 and Ra-224 in water and aqueous solutions by liquid scintillation counting. *Radiocarbon* 1993, pp. 397-403.
2. H.W. Koster i inni,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  in Aquatic Ecosystems and Polders, Anthropogenic Sources, Distribution and Enhanced Radiation Doses in the Netherlands - The Natural Radiation Environment, Nuclear Technology Publishing, Vol. 45, No. 1-4. 1992.
3. J. Lebecka, I. Tomza, K. Skubacz, T. Niewiadomski, E. Ryba, Monitoring of radon-daughters in coal mine atmospheres. Third International Mine Ventilation Congress, Harrogate, England. 1984.
4. Norma 1989: Polska Norma PN-89/Z-70073 Ochrona radiologiczna w podziemnych zakładach górniczych. Oznaczanie stężeń naturalnych nuklidów promieniotwórczych w osadach dołowych metodą spektrometrii promieniowania gamma.
5. Prawo geologiczne i górnicze, 2011: Ustawa Prawo geologiczne i górnicze z dnia 9 czerwca 2011 r. (Dz. U. z dnia 5 sierpnia 2011 r).
6. Raport Roczny (2007): Raport roczny (2006) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Praca zbiorowa pod red. W. Konopko. Katowice. Główny Instytut Górnictwa.
7. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, 2002: Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Dz. U. Nr 139, poz. 1169, z 2006 r. Nr 124, poz. 863 oraz z 2010 r. Nr 126, poz. 855.
8. K. Skubacz, A. Mielnikow, Measurements of short-lived radon daughters in Polish mines. Materiały Międzynarodowej Konferencji NORM IV, Szczyrk. 2004.
9. T. Wardaszko, Z. Pietrzak-Flis, I. Radwan, Występowanie  $^{226}\text{Ra}$  w wodach rzecznych i osadach dennych i jego związek z działalnością przemysłową na Górnym Śląsku - Międzynarodowa konferencja „Technologically Enhanced Natural Radioactivity, TENR'96, Szczyrk. 1996.
10. M. Wysocka, K. Skubacz, P. Urban, K. Bonczyk, I. Chmielewska, Kompleksowa analiza narażenia radiacyjnego górników KW S.A. Oddział KWK „Chwałowice” w 2015 roku, praca GIG nr 57215970-370, GIG, Katowice. 2016.

*Data przesłania artykułu do Redakcji:* 03.2016  
*Data akceptacji artykułu przez Redakcję:* 04.2016

mgr inż. Marek Miczajka  
Kompania Węglowa S.A., Oddział KWK „Chwałowice”  
ul. 1 Maja 26, 44-206 Rybnik, Polska  
e-mail: m.miczajka@kwsa.pl

dr hab. inż. Małgorzata Wysocka, prof. GIG, dr Krystian Skubacz  
Główny Instytut Górnictwa  
Pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice, Polska  
e-mail: mwysocka@gig.katowice.pl; kskubacz@gig.katowice.pl

## **OCENA ZAGROŻENIA RADIACYJNEGO OD NATURALNYCH IZOTOPÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W WYROBISKACH PODZIEMNYCH KWK „CHWAŁOWICE”**

**Streszczenie:** Kopalnia „Chwałowice” systematycznie od wielu lat prowadzi badania stanu narażenia radiacyjnego, spowodowanego obecnością naturalnych izotopów promieniotwórczych w wyrobiskach podziemnych kopalni. Badania mają na celu określenie poziomu narażenia radiacyjnego górników tej kopalni, poprzez kompleksową analizę wszystkich czynników, powodujących to zagrożenie. Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi w KWK „Chwałowice” wykonano pomiary następujących czynników narażenia radiacyjnego: stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu, stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych w wodach, mocy dawki promieniowania gamma i dawek otrzymywanych przez górników, stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych w osadach.

**Słowa kluczowe:** górnictwo, zagrożenie radiacyjne, naturalna promieniotwórczość minery

## **ASSESSMENT OF RADIATION HAZARD CAUSED BY NATURAL RADIONUCLIDES IN UNDERGROUND GALLERIES OF CHWAŁOWICE COLLIERY**

**Abstract:** The monitoring of radiation hazard, caused by natural radioactivity, is performed routinely in underground galleries of Chwałowice Colliery since many years. The main goal of the monitoring is to estimate the radiation hazard for the miners. The important issue is to take into account all possible sources of the radiation hazard. Accordingly to the current regulations following sources of natural radioactivity have been monitored: the potential alpha energy concentration of short-lived radon decay products, the concentration of natural radionuclides in mine waters and sediments as well as gamma doses, received by miners due to working in the underground galleries.

**Key words:** radiation hazard, natural radioactivity