

## Antropogeniczne zmiany mocy dawki promieniowania gamma w rejonie pouranowych instalacji przeróbczych w Kowarach

Agnieszka Anna Ochmann\*, Andrzej Tomasz Solecki\*

*Moc dawki promieniowania gamma w obrębie antropogenicznej anomalii promieniotwórczej, w pobliżu zbiornika odpadów po przeróbce rud uranu w Kowarach dochodzi do 2600 nGy/h. Wartość ta wyraźnie przekracza tło promieniowania gamma, stwierdzone na wychodniach różnych rodzajów skał, odsłaniających się w najbliższej okolicy. Ograniczony zasięg powierzchniowy anomalii sprawia, że jej wpływ na zdrowie ludności jest znacznie mniejszy niż oddziaływanie regionalnego tła granitu karkonoskiego. Wartość mocy dawki promieniowania gamma w obrębie stwierdzonej anomalii jest wyraźnie mniejsza niż anomalie radioaktywne związane z niektórymi osadnikami przy kopalniach węgla kamiennego.*

**Słowa kluczowe:** górnictwo uranu, moc dawki promieniowania gamma, Sudety, Kowary

Agnieszka Anna Ochmann & Andrzej Tadeusz Solecki — Gamma dose in the environs of the uranium mining tailing pond in Kowary (SW Poland). *Prz. Geol.*, 47: 764–770.

*Summary. Results of the gamma dose mapping in the environs of the tailing pond in Kowary have been compared with the natural gamma dose rate. Comparative field measurements have been done on the outcrops of various rocks in the adjacent area. Regional background of the terrestrial gamma dose rate has been evaluated using published results of uranium, thorium and potassium content of the Karkonosze granite. Obtained results indicate that the antropogenic gamma dose rate in the area of the Kowary tailing pond is smaller than registered for antropogenic anomalies connected with coal mining but evidently higher than the natural background radiation dose of the area. Due to limited extend of antropogenic anomaly the more significant influence upon human health may be connected with the Karkonosze granite terrestrial radiation.*

**Key words:** uranium mining, gamma dose, Sudetes, Kowary

Mineralizacja uranowa w Sudetach była znana już przed drugą wojną światową. Prowadzono wtedy w kopalni rud żelaza „Wolność” w Kowarach wydobyć pewnej ilości rud uranowych dla celów produkcji radu.

Intensywne poszukiwania złóż uranu w Sudetach rozpoczęły się od 1948 r. i były prowadzone początkowo przez ekspertów radzieckich. Od 1956 r. polskie przedsiębiorstwo R-1 przejęło prace nad poszukiwaniem i eksploatacją złóż (Ciężkowski i in., 1998). Głównym ośrodkiem wydobywania rud uranu były Kowary, gdzie mieściła się dyrekcja przedsiębiorstwa. W samych Kowarach prace wydobywcze prowadzono w latach 1950–1968 (Zajączkowski, 1968). Skały o zawartości powyżej 300 ppm uranu określano jako rudę, lecz głównym przedmiotem zainteresowania były rudy o zawartości powyżej 2%, które sprzedawano do Związku Radzieckiego. Rudę o koncentracji niższej zawartości składowano na tzw. „hałdach rudnych”.

W związku z ograniczeniem prac wydobywczych pod koniec lat sześćdziesiątych uruchomiono przeróbkę i wzbogacanie rud ubogich. Od 1968 do 1973 r. Zakłady Przemysłowe R-1 przerabiały ubogie rudy, wydobyte w ubiegłych latach, na koncentrat w postaci uranianu amonu (o 60% zawartości uranu). W tym okresie powstał w dolinie Jedlicy zbiornik odpadów po procesie przeróbki rudy uranowej.

Dla obszarów byłego górnictwa uranowego istnieją liczne publikacje oceniające jego wpływ na środowisko, z których najbardziej aktualną jest praca zespołu Piestrzyńskiego (Piestrzyński i in., 1996). Zespoły badawcze AGH, CELOR i WICHIR wykonały także wiele badań, które zamieszczono w niepublikowanych opracowaniach. Wyniki tych badań umożliwiły rozpoznanie stanu środowiska naturalnego i identyfikację istniejących zagrożeń. W hałdach, pozostałych po okresie eksploatacji, był zgromadzony

głównie materiał płonny, przebrany w celu odzyskania ewentualnych partii zmineralizowanych. W wyniku postępującej erozji, wymywania i nielegalnej eksploatacji hałd dla celów budownictwa drogowego, pojawiają się niekiedy na ich powierzchni lokalne, okresowe, usuwane przez erozję, anomalie promieniotwórcze.

Jedynym miejscem, gdzie systematycznie przywożono i wzbogacano rudy uranowe, był zakład przeróbczy w Kowarach. W sezonie letnim 1996 r. przeprowadzono kartowanie radiometryczne na terenie tego zakładu (Ochmann, 1997). Celem prezentowanych badań było określenie przestrzennej zmienności mocy dawki promieniowania w otoczeniu zbiornika odpadów zakładu przeróbczego i porównanej jej z naturalnym tłem promieniowania tego rejonu.

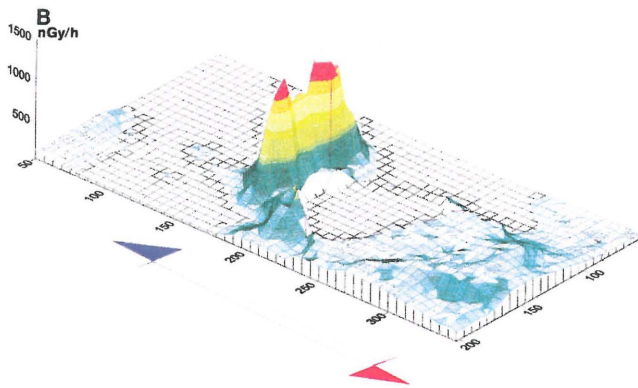
### Teren badań

Teren badań obejmuje kontakt masywu granitowego Karkonoszy z jego wschodnią osłoną metamorficzną (Szałamacha, 1960). Masyw karkonoski, centralny masyw granitowy Sudetów, charakteryzuje się podwyższonymi koncentracjami naturalnych pierwiastków promieniotwórczych: uranu, toru i potasu (Jeliński, 1965).

Teren badań rozciąga się stromą doliną Jedlicy opadającą od przełęczy Kowarskiej ku północnemu zachodowi. Podłoże dolnej części doliny Jedlicy buduje gruboziarnisty granit karkonoski. W wyższej części doliny występują gnejsy oczkowe z wkładkami granitognejsów, a lokalnie wzdłuż kontaktu gnejsów z granitem karkonoskim — wkładki skarnów. Dalej ku południowemu wschodowi, w pobliżu Przełęczy Kowarskiej, odsłaniają się łupki łuszczkowe z wkładkami amfibolitów, niewielkimi soczewkami marmurów, łupków grafitowych i łupków kwarcowo-łuszczkowych.

W osi doliny są nagromadzone nieznacznej miąższości osady rzeki Jedlicy mającej na tym odcinku charakter górskiego potoku.

\*Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław

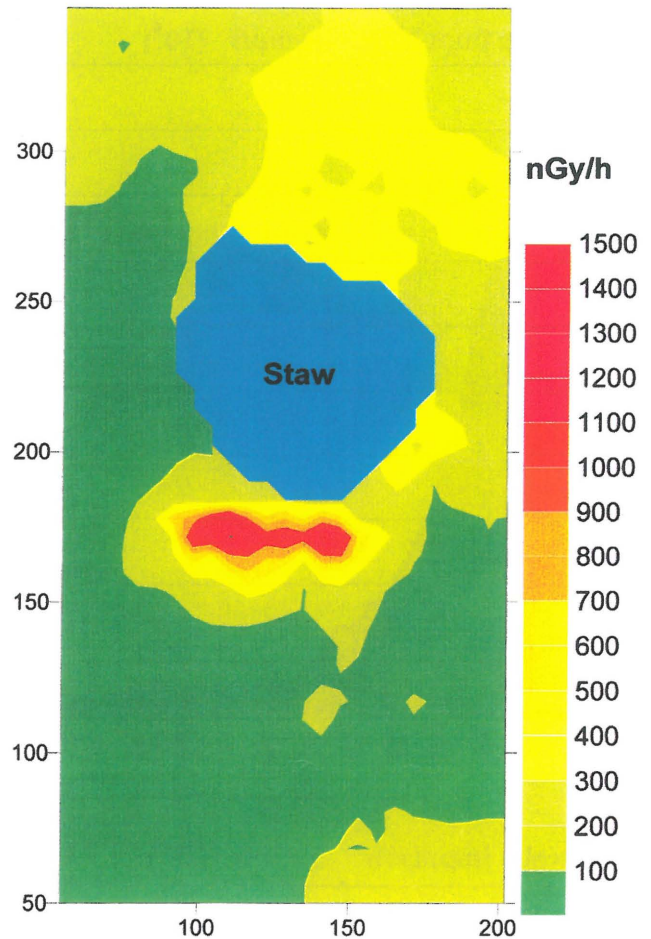


Ryc. 1. A — ukośna fotografia lotnicza zbiornika odpadów po przeróbce rud uranowych w Kowarach, fot. K. Sawicki; B — trójwymiarowy diagram mocy dawki promieniowania gamma

Zbiornik odpadów jest zlokalizowany na wschodnim zboczach doliny, na stokach góry Rudnik, a jego powierzchnia wynosi około 1,5 ha; jest otoczony groblą ziemną osiągnącą wysokość 12 metrów.

### Metodyka pracy

Do badania przestrzennej zmienności dawki promieniowania gamma wokół zbiornika odpadów i określenia naturalnego promieniowania, pochodzącego ze skał podłoża na obszarze doliny Jedlicy, użyto licznika Geigera-Müllera RKP 1-Z produkcji ZUD Polon Alfa Bydgoszcz. Pomiary prowadzono odczytując wynik w imp/s. Aparat został wykalibrowany przez wykonanie pomiarów kontrolnych w punktach terenowych Sudetów, o znanej mocy dawki promieniowania gamma, wybranych na podstawie publikowanych i niepublikowanych opracowań. Ponieważ badana anomalia ponad czterdziestokrotnie przekracza najniższe tło naturalne 60 nGy/h stwierdzone na wychodniach amfibolitów położonych na zbliżonej wysokości to uznano wpływ promieniowania kosmicznego za nieistotny. Uwzględniając dane zespołu Jagielaka (Jagielak i in., 1992) można przyjąć że moc dawki promieniowania kosmicznego nie powinna przekraczać w terenie badań 35 nGy/h. Należy przy tym pamiętać, że tylko część składników promieniowania kosmicznego wpływa na pracę używanego radiometru. Na obszarze badań, o powierzchni 45 000 m<sup>2</sup>, wykonano 980 pomiarów na wysokości 1 m nad powierzchnią ziemi. Punkty pomiarowe były zlokalizowane wzdłuż linii brzegowej zbiornika, zewnętrznej krawędzi grobli, ogrodze-



Ryc. 2. Mapa mocy dawki promieniowania gamma wokół zbiornika odpadów w Kowarach; odległości na krawędziach mapy podane w metrach

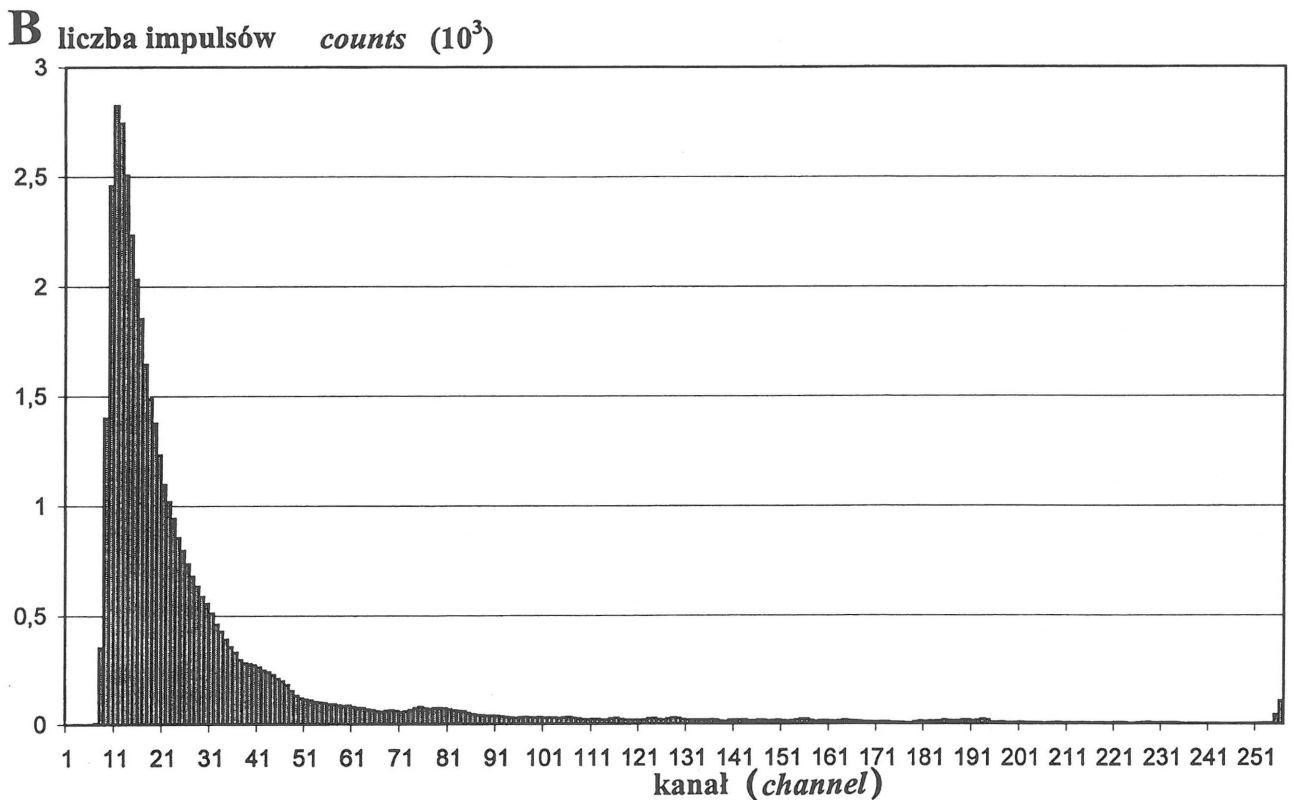
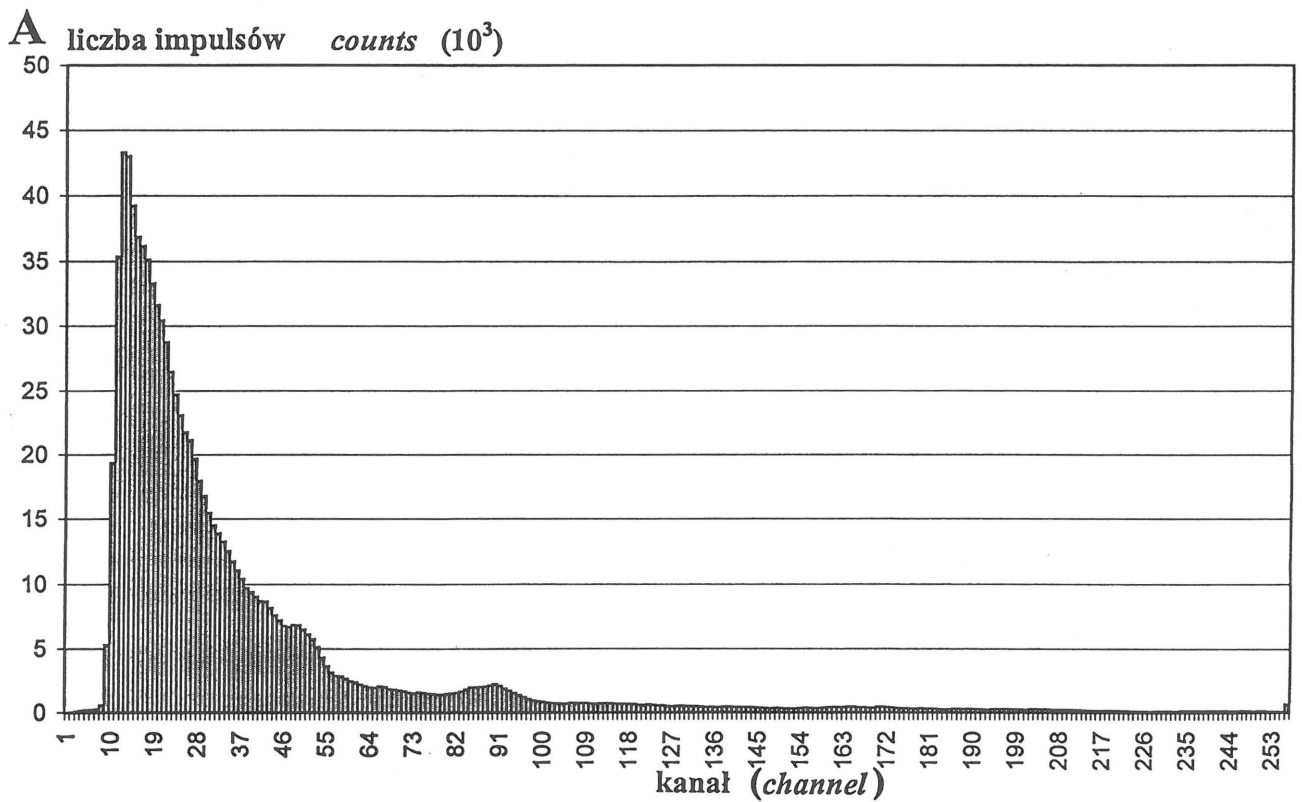
Fig. 2. Gamma dose rate in the environs of the tailing pond; scale at the map margins in meters

Tab. 1. Moc dawki promieniowania gamma na wychodniach różnych rodzajów skał terenu badań

Litologia	Moc dawki promieniowania gamma nGy/h
Wąwóz Łomnicy (granit)	170
Granit gruboziarnisty	89
Skarn	90
Gnejsy oczkowe	81
Łupki łuszczkowe	75
Granitognejsy	71
Amfibolity rejonu Ogorzelca*	63
Fyllity serycytowo-chlorytowe*	60
Zieleńce z amfibolitami*	61

\*skały te występują poza doliną Jedlicy za Przełęczą Kowarską

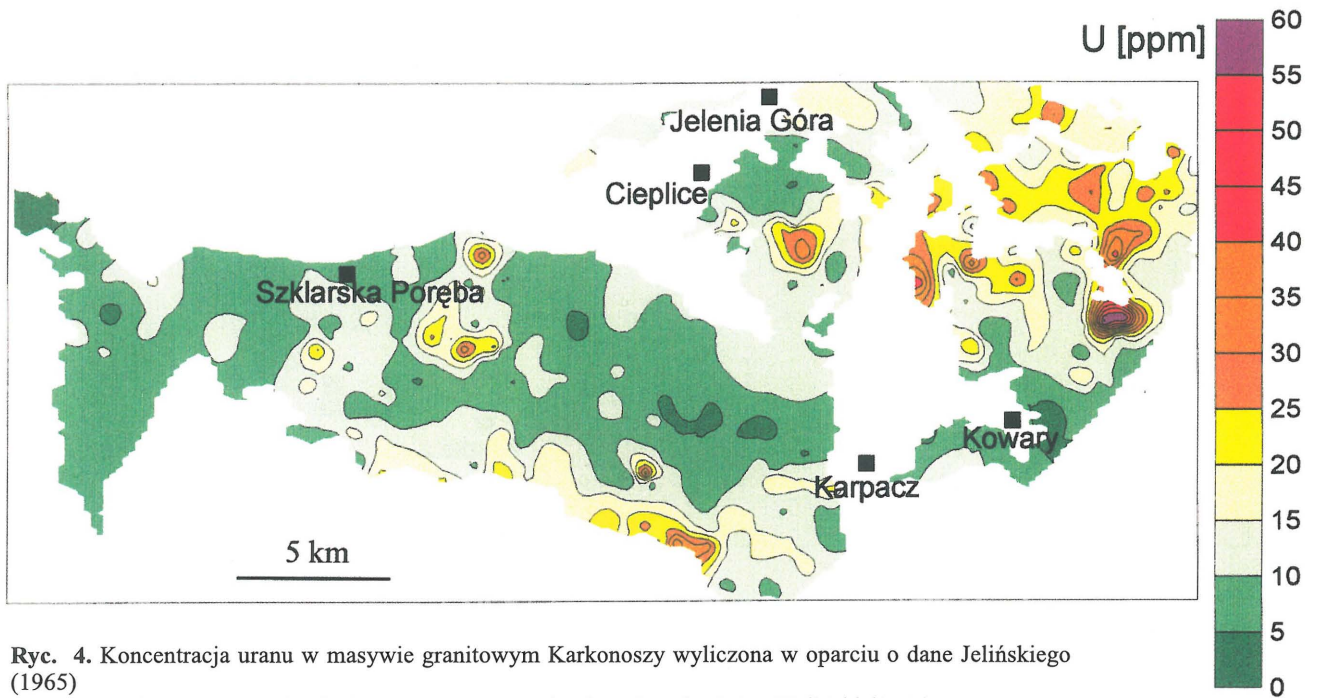
nia zakładu „Hydromet” oraz innych ciągłych elementów topografii, zaznaczonych na planie terenu o skali 1 : 500, a także wzdłuż linii azymutów, wykreślanych na obszarach bez charakterystycznych elementów topografii. Pomiary wzdłuż linii profilowych wykonywano co dwa metry, w miejscach gdzie promieniowanie gwałtownie rosło zwiększono gęstość opróbowania.



Ryc. 3. **A** — spektrum promieniowania gamma wykonane w rejonie anomalii 1500 nGy/h (w Kowarach), w kanałach 51 i 91 widoczne maksima związane z kwantami gamma emitowanymi przez  $^{214}\text{Bi}$ ; **B** — spektrum promieniowania gamma wykonane w dolinie Łomnicy  
 Fig. 3. **A** — gamma spectrum of the 1500 nGy/h anomaly, visible maxima of  $^{214}\text{Bi}$  in channels 51 and 91; **B** — gamma spectrum measured in the Łomnica valley

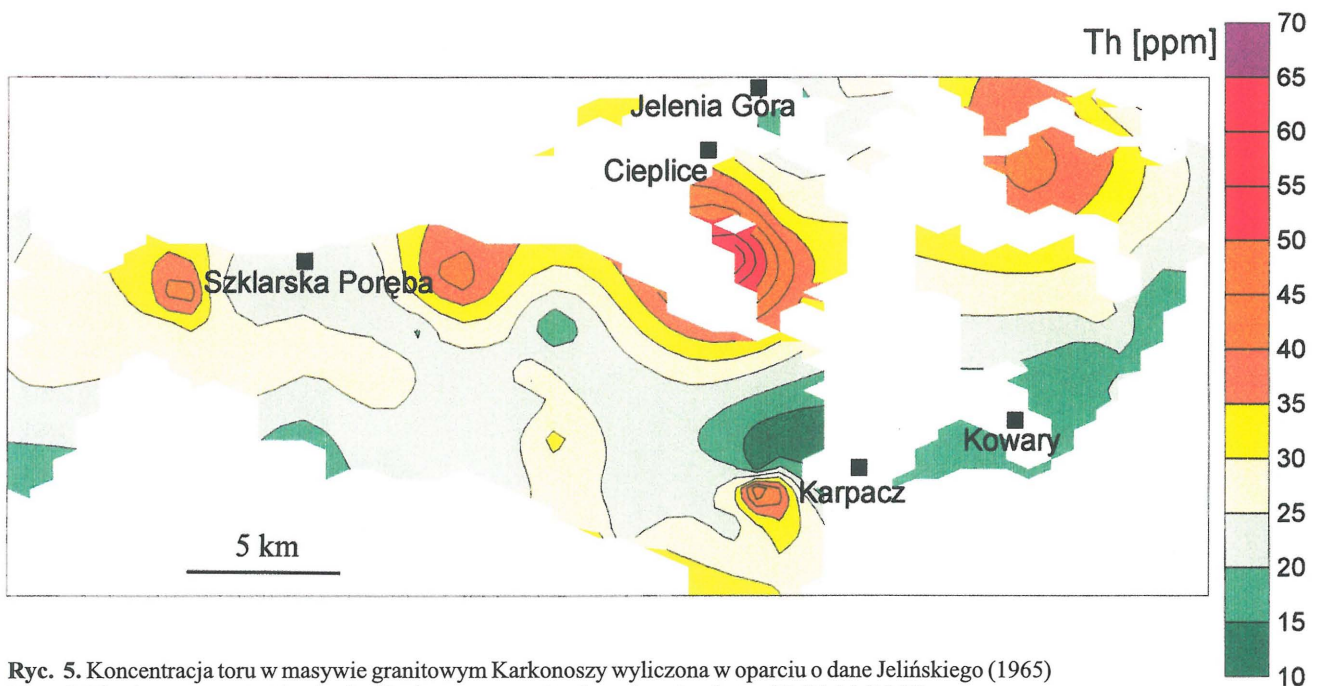
Konieczność wykonania tak gęstej siatki pomiarów wynika ze specyfiki mierzonego parametru. Promieniowanie na hałdzie może się zmieniać skokowo na niewielkiej

przestrzeni, dlatego interpolacja między bardziej oddalonymi punktami mogłaby dać obraz zmienności promieniowania obarczony znacznym błędem.



Ryc. 4. Koncentracja uranu w masywie granitowym Karkonoszy wyliczona w oparciu o dane Jelińskiego (1965)

Fig. 4. Uranium concentration in the Karkonosze granite; based on the data of Jeliński (1965)



Ryc. 5. Koncentracja toru w masywie granitowym Karkonoszy wyliczona w oparciu o dane Jelińskiego (1965)

Fig. 5. Thorium concentration in the Karkonosze granite; based on the data of Jeliński (1965)

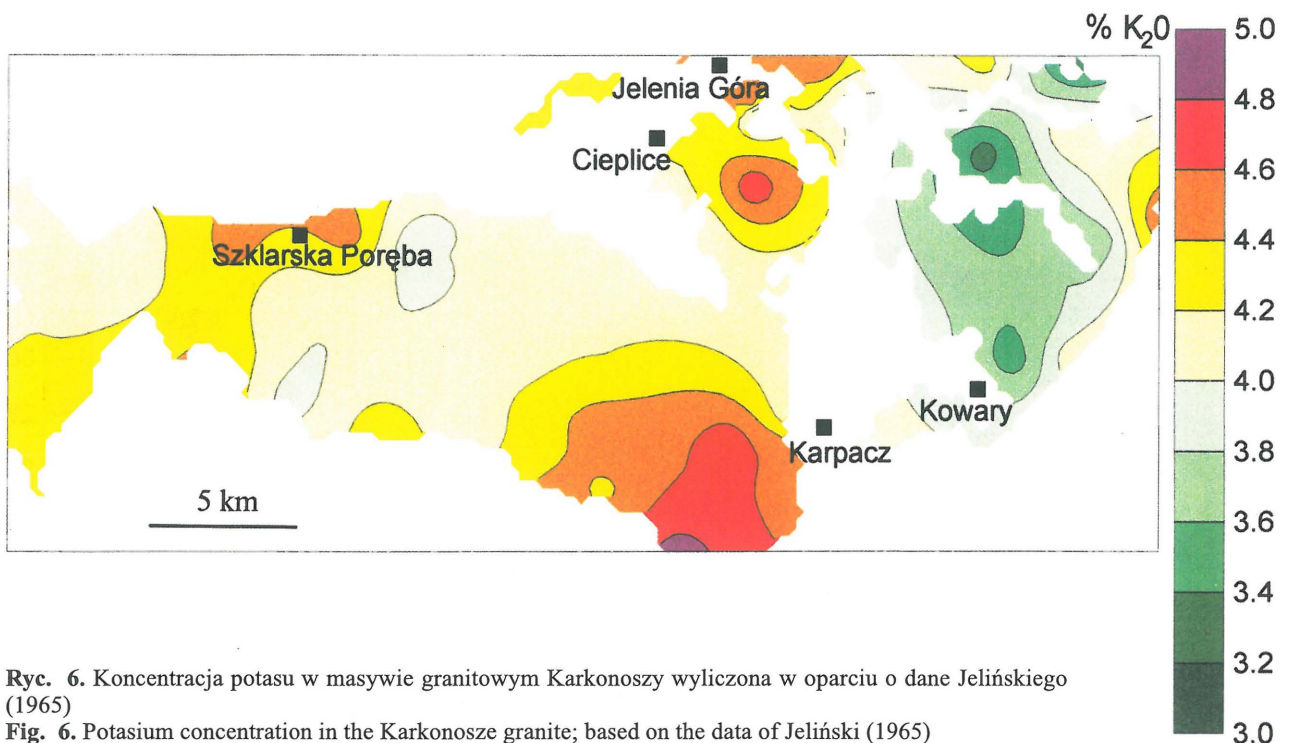
Każdy pomiar zlokalizowano w umownej siatce układu współrzędnych. W takiej formie dane zostały opracowane przy pomocy programu komputerowego SURFER używając krigingu jako metody interpolacji. Uzyskane wyniki przedstawiono w formie mapy i diagramu trójwymiarowego, gdzie moc dawki promieniowania odpowiada wysokości na osi pionowej (ryc. 1, 2).

W celu zbadania tła naturalnego promieniowania, pochodzącego ze skał podłoża, zmierzono dawki promieniowania gamma na wychodniach różnego rodzaju skał budujących podłoże doliny Jedlicy.

Pewien wpływ na moc dawki promieniowania gamma ma również konfiguracja terenu. Na terenie płaskim źródło promieniowania ma geometrię 2II, podczas gdy w wypad-

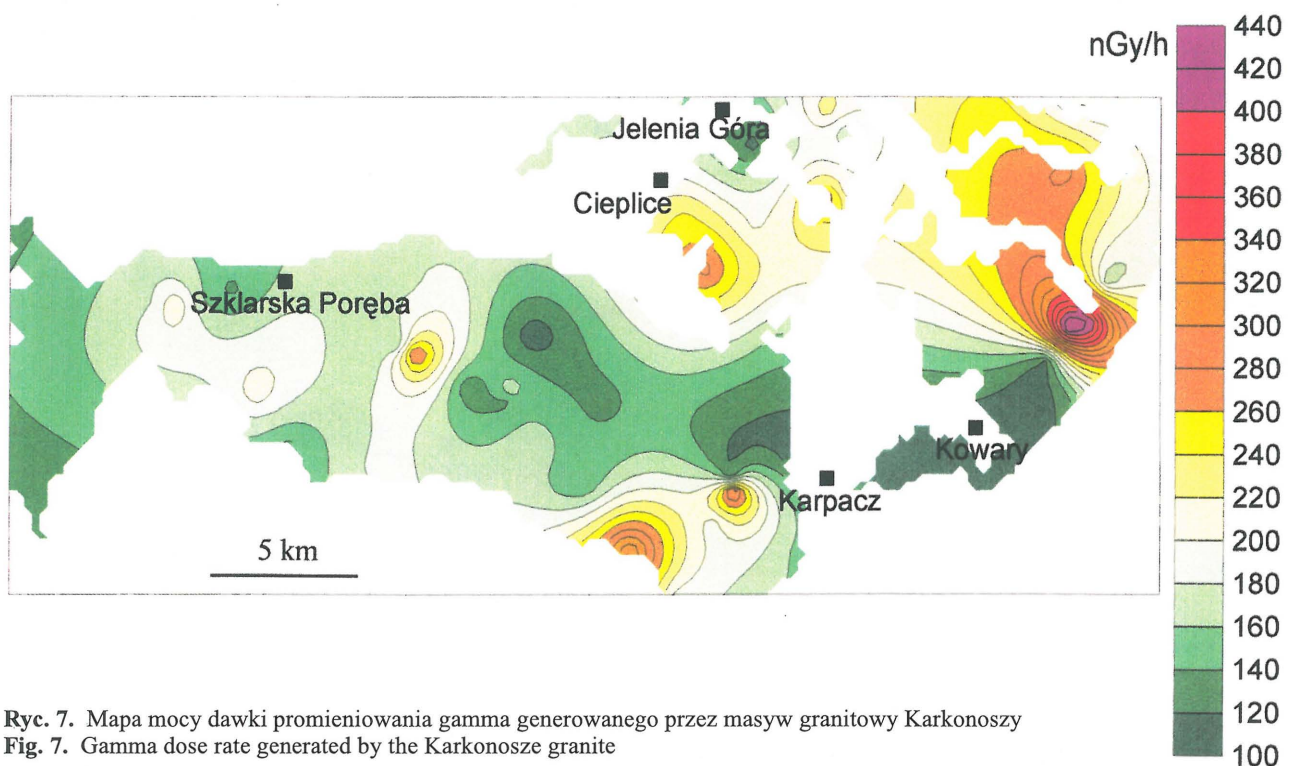
ku pomiarów w wąskich dolinach geometria ta zbliża się do sferycznej. Przykładem są tu pomiary wykonane w wąwozie Łomnicy w Karpaczu (tab. 1), gdzie dzięki w obniżeniu terenu otoczonym ze wszystkich stron wychodniami granitu, źródło promieniowania ma geometrię sferyczną. Prowadzi to do dwukrotnego wzrostu mocy dawki promieniowania gamma w stosunku do płaskich obszarów zbudowanych z granitu karkonoskiego.

Wykonano po 60 pomiarów na wychodniach granitów gruboziarnistych, gnejsów oczkowych, granitognejsów, skarnów, łupków łuszczkowych, fyllitów sercytochlorytowych, zieleńców z amfibolitami i amfibolitów rejonu Ogorzelca (za Przełęczą Kowarską) oraz 20 pomiarów w granicy wąwozu Łomnicy.



Ryc. 6. Koncentracja potasu w masywie granitowym Karkonoszy wyliczona w oparciu o dane Jelińskiego (1965)

Fig. 6. Potassium concentration in the Karkonosze granite; based on the data of Jeliński (1965)



Ryc. 7. Mapa mocy dawki promieniowania gamma generowanego przez masyw granitowy Karkonoszy

Fig. 7. Gamma dose rate generated by the Karkonosze granite

W celu poszerzenia możliwości porównawczych wykorzystano opublikowane analizy zawartości pierwiastków promieniotwórczych w granicie karkonoskim (Jeliński, 1965). Na podstawie tych wyników wykreślono mapy koncentracji uranu, toru i potasu dla masywu granitowego Karkonoszy. Wyniki te przeliczono również na moc dawki promieniowania gamma, wykorzystując zmodyfikowany wzór zalecany przez UNSCEAR 1982 (*vide* Żak & Biernacka, 1991):

$$D(\text{nGy/h}) = 0,043S_K(\text{Bq/kg}) + 0,427S_{Ra}(\text{Bq/kg}) + 0,662 S_{Th}(\text{Bq/kg})$$

gdzie D jest mocą dawki w nG/h, a  $S_K$ ,  $S_{Ra}$ ,  $S_{Th}$  koncentracjami potasu  $^{40}\text{K}$ , równoważnego uranu  $^{238}\text{U}$  i równoważnego toru  $^{232}\text{Th}$  mierzonymi w Bq/kg.

Dla tak obliczonej mocy dawki promieniowania gamma wytwarzanej przez naturalne radionuklidy granitu Karkonoszy również wykonano mapę zmienności przestrzennej. Umożliwia ona przedstawienie mocy dawki promieniowania gamma podłoża geologicznego bez zakłócających wpływów promieniowania kosmicznego, antropogenicznych skażeń promieniotwórczych i konfiguracji terenu.

Cytowane z literatury dane podawane przez autorów w  $\mu\text{R/h}$  przeliczono na  $\text{nGy/h}$  przy użyciu zależności:  $1 \text{ R} = 0,00869 \text{ Gy}$

### Zmienność mocy dawki promieniowania gamma w rejonie zbiornika

W rejonie zbiornika odpadów stwierdzono istnienie trzech anomalii promieniotwórczych.

Na południe od zbiornika stwierdzono występowanie anomalii promieniotwórczej osiągającej punktowo 2600  $\text{nGy/h}$ . Po uśrednieniu danych wartość na najbliższym obszarze osiąga 1500  $\text{nGy/h}$ . Przeprowadzona analiza petrograficzna materiału podłoża wskazała na występowanie tu składowiska nieprzerobionej rudy uranowej. Cechy petrograficzne materiału wskazują, że został on przywieziony, prawdopodobnie z obszaru Gór Świętokrzyskich. Przeprowadzone pomiary gamma spektrometryczne przy użyciu przenośnego spektrometru gamma RUM-1 ze scyntylatorem NaI(Tl) (ryc. 3A) wskazały na występowanie tu radionuklidów szeregu uranowego wskazujące przy założeniu występowania warstwy materiału o miąższości powyżej 0,5 m na zawartość równoważnego uranu w ilości powyżej 300 ppm. Potwierdza to opinię, że mamy tu do czynienia z materiałem uważanym w czasie eksploatacji za ubogą rudę.

Na południowo-wschodnim brzegu zbiornika występuje niewielka anomalia osiągająca punktowe wartości rzędu 960  $\text{nGy/h}$ . Ponieważ zajmuje ona niewielki obszar, to przy wykonywaniu, mapy na skutek uśrednienia z obszarem przyległym nie przekracza ona 500  $\text{nGy/h}$ . Anomalia ta wiąże się z rowem wykopanym w pobliżu brzegu zbiornika. W rowie tym odsłonił się materiał użyty najprawdopodobniej do budowy grobli.

Anomalia w północnej części grobli zbiornika osiąga punktowe wartości do 528  $\text{nGy/h}$  i na załączonej mapie (ryc. 2) jest zaznaczona jako rozległy obszar obejmujący wartości rzędu 500  $\text{nGy/h}$ . Wiąże się ona najprawdopodobniej z materiałem użytym do budowy grobli. Nie można tu jednak wykluczyć wodnej migracji radionuklidów, ponieważ jest to kierunek naturalnego przesiąkania wód ze zbiornika. Brzozy rosnące na tym terenie wykazują objawy deformacji wzrostu mogące wynikać z przesiąkania wody zawartej w zbiorniku i oddziaływania zanieczyszczeń metalicznych w niej zawartych (Bylińska & Woźniakowska-Natkaniec, 1978).

W praktyce badań geofizycznych przyjmuje się że główny wpływ na moc dawki rejestrowanej na powierzchni terenu wywiera pierwsza półmetrowa warstwa gruntu. Promieniowanie emitowane przez materiał niżejleży jest tłumione w takim stopniu, że jego udział w dawce rejestrowanej na powierzchni jest niewielki. Dlatego też na podstawie przeprowadzonych pomiarów nie można wypowiadać się na temat radioaktywności materiału złożonego w głębi zbiornika. O skuteczności maskowania promieniowania gamma podłoża przez materiał o niskiej zawartości radionuklidów świadczy obszar o obniżonej mocy dawki promieniowania, przylegający do zachodniego brzegu zbiornika. W obszarze tym stwierdzono występowanie nawiezonego materiału białego materiału wapiennego, który zazwyczaj charakteryzuje się niską zawartością radionuklidów (Solecki, 1997).

Nie można wykluczyć emisji radonu z głębi zbiornika. Promieniowanie alfa emitowane przez radon  $\text{Rn}^{222}$  stanowi w warunkach naturalnych ponad 30% dawki otrzymywanej przez człowieka. Stosowany radiometr nie rejestrował promieniowania alfa. Jednakże główny emiter promieniowania gamma w szeregu uranu  $^{238}\text{U}$ , bizmut  $^{214}\text{Bi}$  jest pochodną radonu to w przypadku znacznych koncentracji radonu  $\text{Rn}^{222}$  w przypowierzchniowej warstwie gleby powinny im towarzyszyć anomalie promieniowania gamma.

### Moc dawki promieniowania gamma w dolinie Jedlicy

Przeprowadzono pomiary mocy dawki promieniowania gamma na wychodniach różnych rodzajów skał budujących podłoże doliny Jedlicy. Najwyższe wartości mocy dawki promieniowania gamma rzędu 85  $\text{nGy/h}$  stwierdzono w przypadku występowania w podłożu gruboziarnistych granitów, skarnów i gnejsów oczkowych. Jest to wartość podobna do 10  $\text{mR/h}$  (równoważnej 86  $\text{nGy/h}$ ) przyjętej (Banaś i in., 1976) za wartość tła promieniowania w pobliżu hałd pouranowych tego rejonu.

Średnie wartości mocy dawki promieniowania gamma dla obszarów zbudowanych z łupków łuszczkowych wynoszą 75  $\text{nGy/h}$ .

Obszary zbudowane z fyllitów serycytowo-chlorytowych, zieleńców i amfibolitów charakteryzują się mocą dawki promieniowania gamma rzędu 65  $\text{nGy/h}$ .

Uzyskane wyniki zgodne są z wynikami zdjęcia radiometrycznego Polski wykonanego przez zespół Strzeleckiego (Strzelecki i in., 1993), gdzie moc dawki promieniowania gamma w rejonie doliny Jedlicy zmienia się w zakresie od 70 do 90  $\text{nGy/h}$ .

Dotychczas opublikowane wyniki wskazują na nieznaczne antropogeniczne podwyższenie tła promieniowania w dolinie Jedlicy. Zmiany te zaznaczają się w pobliżu hałd oraz wzdłuż biegu Jedlicy, która częściowo eroduje materiał złożony na hałdach. Moc dawki promieniowania zmienia się od 312  $\text{nGy/h}$  w górnym biegu Jedlicy do 243  $\text{nGy/h}$  w pobliżu jej koryta na terenie Kowar (Peńsko i in., 1971). Najsilniejsza punktowa anomalia 13000  $\text{nGy/h}$  o koncentracji 1100 ppm U w tym rejonie została stwierdzona w miejscu nagromadzenia drobnego materiału wymywanego przez wodę z hałdy sztolni nr 19 i 19a w dolinie Jedlicy (Banaś i in., 1976).

### Moc dawki promieniowania gamma generowanego przez masyw granitowy Karkonoszy

Granit karkonoski jest późnoorogenicznym warwyscyj-skim masywem granitowym (Mierzejewski, 1993), należącym do tak zwanych gorących granitów, charakteryzujących się podwyższoną zawartością pierwiastków promieniotwórczych. W trakcie konsolidacji tego masywu doszło do utworzenia się kilku odmian petrograficznych tego granitu (porfirowatej, równoziarnistej, aplitowej). Najwyższą koncentracją uranu dochodzącą do 62 ppm (Jeliński, 1965) charakteryzuje się granit równoziarnisty. Porfirowata odmiana granitu charakteryzuje się najwyższymi koncentracjami toru dochodzącymi do 67 ppm (Jeliński, 1965). Zawartość potasu w granicie równoziarnistym dochodzi do 4,9 %  $\text{K}_2\text{O}$  (Jeliński, 1965).

Z dotychczas istniejących materiałów wynika, że naturalne tło promieniowania gamma na obszarze wychodni granitu karkonoskiego mierzone na powierzchni ziemi na wysokości 2 m przekracza 90  $\text{nGy/h}$  (Strzelecki i in., 1993), a wyniki przeglądowego zdjęcia lotniczego wykonanego na wys. 100 m w profilach co 2 km wskazują na moc dawki naturalnego tła dochodzącą do 130  $\text{nGy/h}$  (Peńsko i in., 1971).

Zmienność przestrzenną zawartości uranu toru i potasu w masywie granitowym przedstawiają ryc. 4–6, wykonane na podstawie danych opublikowanych przez Jelińskiego (1965).

Zawartość uranu w masywie Karkonoszy najczęściej mieści się w zakresie od 5 ppm do 10 ppm. Obszar o podwyższonych koncentracjach tego pierwiastka znajduje się we wschodniej części masywu (ryc. 4).

Koncentracja toru najczęściej nie przekracza 30 ppm, jednakże na załączonej mapie zauważyć można cztery maksima położone w pasie rozciągającym się od Szklarskiej Poręby na zachodzie po północnowschodni kraniec masywu. Znaczna część położonego w okolicach Cieplic maksimum jest ukryta pod utworami czwartorzędowymi (ryc. 5).

Koncentracja potasu zazwyczaj nie przekracza 4%  $K_2O$ . Obszary o podwyższonej, dochodzącej do 5% zawartości  $K_2O$  tworzą pas przebiegający od okolic Karpacza ku północy (ryc. 6).

Obszerną genetyczną analizę zawartości radionuklidów w masywie granitowym Karkonoszy przedstawił Jeliński (1965). Jego zdaniem wschodnia część masywu została epigenetycznie wzbogacona w uran na skutek procesów autometamorficznych związanych z działalnością rozтворów resztkowych. Podobny charakter mogą mieć lokalne koncentracje potasu. Trudna w chwili obecnej do wyjaśnienia jest strefowość występowania toru.

Przestrzenne różnicowanie zawartości głównych radionuklidów powoduje, że w różnych obszarach mają one zróżnicowany udział w tworzeniu dawki promieniowania gamma (ryc. 7). Najbardziej znaczące jest jednak maksimum uranowe położone we wschodniej części masywu. Tam też spodziewać się można najwyższych mocy dawek promieniowania gamma przekraczających 400 nGy/h. Urozmaicona rzeźba tej części masywu może prowadzić do dodatkowego, blisko dwukrotnego, wzrostu mocy dawki promieniowania gamma w głębokich obniżeniach morfologicznych otoczonych wychodniami granitu.

### Podsumowanie

Stwierdzone wartości mocy dawki promieniowania gamma w rejonie zbiornika odpadów, dochodzące do 2600 nGy/h, przekraczają wartości naturalnego tła Polski, które, zdaniem zespołu Jagielaka (Jagielak i in., 1992), wynosi średnio 45,4 nGy/h i waha się od 17,7 do 97 nGy/h, lecz mieszczą się w granicach naturalnego tła stwierdzanego lokalnie w Brazyli (50 000 nGy/h wg Eisenbud & Gesell, 1997) czy Indiach. Zgodnie z polskimi przepisami (wzorowanymi na przepisach międzynarodowych) dawka graniczna, liczona jako nadwyżka w stosunku do tła naturalnego, dla osób zamieszkałych lub przebywających w ogólnie dostępnym otoczeniu źródeł promieniowania jonizującego, wyrażona jako efektywny równoważnik dawki w ciągu 12 miesięcy, wynosi 1 mSv (Jagielak i in., 1992.). Dawkę taką otrzymują osoby przebywające przez rok w polu promieniowania gamma o mocy dawki około 120 nGy/h. Stwierdzone w otoczeniu zbiornika anomalie nie stwarzają zagrożenia, ponieważ jest to niewielki ogrodzony teren, gdzie czas przebywania osób jest ograniczony.

W świetle istniejących norm bardziej znacząca może być naturalna dawka promieniowania gamma generowana przez granit karkonoski, ze względu na liczebność populacji zamieszkującej jego obszar. Z norm tych wynika również ograniczenie stosowania tego granitu jako materiału budowlanego. Granit zawierający powyżej 4%  $K_2O$ , 8 ppm U i 26 ppm Th zgodnie z instrukcją nr 234 ITB (*vide* Żak & Biernacka, 1991), nie może być dopuszczony do stosowania w budynkach przeznaczonych na stały pobyt ludzi ze względu na zagrożenie promieniowaniem gamma. Granit taki wytwarza na powierzchni ziemi dawkę promieniowania gamma 156 nGy/h, a w budynku zamkniętym z racji geometrii układu, dawka ta może być nawet dwukrotnie większa.

Gdyby z powodów sztucznych np. awaria w Czarnobylu moc dawki promieniowania gamma w niskoradioaktywnych obszarach Polski wzrosła do poziomu obserwowanego

na granicie karkonoskim byłoby to w świetle istniejących norm uznane za znaczące skażenie. Należy podkreślić, że normy dotyczące niskich dawek promieniowania są przedmiotem dyskusji i krytyki, ponadto brak dowodów na gorszy stan zdrowia populacji zamieszkujących obszary o podwyższonej naturalnej radioaktywności.

Znane z cytowanej literatury i stwierdzone w trakcie obecnych badań skażenie pierwiastkami promieniotwórczymi wywołane eksploatacją uranu w Sudetach jest znacznie mniej istotne niż skażenia wywołane eksploatacją węgla kamiennego. W przypadku górnictwa węgla kamiennego, koncentracje równoważnego uranu odpowiadające stwierdzanym aktywnościom radu  $^{226}Ra$  wynoszą: 8204, 1287, 539 ppm U w osadzie wytrącanym z wody osadników kopalnianych, w mułach dennych osadników kopalnianych i w materiale hałd kopalnianych (Jabłońska i in., 1996). Materiały te w przypadku nagromadzenia ich w warstwie dochodzącej do 0,5 m miąższości są w stanie, z racji obecności radionuklidów szeregu uranowego i torowego, generować promieniowanie gamma o mocy dawki odpowiednio 66724, 9812, 4820 nGy/h.

### Literatura

- BANAŚ M., MIELNICZUK W. & PIESTRZYŃSKI A. 1976 — The secondary haloes of uranium dissemination round mine dumps. *Nukleonika*, 21: 639–645
- BYLIŃSKA E. & WOŹAKOWSKA-NATKANIEC H. 1978 — Objawy teratologiczne u roślin z sudeckich anomalii radiacyjnych. *Promieniotwórcze zanieczyszczenia środowiska*. Wyd. Akcydensowe, Warszawa: 69–73.
- CIEŹKOWSKI W., SOLECKI A. & SZTUK H. 1998 — Część polska bazy danych o górnictwie uranu w programie PHARE. Remediation concepts for the uranium mining operations in CEEC. Aktualia i perspektywy górnictwa. Oficyna Wyd. Polit. Wrocławskiej, 23: 21–26.
- EISENBUD M. & GESELL T.F. 1997 — Environmental Radioactivity from Natural, Industrial, and Military Sources. Academic Press.
- JABŁOŃSKA M., DORDA J. & SMÓŁKA D. 1996 — Promieniotwórczość odpadów eksploatacji górniczej pyłów elektrociepłowniczych oraz ich wpływ na zanieczyszczenie środowiska. *Pol. Tow. Min. Pr. Spec.*, 7: 108–113.
- JAGIELAK J., BIERNACKA M., HENSCHKE J., SOSIŃSKA A., BARANOWSKI M. & JANKOWSKI R. 1992 — Radiologiczny atlas Polski. CELOR PAA. Agencja Wyd. Aries.
- JELIŃSKI A. 1965 — Geochemia uranu w granitowym masywie Karkonoszy z uwzględnieniem innych masywów granitowych Dolnego Śląska. *Inst. Geol. Biul.*, 193: 5–110
- MIERZEJEWSKI M.P. 1993 — Przemieszczenia fragmentów litosfery a powstawanie i ruchy magm — wybrane przykłady z regionu sudeckiego i przed-sudeckiego. *Geol. Sudet.*, 27: 97–180
- OCHMANN A. 1997 — Zdjęcie radioekologiczne rejonu Kowar ze szczególnym uwzględnieniem obszaru górnictwa uranowego. *Arch. Uniw. Wrocławskiego*.
- PEŃSKO J., JAGIELAK J., BIERNACKA M. & ŻAK A. 1971 — Badania tła promieniowania jonizującego w kotlinie kowarskiej. *Nukleonika*, 16: 293–300
- PIESTRZYŃSKI A., PIECZONKA J., MIELNICZUK W., CHRUSCIEL E. & JODBOWSKI P. 1996 — Effects of uranium mining on the contamination of some areas in Poland. Planning for environmental restoration of radioactively contaminated sites in central and eastern Europe. IAEA Vienna: 193–216.
- SOLECKI A. 1997 — Radioaktywność środowiska geologicznego. *Wyd. Uniw. Wrocławskiego*.
- STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., SZEWCZYK J. & LEWANDOWSKI P. 1993 — Mapy radioekologiczne Polski, cz. 2. Mapa zawartości uranu w Polsce 1 : 750 000. Państw. Inst. Geol.
- SZAŁAMACHA J. 1960 — Mapa geologiczna Sudetów 1 : 25 000, ark. Kowary. Państw. Inst. Geol.
- UNSCEAR 1982 Report, Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects. United Nations, New York, 1982.
- ZAJĄCZKOWSKI W. 1968 — Poszukiwanie złóż uranu metodami geochemicznymi. *Biul. Inst. Geol.*, 214: 5–74
- ŻAK A. & BIERNACKA M. 1991 — Badania stężeń naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych. *Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna*, 6: 8–29.