

Łukasz WRÓBEL¹, Agnieszka DOŁHAŃCZUK-ŚRÓDKA¹, Andrzej KŁOS¹
i Maria WACŁAWEK¹

PROMIENIOWANIE GAMMA NA WYBRANYCH ZWAŁOWISKACH KOPALNIANYCH GÓRNEGO ŚLĄSKA

GAMMA RADIATION IN SELECTED MINE WASTE DUMPS AT UPPER SILESIA

Abstrakt: Przedstawiono wyniki badań promieniowania gamma przeprowadzonych na 5 zwałowiskach kopalnianych znajdujących się na terenie Górnego Śląska. Wyniki te wskazują, że nie występuje na nich niebezpieczny poziom promieniowania. Wartości pochłoniętej dawki promieniowania także mieściły się w pobliżu wartości średniej (95 nGy/h), przy czym w odniesieniu do średniej światowej, wynoszącej 57 nGy/h, wartości dawki promieniowania znacząco ją przekraczały. Biorąc pod uwagę normy radiologiczne, stwierdzono, że kruszywo składowane na zwałowiskach nie stanowi zagrożenia dla środowiska i pod tym względem może być wykorzystane jako materiał budowlany. Dokonano także porównania pomiędzy zmierzoną *in situ* a obliczoną dawką promieniowania gamma.

Słowa kluczowe: promieniowanie jonizujące, dawka pochłonięta, odpady kopalniane

Narażenie ludzi na działanie promieniowania jonizującego ze źródeł naturalnych jest nieuniknionym składnikiem życia na Ziemi. Na wartość dawki promieniowania gamma składa się promieniowanie radionuklidów obecnych we wszystkich komponentach środowiska. Około 85% całkowitej rocznej dawki promieniowania pochodzi od radionuklidów obecnych w skorupie ziemskiej oraz radionuklidów kosmogennych [1-3], w czym decydujący udział ma promieniowanie radionuklidów znajdujących się w glebie i osadzonych na jej powierzchni. Są to głównie produkty rozpadu toru Th i uranu U, a także promieniotwórczy potas ⁴⁰K. Około dwie trzecie naturalnej promieniotwórczości, na którą narażony jest człowiek, pochodzi od radu ²²²Rn.

Poziom radioaktywności może być różny w zależności od warunków geologicznych i geograficznych. Niektóre obszary na świecie mają stosunkowo wysokie poziomy tła z uwagi na względnie duże stężenia naturalnych izotopów występujących w skorupie ziemskiej.

Procesy geologiczne, interakcja z wodą oraz sorbującymi jony minerałami ilastymi zmieniają rozkład radionuklidów w środowisku naturalnym. Eksploatacja złóż węgla kamiennego powoduje produkcję dużych ilości odpadów, które składowane na zwałowiskach w znaczący sposób mogą zmieniać rozkład naturalnie występujących radionuklidów w otaczającym je środowisku.

Celem badań była ocena zagrożenia radiologicznego pochodzącego z 5 wybranych zwałowisk stanowiących odpad kopalniany na Górnym Śląsku. Według raportu Państwowej Agencji Atomistyki z 2011 r., takie zagrożenie istnieje w 14 kopalniach na

¹ Samodzielna Katedra Biotechnologii i Biologii Molekularnej, Uniwersytet Opolski, ul. kard. B. Kominka 6, 45-032 Opole, tel. 77 401 60 46, email: wrobel.lukasz.86@gmail.com

terenie Polski [4]. Ponadto dokonano wstępnych porównań pomiędzy obliczoną dawką promieniowania gamma a dawką zmierzoną *in situ*.

Metodyka badań

Badania wykonywano na zwałowiskach umiejscowionych w pobliżu następujących kopalń: KWK „Jankowice”, KWK „Chwałowice”, KWK „Marcel” oraz KWK „Pniówek”, znajdujących się na terenie powiatów pszczyńskiego, rybnickiego oraz wodzisławskiego.

Do pomiaru mocy dawki promieniowania gamma *in situ* użyto przenośnego rentgenoradiometru DP-75. Miernik ten umożliwia pomiar dawki promieniowania gamma w zakresie od 0,05 mR/h do 500 R/h (R/h - *rentgen na godzinę*). Błąd pomiaru dla normalnych warunków klimatycznych (temperatura $+20\pm 5^\circ\text{C}$, wilgotność względna $65\pm 15\%$, ciśnienie atmosferyczne 1013 ± 50 hPa) nie przekracza 20% mierzonej wartości. Dla używanego VII podzakresu czas ustalenia wskazań wynosi 40 sekund [5]. Urządzenie zostało poddane kalibracji w 2012 roku w Wojskowym Ośrodku Metrologii.

Wyniki pomiarów wykonane za pomocą miernika DP-75 wyrażone są w mR/h, w celu możliwości porównania z dawką obliczoną zostały przeliczone na Gy/h (Gy/h - *grey na godzinę*). Wartości R/h przeliczono na Gy/h zgodnie z zależnością: $1\text{R} = 0,88\text{ rad} = 8,8\text{ mGy}$, gdzie: rad to jednostka dawki pochłoniętej promieniowania jonizującego, wszystkie dane pomiarowe przeliczono według równania: $1\text{R/h} = 8,8 \cdot 10^{-3}\text{ Gy/h}$.

Pochłoniętą z powietrza dawkę promieniowania gamma [nGy/h] obliczono z wyników pomiarów aktywności izotopów promieniotwórczych w próbkach zebranych na zwałowiskach Górnego Śląska według zależności:

$$D = (R_K \cdot A_K) + (R_U \cdot A_U) + (R_{Th} \cdot A_{Th}) \quad (1)$$

gdzie: D - pochłonięta z powietrza dawka promieniowania gamma [nGy/h], R_K - współczynnik konwersji dla ^{40}K wynoszący 0,043, R_U - współczynnik konwersji dla szeregu uranowego wynoszący 0,427, R_{Th} - współczynnik konwersji dla szeregu torowego wynoszący 0,662, A_K - aktywność właściwa ^{40}K [Bq/kg], A_U - aktywność właściwa szeregu uranowego [Bq/kg] i A_{Th} - aktywność właściwa szeregu torowego [Bq/kg].

Do badań aktywności radionuklidów w zebranych próbkach użyto spektrometru półprzewodnikowego gamma firmy Canberra z germanowym detektorem koaksjalnym o dużej rozdzielczości (HPGe). Zdolność rozdzielcza dla linii 1,33 MeV wynosi 1,70 keV, a dla linii 0,662 MeV wynosi 1,29 keV. Kalibracji urządzenia dokonano w naczyniu Marinelli o objętości $447,7\pm 4,48\text{ cm}^3$. Gęstość źródła do kalibracji wynosiła $0,985\pm 0,01\text{ g/cm}^3$. Źródło użyte do kalibracji zawierało mieszaninę radionuklidów promieniotwórczych, takich jak: ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{203}Hg i pochodziło z Czeskiego Instytutu Metrologii w Pradze [6].

Objętość pobranych i poddanych badaniu próbek była porównywalna ze źródłem kalibracji, co nie wymagało wniesienia poprawek przy obliczaniu aktywności właściwej. Analiza widma promieniowania wykonana była za pomocą oprogramowania GENIE-2000 (Gamma Analysis Option model S501C) [6].

Przed pomiarem gamma-spektrometrycznym próbki zostały wysuszone, zważone, a następnie umieszczone w pojemnikach typu Marinelli na okres 4 tygodni w celu osiągnięcia równowagi radioaktywnej. W tym czasie nastąpił rozpad ^{222}Rn , ^{220}Rn oraz ich

krótkożyciowych produktów rozpadu [7]. Średnia objętość badanych próbek wynosiła 450 cm³.

Wyniki badań i ich analiza

W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów *in situ* oraz obliczonej dawki promieniowania gamma na badanym obszarze.

Tabela 1

Wyniki pomiarów *in situ* oraz obliczonej dawki promieniowania gamma na badanym obszarze: *D* - obliczona na podstawie zależności 1 pochłonięta dawka promieniowania [nGy/h], *MDP* - moc dawki promieniowania *in situ* [nGy/h]

Table 1

Results of *in situ* measurements and calculated gamma dose rate in the study area: *D* - calculated absorbed dose of radiation [nGy/h], *MDP* - radiation dose *in situ* [nGy/h]

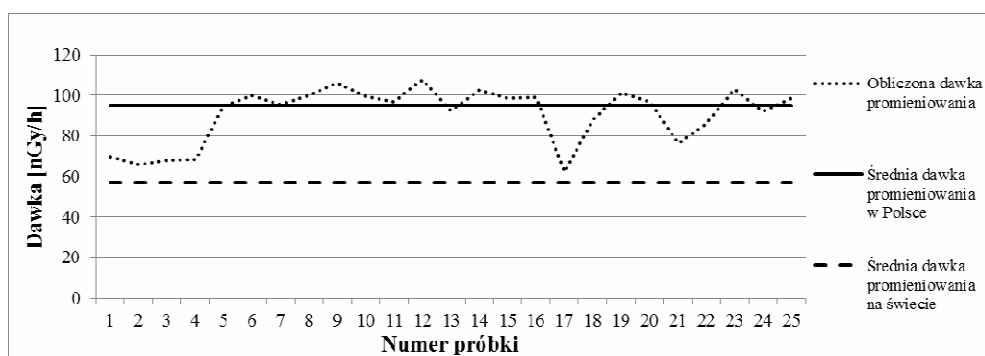
Nr próbki	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>D</i> [nGy/h]	70	66	68	68	95	100	96	100	106
<i>MDP</i> [nGy/h]	176	176	176	176	176	176	264	176	176
Nr próbki	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>D</i> [nGy/h]	100	97	108	92	103	99	99	62	88
<i>MDP</i> [nGy/h]	352	264	352	352	264	352	352	264	352
Nr próbki	19	20	21	22	23	24	25		
<i>D</i> [nGy/h]	101	97	76	86	103	92	99		
<i>MDP</i> [nGy/h]	352	352	176	176	176	176	176		

Wyniki przedstawione w tabeli 1 wskazują na różnice pomiędzy dawką zmierzoną *in situ* a dawką obliczoną. Różnice te wynikają prawdopodobnie z faktu, że do obliczeń zostały wzięte tylko izotopy pochodzenia naturalnego oraz że obliczona dawka promieniowania jest dawką na wysokości 1 metra od powierzchni ziemi. Dodatkowymi czynnikami wpływającymi na różnice w pomiarach laboratoryjnych oraz w pomiarach *in situ* są: wpływ promieniowania kosmicznego, nierejestrowana aktywność radonu w powietrzu oraz aktywność dodatkowych sztucznych źródeł promieniowania [5]. Biorąc pod uwagę aspekty praktyczne, rozpoznanie tych czynników umożliwi określenie dawki promieniowania na podstawie badań aktywności nuklidów promieniotwórczych w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem teoretycznych współczynników konwersji. Obliczenia takie znalazły potwierdzenie w wielu pracach badawczych i charakteryzowały się małymi błędami w odniesieniu do badań przeprowadzonych w terenie [7, 8].

Pochłonięta dawka promieniowania *D* obliczona na podstawie aktywności właściwych oznaczanych radionuklidów (zależność (1)) mieściła się w zakresie 62÷108 nGy/h (średnia 97 nGy/h). Według danych przedstawionych w raporcie PAA z 2011 r., zmierzona moc dawki promieniowania gamma na obszarze Polski wynosiła od 60 do 179 nGy/h (średnia 95 nGy/h) [4], natomiast średnie roczne wartości mocy dawki promieniowania na świecie, według raportu UNSCEAR z 2000 roku, wynosiły 57 nGy/h [3]. Porównanie obliczonej dawki promieniowania ze średnią dawką promieniowania w Polsce i na świecie przedstawiono na rysunku 1.

Wyniki zaprezentowane na rysunku wskazują, że dawki promieniowania gamma na badanych zwałowiskach mieszczą się w zakresie dawek przedstawionych w raporcie PAA

oraz przekraczają średnią światową. Także najniższa obliczona wartość dawki pochłoniętej promieniowania gamma jest powyżej średniej światowej.



Rys. 1. Porównanie obliczonej dawki promieniowania ze średnią dawką promieniowania w Polsce i na świecie

Fig. 1. Comparison of the calculated radiation dose D with an average dose of radiation in Poland and around the world

Można stwierdzić, że promieniowanie jonizujące występujące na terenie badanych zwałowisk nie przekracza dopuszczalnych norm, a zatem eksploatowane przez kopalnie złoża, których zwałowiska podlegały badaniom, nie zawierają zwiększonej aktywności radionuklidów. Tym samym wykorzystanie ich w celach budowlanych nie będzie miało negatywnego skutku w miejscu ich zastosowania. Rekultywacja zwałowisk nie niesie za sobą zagrożenia dla zwierząt i roślin zasiedlających nowe tereny.

Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika, że na wybranych zwałowiskach kopalnianych Górnego Śląska nie występuje niebezpieczny poziom promieniowania. Wszystkie aktywności badanych próbek były bliskie wartości średniej dla obszaru Polski. Obliczona wartość dawki pochłoniętej przekracza wartość średniej światowej (57 nGy/h), czego główną przyczyną są uwarunkowania geologiczne. Dalszych badań wymaga poszukiwanie korelacji pomiędzy zmierzoną *in situ* a obliczoną dawką promieniowania gamma.

Literatura

- [1] Belivermis M, Kılıç Ö, Çotuk Y, Topcuoğlu S. The effects of physicochemical properties on gamma emitting natural radionuclide levels in the soil profile of Istanbul. *Environ Monit Assess.* 2010;163:15-26. DOI: 10.1007/s10661-009-0812-1.
- [2] NCRP, National Council on Radiation Protection and Measurements. Exposure of the population in the United States and Canada from Natural Background Radiation. NCRP Report No.: 94. Bethesda, Maryland: NCRPM; 1994.
- [3] UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources effects and risks of ionizing radiation, Report to the General Assembly, with Annexes. New York: United Nations; 2000.
- [4] PAA, Państwowa Agencja Atomistyki. Działalność prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2011 roku. Warszawa: 2012.
- [5] Rentgenoradiometr DP-75: Opis i obsługa. Warszawa: Wyd MON; 1980.

- [6] Dołhańczuk-Śródka A, Ziembik Z, Waclawek M, Hyšplerová L. Badanie aktywności radiocezu na obszarze transgranicznym polsko-czeskim, monografia wydana w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Inicjatywy Wspólnotowej INTERREG IIIA Czechy-Polska. Opole: TChIE; 2007.
- [7] Quindos LS, Fernandez PL, Rodenas C, Gomez-Arozamena J, Arteché J. Conversion factors for external gamma dose derived from natural radionuclides in soils. *J Environ Radioactiv.* 2004;71:139-145. DOI: 10.1016/S0265-913X(03)00164-4.
- [8] Harb S, El-Kamel AH, Abd El-Mageed AI, Abbady A, Rashed W. Concentration of ^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K for some granite samples in eastern desert of Egypt. *Proceedings of the 3th Environmental Physics Conference*, 19-23 Feb. 2008, Aswan, Egypt, 109-117.

GAMMA RADIATION IN SELECTED MINE WASTE DUMPS AT UPPER SILESIA

Independent Chair of Biotechnology and Molecular Biology, Opole University

Abstract: The results of investigations carried out on gamma rays at 5 mine dumps located in Upper Silesia. These results indicate that there is no one dangerous levels of radiation. The values of the absorbed radiation dose ranged around the mean value (95 nGy/h), and in relation to a global average of 57 nGy/h, the dose of radiation significantly exceeded it. Taking into account the radiological standard, it was found that the aggregates stored in the dumps is not a threat to the environment and as such can be used as a building material. There have also been comparisons between measured in situ, and the calculated dose of gamma radiation.

Keywords: ionizing radiation, absorbed dose, mining waste