



STANISŁAW CIERPISZ*, MAREK KRYCA**, WALDEMAR SOBIERAJSKI***, MARIAN GOLA***

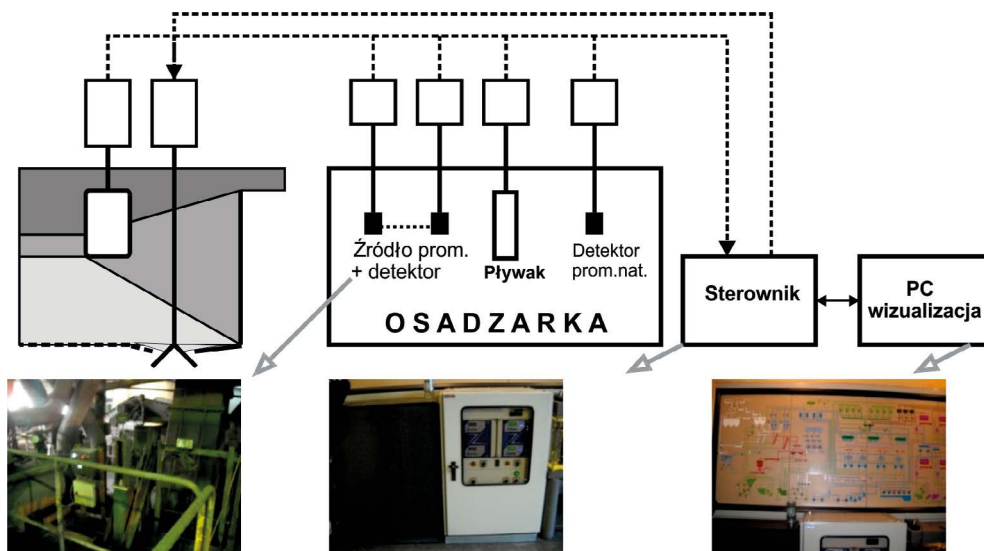
Radiometryczne metody monitoringu procesu rozdziału produktów w pulsacyjnej osadzarce węgla

Wprowadzenie

W procesie wzbogacania węgla w osadzarce wyróżnić można dwie fazy: formowanie się rozwarstwowanego według gęstości ziaren łóża oraz rozdział tego łóża na dwa produkty: górny i dolny. Monitoring procesu formowania się łóża, a następnie jego podziału na produkty możliwy jest z zastosowaniem radiometrycznych metod pomiarowych (Sikora i Czerw 2005; Będkowski i in. 2008). Metoda pomiaru gęstości łóża w końcowej strefie przedziału osadzarki oparta na absorpcji promieniowania gamma została przedstawiona w kilku pracach (Cierpisz 2012; Cierpisz i in. 2011a, b), a przez Instytut EMAG zastosowano ją w KWK Rydułtowy-Anna (Cierpisz i in. 2011) i KWK Murcki-Staszic. Metoda pomiaru promieniowania naturalnego materiału znajdującego się w łóżu osadzarki po raz pierwszy została zastosowana przez Instytut EMAG w badaniach procesu wzbogacania węgla w KWK Murcki-Staszic. Układ pomiarowy zainstalowany w KWK Murcki-Staszic przedstawiony jest na rysunku 1.

Powodem zainteresowania tymi metodami pomiarowymi jest niedoskonałość pływaka jako podstawowego urządzenia pomiarowego, stosowanego powszechnie w osadzarkach do kontroli procesu rozdziału łóża na produkty. Istotna jest również możliwość badania wpływu różnych parametrów na pulsację ośrodka woda–węgiel (ciśnienie powietrza, momenty działania zaworów powietrznych, ilość i jakość nadawy) na zmiany gęstości w trakcie każdego cyklu pulsacji oraz na rozkład gęstości materiału w łóżu osadzarki. W układzie

* Prof. dr hab. inż., ** Dr inż., *** Mgr inż., Instytut Technik Innowacyjnych EMAG, Katowice;
e-mail: stanislaw.cierpisz@polsl.pl



Rys. 1. Radiometryczny układ pomiarowy do monitoringu procesu wzbogacania w osadzarkie w KWK Murcki-Staszic

Fig. 1. The radiometric monitoring system for a coal separation process in a jig in the Murcki-Staszic mine

pomiarowym przedstawionym na rysunku 1 zastosowano gęstościomierz radiometryczny zawierający źródło promieniowania Cs-137 oraz sondę scyntylacyjną NaI(Tl) umieszczone w łożu osadzarki obok pływaka. Alternatywnym urządzeniem pomiarowym jest miernik, wykorzystujący jako detektor sondę scyntylacyjną do pomiaru promieniowania naturalnego znajdującego się wokół niej materiału. Osadzarka wyposażona jest w pływakowy układ sterowania odbiorem produktów typu BOSS (Instytut EMAG). Zakres badań przeprowadzonych w KWK Murcki-Staszic objął:

- ◆ kalibrację gęstościomierza radiometrycznego (GR) i miernika promieniowania naturalnego (MPN) w warunkach przemysłowych,
- ◆ długotrwałe pomiary zmian gęstości rozdziału (GR) w wybranym przedziale osadzarki,
- ◆ długotrwałe pomiary zmian natężenia promieniowania naturalnego (MPN) i określenie na tej podstawie średniej zawartości popiołu w materiale w strefie rozdziału osadzarki,
- ◆ wyznaczenie korelacji pomiędzy wskazaniami pływaka, gęstościomierza GR i miernika MPN,
- ◆ wstępne próby stabilizacji wskazań (GR) i (MPN) poprzez automatyczną korektę średniego położenia pływaka w systemie BOSS.

1. Gęstościomierz radiometryczny

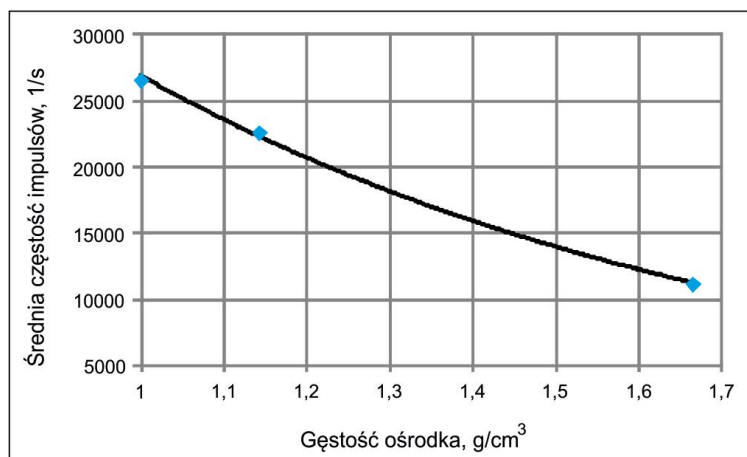
Gęstościomierz radiometryczny składa się z głowicy pomiarowej, zawierającej pojemnik ze źródłem promieniowania Cs-137 o aktywności 15 mCi, sondy scyntylicyjnej NaI(Tl) oraz elektronicznego układu przetwarzającego sygnał z detektora. Źródło promieniowania jest automatycznie ustawiane w położeniu roboczym za pomocą siłownika pneumatycznego zasilanego sprężonym powietrzem z układu osadzarki. Zanik napięcia lub ciśnienia w układzie sprężonego powietrza (postój osadzarki) automatycznie powodują przestawienie źródła w położenie bezpieczne. Sonda scyntylicyjna z kryształem NaI(Tl) rejestruje natężenie promieniowania przechodzącego przez wycinek badanego ośrodka o grubości 20 cm. Wiązka promieniowania jest kolimowana zarówno po stronie pojemnika jak i po stronie sondy scyntylicyjnej. Widok głowicy pomiarowej gęstościomierza przedstawiony jest na rysunku 2, a jego charakterystyka kalibracji na rysunku 3.

Pomiar natężenia promieniowania docierającego do sondy wykonywany jest w oknach czasowych około 0,2 s na końcu każdego cyklu pulsacji trwającego około 1 s. Wynika z tego, biorąc pod uwagę krzywą kalibracji gęstościomierza, że dla czasu pomiaru 10 s odchylenie standardowe pomiaru gęstości wynosi około $0,005 \text{ g/cm}^3$ (dla środka zakresu pomiarowego $1,5 \text{ g/cm}^3$). Jest to podobny wynik jak w przypadku doświadczalnej instalacji w KWK Rydułtowy-Anna, gdzie aktywność źródła promieniowania była znacznie większa (około 100 mCi). Zestawienie wartości odchyleń standardowych pomiaru w zależności od liczby okien czasowych w każdym cyklu oraz liczby pomiarów przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Widok głowicy pomiarowej gęstościomierza radiometrycznego

Fig. 2. The measuring head of the radiometric density meter



Rys. 3. Charakterystyka kalibracji gęstościomierza

Fig. 3. Calibration characteristics of the density meter

Tabela 1. Odchylenie standardowe pomiaru gęstości w funkcji parametrów cyklu pomiarowego

Table 1. Standard deviation of the density measurement as a function of the cycle of measurement parameters

Liczba cykli n_c	Szerokość okna pomiarowego Δt_0 , s			
	0,15	0,20	0,25	0,3
10	0,0046	0,0040	0,0036	0,0033
15	0,0037	0,0033	0,0029	0,0026
20	0,0033	0,0028	0,0025	0,0023
30	0,0026	0,0023	0,0021	0,0019

Odchylenie standardowe pomiaru wyliczono ze wzoru:

$$\sigma_1 = \frac{\sqrt{N_{1,3}}}{N_{\max} - N_{\min}} (\rho_{\max} - \rho_{\min}) \quad [\text{g/cm}^3] \quad (1)$$

Dla charakterystyki kalibracji z rysunku 3 otrzymuje się:

$$\sigma_1 = \frac{\sqrt{1700 \cdot \Delta t_0 \cdot n_c}}{1500 \cdot \Delta t_0 \cdot n_c} \cdot 0,65 = \frac{0,00565}{\sqrt{\Delta t_0 \cdot n_c}} \quad [\text{g/cm}^3] \quad (2)$$

Dla stosowanych w czasie badań przemysłowych parametrów gęstościomierza $\Delta t_0 = 0,15$ s i $n_c = 10$, odchylenie standardowe pomiaru gęstości wynosi $\sigma_1 = 0,0046$ g/cm³.

2. Miernik promieniowania naturalnego

Jakkolwiek w grawitacyjnym procesie wzbogacania węgla w osadzarkę rozdział produktów zachodzi według gęstości warstwy rozdzielczej, to teoretycznie powinien zachodzić on według zawartości popiołu w warstwie rozdzielczej. Takie możliwości dają zastosowanie zamiast gęstościomierza radiometrycznego miernika zawartości popiołu w strefie odbioru produktów. Do pomiaru zawartości popiołu w materiale łóża zastosowano metodę pomiaru promieniowania naturalnego, która została z powodzeniem zastosowana np. w urządzeniach pomiarowych typu RODOS i WALKER (prod. Instytut EMAG) (Sikora i Smyła 2012). W metodzie promieniowania naturalnego wykorzystuje się naturalną promieniotwórczość skał wynikającą z niewielkiej zawartości pierwiastków promieniotwórczych, m. in.: potasu K-40, uranu U-238, który przechodzi w bizmut Bi-214 oraz toru Th-232, który przechodzi w tal Tl-208. Zestawienie parametrów rozpadu promieniotwórczego podano w tabeli 2.

Tabela 2. Metoda pomiaru promieniowania naturalnego

Table 2. The method of natural radiation measurement

Pierwiastek	Mierzona wielkość (produkt rozpadu)	Pik promieniowania, keV	Okno detektora, keV
Potas (^{40}K)	^{40}K	1 460	1 350–1 550
Uran (^{238}U)	^{214}Bi (produkt rozpadu)	1 760	1 660–1 860
Thor (^{232}Th)	^{208}Tl (produkt rozpadu)	2 610	2 500–2 800

Zawartość popiołu oblicza się na podstawie równania:

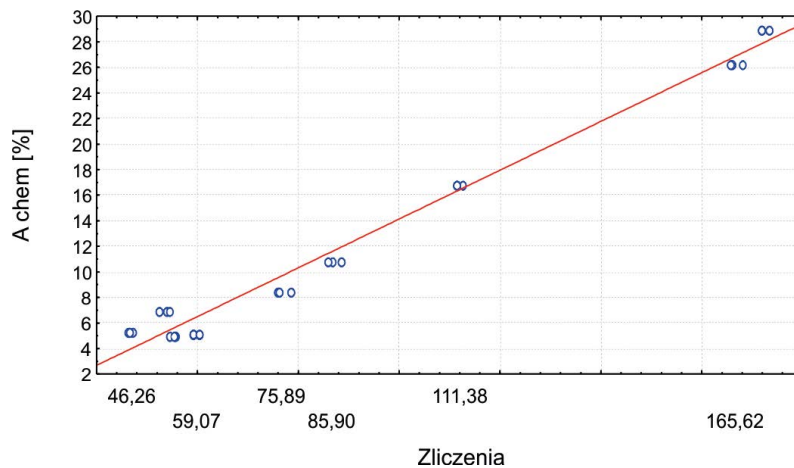
$$A = a \cdot T + b \cdot K + c \cdot U + e \quad (3)$$

a, b, c, e – stałe współczynniki,

T, K, U – liczby impulsów zliczone w poszczególnych oknach pomiarowych.

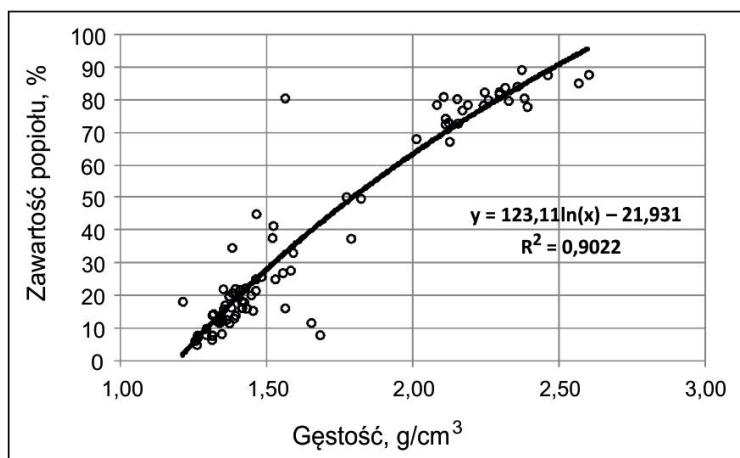
Przykładową charakterystykę kalibracji popiołomierza WALKER przedstawiono na rysunku 4, a przykładową korelacyjną zależność zawartości popiołu w węglu i jego gęstości na rysunku 5.

Błędy pomiarowe osiągnięte w metodzie pomiaru promieniowania naturalnego mieszczą się w zakresie $\sigma = \pm 1,5 A\%$. Zależność korelacyjną przedstawioną na rysunku 5 umożliwia porównanie metody pomiaru gęstości materiału w łóżu osadzarki (gęstościomierz radiometryczny) z metodą pomiaru zawartości popiołu (miernik promieniowania naturalnego). Odchylenie standardowe gęstości popiołu wokół linii regresji wynosi dla przykładowych danych około $0,13 \text{ g/cm}^3$.



Rys. 4. Zależność zawartości popiołu od liczby zliczeń naturalnej promieniotwórczości węgla dla popiołomierza WALKER

Fig. 4. Ash content as a function of counted pulses from the natural radioactivity of coal for the WALKER ash monitor



Rys. 5. Zależność zawartości popiołu i gęstości próbki węgla

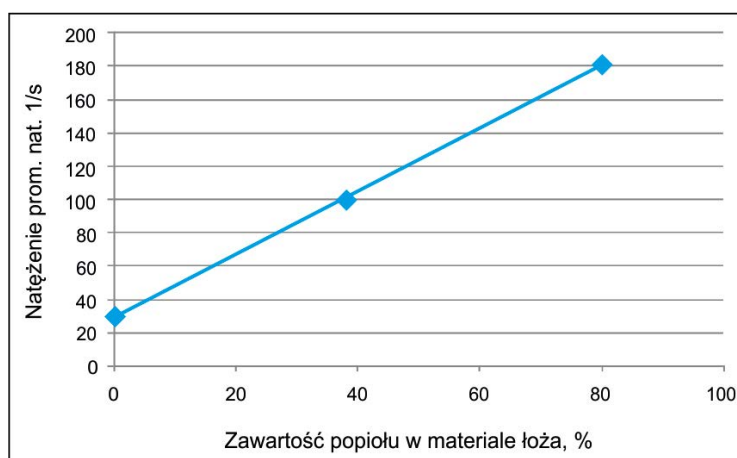
Fig. 5. Ash content as a function of the density of a coal sample

W przemysłowym układzie pomiarowym zainstalowanym w KWK Murcki-Staszic, oprócz gęstościomierza radiometrycznego, zabudowano dodatkowo miernik promieniowania naturalnego mierzącego promieniowanie gamma emitowane przez materiał znajdujący się w strefie odbioru produktów. Usytuowanie miernika w przedziale osadzarki przedstawiono na rysunku 6, a jego przybliżoną charakterystykę kalibracji – na rysunku 7.



Rys. 6. Widok sondy miernika promieniowania naturalnego

Fig. 6. Measuring head of the natural radiation meter



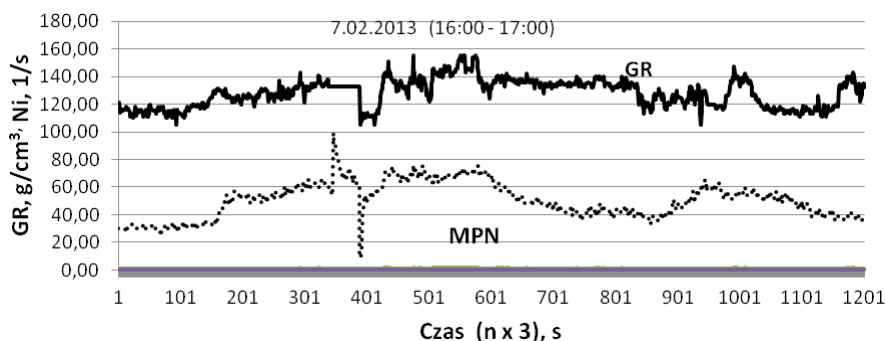
Rys. 7. Charakterystyka kalibracji miernika promieniowania naturalnego (przybliżona)

Fig. 7. Calibration characteristics of the natural radiation meter (approximate)

Dla średniego natężenia rejestrowanego promieniowania $N_i = 60$ 1/s ($i_{\text{tła}} = 30$ 1/s) średnie odchylenie standardowe pomiaru (dla 10 cykli pulsacji) wynosi $\sigma_{ni} = 4,1\%$ (odpowiada to w przeliczeniu na zakres pomiaru gęstości osrodka $\sigma_{mi} = 0,037$ g/cm³).

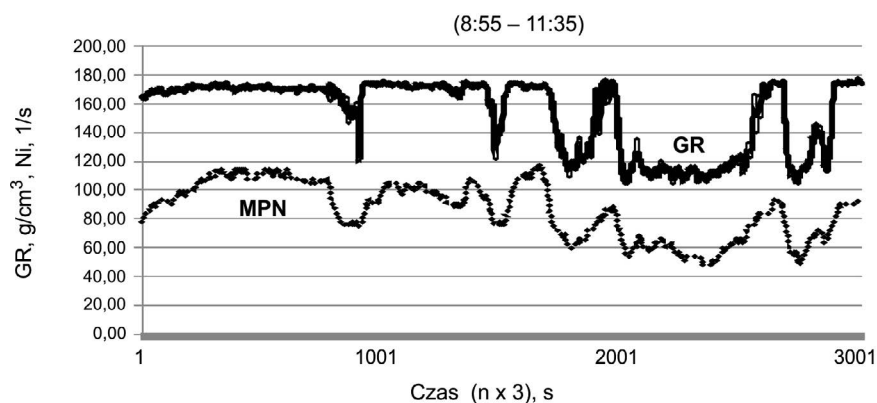
3. Pomiary

Pomiary zmian gęstości rozdziału za pomocą gęstościomierza radiometrycznego (GR) oraz zmian natężenia promieniowania naturalnego za pomocą sondy scyntylicyjnej (MPN) prowadzono w okresie 1.01–30.03.2013 r. Głowica pomiarowa gęstościomierza umieszczona była 4,5 cm poniżej progu przelewowego, natomiast sonda scyntylicyjna – 10 cm poniżej progu przelewowego. Pomiary były wykonywane w czasie normalnej pracy osadzarki. Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów w czasie stosunkowo stabilnego obciążenia osadzarki nadawą, natomiast na rysunku 9 wyniki pomiarów w czasie zaniżów nadawy i pojawiającego się znacznego obciążenia osadzarki.



Rys. 8. Zmiany gęstości rozdziału GR i natężenia promieniowania naturalnego Ni w czasie stabilnego obciążenia osadzarki nadawą ($\rho_{\text{osrodka}} = 0,01$ GR)

Fig. 8. Changes in separation density GR and intensity of natural radiation Ni over time for a stable load of a jig ($\rho_{\text{osrodka}} = 0,01$ GR)



Rys. 9. Zmiany gęstości rozdziału GR i natężenia promieniowania naturalnego Ni w czasie znacznych zmian obciążenia osadzarki

Fig. 9. Changes in separation density GR and intensity of natural radiation Ni over time for significant load changes in a jig

Na wykresach przedstawiono przebieg zmian gęstości osrodka. Gęstość samego materiału łoża jest większa od gęstości osrodka o wartość około 0,3 ($\rho_{\text{osrodka}} - 1$). Zmiany gęstości rozdziału rejestrowane gęstościomierzem radiometrycznym były znaczne – nawet w czasie stabilnego obciążenia osadzarki (rys. 8) – i mieściły się w zakresie 1,30–1,75 g/cm³. Zmiany natężenia promieniowania naturalnego w przybliżeniu pokrywały się ze zmianami gęstości i mieściły się w zakresie 40–80 l/s (co odpowiadało zmianom popiołu rozdziału w zakresie około 8–22%). Znaczne fluktuacje nadawy (rys. 9) powodowały zmiany gęstości rozdziału w zakresie 1,25–1,9 g/cm³ oraz odpowiadające im zmiany popiołu rozdziału (8–50%).

Wnioski

W ciągu trzymiesięcznej ciągłej eksploatacji gęstościomierz radiometryczny oraz miernik promieniowania naturalnego działały bezawaryjnie, utrzymując dobrą powtarzalność wskazań po wykonanych kalibracjach. Oględziny głowicy pomiarowej (pojemnik na źródło promieniowania) i sondy nie wykazały istotnego zużycia. Zmiany natężenia promieniowania naturalnego materiału w pobliżu sondy scyntylicyjnej (MPN) mają podobny przebieg jak zmiany gęstości rozdziału mierzone gęstościomierzem radiometrycznym (GR). Sugeruje to możliwość zastosowania miernika (MPN) do pomiaru gęstości rozdziału, a w zasadzie do pomiaru popiołu rozdziału. W trakcie długotrwałych obserwacji pracy osadzarki obserwowano okresowo znaczne zmiany gęstości (popiołu) rozdziału (1,3–1,9 g/cm³) powodowane znacznymi zmianami obciążenia osadzarki nadawą.

LITERATURA

- Będkowski, Z. i in. 2008. Control and monitoring of chosen technological processes in coal production. *Górnictwo i Środowisko* wydanie specjalne nr IV.
- Cierpisz, S. 2012. *Automatyczna regulacja procesu wzbogacania węgla w osadzarkach*. Gliwice: Wyd. Politechniki Śląskiej.
- Cierpisz i in. 2011a – Cierpisz, S., Będkowski, Z., Kryca, M. i Sobierajski, W. 2011a. Radiometryczny system sterowania procesem wzbogacania węgla w osadzarkach. Rozdział w monografii: *Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych*. Gliwice: Wyd. ITG KOMAG.
- Cierpisz i in. 2011b – Cierpisz, S., Będkowski, Z., Gola, M., Sikora, T. i Natkaniec, H.: Analiza procesu wzbogacania węgla w osadzarkach z zastosowaniem gęstościomierza radiometrycznego. *Mechanizacja i automatyzacja Górnictwa* 5.
- Gola i in. 2012 – Gola M., Sikora T., Będkowski Z. Monitorowanie przebiegu procesów przerobczych z wykorzystaniem urządzeń kontrolno-pomiarowych. Materiały konferencyjne Nowoczesne rozwiązania z zakresu procesów technologicznych przeróbki węgla, Szczyrk–Biła maj 2012.
- Newell, K.D. i Grisafe, D. 2004. *KGS Open-file report 2004-42*, September 2004.
- Sikora, T. i Czerw, B. 2005. Urządzenia kontrolno-pomiarowe i systemy sterowania dla zakładów mechanicznej przeróbki węgla w działalności EMAG. Rozwój i stan obecny. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* nr 5(412).
- Sikora, T. i Smyła, J. 2012. Zastosowanie technologii pomiaru naturalnej promieniotwórczości gamma węgla. *Materiały konferencyjne Nowoczesne rozwiązania z zakresu procesów technologicznych przeróbki węgla*, Szczyrk–Biła maj 2012.

**RADIOMETRYCZNE METODY MONITORINGU PROCESU ROZDZIAŁU
PRODUKTÓW W PULSACYJNEJ OSADZARCE WĘGLA**

Słowa kluczowe

wzbogacanie węgla, odbiór produktów w osadzarce, gęstościomierz radiometryczny,
miernik promieniowania naturalnego

Streszczenie

Przedstawiono zastosowanie dwóch radiometrycznych metod monitoringu procesu rozdziału produktów w osadzarce: metody absorpcji promieniowania gamma oraz metody pomiaru promieniowania naturalnego łoża osadzarki. Zastosowanie tych metod pomiarowych umożliwia uzyskanie informacji o efektywności procesu niedostępnych za pomocą innych stosowanych metod. Prowadzone są badania nad usprawnieniem działania pływakowego układu sterowania osadzarki z zastosowaniem powyższych metod.

RADIOMETRIC METHODS OF MONITORING OF A COAL SEPARATION PROCESS IN A PULSATING JIG

Key words

coal preparation, discharge control in a jig, radiometric density meter, natural radiation from coal

Abstract

A new monitoring system based on the monitoring of natural radiation emitted by the material in the separation zone of a jig compartment has been developed and tested in parallel with a radiometric density meter and a conventional float. The authors investigated the correlation between the separation density monitored by the meter and the intensity of the natural radiation. The measuring head of the radiometric density meter consists of a ^{137}Cs radiation source and a detector in the form of a scintillation counter. The signal from the detector is measured over a period of 0.15 s at the end of each cycle of pulsations (1.2 s) when the material is compressed. The control systems were installed in the second compartment of the OM20-type jig. The aim of control was to stabilise the separation density at desired values. The separation process was monitored by a radiometric density meter (RDM) to indicate changes in the separation density over a given period of time. The RDM was installed close to the upper edge of the product overflow wall to measure the density of the material separation layer reporting in half to the product and in half to the refuse. A conventional float, indicating the position of the heavy fraction in the bed, was used as a basic sensor in the control system. After first experiments the RDM replaced the float as a main sensor in the closed loop control. In the third experiment a new monitor, based on the measurement of the natural radiation emitted by the material (NRM) accumulating below the product overflow wall was used. A good correlation between the NRM indications and the RDM measurements indicates that the radiometric density meter RDM can be replaced effectively by the NRM, especially in control systems where separation density is stabilised at desired values.