

Henryk NATKANIEC

Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa „EMAG”, Katowice

POMIAR GĘSTOŚCI ZAWIESIN WODNO - MUŁOWYCH Z ZASTOSOWANIEM IZOTOPU BA - 133

Streszczenie. W procesach technologicznych pomiar gęstości jest jednym z podstawowych pomiarów. Gęstościomierze z dużym powodzeniem stosowane są w wielu gałęziach przemysłu. W procesach wzbogacania węgla kamiennego stosowanie gęstościomierzy jest ograniczone z uwagi na brak ich przystosowania do warunków technologicznych oraz występujące zakłócenia pomiarowe. W referacie przedstawiono rezultaty pomiarów zawiesin wodnych wykonanych w Centrum „EMAG” wykorzystując promieniowanie γ izotopu Ba-133 oraz wytyczne konstrukcyjne dla izotopowych gęstościomierzy przeznaczonych do zastosowania w zakładach mechanicznej przeróbki węgla.

MEASUREMENT OF WATER SLURRY DENSITY USING ISOTOPE BA-133

Summary. In processing the density measurement is one of the basic measurements. Densimeters are used with a success in many industrial branches. Application of the densimeters in hard coal preparation processes is limited due to lack of their adaptation to technological conditions and to occurrence of measuring troubles. The paper covers the results of water slurry measurements made in EMAG Centre with use of isotope ^{133}Ba gamma radiation and the constructional instructions of isotope densimeters designed to be used in coal preparation plants.

1. Wstęp

Pomiary gęstości w procesie wzbogacania węgla kamiennego wykonywane są najczęściej dla określenia:

- gęstości cieczy ciężkiej,
- koncentracji części stałych, np. w nadawach do flotacji, pras filtracyjnych itp.,

- koncentracji mułów lub odpadów na wylewach osadników promieniowych,
- gęstości mieszanin podsadzkowych.

Do pomiaru gęstości zawiesin wodnych w różnych rodzajach gęstościomierzy wykorzystane są zmiany:

- ciśnienia hydrostatycznego,
- dynamicznego oddziaływania strumienia cieczy,
- pochłaniania jonizującego promieniowania γ ,

spowodowane zmianami koncentracji ciała stałego z możliwymi równocześnie zmianami składu chemicznego ciał stałych w mierzonej zawieszynie. Czynniki ograniczającymi użytkowanie gęstościomierzy w zakładach mechanicznej przeróbki węgla są zakłócenia pomiarowe, np.:

- zapowietrzenie cieczy,
- zmiana składu chemicznego ciała stałego,
- sedymentacja i segregacja cząstek ciała stałego.

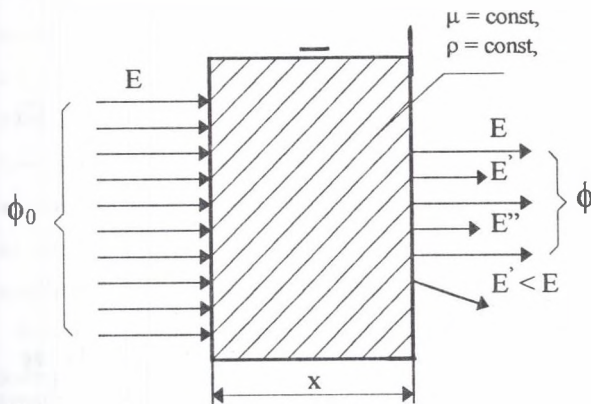
Zakłócenia te są przyczyną błędów pomiarowych obarczających wszystkie stosowane metody pomiarowe.

W warunkach zakładu mechanicznej przeróbki węgla uzyskanie dużej niezawodności, zmniejszenie błędów pomiarowych wymaga, aby rozwiązanie konstrukcyjne gęstościomierza i metoda pomiaru były dostosowane do specyfiki węgla technologicznego (obiektu).

2. Gęstościomierze izotopowe

2.1. Metoda pomiaru

Zasada pomiaru gęstości z wykorzystaniem promieniowania γ jest powszechnie znana i oparta na prawie osłabienia promieniowania monoenergetycznego w przesłonie.



Rys. 1. Osłabienie promieniowania monoenergetycznego w przesłonie
 Fig. 1. Monoenergetic radiation attenuation in a shield

Na skutek oddziaływania z materiałem przesłony niektóre fotony ze strumienia Φ_0 ulegają pochłonięciu, niektóre rozproszeniu (bez zmiany lub ze zmianą energii i kierunku). Strumień fotonów Φ przejdzie przez przesłonę nie doznawszy oddziaływania (nie zmieniając energii i kierunku). Prawo osłabienia opisane jest zależnością (1):

$$\Phi = \Phi_0 * e^{-\mu * x} = \Phi_0 * e^{-x * \rho * \left(\frac{\mu}{\rho}\right)} \quad (1)$$

gdzie:

Φ_0 - strumień fotonów pierwotny (wiązka pierwotna),

Φ - strumień fotonów za przesłoną (wiązka osłabiona),

μ - liniowy współczynnik osłabienia fotonów o energii E przez materiał osłony,

x - grubość materiału osłony,

$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$ - masowy współczynnik osłabienia fotonów o energii E.

Dla przesłony o zmieniającym się składzie chemicznym zastępczy masowy współczynnik osłabienia określa wzór:

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i * c_i \quad (2)$$

gdzie:

$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i$ - masowy współczynnik osłabienia i -tego składnika,

c_i - masowy udział i -tego składnika.

Gęstościomierz izotopowy podobnie jak wiele urządzeń izotopowych składa się z następujących podstawowych elementów (rys. 2): źródło izotopowe w pojemniku ochronnym - medium pomiarowe, z którym oddziałuje promieniowanie - detektor promieniowania - układ elektroniczny miernika przetwarzający sygnał z detektora na mierzoną wielkość.

Tabela 1

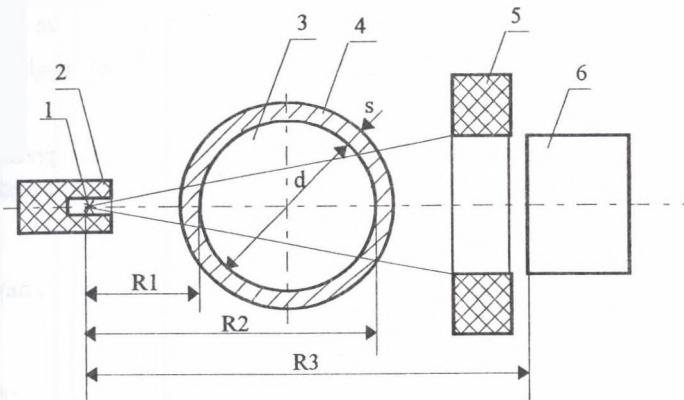
Izotopy stosowane w pomiarach gęstości

Izotop	Okres półrozpadu [lata]	Przemiana promieniotwórcza	Energia promieniow. γ [MeV]	Liczba fotonów na 100 przem. jadr.	Grupa radio-toksyczności
Co - 60	5.27	β^-	1.173 1.333	99.86 99.98	2
Cs - 137	30.17	β^-	0.662	85.1	2
Ba - 133	10.8	wychwył K	0.081 0.276 0.303 0.356 0.384	33.9 7.1 18.04 62.2 8.9	2
Am - 241	433	α	0.026 0.0595	2.5 35.9	1

Dane dotyczące źródeł izotopowych stosowanych w gęstościomierzach przedstawiono w tabeli 1. Wszystkie izotopy posiadają dosyć długie czasy półokresu rozpadu. Najczęściej stosowany jest izotop Cs - 137 z uwagi na emisję promieniowania γ o tej samej energii 0.662 MeV. W " zamkniętym " źródle izotopowym substancja radioaktywna jest umieszczona w szczelnej obudowie ze stali nierdzewnej i posiada niewielkie wymiary (np. ϕ 3 x 3 mm). Takie

źródło można traktować jako punktowe, tzn. emitujące promieniowanie γ w całą przestrzeń we wszystkich kierunkach z jednakowym prawdopodobieństwem. Umieszczenie punktowego źródła w pojemniku ochronnym z kolimatorem sprawia, że wielkość i kształt wiązki roboczej kierowanej na medium pomiarowe zależą od rozmiarów kolimatora. W gęstościomierzu izotopowym medium wypełnia wnętrze rury, którą przepływa. Wybór izotopu (energii promieniowania), jego aktywności jest zależne między innymi od średnicy rury, zakresu zmian gęstości mierzonego medium, rodzaju detektora promieniowania. Najczęściej stosowanymi detektorami są: komora jonizacyjna lub licznik scyntylacyjny.

Powszechnie stosowaną geometrią pomiaru, tzn. wzajemne usytuowanie źródła izotopowego, mierzonego medium i detektora promieniowania, przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Geometria pomiarowa gęstościomierza izotopowego

- 1 - punktowe źródło izotopowe,
- 2 - pojemnik ochronny z kolimatorem,
- 3 - medium pomiarowe,
- 4 - rura,
- 5 - kolimator detektora,
- 6 - detektor promieniowania.

Fig. 2. Measuring geometry of isotope densimeter

- 1 - point radioactive source,
- 2 - protective container with collimator,
- 3 - measured medium,
- 4 - pipe,
- 5 - collimator,
- 6 - detector.

Przedstawiona geometria pomiarowa różni się nieznacznie od geometrii wymaganej dla spełnienia warunków prawa osłabienia (1). Źródło izotopowe z wyjątkiem Cs - 137 emituje promieniowanie γ o różnych energiach i udziałach, a kierunki rozprzestrzeniania się fotonów nie są równoległe jak w wiązce monoenergetycznej.

Zgodnie z oznaczeniami na rys. 2. usuwając z układu pomiarowego rurę wraz z medium pomiarowym w odległościach R1, R2, R3 gęstość strumienia fotonów wynosi:

$$\Phi_1 = \frac{W_\gamma}{4\pi R_1^2} > \Phi_2 = \frac{W_\gamma}{4\pi R_2^2} > \Phi_3 = \frac{W_\gamma}{4\pi R_3^2} \quad (3)$$

gdzie: W_γ - liczba kwantów emitowanych ze źródła w czasie 1 s w całą przestrzeń.

Nierówność (3) przedstawia tzw. " osłabienie geometryczne " wiązki emitowanej ze źródła punktowego. W układzie pomiarowym gęstościomierza nierówność (3) jest pogłębiana osłabieniem wiązki przez ścianki rury.

W gęstościomierzu promieniowanie docierające do detektora ulega osłabieniu przez:

- osłabienie geometryczne,
- osłabienie przez ścianki rury,
- osłabienie w medium pomiarowym o stałej grubości d (przy całkowitym wypełnieniu rury).

Zakładając, że rozwiązanie konstrukcyjne zapewnia stałość:

- odległości R1, R2, R3,
- średnicy wewnętrznej d, grubości ścianek rury s,
- składu chemicznego materiału rury,

dwa pierwsze czynniki osłabienia: osłabienie geometryczne i osłabienie przez ścianki rury są stałe. Jedynym czynnikiem wpływającym na zmianę strumienia promieniowania docierającego do detektora jest medium wypełniające wnętrze rury. Można przyjąć, że intensywność promieniowania γ mierzona detektorem dla "pustej rury" jest odpowiednikiem strumienia Φ_0 wiązki monoenergetycznej przed przesłoną o grubości d i masowym współczynnikiem osłabienia $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$. Stosując jako detektor promieniowania licznik scyntylicyjny w wyniku pomiaru prowadzonego przez określony czas t (lub z określoną stałą czasową) uzyskujemy liczbę zliczeń:

$$N \sim \phi \cdot t \quad (4)$$

a zmianę ilości zliczeń przy pomiarach gęstości można określić podobnie jak we wzorze (1):

$$N = N_0 e^{-d \cdot \rho \left(\frac{\mu}{\rho}\right)} \quad (5)$$

gdzie: N_0 - liczba zliczeń przy wypełnieniu rury substancją odniesienia, tzn:

- 1) powietrzem - „ pusta rura „
- 2) wodą

d - średnica wewnętrzna rury.

Przekształcając zależność (5):

$$\rho = \frac{\ln N_0}{d \cdot \left(\frac{\mu}{\rho}\right)} - \frac{1}{d \cdot \left(\frac{\mu}{\rho}\right)} \cdot \ln N \quad (6)$$

Przy założeniu, że $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$ nie ulega zmianie i przyjmując oznaczenia stałych:

$$A = \frac{\ln N_0}{d \cdot \left(\frac{\mu}{\rho}\right)}, \quad B = \frac{1}{d \cdot \left(\frac{\mu}{\rho}\right)} \quad (7)$$

otrzymujemy algorytm pomiaru gęstości:

$$\rho = A - B \cdot \ln N \quad (8)$$

2.2. Uwagi i wytyczne rozwiązania konstrukcyjnego gęstościomierza izotopowego

Jak wynika z przedstawionej zasady pomiaru, gęstościomierz izotopowy w porównaniu np. z gęstościomierzem opartym na pomiarze różnicy ciśnienia hydrostatycznego jest nieczuły na zmiany ciśnienia w rurociągu, dynamiczne oddziaływanie strumienia cieczy. Natomiast zawieszina wodna transportowana rurociągiem może spowodować powstanie narostów lub wytarcie ścianek rury, co ma istotny wpływ na dokładność pomiarów. Zespół pomiarowy gęstościomierza izotopowego zawierający: pojemnik ze źródłem izotopowym, rurociąg z medium pomiarowym, detektor promieniowania, powinien zapewniać:

- odpowiednią ochronę radiologiczną,
- stałą i stabilną geometrię pomiaru.

W urządzeniach izotopowych im mniejsza aktywność stosowanego źródła, tym mniejsze narażenie na szkodliwe oddziaływanie promieniowania jonizującego. Zmniejszenie aktywności jest zawsze możliwe, jeżeli zastosujemy nowy czulszy detektor promieniowania.

Obniżenie aktywności można uzyskać również poprzez:

- zmniejszenie grubości ścianki rurociągu,
- przybliżenie do rurociągu źródła i detektora, tak aby odległości R_1 i R_3 (rys. 2) były jak najmniejsze.

W układzie elektronicznym gęstościomierza niezbędna jest korekta pomiarów zgodnie ze zmianą aktywności źródła izotopowego.

2.3. Kalibracja i korekcja wskazań gęstościomierza spowodowanych zakłóceniami

Dla zrealizowanego układu pomiarowego stałe A i B z równania (8) wyznacza się wykonując kalibrację gęstościomierza. Kalibracja polega na wykonaniu jednego lub dwu pomiarów ilości zliczeń N z równoczesnym pobraniem próbki medium pomiarowego. Oznacza się laboratoryjnie gęstość pobranych próbek. Jeden pomiar kalibracyjny wykonujemy wtedy, gdy w układzie elektronicznym pamiętane są i korygowane według zmiany aktywności źródeł zliczenia N_0 dla substancji odniesienia, tzn. dla powietrza: $\rho_{\text{POW}} = 0,00129 \text{ g/cm}^3$ lub dla wody $\rho_{\text{WODY}} = 1,00 \text{ g/cm}^3$. Przykłady wyznaczonych współczynników A i B dla różnych substancji przedstawiono w tabeli 2.

Współczynniki A i B są stałe przy nie zmieniającym się składzie chemicznym poszczególnych składników medium pomiarowego $\left[\left(\frac{\mu}{\rho} \right) = \text{const} \right]$. Zmiana składu chemicznego wymaga wprowadzenia do równania (8) nowych współczynników A' i B' - czyli wykonania nowej kalibracji.

Po zmianie składu chemicznego medium pomiarowego pozostawienie w algorytmie pomiaru starych nastaw kalibracyjnych sprawia, że uzyskane wyniki pomiarowe obarczone są błędami. Aby korygować te błędy, należy opcjonalnie rozszerzyć układ pomiarowy gęstościomierza i wykrywać odstępstwa składu chemicznego aktualnie mierzonego medium od składu chemicznego medium podczas kalibracji.

Duże błędy pomiarowe przy pomiarach gęstości cieczy zawieszinowych spowodowane są ich zapowietrzeniem. Najczęstszą przyczyną zapowietrzania zawiesin występujących w

zakładach przeróbki mechanicznej węgla jest sam proces technologiczny zasysanie powietrza w miejscach przewyższenia rurociągu i rurociągach ssawnych lub swobodne wylewny. Przy zapowietrzeniu cieczy, tzn. obecności w cieczy pęcherzyków powietrza o rozmiarach mniejszych od poprzecznego przekroju wiązki pomiarowej, sprawny technicznie i poprawnie wykalibrowany gęstościomierz wykona pomiary uśrednionej gęstości mieszaniny cieczy z powietrzem. Te wyniki nie są obarczone błędem. Jeżeli w procesie technologicznym potrzebny jest wynik gęstości dla niezapowietrzonej cieczy zawiesinowej, należy opcjonalnie powiększyć podstawowy układ pomiarowy gęstościomierza, tak aby wykryć i określić udział objętościowy powietrza w mierzonej zawieszynie i na tej podstawie określić gęstość niezapowietrzonej cieczy.

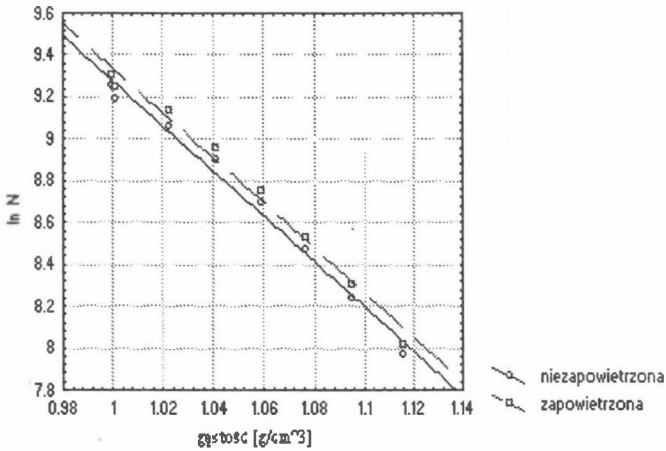
Gdy pęcherze powietrza przekraczają rozmiary przekroju wiązki, uzyskany wynik ilości zliczeń N należy wykluczyć z przetwarzania wg algorytmu (8).

3. Pomiary gęstości z wykorzystaniem promieniowania izotopu Ba - 133

3.1. Wpływ zapowietrzenia cieczy w pomiarach gęstości dla źródeł: Am - 241, Ba - 133, Cs - 137

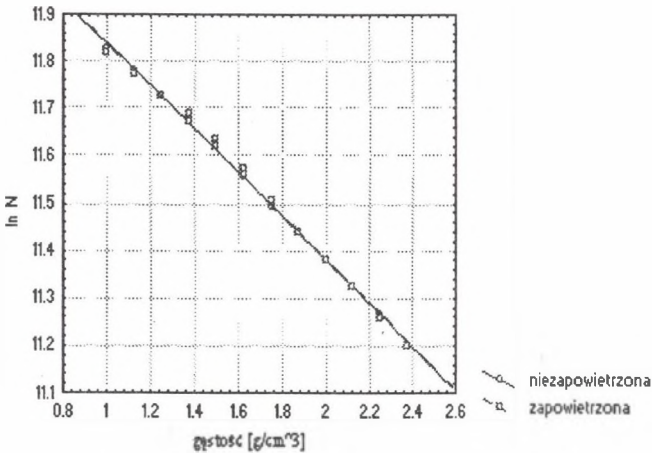
Pomiary wpływu zapowietrzenia cieczy na pomiary gęstości wykonano wykorzystując pompę PH - 80. Do króćca ssawnego wprowadzono mierzoną ilość powietrza i określono udział objętościowy powietrza w obrębie wiązki roboczej w miejscu pomiaru gęstości.

Na wykresach rys. 3, 4, 5 przedstawiono zmianę intensywności zliczeń N spowodowaną zmianą gęstości dla cieczy niezapowietrzonej i cieczy zapowietrzonej z udziałem objętościowym powietrza około 3%.



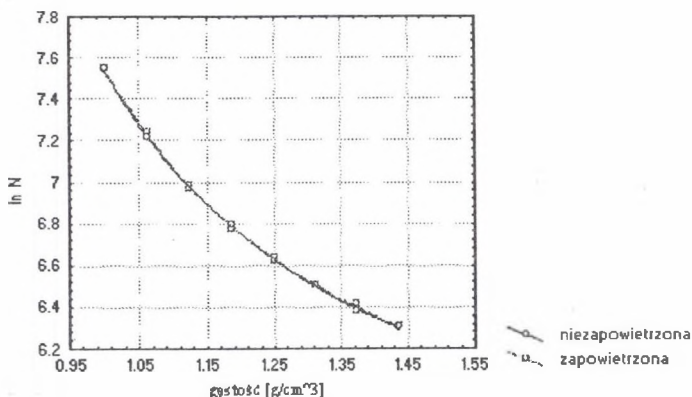
Rys.3. Zmiana sygnału pomiarowego dla źródła Cs - 137 przy zmianach gęstości cieczy zapowietrzonej i niezapowietrzonej

Fig.3. Measuring signal change for isotope ^{137}Cs at changes in aerated and non-aerated liquid density



Rys. 4. Zmiana sygnału pomiarowego dla źródła Ba - 133 przy zmianach gęstości cieczy zapowietrzonej i niezapowietrzonej

Fig.4. Measuring signal change for isotope ^{133}Ba at changes in aerated and non-aerated liquid density



Rys.5. Zmiana sygnału pomiarowego dla źródła Am - 241 przy zmianach gęstości cieczy zapowietrzonej i niezapowietrzonej

Fig.5. Measuring signal change for isotope Am - 241 at changes in aerated and non-aerated liquid density

3.2. Wpływ zmiany składu chemicznego ciała stałego

Wykonano pomiary kalibracyjne dla ciał stałych, takich jak: węgiel kamienny o różnej granulacji i zawartości popiołu, magnetyt, piasek, koks, tworząc jednoskładnikowe lub wieloskładnikowe mieszaniny z wodą oraz z powietrzem. Wyznaczone współczynniki kalibracji A i B przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Wyniki pomiarów kalibracyjnych

Nr pom.	Ozn. subst. ciała stałego	Opis substancji pomiarowej	Pomiary kalibracyjne		Współczynnik	
			substancja	ρ [g/cm ³]	A	B
1	W1	Węgiel z KWK „Zofiówka”, stan powietrzno-suchy, granulacja 3+10mm, A ^a =8.5% ρ =1.36g/cm ³	powietrze	ρ_{pow}	15.780	1.282
			W1+ powietrze	0.683 gęstość usypowa		
2	W1	Mieszanina W1+woda swobodnie zalegające rurę czujnika	woda	ρ_{wody}	21.060	1.742
			W1+ woda	1.183		
3	W1	Węgiel W1 płukany w wodzie swobodnie zalegający w rurze czujnika W _{ex} =5.7, A ^a =8.5%, ρ =1.28 g/cm ³	powietrze	ρ_{pow}	14.651	1.189
			W1+ powietrze	0.725 gęstość usypowa		

cd. tabeli 2

4	W1	Mieszanina W1 + woda swobodnie zalegająca rurę czujnika	woda	ρ_{pow}	17.132	1.400
			W1+ woda	1.189		
5		Kalibracja powietrze - woda	powietrze	ρ_{pow}	15.307	1.242
			woda	ρ_{wody}		
6	K	Koks - stan powietrzno-suchy swobodnie usypany w rurze czujnika	powietrze	ρ_{pow}	20.816	1.689
			K+ powietrze	0.510 gęstość usypowa		
7	K	Mieszanina K + woda swobodnie zalegająca rurę czujnika	woda	ρ_{wody}	14.013	1.130
			K+ woda	1.071		
8	W1/1	Mieszanina węgla W1 zmielonego do granulacji mniejszej od 1.5 mm + woda - węgiel osiadł w rurze czujnika	woda	ρ_{wody}	18.080	1.484
			W1+ woda	1.203		
9	W2	Mieszanina węgla W2 z wodą - węgiel osiadł w rurze czujnika. Węgiel z KWK „Grodziec” A ^a =20.2% granulacja 0+1.5 mm	woda	ρ_{wody}	16.082	1.310
			W2+ woda	1.234		
10	PW	Niesedymująca mieszanina pyłu węglowego i wody. Pył węglowy z KWK „Grodziec” A ^a =29.5% o granulacji poniżej 0.5 mm	woda	ρ_{wody}	16.292	1.329
			PW+ woda	1.254		
11	PW+P	Niesedymująca mieszanina PW + piasek P (1.5k PW + 0.5kg P) i wody. Granulacja piasku poniżej 0.2 mm	woda	ρ_{wody}	17.095	1.399
			PW+ P+ woda	1.313		
12		Kalibracja powietrzno - wodna	powietrze	ρ_{pow}	15.193	1.233
			woda	ρ_{wody}		
13	M	Mieszanina wody z magnezylem	woda	ρ_{wody}	15.071	1.223
			M+	2.80		
14	M+PW	Mieszanina magnezylu z pyłem węglowym i wodą (3kg M + 1kg PW)	woda	ρ_{wody}	16.434	1.341
			M+PW+ woda	2.050		
15	W+P	Mieszanina magnezylu piasku i wody (3kg M + 1kg P) granulacja piasku mniejsza od 0.2mm	woda	ρ_{wody}	16.339	1.330
			M+P+ woda	2.68		

3.3. Pomiar kontrolny zawiesiny wodno-mułowej

Przygotowano zawiesiny o określonej koncentracji używając pyłu węglowego z KWK „Grodziec” o granulacji poniżej 0.5 mm, $A^a = 29.5\%$, $\rho_{CS} = 1.45 \text{ g/cm}^3$. Wyniki pomiarowe przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Pomiar kontrolny zawiesiny o różnych koncentracjach

Koncentracja [g/litr]	$\rho_{obliczone}$ [g/cm ³]	ρ_{10} [g/cm ³]	ρ_{12} [g/cm ³]
0	1.000	1.00	1.00
20	1.0062	1.01	1.00
50	1.015	1.01	1.00
75	1.023	1.02	1.01
100	1.031	1.03	1.02
150	1.046	1.04	1.04
200	1.062	1.06	1.05
300	1.093	1.09	1.09
400	1.124	1.12	1.12
500	1.155	1.16	1.16
600	1.186	1.18	1.19

Gęstości ρ_{10} i ρ_{12} są odczytanymi wskazaniami gęstościomierza dla współczynników kalibracyjnych - pomiar 10 i 12 z tabeli 2. Gęstość ρ_{oblicz} policzono z zależności:

$$\rho_{oblicz} = 1 + \frac{\left(1 - \frac{1}{\rho_{CS}}\right) \cdot c}{1000} \quad (9)$$

gdzie:

c - koncentracji części stałych g/litr,

ρ_{CS} - gęstość ciała stałego g/cm³.

4. Podsumowanie

Izotopowy pomiar gęstości wykorzystuje fizyczne prawo osłabienia promieniowania γ w materii. W odróżnieniu od często wykorzystywanych w miernikach izotopowych zależności korelacyjnych oparcie metody pomiarowej na prawie fizyki gwarantuje dużą dokładność pomiarową miernika. Przykładem mogą być gęstościomierze izotopowe stosowane w cukrowniach do pomiaru zawartości cukru w roztworach wodnych. Dotychczasowe wyniki pomiarów wykorzystujących własności promieniowania izotopu $Ba - 133$ składają do szybkiej realizacji kilku wersji gęstościomierza przystosowanego do zastosowań w zakładach przeróbki mechanicznej węgla.

LITERATURA

1. Industrial gauging and analytical instrumentation sources. „Amersham,, 1995 r.
2. L. F. Curtis. Tablice z fizyki jądrowej.
3. H. Natkaniec - nie publikowane „Sprawozdania z badań ,, wykonanych w Centrum EiAG EMAG w roku 1995 i 1996.

Recenzent: Doc. dr inż. Stanisław Błaszczczyński

Wpłynęło do Redakcji 2.10.1996 r.

Abstract

Application of the various types of densimeters in concentration measurements of water slurry or mixture of water and solids occurring in coal preparation process is now restricted owing to:

- measuring troubles e.g. liquid aeration, change in chemical constitution of solids, sedimentation and segregation of solid molecules,
- lack of densimeters adaptation to technological conditions of a coal preparation plant.

In isotope densimeters the density measurement is based on a law of gamma radiation attenuation.

In the derived from this law and commonly used algorithm of measurement it is assumed that for suspension and mixtures of solid and liquid, the chemical constitution of liquid and solid is not a subject to changes.

In case of waters slurry the chemical constitution of solid is a subject to changes.

The effect of this disturbance on isotope Ba^{133} gamma radiation has been tested. Change in chemical constitution of solid requires change in calibration settings of measurement algorithm. The water mixtures of coal dust, with high ash content, sand and magnetite as well as their compositions have very similar coefficients of calibration, for isotope Ba^{133} .

For sources Cs^{137} , Ba^{133} , Am^{241} (different radiation energies) the effect of disturbance resulted from liquid aeration has been tested.

The results of measurements using isotope Ba^{133} gamma radiation have shown, the usefulness of this isotope for densimeters to be used in coal preparation plants.