ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: GÓRNICTWO z. 246 Nr kol. 1480

Joachim PIELOT
Politechnika Śląska, Gliwice

PRZEGLĄD METOD POMIAROWYCH PARAMETRÓW JAKOŚCIOWYCH WĘGLA

Streszczenie. W referacie przedstawiony został literaturowy przegląd metod pomiarowych parametrów jakościowych węgla: zawartości popiołu, wilgoci i siarki oraz parametrów zespolonych. Omówiono urządzenia do pomiarów ciągłych i szybkich pomiarów dyskretnych. Przedstawiono również zagadnienia związane z pobieraniem próbek węgla i dokładnością pomiarów parametrów jakościowych. Podano przykłady zastosowań.

MEASUREMENT METHODS REVIEW OF COAL QUALITATIVE PARAMETERS

Summary. In the paper the review of measurement methods of coal qualitative parameters has been presented. Problems concerning coal sampling and measurements accuracy of qualitative parameters have been discussed.

1. Wstęp

Automatyczna kontrola i regulacja procesów technologicznych w zakładach przeróbki węgla obejmuje aktualnie układy pomiarowe (parametrów jakościowych i masy węgla na przenośniku, gęstości cieczy ciężkiej i mułów węglowych, poziomu węgla w zbiornikach) oraz układy sterowania operacji przeróbczych.

Obecny stan kontroli jakości strumieni procesowych jest jeszcze niezadowalający. Powszechnie stosuje się tylko kontrolę gęstości strumieni flotacji za pomocą gęstościomierzy radiometrycznych. Instalowane są także przyrządy pomiarowe mierzące parametry jakościowe produktów końcowych na przenośnikach. Nieznana tym samym jakość produktów z poszczególnych operacji przeróbczych na różnych etapach produkcji utrudnia stabilną jakościowo produkcję sortymentów handlowych [1, *s.174*].

2. Metody pomiarowe parametrów węgla

W zadaniach kontroli procesów technologicznych przeróbki węgla oraz optymalizacji produkcji szczególną rolę odgrywają urządzenia do pomiarów ciągłych lub szybkich pomiarów dyskretnych. Urządzenia do pomiarów ciągłych dostarczają szybkiej informacji o parametrach jakościowych bez konieczności pobierania próbek oraz umożliwiają automatyzację operacji technologicznych [12, *s.211*] a docelowo ich optymalizację. Urządzenia do szybkich pomiarów dyskretnych pozwalają uzyskiwać informację o podstawowych parametrach jakościowych próbek węgla. Są one przeznaczone do wykorzystania w laboratoriach chemicznych lub w warunkach ruchowych [27, *s.56*].

2.1. Pomiar zawartości popiołu

Węglowa substancja organiczna i substancja mineralna różnią się między sobą składem chemicznym i zawartością w węglu surowym. Liczba atomowa substancji organicznej zawiera się w przedziale 5.9-6,2, natomiast w przypadku substancji mineralnej liczba atomowa zmienia się w przedziale 12-14. Ta właśnie różnica wykorzystywana jest w radiometrycznych metodach pomiarowych zawartości popiołu [8, *s.184*], najczęściej stosowanych w praktyce przemysłowej.

Metoda absorpcji promieniowania γ

Już w latach 70. znana była metoda pomiaru zawartości popiołu w węglu wykorzystująca absorpcję promieniowania γ ameryku ^{241}Am i cezu ^{137}Cs (lub kobaltu ^{60}Co) o różnych energiach. Metodę tę wykorzystuje się do pomiarów zawartości popiołu w poruszającej się na taśmie przenośnika i wstępnie uformowanej strudze węgla. Absorpcja promieniowania o niższej energii zależy od składu substancji mineralnej oraz od masy badanego węgla, zaś absorpcja promieniowania γ o wyższej energii zależy tylko od masy węgla [24, *s.122n*]. Przykładów zastosowań tej metody jest bardzo wiele. Wymienić można tu przyrządy firm: COALSCAN, Berthold, RAMM, KRAS [14, *s.6*], [20, *s.115*] oraz popiołomierz GAMMA-2E (EMAG). Pomiary mogą być wykonywane niezależnie od wysokości i masy warstwy węgla, a węgiel może być w dużym stopniu niejednorodny [16, *s.19-21*].

Bezwzględna niedokładność pomiarów dochodzi do ±0,5% przy małej zawartości popiołu oraz ±(1,0-2,0) % przy większych zawartościach popiołu [14, *s.6*]. Wskazywane są liczne przykłady zastosowań przemysłowych [2, *s.648*], [24, *s.122-126*].

Metoda rozproszenia promieniowania γ

Metoda wstecznego rozproszenia niskoenergetycznego promieniowania γ ameryku ^{241}Am od wyrównanej warstwy węgla bezpośrednio na przenośniku taśmowym wykorzystuje zależność natężenia odbitego wstecz promieniowania γ od zawartości popiołu w węglu

[8, *s.185*], [9, *s.128n*], [20, *s.114*]. Obszar strumienia węgla, który jest penetrowany na taśmie, ma szerokość około 30 cm i głębokość około 10 cm. Gdy składniki mieszanki węgla są ułożone na taśmie warstwowo, wtedy może dochodzić do dużych błędów wynikających z niereprezentatywności pomiarów. W takich przypadkach wykorzystywana jest metoda absorpcyjna. Metody rozproszeniowe mają zdecydowaną przewagę nad metodami absorpcyjnymi z powodu znacznie większego obszaru pomiarowego, lepszej dokładności pomiarów oraz niższych kosztów realizacji [9, *s.133*].

Jedynymi krajowymi popiołomierzami do automatycznego, ciągłego i bezstykowego pomiaru zawartości popiołu w węglu transportowanym na przenośniku są popiołomierze serii G (najnowszy G-4) produkcji EMAG. Niedokładność bezwzględna pomiarów zawartości popiołu wynosi od ±0,7% dla zakresu 0-10 % do ±(1,5-2) % dla zakresu 20-45% [8, *s.186*]. Z zagranicznych przemysłowych rozwiązań wymienić można produkowane od lat 60. popiołomierze firmy Berthold [20, *s.*115] czy RKTP-2; niedokładność bezwzględna pomiarów wynosi około ±(0,7-1,5) % w zależności od zakresu pomiarowego [14, *s.7*].

Wyrównywanie warstwy węgla na taśmie jest praktycznie niewykonalne przy dużym uziarnieniu węgla. Zasadniczo nie rozwiązano tą metodą pomiarów węgla o ziarnach większych od 30 mm oraz o wysokości warstwy mniejszej od *warstwy nasycenia*. W przypadku różnych węgli ułożonych warstwowo na taśmie pomiar zawartości popiołu obarczony jest dodatkowym błędem; w takim przypadku powinny być stosowane mieszalniki na przesypach. Gdy warstwa węgla drobnego ma z kolei zbyt małą wysokość, wtedy powinny być zabudowane dodatkowe układy formowania strugi węgla [16, *s.18*].

Pewną odmianę metody rozproszeniowej zastosowano w popiołomierzu do oznaczeń dyskretnych - MPKF (EMAG). Mierzy on zawartość popiołu w węglu surowym, w drobnych sortymentach handlowych oraz w półproduktach o uziarnieniu 10-0 mm metodą rozproszenia w przód promieniowania γ o niskiej energii [8, *s.184n*].

Metoda pomiaru naturalnego promieniowania γ

W ostatnich latach wprowadza się popiołomierze do pomiarów ciągłych na podstawie naturalnej promieniotwórczości węgla [24, *s.122*]; metoda ta została rozwinięta w W. Brytanii i Australii (NGQM, COALSCAN) [14, *s.7*]. Pierwiastki promieniotwórcze skupiają się w substancji mineralnej węgla, natomiast w substancji organicznej występują one jedynie w śladowych ilościach. Zawartość izotopów promieniotwórczych w węglu surowym jest nieregularna, jednak między naturalną promieniotwórczością węgla a zawartością popiołu istnieje stochastyczna zależność. Niedokładność bezwzględna metody jest porównywalna z niedokładnością innych metod radiometrycznych, a nawet bywa mniejsza [18, *s.95*]. Dla węgla grubego wynosi około ±1,5%, natomiast dla miałów węglowych jest jeszcze mniejsza [9, *s.135*].

Prototypowy popiołomierz RODOS (EMAG), przeznaczony do pomiarów ciągłych w węglu o uziarnieniu 200-0 mm, planuje się instalować nie tylko w zakładach przeróbczych, ale i w podziemiach kopalń do ciągłej kontroli jakości urobku [7, *s.40*].

Pomiar zawartości popiołu w odpadach flotacyjnych

Do ciągłych pomiarów zawartości popiołu w odpadach flotacyjnych wykorzystuje się różnice własności optycznych węgla i substancji mineralnej. Barwa zawiesiny wodnej złożonej z węgla drobnoziarnistego i substancji mineralnej przy intensywnym mieszaniu jest bezpośrednio zależna od barwy suchej mieszaniny. Barwę zawiesiny wodnej określa się za pomocą spektralnej charakterystyki odbicia, w efekcie czego jakość produktów wzbogacania określana jest postacią widma odbicia. Popiołomierz MPOF (EMAG) wykorzystuje w tym celu nieselektywny charakter odbicia światła białego od zawiesiny odpadów flotacyjnych, bazując na korelacji między zawartością popiołu w odpadach a natężeniem odbitego od warstwy odpadów flotacyjnych światła białego. Niedokładność bezwzględna wskazań, zależnie od typu flotownika, wynosi od ±1,5% do ±3,5% w zakresie zawartości popiołu 30-70% [8, *s.186*].

2.2. Pomiar zawartości wilgoci

Obecnie do ciągłych pomiarów zawartości wilgoci wykorzystywane są metody mikrofalowe i niekiedy metody pojemnościowe. Względna przenikalność dielektryczna wody jest duża, dlatego względna przenikalność dielektryczna substancji sypkiej ściśle zależy od zawartości w niej wilgoci. W zakresie mikrofal wykorzystać można do pomiaru zawartości wilgoci w węglu, niezależne od siebie, wartość względnej przenikalności dielektrycznej, jak i parametry przechodzącej mikrofali [19, *s.11n*]. Do przemysłowych zastosowań najlepiej nadają się metody mikrofalowe, polegające na pomiarze absorpcji energii i przesunięcia fazowego przechodzącej mikrofali, mniej podatne na zakłócenia. Na podstawie zjawiska absorpcji mikrofal działa większość stosowanych przyrządów pomiarowych, a równoczesne zastosowanie obydwu metod pozwala na wyeliminowanie wpływu grubości warstwy węgla na taśmie i jego gęstości nasypowej [15, *s.192n, 197-199*], [20, *s.106n*]. Niedokładność bezwzględna pomiaru zawartości wilgoci wynosi około ±(0,3-0,7) % [14, *s.8*]. Dokładność pomiaru może być zwiększona przez dodatkowy pomiar i kompensację wielkości zakłócającej, np. temperatury. Takie podejście reprezentuje przykładowo przyrząd Micro-Moist firmy Berthold, możliwy do zainstalowania na taśmie przenośnika wraz z antenami tubowymi lub spiralnymi [19, *s.13*], [20, *s.108*]. Ciekawym przykładem jest przyrząd mikrofalowy, wykorzystujący efekt przesunięcia fazowego mikrofali, kalibrowany na bieżąco [11, *s.81*].

W Polsce najczęściej stosowana jest metoda oparta na zjawisku rozpraszania od wyrównanej warstwy węgla promieniowania mikrofalowego z pasma X, gdyż od zawartości wilgoci zależy współczynnik odbicia. Niedokładność bezwzględna pomiaru w wilgotnościomierzach WILMAG (EMAG) wynosi około ±1 % [8, *s.187*]. Mimo szeregu zalet tej metody: stosunkowo nieskomplikowanej aparatury pomiarowej, dobrej reprezentatywności wyniku pomiaru i dobrej odporności na zmiany temperatury [9, *s.128n*] nie nadaje się ona do

pomiaru zawartości wilgoci przekraczającej 18 % oraz do pomiarów w warunkach warstwowego ułożenia na taśmie różnych węgli.

Do pomiaru wilgoci wykorzystuje się też metody oparte na bezpośrednim pomiarze zmian pojemności lub kąta stratności, które wynikają ze zmian przenikalności dielektrycznej wilgotnego węgla. W metodach pojemnościowych stosuje się umieszczone pod taśmą przenośnika elektrody bezkontaktowe [6, *s.10*], [14, *s.7*]. Istnieją też modyfikacje tej metody, których celem jest wyeliminowanie wpływu zmiennej wysokości, szerokości i kształtu warstwy węgla na taśmie. Pomiar zawartości wilgoci jest możliwy w zakresie od kilku do kilkunastu procent, a niedokładność bezwzględna jest nie większa od ±0,5 % [23, *s.203, 207*].

2.3. Pomiar zawartości siarki

Technika pomiarowa szybkich oznaczeń zawartości siarki nie jest tak szeroko rozwinięta, jak w przypadku pomiaru zawartości popiołu czy wilgoci; zasadniczo opanowane są pomiary w urządzeniach laboratoryjnych. W celu pomiaru zawartości siarki stosowanych jest kilka metod fizycznych.

Rentgenowska analiza fluoroscencyjna wykorzystuje zależność rozkładu widmowego promieniowania fluoroscencyjnego od składu chemicznego. Promieniowanie to jest emitowane przez substancje pod wpływem naświetlania promieniowaniem rentgenowskim. Duży wpływ na dokładność oznaczeń mają głównie: skład chemiczny i skład ziarnowy węgla oraz zawartość wilgoci. Uzyskiwane niedokładności bezwzględne osiągają wartości około ± 0,05% [17, *s.37n*].

Urządzeniami laboratoryjnymi do szybkiego pomiaru zawartości siarki pirytowej w węglu bardzo drobno uziarnionym są siarkomierze radiometryczne serii MSP (EMAG). Do pomiaru zawartości siarki całkowitej służą siarkomierze serii MSC [27, *s.56*]. Metoda pomiarowa wykorzystuje *efekt Mössbauera* (zjawisko bezodrzutowej rezonansowej absorpcji promieniowania γ), umożliwiający bezpośrednie wyznaczenie zawartości siarki pirytowej w węglu. Zawartość siarki całkowitej jest obliczana z odpowiedniej zależności korelacyjnej. Niedokładności bezwzględne wahają się w granicach setnych procenta [8, *s.188*].

W najnowszej wersji laboratoryjnych analizatorów węgla firmy WILPO (WILPO L142) realizowany jest zgrubny pomiar zawartości siarki w radiometrycznym torze pomiarowym. Zawartość siarki jest określana na podstawie pomiaru zawartości związków żelaza w węglu (pirytu FeS_2 i innych), która z kolei jest oznaczana stopniem absorpcji dwóch składowych energii promieniowania jonizującego [13, *s.184n*].

2.4. Pomiar masy węgla na przenośniku taśmowym

Wagi przenośnikowe są systemami pomiarowymi przeznaczonymi do ciągłego pomiaru masy w określonym przedziale czasu. Najbardziej rozpowszechnioną grupą są wagi grawimetryczne, wykorzystujące działanie sił ciężkości ważonej masy na układ pomiarowy. Wagi niegrawimetryczne wykorzystują zjawiska absorpcji lub rozproszenia promieniowania

jądrowego (wagi radiometryczne), ultradźwiękowego bądź mikrofalowego przez warstwę transportowanego węgla [5, *s.23*], [17, *s.48*].

Waga przenośnikowa grawimetryczna zbudowana jest z pomostu wagowego, urządzenia pomiarowego chwilowego obciążenia pomostu, czujnika siły, czujnika prędkości lub drogi taśmy, wzmacniacza pomiarowego prądu stałego i układu pomiarowego. Rozróżnia się wagi sumujące, całkujące i iloczynowe całkujące [17, *s.49n*], z których te ostatnie są obecnie najczęściej stosowane. Uzyskiwana minimalna niedokładność względna wynosi ±0,2 %. Wagi przenośnikowe grawimetryczne mogą być cennymi elementami systemów automatycznego sterowania pod warunkiem poprawnej ich instalacji i eksploatacji.

Innym rozwiązaniem jest waga przenośnikowa radiometryczna. Przykładowo w wadze typu TW (POLON-IZOT) nad przenośnikiem umieszczone jest źródło promieniowania jonizującego ^{241}Am lub ^{137}Cs. Absorbowane w transportowanym węglu i w taśmie promieniowanie dociera do detektora przetwarzającego je na impulsy elektryczne, których ilość jest zależna od obciążenia jednostkowego taśmy.

2.5. Pomiary zespolonych parametrów jakościowych węgla

Między zawartościami popiołu i wilgoci a wartością opałową w stanie roboczym istnieje empiryczna zależność wykorzystywana od dawna w praktyce [6, *s.8*]. Pomiary zespolone polegają na równoczesnym oznaczaniu najważniejszych cenotwórczych parametrów jakościowych węgla w jednym systemie pomiarowym; niekiedy jest też mierzona masa transportowanego węgla. Pomiary te realizowane są w sposób ciągły bezpośrednio na poruszającej się warstwie węgla na taśmie przenośnika albo w sposób dyskretny w analizatorach laboratoryjnych. Wiele firm oferuje tego typu systemy pomiarowe: polskie EMAG i WILPO, australijski COALSCAN, niemieckie ELTRA i Berthold, amerykańska LECO.

System ciągłej kontroli jakości węgla serii ALFA (EMAG) opiera się na popiołomierzu serii G oraz wilgotnościomierzu serii WILMAG i jest systemem otwartym, co umożliwia współpracę z innymi systemami automatyki. Pośrednie oznaczanie wartości opałowej obarczone jest zarówno błędami wymienionych przyrządów pomiarowych, jak i błędem zależności korelacyjnej zmieniającej się w czasie. Niedokładność bezwzględna oznaczenia wartości opałowej waha się w granicach ±(200-350) kJ/kg [8, *s.187*]. W celu wyeliminowania zakłócającego charakteru zmian grubości warstwy węgla na taśmie w najnowszej wersji systemu (ALFA-05) grubość ta jest mierzona w sposób ciągły. System ten stanowić może układ kontroli jakości surowego urobku, nadawy, produktów wzbogacania w ciągach technologicznych oraz mieszanek węgla [27, *s.55*].

Analizator laboratoryjny WILPO L142 posiada tor radiometryczny do pomiaru zawartości popiołu, zawartości siarki i masy próbki oraz tor mikrofalowy do pomiaru zawartości wilgoci. Czas pomiaru wynosi 5 min, łącznie z przygotowaniem próbki [32, *s.60*]. Dokładność pomiarów jest porównywalna z dokładnością klasycznych metod chemicznych. Analizatory laboratoryjne mogą być wykorzystywane wszędzie tam, gdzie instalacja przy-

rządów do pomiarów ciągłych, wymagających odpowiednio dużego pola zabudowy, jest niemożliwa. Mogą być też wykorzystywane do kontroli tych przyrządów a nawet do ich kalibracji.

Metoda neutronowej analizy aktywacyjnej (PGNAA), która jest zaawansowaną metodą pomiaru koncentracji pierwiastków w węglu, umożliwia określenie zawartości popiołu, wilgoci, siarki i wartości opałowej. Główna struga węgla jest w tej metodzie bocznikowana urządzeniem próbobiorczym. Źródłem promieniowania jest kaliforn ^{252}Cf, a detektorem licznik scyntylacyjny [14, *s.7*], [24, *s.122*].

3. Zagadnienia pobierania próbek węgla i dokładności pomiarów parametrów jakościowych

Wypadkowy błąd pomiaru określonego parametru węgla jest średnią kwadratową błędu oznaczenia tego parametru według określonej metody pomiarowej oraz błędu reprezentatywności próbki [22, *s.429*], przy czym z metrologicznego punktu widzenia błąd reprezentatywności próbki powinien być o rząd wielkości mniejszy.

3.1. Pobieranie próbek węgla

Na podstawie prób węgla określa się charakterystyki technologiczne węgla: ziarnowe i gęstościowo-jakościowe. Średnia charakterystyka badanego materiału uziarnionego, masy pobranej próbki oraz oszacowanie zawartości mierzonego parametru są ze sobą współzależne; ważne są tu staranne wymieszanie materiału podlegającego opróbowaniu i jego duża masa w stosunku do masy próbki, co pozwala szacować prawdopodobieństwo wyboru ziarna węgla o określonych właściwościach jako stałe w dowolnej części materiału. Zagadnienia pobierania próbek są w pierwszym rzędzie problemami statystycznymi. Wykonane praktyczne badania materiału dość jednorodnego wskazują na konieczność bardzo starannego podejścia do zagadnień pobierania próbek, gdyż błędy opróbowania są znaczne, zaś charakter rozkładów empirycznych przeważnie odbiega od funkcji rozkładów teoretycznie zakładanych.

Do pobierania, przygotowania i analizy próbek istnieje różnorodna aparatura, od przyrządów obsługiwanych ręcznie, przez próbobiorniki mechaniczne, po urządzenia automatycznej kontroli jakości materiału na taśmie przenośnika. Szczegółowy schemat instalacji pobierania i przygotowania próbek drobnego węgla podano w [10, *s.655*], a kilka przyrządów do pobierania próbek wraz z przykładami ich zastosowań w [25], [29, *s.194*]. Wielkość błędów spowodowanych losowym pobieraniem próbek węgla za pomocą przyrządów próbobiorczych przedstawiono na przykładzie oszacowania charakterystyki składu ziarnowego w referacie [31].

Systemy kontrolno-pomiarowe materiałów uziarnionych mogą obejmować urządzenia próbobiorcze wraz z laboratorium lub szybkie analizatory pomiarowe, które określają

parametry jakościowe materiału w wydzielonej strudze pomiarowej lub w głównej strudze materiału. W takim systemie czynności pobierania i przygotowania próbki oraz oznaczenia parametrów jakościowych składają się na pomiar złożony. Określenie błędu pomiarowego musi uwzględniać błędy składowe wszystkich tych operacji [30, *s.11n*]. W przyrządach pomiarowych radiometrycznych czy mikrofalowych, dokonujących pomiaru bezpośrednio na taśmie przenośnika, wiązka promieniowania w dowolnej chwili obejmuje jedynie pewną część transportowanego materiału. W związku z tym występuje, analogiczny do błędu opróbowania w systemach z próbobiornikiem, błąd reprezentatywności mierzonego fragmentu strugi materiału. Błąd reprezentatywności jest też istotny, gdy wydzielana jest pomiarowa struga węgla; zaletą tego sposobu jest łatwiejsze wyrównanie warstwy węgla [4, *s.698, 701*].

Na wielkość błędów związanych z pobieraniem próbek węgla wpływ ma przebieg procesów przeróbczych. Im bardziej krzywa rozdziału w procesach wzbogacania zbliżona jest do krzywej idealnej, tym błąd oszacowania charakterystyki gęstościowej produktów jest mniejszy. Jeżeli w trakcie przebiegu procesu wzbogacania pogorszy się kształt krzywej rozdziału, to błąd oszacowania charakterystyk produktów wzrośnie. Te same uwagi dotyczą charakterystyki ziarnowej w przypadku procesów przesiewania.

3.2. Dokładność pomiarów parametrów węgla

Wiązka pomiarowa popiołomierzy absorpcyjnych prześwietlająca strumień węgla ma średnicę około 1 cm. Aby zminimalizować błąd reprezentatywności pomiaru, konstruowane są przyrządy pomiarowe mierzące zawartości popiołu i wilgoci za pomocą 3, 5 albo 7 wiązek pomiarowych umieszczonych w poprzek taśmy, z którymi współpracuje taka sama ilość zestawów detektorów promieniowania (RGI) [1, *s.175, 180*]. Z kolei czynnikiem zwiększającym błąd pomiaru w popiołomierzach wykorzystujących metodę rozproszenia promieniowania γ jest różne ułożenie w płaszczyźnie pionowej składników badanego węgla w warstwie na taśmie. Efekt ten jest szczególnie istotny przy niewielkiej energii źródła promieniowania. Wpływ zakłóceń, wynikających z wysokości i ułożenia ziarn materiału w warstwie, można zminimalizować poprzez mechaniczne wyrównanie warstwy węgla w odpowiednio skonstruowanym próbobiorniku [2, *s.649*].

W ciągach technologicznych występują bardzo trudne warunki pomiarowe. Istotna jest więc kontrola oznaczeń przyrządów do pomiarów ciągłych i ewentualna ich korekcyjna kalibracja. Kalibracja ta jest dokonywana na podstawie oznaczeń laboratoryjnych klasycznymi metodami chemicznymi lub analizatorami laboratoryjnymi. Podstawową wadą takiego trybu postępowania jest niedokładność tych metod, zwłaszcza metod chemicznych, uważanych za wzorcowe; niedokładność ta jest porównywalna z niedokładnością kalibrowanych przyrządów. W praktyce metrologicznej natomiast wzorzec powinien gwarantować niedokładność co najmniej o rząd wielkości mniejszą od niedokładności kalibrowanego przyrządu. Ten warunek jest bardzo trudny do spełnienia w warunkach pomiarów parametrów jakościowych węgla, a szczególnie rażący jest w przypadku pomiarów zawartości siarki. Dalsze prace nad doskonaleniem urządzeń pomiarowych koncentrują się

więc na zwiększeniu precyzji pomiarów oraz uniwersalności konstrukcji przyrządów, aby możliwa była ich zabudowa w różnorodnych i zmiennych warunkach ruchowych [8, *s.188*]. Poszukiwane są też nowe, szybkie i dokładne metody pomiaru parametrów jakościowych, szczególnie charakterystyki gęstościowej i ziarnowej [30, *s.11*]. Zaletą opracowań krajowych jest ich dopasowanie do warunków panujących w polskich zakładach.

4. Wybrane przykłady zastosowań

Wychód koncentratu w procesach wzbogacania powinien być zwiększany zarówno przez regulację parametrów procesu poprawiających kształt krzywej rozdziału, jak i przez optymalny dobór gęstości rozdziału [14, *s.5n*]. Działania te powinny być realizowane w trybie on-line, w którym operator lokalnego układu sterowania operacji przeróbczej ingeruje w przebieg procesu jedynie w sytuacjach, w których system automatyki może nieprawidłowo funkcjonować, np. w stanach awaryjnych, lub przy zmianie założeń produkcyjnych. W każdym przypadku konieczne jest stosowanie przyrządów pomiarowych do oznaczeń parametrów jakościowych węgla. Przyrządy te znajdują najczęściej zastosowanie do kontroli parametrów produktów końcowych.

Ciekawym przykładem wykorzystania przyrządów radiometrycznych jest system sterowania oparty na modelu transportu węgla w łożu osadzarki, pozwalający na precyzyjną komputerową regulację gęstości rozdziału [21, *s.131*]. Innym przykładem może być regulacja procesu flotacji z zastosowaniem popiołomierza do ciągłych pomiarów zawartości popiołu w nadawie i w odpadach, wykorzystującego metodę optyczną. Pomiar ten jest wykorzystywany do dozowania ilości kolektora i spieniacza w taki sposób, aby stabilizować zawartość popiołu w koncentracie [14, *s.11*]. Stosowane są też analizatory zawiesiny węglowej (ASHSCAN), wykorzystujące metodę absorpcji promieniowania γ o dwóch energiach. Celem sterowania jest maksymalizacja wychodu koncentratu (przy równoczesnej stabilizacji zawartości popiołu) na podstawie oznaczeń zawartości popiołu i udziału części stałych w strumieniach nadawy i odpadów.

Częstym problemem jest produkcja kilku jakościowo różnych typów mieszanek węgla dla różnych odbiorców oraz okresowa stabilizacja jakości konkretnej mieszanki dla danego odbiorcy. Parametrami określającymi jakość mieszanki węgla energetycznego są zawartości popiołu, wilgoci i siarki. W skład mieszanek węgla najczęściej wchodzą wzbogacane miały węglowe i miały surowe oraz odwodniony muł węglowy. Wskutek dużych chwilowych zmian ilościowych i jakościowych składników mieszanki węgla, powodujących duże wahania zawartości popiołu w mieszance, konieczne jest kontrolowane dozowanie wszystkich składników w odpowiednich proporcjach [5, *s.115-146*]. Sam proces tworzenia mieszanki węgla odbywa się najczęściej bezpośrednio na przenośniku taśmowym przez podawanie węgla z różnych zbiorników czy operacji przeróbczych. Sygnały z urządzeń pomiarowych doprowadzane są np. do sterownika mikroprocesorowego, który wyznacza wymagane

natężenia poszczególnych składników. Wahania zawartości popiołu w mieszance po wprowadzeniu układu sterowania można istotnie zmniejszyć, przykładowo z około ±5% do około ±2%.

Przyrządy do pomiarów parametrów jakościowych węgla znajdą niewątpliwie zastosowanie w perspektywicznym systemie pomiarowo-kontrolnym. Będzie to wielopoziomowy system hierarchiczny wraz z koordynującym jego pracę nadrzędnym systemem komputerowym.

5. Wnioski

1. Produkowane przez wiele firm przyrządy do szybkich pomiarów parametrów jakościowych węgla umożliwiają bieżącą kontrolę jakości produktów handlowych, jak również dowolnych strumieni procesowych. Dokładność pomiarów wykonywanych tego typu przyrządami ulega ciągłej poprawie.
2. Przyrządy do pomiarów parametrów jakościowych węgla znajdują zastosowanie w układach automatyki lokalnej i układach sterowania produkcją mieszanek. Układy automatyki służą do sterowania i stabilizacji przebiegu procesów wzbogacania grawitacyjnego lub flotacyjnego. Pozwalają na uzyskanie optymalnych lub zbliżonych do nich warunków wzbogacania. Efektem tego jest produkcja produktów handlowych o zadanej jakości.
3. Systemy ważące pozwalają na precyzyjne określenie masy nadawy i produktów handlowych. Mogą też być stosowane do pomiarów masy dowolnych strumieni procesowych; wtedy np. pomiary masy produktów wstępnego przesiewania nadawy mogą służyć do szybkiej i uproszczonej identyfikacji składu ziarnowego.

LITERATURA

1. Bachmann C.: Kontrola procesu i jakości w zakładach przeróbki mechanicznej węgla i rud przy zastosowaniu bezpośrednich przyrządów pomiarowych. Materiały XII Międzynarodowego Kongresu Przeróbki Węgla (ICPC), Kraków, 23-27 maja 1994, t.4, s.173-182
2. Bachmann C., Kern H.: Betrieberfahrungen mit der radiometrischen Aschegehaltsbestimmung nach dem Transmissionsverfahren auf den Bergwerken General Blumenthal und Walsum. Aufbereitungs-Technik 1988, nr 11, s.648-653
3. Bachmann C., Laurila M., Miarecki G., Cooper D.: New XRF Elemental Analyzer used for Control of SO_2 and Heat Rate. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2000, nr 4-5 (354), s.144-148
4. Beenken W.: Kombination von On-line Bestimmung und Probenahme. Aufbereitungs-Technik 1991, nr 12, s.698-702.

5. Cierpisz S.: Automatyzacja procesów przeróbki mechanicznej węgla. Wydawnictwo „Śląsk", Katowice 1980
6. Cierpisz S., Kostorz A., Mironowicz W.: Automatyczna kontrola wartości opałowej miałów węglowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1978, nr 3 (112), s.7-13
7. Czerw B., Natkaniec H., Sikora T.: Nowe urządzenia i systemy kontrolno-pomiarowe. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1996, nr 11 (316), s.37-48
8. Czerw B., Sikora T.: Urządzenia do szybkiej kontroli jakości węgla i produktów jego wzbogacania. Materiały XII Międzynarodowego Kongresu Przeróbki Węgla (ICPC), Kraków, 23-27 maja 1994, t.4, s.183-189
9. Czerw B., Sikora T.: Postęp w dziedzinie metod i urządzeń do kontroli parametrów jakościowych węgla. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1995, nr 9-10 (303), s.128-136
10. Debus M.: Probenahme und Probeverarbeitung von feinkörniger Steinkohle auf der Schachtanlage Walsum. Aufbereitungs-Technik 1988, nr 11, s.654-658
11. Evans T.G., Cutmore N.G., McEwan A.J.: Microwave Gauge for the On-Line Determination of Moisture. Coal Preparation 1993 Vol. 12, N. 3-4, s.81-90
12. Gault G.A., Lyman G.J.: Trends in Automatic Control in Australian Coal Preparation Plants. Coal Preparation 1989 Vol. 7, N. 3-4, s.211-224
13. Górny W., Mirkowski C.: Laboratoryjne analizatory węgla WILPO L131/L132/L142. Materiały II Międzynarodowej Konferencji Przeróbki Kopalin, Ustroń, 5-8. listopada 1996, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 231, Gliwice 1996, s.179-197
14. Inoue T., Cierpisz S.: Automatyzacja i kontrola procesów przeróbki węgla - przegląd zastosowań. Materiały XII Międzynarodowego Kongresu Przeróbki Węgla (ICPC), Kraków, 23-27 maja 1994, t.4, s.5-16
15. Inoue T., Matsuo S.: Zjawisko tłumienia mikrofal w zastosowaniu do oznaczania wilgoci w węglu. Materiały XII Międzynarodowego Kongresu Przeróbki Węgla (ICPC), Kraków, 23-27 maja 1994, t.4, s.191-201
16. Jardel I., Sikora T.: Popiołomierz Gamma-2E na tle postępu w technice ciągłych pomiarów zawartości popiołu w węglu. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1995, nr 6 (300), s.18-22
17. Kalinowski K.: Teoretyczne i techniczne zagadnienia pomiarów jakości węgla w układach automatyzacji ZPMW. Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1499, Gliwice 1990
18. Kierzek J., Małożewska-Bućko B.: Determination of ash in coal based on natural gamma ray activity and X-ray backscattering methods. Nukleonika 1996, Vol. 41, N.1, s.89-96
19. Klein A.: Erfahrungen beim Einsatz von Meßgeräten zur Schnellbestimmung des Wassergehaltes. Aufbereitungs-Technik 1987, nr 1, s.10-16
20. Klein A.: Ciągły pomiar zawartości wilgoci, popiołu i balastu w węglu oraz jego wartości opałowej. Materiały XII Międzynarodowego Kongresu Przeróbki Węgla (ICPC), Kraków, 23-27 maja 1994, t.4, s.105-118
21. Lyman G.J., Jonkers A., van Latum L., Hughes D.M.: Automatic Computerised Jig Control. Glückauf-Forschungshefte 1992, nr 3 (53), s.131-136
22. Müller H., Espig D., Kauter S.: Probenvobereitung auf wissenschaftlicher Grundlage - zur Arbeitsweise, Auswahl und Anwendung von Rotationstellgeräten. Aufbereitungs-Technik 1986, nr 8, s.423-434
23. Newzlin B.I.: Nowa metoda kontroli wilgotności węgla na przenośniku. Materiały XII Międzynarodowego Kongresu Przeróbki Węgla (ICPC), Kraków, 23-27 maja 1994, t.4, s.203-207

24. Osborne D.G., Fonseca A.G.: Coal Preparation - The Past Ten Years. Coal Preparation 1992 Vol. 11, N. 3-4, s.115-143
25. Reiners E., Mohrhauer P.: Probenahme von Schüttgütern in Anlagen mit hoher Verladeleistung. Aufbereitungs-Technik 1985, nr 8, s.464-469
26. Sauer T., Pfeiffer H.G., Bachmann C.: Development of and Experiences with New Types of On-line Measurement Technologies for Coal with Variations in the Elemental Ash Composition. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2000, nr 4-5 (354), s.149-154
27. Sikora T., Motyka I.: Urządzenia do kontroli parametrów jakościowych i masy węgla instrumentem umożliwiającym automatyzację. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1996, nr 12 (317), s.54-61
28. Sikora T., Czerw B., Motyka I.: System kontroli jakościowo-ilościowej węgla surowego w zakładach przeróbki mechanicznej węgla oraz urobku w podziemiach kopalń.. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2000, nr 4-5 (354), s.155-160
29. Taubmann H.J.: Probenahme bei Schüttgut-Anlagen. Aufbereitungs-Technik 1984, nr 4, s.189-199
30. Walaszek-Babiszewska A.: Modele stochastyczne opróbowania węgla. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 203, Gliwice 1992
31. Walaszek-Babiszewska A.: O błędzie próbkowania przy określaniu charakterystyki ziarnowej materiału. Materiały II Konferencji: „Automatyzacja Procesów Przeróbki Mechanicznej Węgla" (Min-TECH), Szczyrk, 26-28 czerwca 1996, s.83-86
32. Zieliński W.: WILPO - nowe urządzenia i nowe możliwości w zakresie pomiarów podstawowych parametrów jakości węgla. Materiały I Konferencji: „Automatyzacja Procesów Przeróbki Mechanicznej Węgla" (Min-TECH), Szczyrk, 31 maja-2 czerwca 1995, s.59-66

Recenzent: Dr hab.inż. Anna Walaszek-Babiszewska
Prof. Politechniki Zielonogórskiej

Abstract

In the paper the literature review of measurement methods of coal qualitative parameters: ash content, moisture, sulphur and combined parameters has been presented. The equipment to continuous measurements and fast discrete measurements have been discussed. Problems connected with coal sampling and measurements accuracy of qualitative parameters have been presented. The application examples have been given.