

Wacław GÓRNY, Czesław MIRKOWSKI, Wiesław ZIELIŃSKI

PWP „WILPO” Sp. z o.o

PRZEGLĄD POPIOŁOMIERZY RADIOMETRYCZNYCH ORAZ UWARUNKOWANIA ICH PRZEMYSŁOWYCH ZASTOSOWAŃ W POMIARACH ZAWARTOŚCI POPIOŁU W STRUDZE WĘGLA NA PRZENOŚNIKACH TAŚMOWYCH

Streszczenie. Artykuł omawia metody pomiaru i popiołomierze oferowane aktualnie na rynku. Podaje podstawowe uwarunkowania ich optymalnych zastosowań poprzez analizę zjawisk fizycznych i metod pomiarowych stosowanych w tych urządzeniach.

A REVIEW OF RADIOMETRIC ASH-METERS, AND CONDITIONS OF THEIR INDUSTRIAL APPLICATIONS TO MEASURE ASH CONTENTS IN COAL STREAMS ON BELT CONVEYORS

Summary. The paper discusses ash-meters being currently offered in the market, and methods of their operation. Basic conditions for their optimal applications, by discussing physical phenomena and measurement methods used in the ash-meters, are presented.

1. Wstęp

Procesy technologiczne wzbogacania węgla oraz jego optymalnego użytkowania wymagają stosowania specjalistycznych urządzeń do szybkiego i ciągłego pomiaru zawartości popiołu, podstawowego parametru charakteryzującego jakość węgla. Szybkie i ciągłe popiołomierze są potrzebne w systemach automatyzacji poszczególnych procesów przerobczych, systemach załadunku węgla do wagonów oraz w systemach przygotowywania, podawania oraz spalania węgla w elektrowniach i elektrociepłowniach, jak również w systemach tworzenia mieszanek dla celów koksownictwa.

Prace badawcze nad opracowaniem popiołomierzy, prowadzone już od lat sześćdziesiątych, głównie w Wielkiej Brytanii, we Francji, Niemczech (wtedy zarówno wschodnich, jak i zachodnich), krajach byłego Związku Radzieckiego, w byłej Czechosłowacji, w Japonii, Australii, Stanach Zjednoczonych Ameryki, a także w Polsce, zaowocowały wieloma urządzeniami wykorzystującymi różne techniki i metody pomiarowe. Spośród znacznej liczby aplikacji przemysłowych dokonanych na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat przez różne firmy pochodzące głównie z wymienionych krajów - pomijając rozwiązania prototypowe oraz krótkie serie produkcyjne - do chwili obecnej stosowane są i nadal rozwijane metody pomiarowe oraz urządzenia do ich realizacji, bazujące, w odniesieniu do pomiarów zawartości popiołu, na technikach radiometrycznych. Kilka odmian stosowanych metod radiometrycznych, bazujących na oddziaływaniu promieniowania gamma z węglem oraz metoda związana z naturalną promieniotwórczością mieszaniny węgiel-skała, dają w efekcie znaczną liczbę różnych propozycji rozwiązań popiołomierzy, co w konsekwencji prowadzi do konieczności określenia ogólnych kryteriów dla właściwego doboru tych urządzeń do konkretnych warunków pomiarowych.

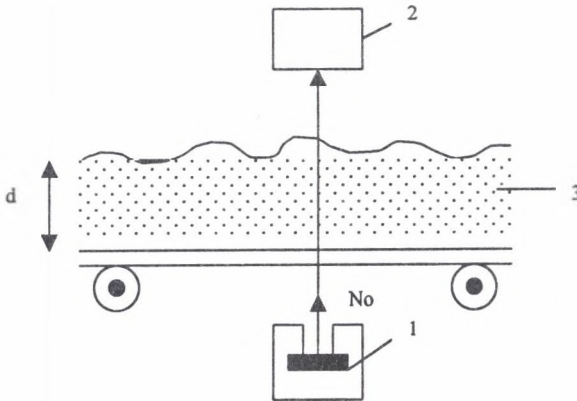
Różnorodność produkowanych popiołomierzy ma na celu umożliwienie realizacji pomiaru zawartości popiołu w dowolnych warunkach pomiarowych u różnych użytkowników, które to warunki różnią się znacznie zarówno pod względem wymiarów i struktury strugi węgla, jego granulacji, jak też i pod względem wymagań odnośnie do szybkości realizacji i minimalnego czasu pomiaru. Przy wyborze popiołomierza każdy przyszły jego użytkownik powinien uwzględniać swoje warunki pomiarowe i stosować ten popiołomierz, który będzie dla tych warunków najbardziej korzystny. Chcąc jednak dokonać właściwego wyboru popiołomierza, trzeba mieć świadomość istoty stosowanych metod pomiarowych, typów popiołomierzy i warunków, w jakich mogą one być stosowane.

W niniejszym opracowaniu podjęto próbę przybliżenia użytkownikowi metod pomiarowych i urządzeń oraz zwrócono uwagę na warunki, w jakich mogą być one stosowane. Przedstawiono najważniejsze typy produkowanych i aktualnie oferowanych popiołomierzy, omawiając zakres ich obecnego zaawansowania produkcyjnego i dotychczasowego rozpowszechnienia (na przestrzeni lat 1990-1998), opierając się na dostępnych autorom danych.

W tym opracowaniu pominięto grupę urządzeń do szybkiej kontroli parametrów jakości węgla bazujących na metodach neutronowych, a to ze względu na obecnie jeszcze bardzo wysoką ich cenę, a co za tym idzie, ich mały stopień rozpowszechnienia nie tylko w Polsce, ale i w skali europejskiej.

2. Popiołomierze bazujące na metodzie transmisji promieniowania gamma

U podstaw wszystkich odmian metody transmisyjnej leży zjawisko zróżnicowania absorpcji promieniowania gamma przez materię, a w odniesieniu do węgla przez jego część organiczną i mineralną. To zróżnicowanie pochłaniania najsilniej uwidacznia się dla tzw. „miękkiego” promieniowania, czyli promieniowania gamma o energiach kwantów z przedziału do ok. 60 keV.



Rys.1. Schemat układu pomiaru zawartości popiołu metodą transmisyjną
 1 – źródło promieniowania, 2 – detektor promieniowania, 3 – struga węgla
 Fig.1. Diagram of transmission method ash content measurement system
 1 - radiation source, 2 - radiation detector, 3 - coal stream

Ogólne równanie opisujące zjawisko pochłaniania ma postać:

$$N = N_0 \exp(-\mu\rho\Psi d)$$

gdzie:

- N - liczba zliczeń impulsów napięciowych z detektora odpowiadająca wiązce osłabionej,
- N_0 - liczba impulsów napięciowych z detektora odpowiadająca wiązce nie osłabionej w węglu,
- μ - masowy współczynnik osłabienia w węglu promieniowania γ ,
- ρ, d - gęstość węgla i grubość strugi węgla,
- Ψ - współczynnik upakowania węgla.

Współczynnik μ oraz gęstość ρ można wyrazić w postaci:

$$\mu = \frac{A(\mu_p - \mu_o) + 100\mu_o}{100}$$

$$\rho = \frac{100\rho_p\rho_o\Psi}{100\rho_p - A(\rho_p - \rho_o)}$$

gdzie:

A - zawartość popiołu w węglu,

μ_p, μ_o - masowe współczynniki osłabienia promieniowania γ w substancji mineralnej i organicznej węgla,

ρ_p, ρ_o - gęstość substancji mineralnej i organicznej węgla.

Z powyższych wzorów wynika, że osłabienie wiązki promieniowania rośnie ze wzrostem zawartości popiołu w węglu. Ten fakt stanowi podstawę każdej absorpcyjnej (transmisyjnej) metody pomiaru zawartości popiołu.

Zastosowanie w pomiarach dodatkowo promieniowania gamma o większej energii umożliwia uzyskanie dodatkowych danych pomiarowych, np. o gęstości powierzchniowej węgla objętego wiązką.

W zależności od tego, czy w pomiarach stosujemy jeden, czy dwa rodzaje promieniowania gamma, w metodzie transmisyjnej wyróżniamy metodę jedno- lub dwuenergetyczną. Metoda dwuenergetyczna może mieć odmiany spowodowane różną ilością torów (strumieni) pomiarowych, jak również odmiany związane z konkretnymi wartościami energii stosowanych w pomiarach. Metoda dwuenergetyczna może więc być jednostrumieniowa lub dwustrumieniowa. W metodzie jednostrumieniowej źródła promieniowania znajdują się we wspólnym pojemniku, a ich promieniowanie wysyłane jest wspólnym otworem kolimującym w kierunku jednego wspólnego detektora. A więc mamy tu do czynienia z jedną ścieżką pomiarową. W przypadku metody dwustrumieniowej występują dwie oddzielne ścieżki pomiarowe, a więc stosuje się dwa oddzielne źródła i detektory promieniowania. Źródła promieniowania i detektory są umieszczone po przeciwnych stronach strugi węgla na taśmie. Promieniowanie dwuenergetyczne, przenikając przez strugę węgla jedną lub dwoma ścieżkami, ulega w niej osłabieniu, a pomiar tego osłabienia pozwala określać zawartość popiołu w strudze węgla.

Mając na uwadze ilości aktualnie pracujących ciągłych popiołomierzy, można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, iż w skali ogólnoswiatowej najbardziej rozpowszechnione są popiołomierze bazujące na metodzie transmisyjnej, dwuenergetycznej, z wykorzystaniem promieniowania gamma o energiach rzędu 60 keV (ze źródła Am-241) i 660 keV (ze źródła Cs-137). Należy tu wymienić między innymi popiołomierze: **COALSCAN 3500** (australij-skiej firmy MCI), **LB 420** (niemieckiej firmy BERTHOLD) oraz **GE 1100.S** (czeskiej firmy ENELEX). Ostrożne oszacowania, bazujące na trudno dostępnych materiałach konferencyj-nych pozwalają przyjąć, iż ogólna ilość aplikacji przemysłowych (aktualnie pracujących) popiołomierzy bazujących na metodzie transmisji promieniowania gamma, w skali ogólno-światowej, może wynosić ok. 300 egz.

Do podstawowych zalet popiołomierzy opartych w swym działaniu na wymienionej me-todzie należy zaliczyć:

- brak kontaktu z materiałem transportowanym na przenośniku (nie zaburzony przepływ materiału),
- możliwość oceny zawartości popiołu w strudze węgla, posiadającej warstwową struktu-rę w przekroju pionowym,
- możliwość realizacji pomiaru już dla 50 mm warstwy węgla na przenośniku,
- możliwość pomiarów zawartości popiołu w węglu o granulacji większej niż 30 mm,
- możliwość pomiaru zapopielenia w węglu na przenośnikach rewersyjnych, o dużym stop-niu nachylenia itp.

Ograniczeniami metod stosowanych w tych rozwiązaniach są:

- mała reprezentatywność pomiaru uwarunkowana koniecznością silnego kolimowania wiązki promieniowania,
- konieczność rejestracji za pomocą jednego wspólnego detektora promieniowania o ener-giach kwantów różniących się aż o 600 keV (dotyczy to rozwiązań dwuenergetycznych, jednostrumieniowych: np. COALSCAN 3500, GE 1100.S),
- wprowadzenie opóźnień dynamicznych w przypadku stosowania dwóch odrębnych ście-żek pomiarowych (dotyczy to rozwiązań dwuenergetycznych, dwustrumieniowych: np. LB 420),
- zagrożenie promieniowaniem wysokoenergetycznym występującym w wiązce.

W polskiej firmie WILPO, w popiołomierzu pracującym w systemie kontroli jakości wę-gła **WILPO C 331**, zastosowano metodę transmisyjną, jednoenergetyczną, z wykorzystaniem promieniowania gamma o energii kwantów wynoszącej 60 keV. Eliminacja wysokiej energii promieniowania gamma spowodowała zdecydowane ograniczenie narażenia na promieniowa-

nie, co było efektem wysoce pozytywnym, wymusiła jednak konieczność realizacji dokładnego pomiaru wysokości warstwy oraz konieczność stosowania układu formowania strugi węgla, co wydatnie ograniczyło możliwości uniwersalnego stosowania tego typu rozwiązania.

Efektom zdobytych doświadczeń stało się rozwiązanie popiołomierza **WILPO C 411A**, eliminujące część ograniczeń omówionych dotąd popiołomierzy. W popiołomierzu **WILPO C 411A**, opracowanym na przełomie 1997/1998 r. i wprowadzonym do produkcji w II półroczu br., zastosowano metodę radiometryczną transmisyjną, jednostrumieniową, z wykorzystaniem promieniowania gamma o ciągłym widmie energetycznym i energii kwantów z zakresu energii niskich (60 keV) i średnich (zakres od ok. 100 do ok. 350 keV). Jest to nowość w stosunku do dotąd produkowanych popiołomierzy bazujących na metodzie transmisyjnej, dwuenergetycznej, skutkująca nie tylko ograniczeniem narażenia na promieniowanie gamma ale również poprawą warunków pracy detektora promieniowania, a co za tym idzie, poprawą dokładności pomiarowej. Potwierdzenie zakładanych parametrów i możliwości pomiarowych tego nowego typu popiołomierza nastąpi po kilku pierwszych instalacjach przemysłowych. O znacznym zainteresowaniu tym rozwiązaniem świadczy fakt przewidywanej instalacji kilku popiołomierzy **WILPO C 411A** jeszcze do końca 1998 r.

3. Popiołomierze bazujące na metodzie wstecznego rozpraszania promieniowania gamma

W tej metodzie stosuje się zewnętrzne, niskoenergetyczne źródło promieniowania gamma o energii kwantów nie przekraczającej $E=60$ keV. Źródło wraz z detektorem promieniowania gamma umieszczone są po tej samej stronie strugi węgla. Metoda polega na pomiarze ilości N kwantów gamma dochodzących do detektora po wstecznym rozproszeniu pierwotnego promieniowania gamma w strudze węgla.

W najprostszym przypadku gdy wiązka promieniowania pierwotnego pada prostopadle do powierzchni strugi, a położenia źródła i detektora pokrywają się, liczbę kwantów można wyrazić uproszczonym wzorem:

$$N = BN_o \frac{\sigma_k}{\mu_r + \mu} ,$$

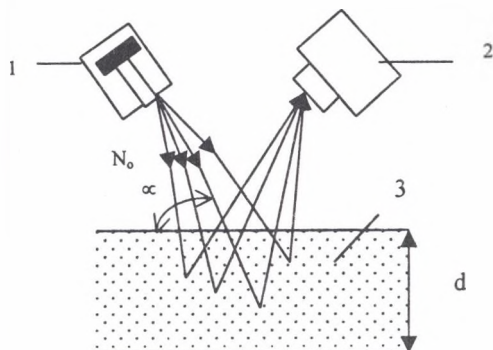
gdzie:

B - stały współczynnik,

σ_k - masowy współczynnik rozpraszania komptonowskiego,

N_0 - liczba kwantów w wiązce pierwotnej dochodząca do strugi,

μ , μ_r - masowe współczynniki osłabienia w węglu promieniowania pierwotnego i rozproszonego.



Rys.2. Uproszczony schemat pomiaru zawartości popiołu metodą wstecznego rozpraszania promieniowania gamma, gdzie: 1 - źródło promieniowania, 2 - detektor promieniowania, 3 - struga węgla

Fig.2. Simplified diagram of ash content measurement, performed with the gamma radiation reverse scattering method, where: 1 - radiation source, 2 - radiation detector, 3 - coal stream

Masowe współczynniki μ , μ_r i σ_k , zależne od zawartości popiołu, można przedstawić w postaci:

$$\mu = \frac{A(\mu_p - \mu_o) + 100\mu_o}{100}$$

$$\mu_r = \frac{A(\mu_{pr} - \mu_{or}) + 100\mu_{or}}{100}$$

$$\sigma_k = \frac{A(\sigma_p - \sigma_o) + 100\mu_o}{100}$$

gdzie:

A - zawartość popiołu w węglu,

μ_p , μ_{pr} - masowe współczynniki osłabienia w substancji mineralnej (popiele) promieniowania pierwotnego i rozproszonego,

μ_o , μ_{or} - masowe współczynniki osłabienia w substancji organicznej węgla promieniowania pierwotnego i rozproszonego,

σ_p , σ_o - masowe współczynniki rozpraszania promieniowania pierwotnego dla substancji mineralnej i organicznej węgla.

Z powyższych wzorów wynika, że ze zmianą zawartości popiołu w węglu zmienia się ilość N kwantów promieniowania gamma dochodzących do detektora. Liczba kwantów N maleje ze wzrostem zawartości popiołu w węglu rozpraszającym promieniowanie gamma. W praktycznej realizacji metody, położenia źródła i detektora nie pokrywają się, a wyrażenie opisujące liczbę kwantów dochodzących do detektora ma postać bardziej złożoną.

Przedstawione powyżej podstawy metody były bazą wyjściową dla rozwiązań popiołomierzy radiometrycznych **G-1** do **G-4** (popiołomierze nadtaśmowe) oraz **GAMBIT** (popiołomierz podtaśmowy) opracowanych i wdrożonych do stosowania przez polską firmę EMAG w latach 70 i 80. W tym okresie wdrożono do stosowania ponad 20 tego typu rozwiązań. Popiołomierze te znalazły zastosowanie głównie w górnictwie, szczególnie w tzw. układach szybkich załadunków węgla, jako urządzenia indywidualne lub też jako urządzenia stosowane, w powszechnie znanych w kraju, systemach kontroli jakości węgla, tzw. systemach **ALFA-01**, a następnie **ALFA-03**.

Można stwierdzić, iż metoda wstecznego rozpraszania promieniowania gamma, a właściwie rozwiązania stosujące tę metodę, stały się od połowy lat 70. typowo polską specjalnością. Przyczyną tego stanu rzeczy był duży poziom i nasilające się wzrostowe tendencje w zakresie wydobywania i sprzedaży węgla w tym okresie w Polsce. Towarzyszące temu inwestycje w układy szybkich załadunków węgla doprowadziły do wystąpienia warunków pomiarowych, dogodnych właśnie do stosowania urządzeń opartych na metodzie wstecznego rozpraszania promieniowania gamma.

W 1993 r. PWP „WILPO” wprowadziło na rynek nową generację popiołomierzy radiometrycznych bazujących na metodzie wstecznego rozpraszania promieniowania gamma. Rozwiązania te oznaczone symbolami **WILPO C 111A** (rozwiązania nadtaśmowe, instalowane również w systemach pomiaru parametrów jakości węgla o symbolu **WILPO C 131**) oraz **WILPO C 211** (popiołomierz podtaśmowy), były pierwszymi krajowymi rozwiązaniami popiołomierzy ciągłych, wykorzystujących rozwinięte techniki komputerowe. Techniki komputerowe zostały zastosowane również przez firmę EMAG w następnej generacji popiołomierzy pracujących w systemach **ALFA-04** i aktualnie produkowanych systemach **ALFA-05 /G** i **ALFA-05/T**.

Aktualnie, w górnictwie krajowym, w warunkach eksploatacji przemysłowej, pracuje około 50 popiołomierzy radiometrycznych różnych firm, bazujących na metodzie wstecznego rozpraszania promieniowania gamma (indywidualnie i w systemach), w tym ponad 30 rozwiązań firmy WILPO.

Do podstawowych zalet popiołomierzy opartych w swym działaniu na omawianej metodzie należy zaliczyć:

- najlepszą reprezentatywność wyników pomiarów,
- prostotę i najmniejszą złożoność oprogramowania,
- możliwość pomiaru w węglu o granulacji 0-300 mm (rozwiązania podtaśmowe),
- dużą niezawodność działania,
- relatywnie niską cenę tych urządzeń,
- najmniejsze zagrożenie stosowanym promieniowaniem jonizującym.

Mankamentami tej metody pomiarowej są:

- wymóg istnienia w miarę jednorodnej (w przekroju pionowym) struktury warstwy węgla,
- konieczność występowania wysokiej (po wyrównaniu min 100 mm) i stabilnej warstwy węgla na przenośniku,
- ograniczenie granulacji węgla do max. 40 mm (rozpraszanie „w górę”),
- konieczność stosowania elementów stykających się z węglem i dość złożonego oraz gabarytowo dużego układu zawieszenia (dla urządzeń stosujących metodę rozpraszania „w górę”).

Zawartości popiołu, zmierzone za pomocą omawianych popiołomierzy, są reprezentatywne i obciążone dosyć małym błędem, jeżeli struga węgla jest w swoim przekroju poprzecznym stosunkowo jednorodna. Reprezentatywność pomiaru i jego dokładność pogarszają się w przypadku zakłócenia jednorodności strugi, np. poprzez warstwowe nakładanie się na siebie dwóch rodzajów węgla o różnych zawartościach popiołu. Jest to spowodowane tym, że głębokość penetracji strugi węgla przez promieniowanie gamma jest ograniczona, a informacja o zawartości popiołu pochodzi głównie z przypowierzchniowej części warstwy strugi węgla od strony głowicy pomiarowej. W sytuacji takich zakłóceń strugi korzystne, z metrologicznego punktu widzenia, jest stosowanie jednocześnie dwóch rodzajów popiołomierzy; nadtaśmowego i podtaśmowego, wypracowujących wspólny wynik pomiaru. Złożoność takiego urządzenia oraz aspekty czysto finansowe spowodowały jednak brak realizacji tego typu rozwiązań.

4. Popiołomierze bazujące na pomiarze promieniotwórczości naturalnej

W węglu występują pierwiastki promieniotwórcze z rodziny uranu U i rodziny toru Th oraz promieniotwórczy izotop potasu K-40. Te pierwiastki promieniotwórcze skupiają się

głównie w substancji mineralnej węgla (w popiele), natomiast w substancji organicznej węgla występują śladowe ilości tych pierwiastków. Wymienione pierwiastki promieniotwórcze wysyłają promieniowanie "alfa", "beta" i "gamma", stanowiące ich promieniotwórczość naturalną. Między naturalną promieniotwórczością gamma węgla i zawartością w nim popiołu istnieje silny związek korelacyjny. Związek ten stanowi podstawę metody określania zawartości popiołu w węglu na podstawie wyniku pomiaru jego promieniotwórczości naturalnej gamma. Pomiar naturalnego promieniowania gamma strugi węgla jest realizowany za pomocą detektora scyntylicyjnego z kryształem Na I (Tl) lub z kryształem CsI (Tl). Wynikiem pomiaru jest na ogół częstość (prędkość) N zliczania impulsów z detektora, odpowiadająca liczbie kwantów gamma dochodzących do detektora w jednostce czasu lub natężeniu I promieniowania gamma, dochodzącego do detektora. Częstość N jest wprost proporcjonalna do natężenia I . Na podstawie wyniku pomiaru częstości zliczeń N określana jest zawartość popiołu A , przy czym do jej obliczenia wykorzystuje się równanie kalibracji, opisujące związek korelacyjny między A i N . Równanie kalibracji w najprostszej postaci jest równaniem liniowym typu:

$$A = aN + b$$

gdzie: a, b – współczynniki kierunkowe, obliczone metodą statystyki matematycznej.

Rozwiązania popiołomierzy oparte na pomiarze promieniotwórczości naturalnej znalazły dotąd zastosowanie głównie w Wielkiej Brytanii, a liczba aplikacji produkowanych przez firmę BRETBY GAMMATECH popiołomierzy NGCQM szacowana jest tam na ok. 40 urządzeń. Można z dużym prawdopodobieństwem założyć, iż jest to wynikiem określonych uwarunkowań technologiczno-pomiarowych istniejących w tym kraju, podobnie jak to działo się w Polsce z urządzeniami bazującymi na metodzie wstecznego rozpraszania promieniowania gamma

Pierwsze polskie rozwiązanie tego typu popiołomierza, pod nazwą **RODOS**, wprowadza aktualnie do produkcji katowicka firma EMAG. Wyniki eksploatacyjne kilku pierwszych instalacji przemysłowych będą, jak zwykle, decydowały o skali rozpowszechnienia tego typu urządzeń na polskim rynku węglowym.

Popiołomierze oparte na pomiarze promieniotwórczości naturalnej mają wiele niezwykle istotnych zalet, a mianowicie:

- umożliwiają ciągły pomiar zawartości popiołu w strudze węgla bez jej formowania,
- nie ma w zasadzie ograniczeń co do granulacji węgla,
- wyniki pomiarów są niezależne od składu chemicznego popiołu,

- pozwalają uzyskiwać dobre dokładności pomiaru dla węgla z określonego pokładu,
 - są bezpieczne, ponieważ nie stosuje się w nich zewnętrznego źródła promieniowania.
- Ograniczenia związane ze stosowaną metodą są następujące:
- bardzo niski poziom mierzonego sygnału (niski poziom częstości zliczeń N) powodujący konieczność dostosowania czasu pomiarowego do statystycznie wiarygodnego okresu, zależnego głównie od jakości i wielkości detektora,
 - konieczność kalibracji popiołomierza oddzielnie dla każdego pokładu węgla, ponieważ promieniotwórczość naturalna różnych pokładów może być w istotny sposób różna.

Niski poziom mierzonego sygnału powoduje, że popiołomierze oparte na pomiarze promieniotwórczości naturalnej są urządzeniami o dużej bezwładności pomiarowej (minimalny czas pomiaru wynoszący ok. 5 minut), w związku z tym problematycznym staje się ich stosowanie w układach sterowania i automatyzacji.

Dotychczasowe rozwiązania popiołomierzy, oparte na pomiarze promieniotwórczości naturalnej, nie pozwalają też na uzyskiwanie dobrych dokładności pomiaru w przypadku występowania niejednorodności strugi węgla w jej przekroju poprzecznym, np. powstającej w rezultacie warstwowego nakładania się na siebie dwóch lub kilku warstw węgla o różnych zawartościach popiołu, gdyż dla występującego tu spektrum energii kwantów, warstwa węgla leżąca bliżej detektora będzie swoistym ekranem dla promieniowania dochodzącego od warstwy dalszej. Powstaje tu efekt analogiczny jak w urządzeniach bazujących na metodzie wstecznego rozpraszania promieniowania gamma, dla których pomiar zawartości popiołu w warstwowo ułożonej strudze węgla jest albo niemożliwy, albo obarczony bardzo dużym błędem.

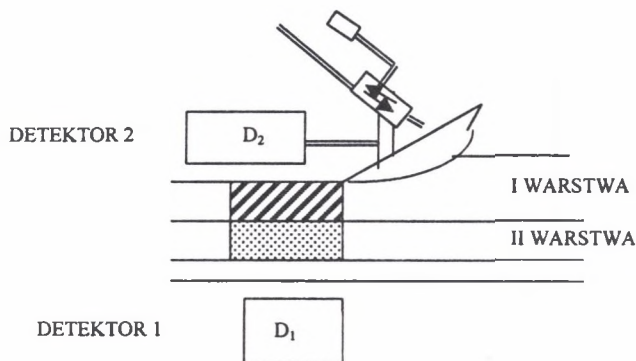
Nasuwa się tu koncepcja nowego sposobu pomiaru zawartości popiołu polegająca na zastosowaniu dwóch detektorów, każdego o tych samych wydajnościach zliczeń, zlokalizowanych po obu stronach warstwy mierzonego węgla. Koncepcję tę zobrazowano poniżej. Stosuje się dwa detektory (układy detekcji):

- pierwszy umieszczony pod taśmą,
- drugi, osadzony w układzie formowania i pomiaru grubości strugi (płozą z precyzyjnym miernikiem przesunięcia), znajdujący się nad wyrównaną warstwą węgla.

Wynikiem pomiaru jest tu sumaryczny wynik zliczeń z detektorów D_1 i D_2 .

DETEKTOR D_1 - otrzymuje informację głównie z warstwy II i częściowo z warstwy I.

DETEKTOR D_2 - otrzymuje informację głównie z warstwy I i częściowo z warstwy II.



Rys.3. Sposób pomiaru zawartości popiołu poprzez pomiar naturalnej promieniotwórczości gamma dwoma detektorami (dwoma układami detekcyjnymi)

Fig.3. Method of ash content measurement by a spontaneous gamma radioactivity measurement performed by two detectors

Odwroćenie kolejności warstw nie ma tu znaczenia, a zaproponowany sposób pozwala uniknąć wcześniej omówionej wady. Ponadto zastosowanie dwóch detektorów (układów detekcyjnych) zwiększy wielkość poziomu sygnału (wielkość poziomu częstości zliczeń), a czas pomiaru może być krótszy, czyli osiągnię się mniejszą bezwładność pomiaru.

Negatywne konsekwencje takiej koncepcji są jednak bardzo istotne:

- wprowadza się element pozostający w styku z węglem, co ponownie ogranicza możliwości zastosowań tego typu rozwiązań do granulacji rzędu 0-40 mm,
- wprowadza się znaczną komplikację rozwiązania, co musi pociągnąć za sobą wyraźny wzrost ceny urządzenia przy jednoczesnym spadku jego niezawodności.

Tabela 1

Podstawowe dane aktualnie oferowanych popiolomierzy

Urządzenie Producent / Kraj	Metoda pomiaru zaw.popiołu	Parametry warstwy węgla do- puszczalne w pomiarach	Uwagi
1	2	3	4
Popiolomierz COALSCAN 3500 MCI /Australia	metoda dwuenergetyczna transmisyjna, jednostrumieniowa z zastosowaniem promieniowania gamma o energiach kwantów $E_1=60 \text{ keV}$ i $E_2 \approx 660 \text{ keV}$	grubość warstwy: 50÷250 mm granulacja węgla: 0÷80 mm struktura warstwy węgla – dowolna	pomiar bezstykowy

cd. tabeli 1

1	2	3	4
Popiołomierz LB 420 BERTHOLD / Niemcy	metoda dwuenerge- tyczna transmisyjna, dwustrumieniowa z zastosowaniem pro- mieniowania gamma o energiach kwantów $E_1=60$ keV i $E_2 \approx$ 660 keV	grubość warstwy: 50÷250 mm granulacja węgla: 0÷80 mm struktura warstwy węgla – dowol- na	pomiar bezstykowy
Popiołomierz GE 1100.S ENELEX / Rep.Czech	metoda dwuenerge- tyczna transmisyjna, jednostrumieniowa z zastosowaniem pro- mieniowania gamma o energiach kwantów $E_1=60$ keV i $E_2 \approx$ 660 keV	grubość warstwy: 50÷250 mm granulacja węgla: 0÷80 mm struktura warstwy węgla – dowol- na	pomiar bezstykowy
System WILPO C 331 WILPO/ Polska	metoda jednoenerge- tyczna transmisyjna, z zastosowaniem pro- mieniowania gamma o energii kwantów $E_1 = 60$ keV	grubość warstwy –50÷250 mm granulacja węgla – 0÷30 mm struktura warstwy – dowolna	pomiar z zastoso- waniem płozy wy- równującej warstwę węgla i pomiarem wysokości warstwy węgla
Popiołomierz WILPO C 411A WILPO / Polska	metoda dwuenerge- tyczna transmisyjna, jednostrumieniowa, z zastosowaniem pro- mieniowania gamma o energiach kwantów $E_1=60$ keV i E_2 do \approx 300 keV	grubość warstwy: 50÷250 mm granulacja węgla: 0÷80 mm struktura warstwy węgla - dowolna	pomiar bezstykowy
Popiołomierz WILPO C 111A lub system WILPO C 131 WILPO / Polska	wsteczne rozpraszanie promieniowania gam- ma o energii kwantów $E=60$ keV	grubość warstwy – powyżej 100 mm granulacja węgla - 0÷30 mm struktura warstwy - jednorodna	pomiar z zastoso- waniem płozy wy- równującej warstwę węgla, rozpraszanie „w górę”
System ALFA 05 /G EMAG / Polska	wsteczne rozpraszanie promieniowania gam- ma o energii kwantów $E=60$ keV	grubość warstwy – powyżej 100 mm granulacja węgla -0÷30 mm struktura warstwy - jednorodna	pomiar z zastoso- waniem płozy wy- równującej warstwę węgla, rozpraszanie „w górę”
Popiołomierz WILPO C 211 WILPO / Polska	wsteczne rozpraszanie promieniowania gam- ma o energii kwantów $E=60$ keV	grubość warstwy – powyżej 80 mm granulacja węgla -0÷300 mm struktura warstwy - jednorodna	popiołomierz podta- śmowy pomiar bezstykowy, rozpraszanie „w dół” konieczna taś- ma zwykła (palna)!

cd. tabeli 1

1	2	3	4
System ALFA 05/T ===== EMAG / Polska	wsteczne rozpraszanie promieniowania gamma o energii kwantów E=60 keV	grubość warstwy – powyżej 80 mm granulacja węgla - 0÷300 mm struktura warstwy - jednorodna	popiołomierz podtaśmowy pomiar bezstykowy, rozpraszanie „w dół” konieczna taśma zwykła (palna)!
Popiołomierz NG CQM ===== BRETTY – GAMMATECH / Wielka Brytania	pomiar promieniotwórczości naturalnej	grubość warstwy – powyżej 100 mm granulacja węgla - dowolna struktura warstwy - jednorodna	pomiar bezstykowy, min.czas jednostkowego pomiaru ≈ 5 min
Popiołomierz RODOS ===== EMAG / Polska	pomiar promieniotwórczości naturalnej	grubość warstwy – powyżej 100 mm granulacja węgla - dowolna struktura warstwy - jednorodna	pomiar bezstykowy, min.czas jednostkowego pomiaru ≈ 5 min

5. Wnioski ogólne

1. Popiołomierze radiometryczne pozwalają na prowadzenie ciągłych pomiarów zawartości popiołu w strudze węgla transportowanej przenośnikiem taśmowym, a ogólna ilość ich aplikacji przemysłowych, liczona w skali światowej w setkach egzemplarzy, dobitnie wskazuje na ich niewątpliwie dużą przydatność pomiarową oraz szeroki zakres zastosowań.
2. Popiołomierze bazujące na metodzie wstecznego rozpraszania promieniowania gamma oraz metodzie opartej na pomiarze promieniotwórczości naturalnej węgla dają dobre dokładności pomiaru w przypadku, gdy struga węgla jest jednorodna w jej przekroju poprzecznym.
3. W przypadku niejednorodności strugi węgla w jej przekroju poprzecznym korzystniejsze rezultaty pomiaru uzyskuje się stosując popiołomierze oparte na metodzie transmisyjnej, a szczególnie na metodzie transmisyjnej dwuenergetycznej.
4. Popiołomierze bazujące na metodzie transmisji promieniowania gamma wydają się rozwiązaniami najbardziej uniwersalnymi, pozwalającymi na poprawną realizację ciągłego pomiaru zawartości popiołu w węglu dla największej liczby punktów pomiarowych

(możliwość zastosowań dla różnych granulacji, zmiennych wysokości warstwy węgla i dowolnej struktury warstwy węgla w jej przekroju poprzecznym).

Abstract

The paper discusses technical aspects of three groups of ash-meter structures, namely: ash-meters basing on a gamma radiation transmission method, ash-meters basing on a method of reverse scattering of gamma radiation, and ash-meters basing on measurement of spontaneous radioactivity. All the methods are discussed and conditions of their applications are presented by specifying advantages and limitations in use of particular measurement methods. Basic data of the ash-meters, as currently offered in the market, are shown in respective tables.