

Technologiczny pomiar zawartości popiołu w węglu surowym – popiołomierz RODOS-EX

Technological measurement of ash content in raw coal – ash monitor RODOS-EX



*Dr Leokadia Róg***)*



Dr inż. Artur Kozłowski



Dr inż. Marek Kryca)*



*Prof. ndzw. Bogusław Michalik***)*



Mgr inż. Jarosław Smyła)*

Treść: Z wydobyciem, przeróbką i spalaniem węgla wiąże się powstawanie dużych ilości odpadów stałych, które można zagospodarować na wiele różnych sposobów, pod warunkiem, że spełniają stosowne normy. Rozwój czystych technologii węglowych, poza spektakularnymi działaniami w zakresie CCS (sekwestracja CO₂) związany jest również z podejmowaniem działań na etapie przeróbki i wzbogacania węgla. W procesach tych bieżąca kontrola zawartości popiołu w węglu jest działaniem koniecznym, wspomagającym proces produkcji węgla o wysokiej jakości oraz pozwala na skuteczne planowanie gospodarki odpadami. Klasyczne laboratoryjne badania zawartości popiołu są czasochłonne i pracochłonne. Ponadto mają charakter losowy wynikający z konieczności pobrania próbki do badań. Chociaż dokładność analizy próbki jest wyższa od dokładności urządzeń technologicznych, metody klasyczne powinny być wspomagane metodami technologicznymi. Informacja o zawartości popiołu, uzyskana na wczesnym etapie procesu wydobywania, może być wykorzystana jako sygnał sprzężenia zwrotnego dla kombajnisty lub umożliwić wstępną segregację urobku, minimalizując koszty transportu kamienia na powierzchnię. Przedstawione w artykule urządzenie – popiołomierz RODOS-EX – umożliwia ciągły pomiar zawartości popiołu w węglu surowym, jeszcze przed przetransportowaniem go na powierzchnię. Urządzenie dostarcza informacji pozwalających na odpowiednie zorganizowanie procesu wzbogacania. Autorzy omówili różnice w budowie popiołomierza przeznaczonego do zabudowy w podziemiach kopalń względem typowych rozwiązań stosowanych w zakładach przeróbczych. Różnice wynikające z konieczności uwzględnienia znacznie trudniejszych wymagań środowiskowych, takich jak duża wilgotność, wysoka temperatura otoczenia, zagrożenie wybuchem metanu i pyłu węglowego czy zagrożenia mechaniczne, znalazły swoje odzwierciedlenie w budowie i parametrach funkcjonalnych urządzenia. Jednym z istotnych problemów związanych z pomiarami zawartości popiołu w węglu surowym jest wpływ zmian składu chemicznego na niepewność wskazań popiołomierza. Zastosowana w urządzeniu metoda pomiarowa bazująca na pomiarze naturalnego promieniowania gamma jest stosunkowo mało wrażliwa na zmiany składu chemicznego urobku.

*) Instytut Techniki Innowacyjnych EMAG, Katowice, **) Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Abstract: Mining, coal processing and coal combustion entail production of large quantities of solid waste that can be used in a number of different ways, provided that they meet the relevant standards. The development of clean coal technologies, apart from spectacular actions in the field of CCS (Carbon Capture and Storage), is also related to taking actions connected with coal processing and enrichment. In these processes the on-line control of ash content is a necessary action, that supports the process of production of high quality coal and allows for effective planning of waste management. Classical laboratory test of ash content is time consuming and laborious. Furthermore, that method has a random character due to the necessity of sampling. Although accuracy is much higher than the accuracy of any other technological devices, classical method should be supported by technological methods. Information on ash content acquired at the early stage of the extraction process can be used as a feedback signal for the cutting loaderman operator or may allow for the initial segregation of the output reducing the cost of its transport to the surface. In this paper the presented device – RODOS-EX ash-meter – allows for on-line measurement of ash-content in raw coal, before transporting it to the surface. The device provides information which allows to properly organize the coal enrichment process. The authors discussed differences between the construction of the ash meter intended for the use in underground coal mines and the ash meter designed to be used in coal processing plants. Strict environmental requirements, such as high humidity, high ambient temperature, methane and coal dust explosion hazard or mechanical threats were considered in the construction and functional parameters of the device. One of the significant problems, related to the measurement of ash content of raw coal, is the impact of changes in the chemical composition on the uncertainty in ash meter indications. The measurement method used in the device is based on the measurement of natural gamma radiation, and is relatively insensitive to changes in the chemical composition of the output.

Słowa kluczowe:

promieniotwórczość naturalna, czyste technologie węglowe, popiolomierz

Key words:

natural gamma radiation, clean coal technologies, ash-meter

1. Wprowadzenie

Niestabilna sytuacja polityczna na świecie zmusza kraje UE do podjęcia działań, których efektem ma być zmniejszenie swojej zależności energetycznej od dostaw paliw spoza struktury unijnej. Biorąc pod uwagę uwarunkowania geograficzne państw członkowskich oczywistym wydaje się opieranie znacznej części energetyki cieplnej i zawodowej na węglu. Stwarza to korzystne warunki dla rozwoju górnictwa w Polsce. Jednakże dążenie do zwiększenia niezależności energetycznej Unii Europejskiej musi iść w parze z poszanowaniem zasad ochrony środowiska. Priorytetem jest więc zarówno racjonalne i efektywne gospodarowanie złożami węgla jak i wdrażanie technologii ograniczających wpływ wykorzystania węgla w energetyce na środowisko.

2. Czyste technologie węglowe

Z wykorzystaniem węgla w energetyce, oprócz emisji CO₂, wiąże się istotny problem powstawania dużych ilości odpadów towarzyszących wydobyciu, przeróbce i spalaniu węgla. Czyste technologie to nie tylko poszukiwanie odmiennego sposobu wykorzystania energii chemicznej węgla, ale także oferowanie węgla wysokojakościowego, który, nawet przy tradycyjnym wykorzystaniu, będzie generował mniejsze obciążenie dla środowiska. W rezultacie czyste technologie węglowe są pojęciem dość szerokim, które obejmuje także jakość odpadów [1].

Czynnikami decydującym o jakości węgla, oczywiście oprócz przyczyn obiektywnych takich jak pokład, z którego pochodzi urobek, jest proces wzbogacania węgla. Wymogi ochrony środowiska obligują do produkcji węgla energetycznych o ściśle określonych parametrach, umożliwiających ich wykorzystanie w kotłach energetycznych [2,3,4]. W rezultacie wzbogacania węgla surowego powstają znaczne ilości tzw. odpadowych mas skalnych. W tablicy 1 przedstawione zostały ilości poszczególnych odpadów węglowych i innych surowców skalnych wytworzonych w Polsce, w 2007 roku [5].

Istnieje wiele różnych sposobów wykorzystania wtórnych odpadowych mas skalnych. Jednym z istotniejszych z punktu widzenia niniejszej publikacji jest wykorzystanie ich jako podsadki i materiału uszczelniającego w robotach inżynierskich. W tym przypadku ważne jest zagospodarowanie odpadów bez konieczności transportowania ich na powierzchnię, celem ograniczenia kosztów (o ile ich wykorzystanie na powierzchni nie przyniesie większych korzyści). Obecnie nie stosuje się na skalę przemysłową technologii wydzielania z urobku kamienia, bezpośrednio w podziemiach kopalń. Niemniej na świecie i w kraju podejmowano już tego typu próby [6,7]

W 2008 roku w Głównym Instytucie Górnictwa zakończony został projekt przedstawiający scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego w perspektywie do 2020 roku [8] Poruszono w nim zagadnienia dotyczące konieczności budowy węzła odkamieniania urobku surowego, dzięki czemu możliwe będzie wydzielenie i pozostawienie części odpadów kamiennych oraz przygotowanie nadawy na zakład przeróbczy. Przedstawiona propozycja jest szczególnie istotna dla przypadków, gdy parametry jakościowe odpadów nie spełniają norm przewidzianych dla konkretnego ich zastosowania [6].

3. Naturalna promieniotwórczość węgla

Węgiel występuje w złożu w postaci pokładów o budowie warstwowej. Warstwy węgla poprzierane są warstwami skał płonych o grubości od ułamków milimetra do dziesiątków centymetrów. W procesie eksploatacji pokładów skała płona nieuchronnie wchodzi w skład urobku i po spalaniu węgla wraz z rodzimą substancją mineralną węgla tworzy popiół [9]. W części mineralnej węgla, jak i skałe płonej, tworzących popiół w spalonym węglu, występują naturalne pierwiastki promieniotwórcze. Pewne nuklidy promieniotwórcze występują w środowisku w sposób naturalny i są źródłem tzw. naturalnej promieniotwórczości. Część z nich występuje pojedynczo i rozpada się bezpośrednio na nuklidy stabilne, natomiast

Tablica 1. Ilości wytwarzane i sposoby gospodarowania odpadami z wydobycia i przetwarzania węgla oraz surowców skalnych [5]**Table 1. Quantities and methods of mine waste generated during various mining processes [5]**

Grupy, podgrupy i rodzaje odpadów	Odpady wytworzone w ciągu roku				Odpady nagromadzone na składowiskach własnych, mln t
	Ogółem, mln t	Poddawane odzyskowi, %	Unieszkodliwiane, %	Magazynowane czasowo, %	
Ogółem	124,4	76,4	20,1	3,5	1735,2
Powstające przy oczyszczaniu kopalni	34,4	92,1	4,6	3,3	553,1
Z flotacyjnego wzbogacania rud metali nieżelaznych	30,7	72,9	27,1	---	585,9
Mieszanki popiołowo-żużlowe z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych	6,8	23,3	71,9	4,8	241,8
Mieszanki popiołów lotnych i odpadów stałych z wapieniowych metod odsiarczania gazów	3,9	96,2	3,7	0,1	---
Popioły lotne z węgla	4,5	98,7	0,4	0,9	18,8
Odpady z flotacyjnego wzbogacania węgla	2,3	91,3	0,2	---	44,4
Z wydobycia innych kopalni niż rudy metali	1,9	96,8	1,1	2,1	54,9
Żużle, popioły paleniskowe i pyły z kotłów	2,4	94,1	1,2	4,7	18,1

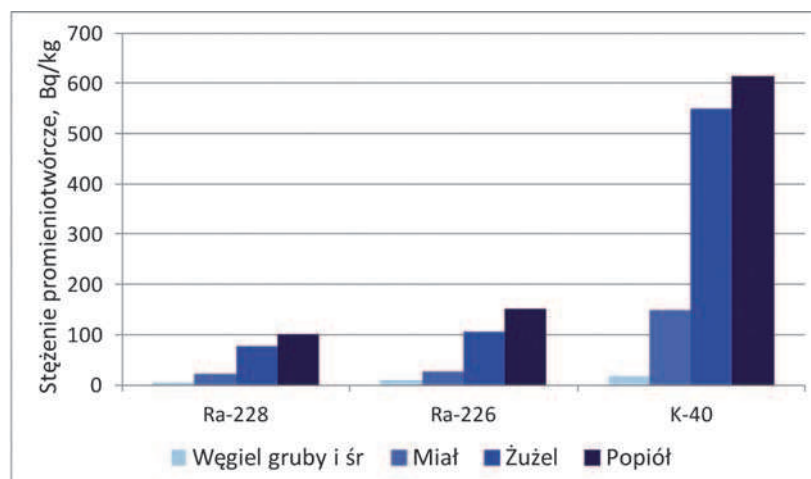
część występuje w tzw. szeregach promieniotwórczych i ulega przemianom, tworząc kolejne nuklidy promieniotwórcze. Są to powszechnie występujące uran i tor oraz występujący w środowisku samodzielnie, niewchodzący w skład żadnego szeregu promieniotwórczego - potas ^{40}K . Izotopy ^{238}U , ^{235}U oraz ^{232}Th są izotopami macierzystymi naturalnych szeregów promieniotwórczych [2]. Jak wynika z literatury oraz badań własnych, promieniotwórczość naturalna substancji mineralnej wielokrotnie przewyższa promieniotwórczość palnej substancji organicznej. Dzięki temu, na podstawie analizy widma promieniowania gamma emitowanego przez próbkę węgla, można ocenić ilość zawartego w nim popiołu. Naturalna promieniotwórczość węgla zależy także od składu chemicznego węgla (odmiany petrograficznej) [2].

Należy podkreślić, że węgiel kamienny występujący w otoczeniu człowieka nie powoduje szczególnego zagrożenia radiacyjnego. Badania prowadzone w tej dziedzinie na świecie wykazały, że zawartość naturalnych nuklidów promieniotwórczych w węglu jest przeważnie znacznie niższa niż w innych skałach występujących w skorupie ziemskiej (tablica 2) [10].

Tablica 2. Porównanie stężenia naturalnych nuklidów promieniotwórczych w węglu kamiennym i skorupie ziemskiej [10]**Table 2. Comparison of the concentration of natural radio-nuclides in coal and earth crust [10]**

	Stężenie promieniotwórcze, Bq/kg		
	226 Ra	228 Ra	40 K
Skorupa ziemska	25	25	370
Węgiel kamienny – średnia światowa	20	20	50

Naturalna promieniotwórczość węgla jest istotna w momencie, kiedy rozpatrywane jest zagadnienie odpadów powstających w trakcie jego spalania [11]. Na rysunku 1 przedstawiono różnicę stężeń promieniotwórczych poszczególnych nuklidów promieniotwórczych w węglu, miale węglowym, żużlu i popiele. Stężenie promieniotwórcze w popiele wydzielonym w procesie spalania z węgla jest kilkukrotnie wyższe niż stężenie promieniotwórcze w węglu przed spale-

**Rys. 1. Stężenie nuklidów promieniotwórczych w węglu i popiele z GZW [11]****Fig. 1. Concentration of radioactive coal and ash nuclides in GZ [11]**

niem. Wynika to z faktu, że to w części mineralnej, która nie ulega utlenieniu w procesie spalania, występuje największa koncentracja naturalnych pierwiastków promieniotwórczych. Z tego powodu, poziom naturalnej promieniotwórczości jest jednym z parametrów determinujących wykorzystanie produktów spalania węgla.

4. Pomiar zawartości popiołu

Bardzo istotnym elementem całego cyklu produkcji węgla staje się kontrola jego parametrów jakościowych i to na każdym etapie przygotowania. Parametry jakościowe węgla można podzielić na dwie zasadnicze grupy [2]:

- ogólne – do których zaliczają się: zawartość wilgoci, siarki, popiołu oraz wartość opałowa.
- technologiczne: określające właściwości węgla: zdolność spiekania, zawartość części lotnych, podatność przemiatowa, temperatura topliwości popiołu.

Naturalna promieniotwórczość może być wykorzystana do oceny parametrów z pierwszej grupy, a szczególnie, kontrolowania zawartości popiołu. Kontrola zawartości popiołu w węglu przekłada się bezpośrednio na kontrolę ilości powstających odpadów (UPS ubocznych produktów spalania)

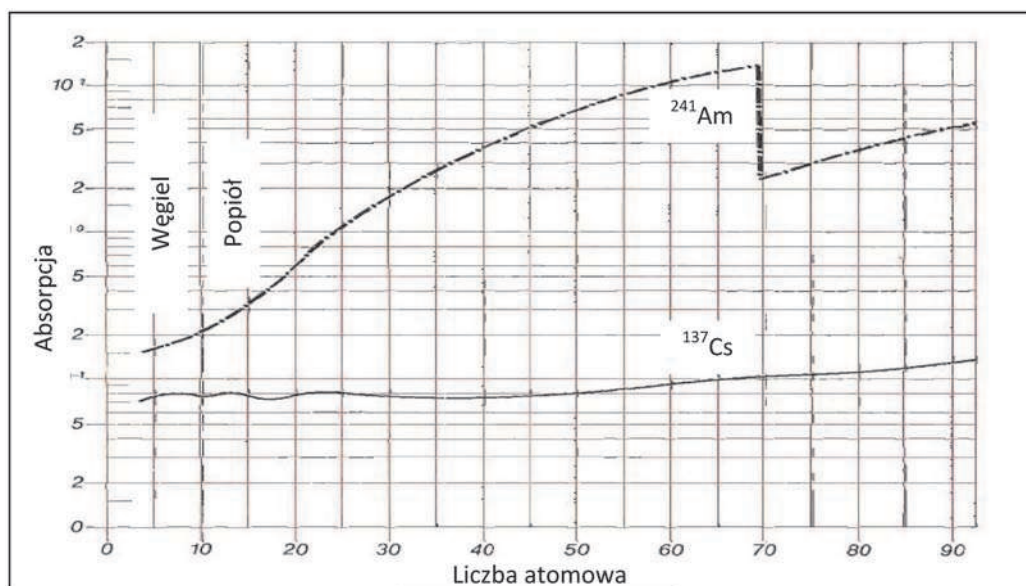
Pomiary zawartości popiołu w węglu surowym stawiają specyficzne wymagania dla przyrządów pomiarowych. Wynikają one zarówno z warunków środowiskowych w jakich docelowe urządzenie ma być stosowane, jak i uwarunkowań metrologicznych. W warunkach technologicznych, zmieniająca się w sposób trudny do przewidzenia, wielkość strugi mierzzonego materiału oraz jego skład ziarnowy, ograniczają liczbę metod pomiarowych, możliwych do zastosowania [12]. Dla zrealizowania ciągłego pomiaru zawartości popiołu wyselekcjonowane zostały dwie metody – pomiar z wykorzystaniem zewnętrznego źródła promieniowania gamma i pomiar z wykorzystaniem naturalnej promieniotwórczości gamma węgla, który został szerzej opisany, jako kierunek rozwojowy. Obydwie metody mogą być wykorzystane do budowy popiołomierza przeznaczanego do zabudowy w podziemiach kopalń. Każda z metod spełnia wymagania użytkownika, ale posiada pewne uwarunkowania ograniczające możliwości jej stosowania.

4.1. Metoda bazująca na absorpcji promieniowania gamma z zewnętrznego źródła

Najbardziej rozpowszechnioną na świecie metodą pomiaru zawartości popiołu w węglu jest metoda absorpcji promieniowania gamma o różnej energii. Jest to metoda bezkontaktowa, umożliwiająca wykonanie pomiaru bezpośrednio na przenośniku transportującym węgiel surowy [13]. Zasada pomiaru oparta jest na ocenie stopnia absorpcji promieniowania gamma, pochodzącego z zewnętrznego źródła w materiale znajdującym się w strefie pomiarowej. Ilość pochłoniętego promieniowania jest zależna od zawartości popiołu i jego składu chemicznego, i gęstości nasypowej mierzzonego materiału. Do pomiaru gęstości nasypowej stosuje się źródło zawierające Cs^{137} , emitujące promieniowanie gamma o energii 661 keV, dla którego współczynnik absorpcji jest słabo zależny od rodzaju materiału, a absorpcja zależy głównie od gęstości materiału w strefie pomiarowej. Natomiast absorpcja niskoenergetycznego promieniowania gamma (60 keV) emitowanego przez źródło zawierające Am^{241} zależy również od liczby atomowej pierwiastków wchodzących w skład mierzzonego materiału. Jednoczesny pomiar absorpcji promieniowania o takich energiach umożliwia wykrycie zmian zarówno w składzie chemicznym mierzzonego materiału, jak również jego zmian ilościowych. Zależność współczynników absorpcji promieniowania pochodzącego z obydwóch źródeł od liczby atomowej absorbenta przedstawia rys 2.

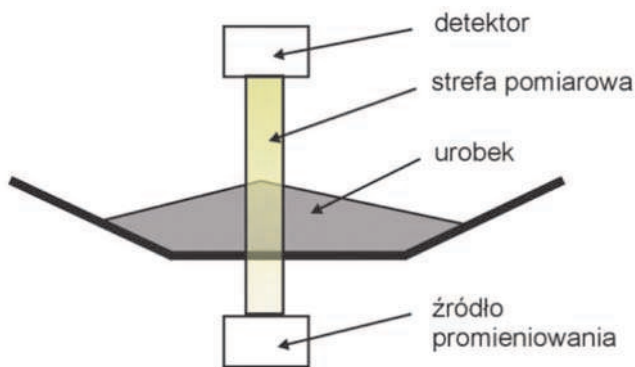
W praktyce, ze względu na zjawiska związane z rozpraszaniem promieniowania gamma, konieczne jest zastosowanie silnej kolimacji po stronie źródła promieniowania i po stronie głowicy. Rozwiązanie takie mocno zawęża strefę pomiarową – efektywna szerokość wiązki to około 10 mm (rys. 3).

W przypadku węgla surowego, charakteryzującego się dużą niejednorodnością, stanowi to duże ograniczenie tej metody. Zastosowanie izotopu Am^{241} o małej energii promieniowania wprowadza dodatkowe ograniczenie – maksymalna grubość materiału, który może być prześwietlony tym promieniowaniem to około 20 do 30 cm. Spadek natężenia rejestrowanego promieniowania w niewielkim stopniu może zostać skompensowany zwiększeniem aktywności zastosowanego źródła i ma duży wpływ na zwiększenie niepewności



Rys. 2 Zależność współczynnika absorpcji od liczby atomowej pierwiastka [15]

Fig. 2. Attenuation coefficient and atomic number ratio [15]



Rys. 3. Geometria pomiarowa popiołomierza absorpcyjnego
Fig. 3. Measurement geometry of absorption ash-meter

pomiaru. Zmiany składu pierwiastkowego substancji mineralnej przekładają się na zmiany w wartości pochłoniętego przez materiał promieniowania gamma. Oznacza to, że pomimo tego, że procentowa zawartość popiołu w urobku surowym nie uległa zmianie, to przyrząd zarejestruje zmianę natężenia promieniowania i wskaże zmianę zawartości popiołu. Doświadczenia eksploatacyjne zebrane podczas wieloletnich eksploatacji tego typu urządzeń w zakładach przerobczych kopalń wykazują, że kalibracje polegające na ustaleniu zależności korelacyjnej pomiędzy absorpcją promieniowania gamma a zawartością popiołu są unikatowe dla każdej z kopalń, a ponadto wymagają częstszych pomiarów kontrolnych i korekt współczynników kalibracyjnych. Konieczność taka wynika z szybko postępującego wydobywania i zmieniających się obszarów eksploatacji. Duży wpływ na błędy pomiarowe ma zmieniająca się zawartość m.in. piryków. W przypadku kopalń, gdzie taka zmienność występuje w ramach każdej ze ścian wydobywczych, nie ma możliwości zastosowania tego typu popiołomierza. Uzyskiwane wówczas błędy wskazań przekraczają 20% zawartości popiołu. Zastosowanie tej metody w podziemiach kopalń wiąże się z dodatkowym ryzykiem związanym z instalacją źródeł izotopowych w miejscach silnie zagrożonych wypadkami naturalnymi. Niewątpliwą zaletą

tego typu urządzeń są niewielkie gabaryty i związana z nimi łatwość instalacji.

4.2. Metoda bazująca na pomiarze naturalnej promieniotwórczości gamma

Alternatywną do powyższej metodą pomiaru zawartości popiołu, którą można wykorzystać w urządzeniach zabudowanych na przenośniku taśmociągowym, jest metoda oparta o pomiar naturalnej promieniotwórczości gamma. Zastosowana metoda pomiaru zawartości popiołu w węglu oparta jest na zależności korelacyjnej między zawartością popiołu w węglu a jego naturalną promieniotwórczością. Dla stałej masy próbek węgla, kalibracyjnych i testowych, obserwuje się korelacyjną liniową zależność między zawartością popiołu w węglu a jego naturalną promieniotwórczością gamma.

$$A = a_1 + b_1N \tag{1}$$

a dla próbek węgla o zmiennej masie zależność powyższa ma postać

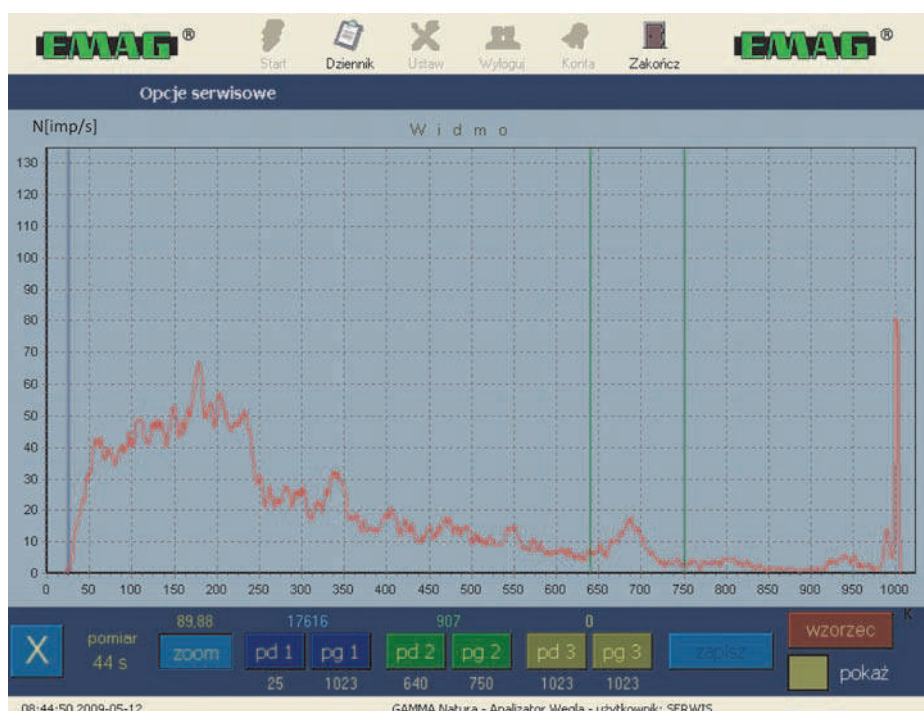
$$A = a_2 + b_2N + c_2M \tag{2}$$

gdzie:

- A – zawartość popiołu
- N – natężenie naturalnego promieniowania gamma
- M – masa mierzonej próbki węgla
- a_1, a_2, b_1, b_2, c_2 – współczynniki równań wyznaczone doświadczalnie.

Widmo energetyczne naturalnego promieniowania gamma węgla przedstawiono na rysunku 4. Jest to wykres obrazujący zależność intensywności promieniowania gamma (liczby zliczeń N[imp/s] na osi Y) od energii promieniowania, która na rysunku jest proporcjonalna do wielkości K (kanał analizatora - oś X).

Pokłady węgla kamiennego, które powstały w różnych warunkach geologicznych, różnią się składem mineralogicznym zarówno części nieorganicznej, jak i skały płonej. W związku z tym, wyróżnia się regionalne właściwości węgla kamiennego [15]. Dla każdej kopalni należy więc indywidualnie określić korelację między naturalną promieniotwórczością węgla a zawartością popiołu.



Rys. 4. Widmo naturalnego promieniowania gamma węgla
Fig. 4. Spectrum of the natural gamma radiation of coal

Stopień zróżnicowania stężenia promieniotwórczego złoża węgla kamiennego w Polsce obrazują badania przeprowadzone przez Główny Instytut Górnictwa. Do badań wykorzystano próbki węgla z siedmiu kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, w tym 12 próbek sortymentów grubych i średnich oraz 39 próbek miałów. Wyniki badań zamieszczono w tablicach 3 i 4. Należy tutaj podkreślić, że stężenie nuklidów promieniotwórczych najczęściej jest większe w miałach [2].

Tablica 3. Stężenie nuklidów promieniotwórczych w sortymentach grubych i średnich [2]

Table 3. Concentration of radionuclides in large and medium coal [2]

Zawartość	^{226}Ra Bq/kg	^{228}Ra Bq/kg	^{40}K Bq/kg
Minimalna	3	1	4
Maksymalna	19	18	53
Średnia	9	6	18

Tablica 4. Stężenie nuklidów promieniotwórczych w miałach [2]

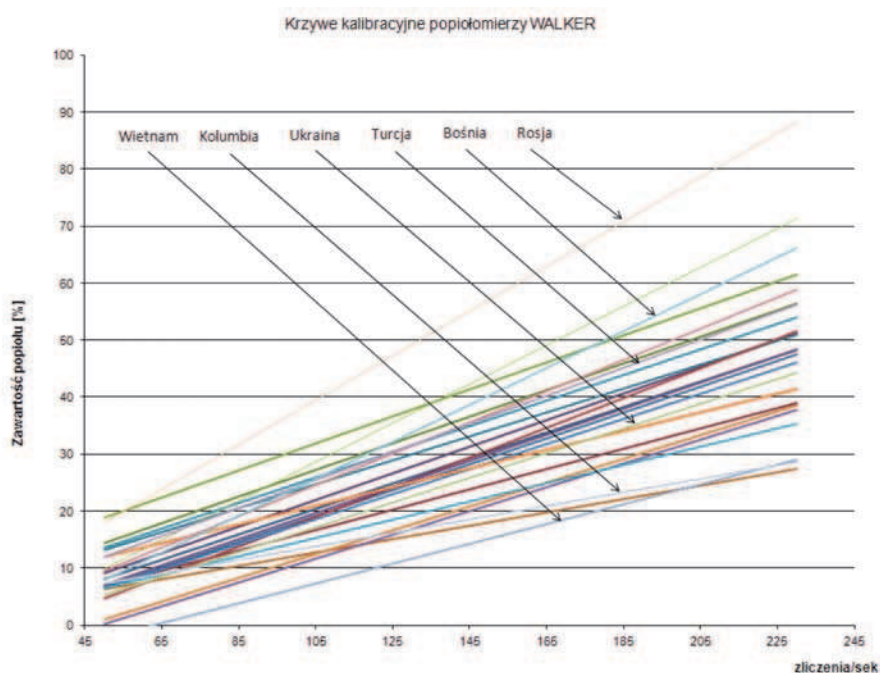
Table 4. Concentration of radionuclides in culm

Zawartość	^{226}Ra Bq/kg	^{228}Ra Bq/kg	^{40}K Bq/kg
Minimalna	5	4	10
Maksymalna	55	39	319
Średnia	26	21	150

Charakterystykę zależności zawartości popiołu w węglu od jego naturalnej promieniotwórczości obrazuje rysunek 5, gdzie zestawione zostały krzywe kalibracyjne uzyskane z kilku różnych kopalń. Dane pomiarowe zostały zebrane podczas kalibracji przenośnych popiołomierzy WALKER produkowanych przez EMAG. Popiołomierze te posiadają standaryzowany tor pomiarowy, co pozwala na porównanie ich wskazań dla różnych węgla. Rysunek 5 przedstawia zależność pomiędzy rejestrowanym natężeniem promieniowania a laboratoryjnymi oznaczeniami zawartości popiołu, w kilku wybranych kopalniach z różnych krajów.

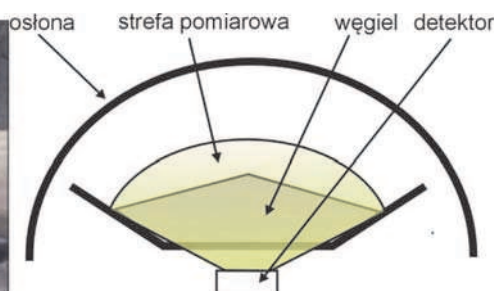
5. Analizator RODOS-EX

Metoda pomiaru naturalnego promieniowania gamma została zastosowana do pomiaru ciągłego na przenośniku, w urządzeniach o nazwie RODOS (wersja standardowa urządzenia) i RODOS-EX, czyli wersji przeznaczonej do pracy w podziemiach kopalń. Geometria pomiarowa popiołomierza została przedstawiona na rysunku 6, a schemat blokowy typowej konfiguracji urządzenia na rysunku 7. Cechą charakterystyczną jest to, że pomiarem objęty jest cały materiał na taśmociągu. Fakt ten jest następstwem niskiego poziomu promieniowania i tym samym koniecznością maksymalizacji ilości materiału w strefie pomiarowej.



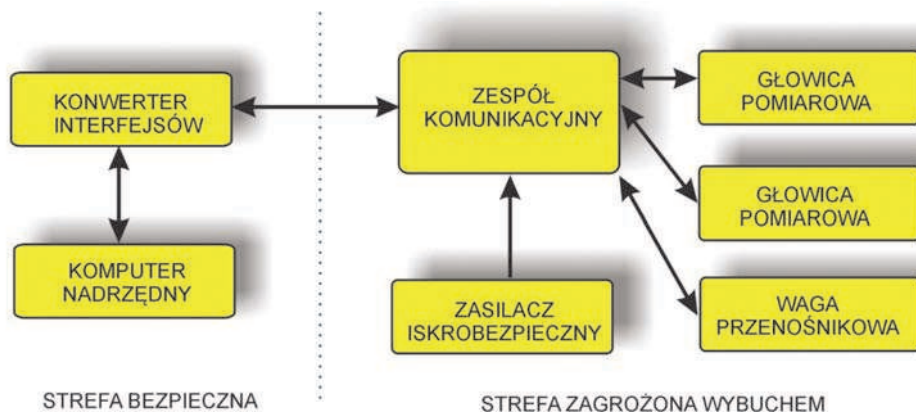
Rys. 5. Krzywe kalibracyjne przenośnego popiołomierza WALKER bazującego na pomiarze naturalnego promieniowania gamma węgla

Fig 5. Calibration curves of WALKER portable ash-meter based on the measurement of natural gamma radiation



Rys. 6. Geometria pomiarowa popiołomierza RODOS/RODOS-EX

Fig. 6. Measurement geometry of RODOS/RODOS-EX ash-meter



Rys. 7. Schemat blokowy popiołomierza RODOS/RODOS-EX
 Fig. 7. Block diagram of RODOS/RODOS-EX ash-meter

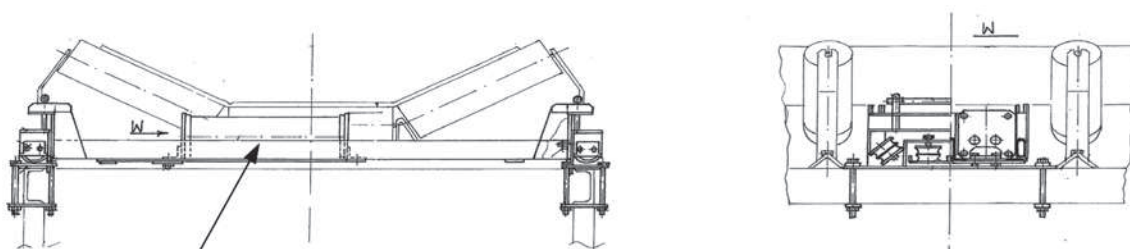
Podstawowymi jednostkami pomiarowymi urządzenia są głowice pomiarowe. Mierzą one intensywność promieniowania, którego źródłem jest materiał znajdujący się na taśmie. Głowice montowane są na przenośniku taśmowym, bezpośrednio pod górną taśmą przenośnika. Leżący na taśmie węgiel emituje promieniowanie γ , które dociera przez taśmę, do głowic pomiarowych. Do głowic dociera także promieniowanie emitowane przez otoczenie. Jest to promieniowanie, które ma duży, negatywny wpływ na dokładność pomiaru. Aby wyeliminować jego wpływ na pomiar, materiał znajdujący się na taśmie osłonięty został ekranami ołowianymi. Ogranicza to w znacznym stopniu wpływ promieniowania otoczenia na wynik pomiaru. Warstwa ołowiu spoczywa na specjalnej konstrukcji, która jest wsparta na elementach nośnych trasy przenośnika lub stoi na własnych podporach. Ze względu na zmienne natężenie przepływu węgla na taśmie, integralną częścią popiołomierza jest elektromechaniczna waga taśmociągowa. Jej zadaniem jest określenie masy węgla, znajdującego się na taśmie w strefie oddziaływania, tzn. mającej bezpośrednio wpływ na natężenie promieniowania γ rejestrowane przez głowice pomiarowe. W popiołomierzu instalowane są dwie głowice. Pozwala to zwiększyć dokładność pomiaru. Pomost wagowy wagi taśmociągowej zamontowany jest na przenośniku, w taki sposób, by transportowany materiał został najpierw zważony i następnie został przetransportowany do strefy oddziaływania na głowice. Odległość pomiędzy pomostem wagowym a głowicami nie przekracza kilkunastu metrów.

Zaprojektowanie urządzenia, jego wykonanie i dopuszczenie do eksploatacji w podziemiach kopalń wymagało dostosowania konstrukcji elektrycznej i mechanicznej do specyficznych warunków środowiskowych panujących pod ziemią. Podstawowym wymaganiem było zapewnienie przeciwwybuchowości, co przy uwzględnieniu faktu, iż głowica pomiarowa (detektor scyntylacyjny) wymaga zasilania napięciem kilkuset woltów i możliwie minimalnej osłony kryształu scyntylacyjnego ze względu na tłumienie promieniowania,

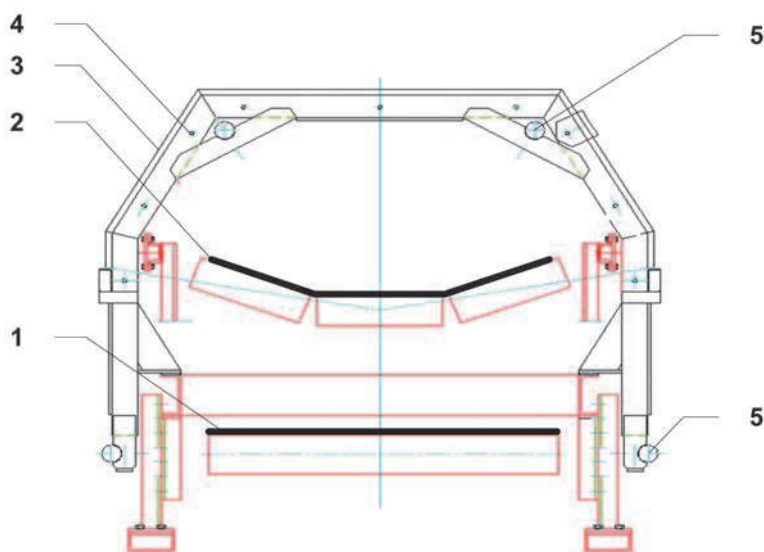
było trudnym zadaniem. Większość modułów popiołomierza została wykonana jako obwody iskrobezpieczne, a głowice pomiarowe zamknięte są w obudowach ognioszczelnych, z wyprowadzonymi iskrobezpiecznymi obwodami komunikacyjnymi. Dodatkowo i stabilne temperatury panujące w wyrobiskach kopalń pozwoliły na zrezygnowanie z układów grzania sondy scyntylacyjnej i uproszczenie algorytmów kompensacji parametrów toru pomiarowego od zmian temperatury otoczenia. Dostosowanie konstrukcji urządzenia do zagrożeń wybuchem pyłu węglowego polegało na ograniczeniu możliwej do wystąpienia temperatury na zewnętrznych elementach popiołomierza oraz zastosowaniu obudów o wymaganej odporności na wnikanie pyłu.

Popiołomierz RODOS-EX, przeznaczony do ciągłego pomiaru zawartości popiołu w węglu transportowanym przenośnikiem taśmowym, wykonany jest jako urządzenie przeciwwybuchowe i może być eksploatowany w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych ze stopniem „a”, „b” i „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz klasy A i B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego. W standardowej aplikacji instalowane są dwie „głowice pomiarowe”. Głowica jest urządzeniem grupy I, kategorii M2. Posiada budowę przeciwwybuchową ognioszczelną. Zasilana jest napięciem 24V lub 42V o częstotliwości 50Hz. Może być także zasilona napięciem stałym. Wybór napięcia zasilającego zależy od wersji wykonania.

Głowica wyposażona jest w obwód iskrobezpieczny o poziomie zabezpieczenia „ia” umożliwiający komunikację w standardzie RS485 z „zespołem komunikacyjnym” typu ZK RODOS-EX. Dane pomiarowe z głowicy przekazywane są do zespołu komunikacyjnego. Głowice umieszczone są pomiędzy taśmą górną a dolną przenośnika, na specjalnej belce – zawieszaniu głowic pomiarowych. Głowice są ułożone równolegle względem siebie i prostopadle do kierunku ruchu taśmy (rys. 8).



Rys. 8. Sposób montażu głowic pomiarowych
 Fig. 8. Installation of the measuring heads



Rys. 9. Przekrój obudowy popiołomierza RODOS i RODOS-EX.

1, 2 - taśma przenośnika, 3 - osłona ołowiana, 4 - wręga, 5 - rura usztywniająca

Fig. 9. Section of RODOS/RODOS-EX housing

1, 2 - conveyor; 3 - lead cover; 4 - frame, 5 - stiffening pipe

Nad przenośnikiem, na długości około 3m, symetrycznie względem głowic, zabudowana jest osłona głowic (rys 9). Ma ona na celu wyeliminowanie lub bardzo mocne osłabienie promieniowania γ pochodzącego od skał, w których wydrążony jest chodnik.

„Zespół komunikacyjny” popiołomierza wyposażony jest w trzy szeregowe interfejsy (niezależne układy) transmisji. Jeden tor transmisyjny przeznaczony jest do komunikacji z „głowicami pomiarowymi” i opcjonalnie z lokalnym wyświetlaczem, drugi do komunikacji z wagą taśmociągową. Oba interfejsy posiadają taką samą konstrukcję, wykonane są w standardzie RS485. Są całkowicie izolowane od pozostałych obwodów. Dla trzeciego interfejsu możliwe są dwa wykonania. Obwód transmisji modemowej wykonany w standardzie V34, wykorzystujący jedną parę skrętki teletechnicznej jako połączenie modemowe, lub łącze RS422 dwuparowe, o małym zasięgu, które umożliwia podłączenia konwertera transmisji np. na łączność światłowodową. „Zespół komunikacyjny” łączy się z jednostką nadrzędną, która znajduje się w strefie bezpiecznej na powierzchni kopalni. Modem zainstalowany w strefie bezpiecznej jest podłączony łączem RS485 z komputerem PC, na którym zainstalowane jest oprogramowanie umożliwiające gromadzenie i wizualizację danych pomiarowych oraz nadzór na pracę popiołomierza RODOS-EX. Komputer może być podłączony do sieci LAN i WLAN z zachowaniem środków bezpieczeństwa na wymaganym poziomie. Zdalny dostęp poprzez sieć WLAN umożliwia bezpośredni serwis urządzeń oraz konserwację oprogramowania.

Miejsce instalacji części obiektowej popiołomierza „RODOS-EX” powinno odpowiadać poniższym wymaganiom:

- na miejsce montażu należy wybrać odcinek przenośnika o długości 6,0 m w nachyleniu nieprzekraczającym 150 oraz wolnej przestrzeni nad przenośnikiem (licząc od górnej krawędzi taśmy przenośnika) na wysokość minimum 1,5 m,
- pomost wagowy powinien być zamontowany możliwie blisko głowic pomiarowych oraz tak, by materiał znajdujący się nad głowicami pomiarowymi był wcześniej zważony.

W tablicy 5 przedstawione zostały podstawowe parametry techniczne popiołomierza RODOS-EX.

Tablica 5. Parametry techniczne popiołomierza RODOS-EX

Table 5. Technical parameters of RODOS-EX ash-meter

Rodzaj badanego materiału	węgiel kamienny
Granulacja węgla	0-200 mm
Minimalna grubość warstwy węgla na taśmie	100 mm
Maksymalna wilgotność węgla	20%
Zakres pomiarowy A%	5-80%
Błąd pomiaru (statystyczny, bezwzględny określony wielkością 1σ)	
– dla węgla grubości 0-200 mm	2,0% A
– dla miałów węglowych	1,5% A
Rodzaj pomiaru	dynamiczny, bezstykowy, automatyczny
Czas pomiaru jednostkowy t_{jed}	5 sekund
Warunki pracy	
– temperatura otoczenia:	od +5 do +40°C
– wilgotność względna powietrza bez kondensacji:	< 95% w temp. 40°C

6. Wnioski

1. Czyste technologie węglowe obejmują szereg działań dążących do stworzenia z węgla paliwa przyjaznego dla środowiska. kompleksowo można to osiągnąć poprzez zupełnie odmienne metody wykorzystania węgla, ale również przez ograniczanie ujemnego wpływu na środowisko tradycyjnych sposobów wykorzystania energii zawartej w węglu. Przedstawiona publikacja dotyczy wybranego, ale niezwykle istotnego elementu, jakim jest bieżąca kontrola zawartości popiołu w węglu. Jest to ważny parametr, który należy stale śledzić na każdym etapie „produkcji” paliwa. Pożądane jest wczesne rozpoznawanie parametrów ogólnych samego urobku/węgla surowego.
2. Bieżąca kontrola zawartości popiołu w węglu jest działaniem wspomagającym proces produkcji wysoko-jakościowego węgla. Jest to trudne zadanie, biorąc pod uwagę właściwości węgla i jego niejednorodność. Metody

laboratoryjne nie pozwalają na szybką kontrolę jakości. Są to metody czasochłonne i pracochłonne. Biorąc pod uwagę ilość wydobywanego, czy transportowanego węgla, nasuwa się wniosek, że metody klasyczne muszą być wspomagane innymi, bardziej wydajnymi metodami kontroli jakości węgla.

3. Urządzenia technologiczne, jak opisany popiołomierz RODOS-EX, który przewidziany jest do pracy pod ziemią, stanowią istotne, a wręcz niezbędne narzędzie w całym wspomnianym procesie i cyklu.

Literatura

1. *Blaschke W.*: Czyste technologie węglowe: nowe podejście do problemu; „Przeгляд Górnicy” 2009, Nr 10.
2. *Róg L.*: Steżenie naturalnych nuklidów promieniotwórczych w węglach kamiennych o zróżnicowanym składzie petrograficznym i chemicznym; Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa nr 876; Katowice 2009.
3. *Blaschke W., Róg L., Ostaszewski A.*: Jakość produktów odpadowych wydzielonych w procesach wzbogacania energetycznego węgla kamiennego; „Przeгляд Górnicy” 2011, Nr 5.
4. *Róg L.*: Optymalizacja doboru węgla kamiennego dla poprawy sprawności kotłów energetycznych; Instal 5, 2011.
5. *Góralczyk S.*: Foresight a problematyka odpadów z górnictwa węgla kamiennego w Polsce; „Przeгляд Górnicy” 2009, Nr 10.
6. *Osoba M.*: Odkamienianie urobku surowego węgla kamiennego; „Górnictwo i Geologia” 2011, t. 6, z. 2..
7. *Jędo A.*: Osadzarka z kołem odwadniającym do wzbogacania urobku węgla kamiennego; Mechaniczna przeróbka kopalni i gospodarka odpadami w aspekcie ochrony środowiska; materiały konferencyjne. Wydawnictwo CMG KOMAG, Szczyrk 1995.
8. *Turek M. i inni*: Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego; Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 2008.
9. *Kryca M., Sikora T.*: Comparison of different methods for determination of ash content in coal; XVI International Coal Preparation Congress; USA Kentucky; 2010.
10. *Skowronek J., Wysocka M.*: Promieniotwórczość naturalna węgla GZW a ich popielność; Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej; Seria „Górnictwo” 1988, z. 172.
11. *Michalik B.*: Naturalna promieniotwórczość w węglu kamiennym i stałych produktach jego spalania; „Karbo” 2006, Nr 1.
12. *Kryca M., Sikora T., Gola M.*: Ocena pomiarów zawartości popiołu w węglu wykonanych metodami radiometrycznymi; Sympozja i konferencje, wydawnictwo Politechnika Śląska; Automatyzacja Procesów Przeróbki Kopalni, Gliwice 2008.
13. *Sikora T., Smyła J., Będkowki Z.*: Automation of technological processes in a coal preparation plant and useful systems and devices for monitoring of coal quality; AGH Journal of Mining and Geoengineering. Vol.36, No3, 2012.
14. Ash monitor system LB420- karta katalogowa firmy Berthold Technologies.
15. *Sikora T., Smyła J.*: Wykorzystanie naturalnej promieniotwórczości gamma do oceny jakości węgla; Sympozja i konferencje; Katedra Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa, 2009.