

Recenzja rozprawy doktorskiej p. Jarosława Smyły
*Optymalizacja przemysłowej metody oceny zawartości popiołu w węglu
wykorzystującej pomiar jego naturalnej promieniotwórczości*

Podstawą formalną sporządzenia recenzji jest pismo Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa z dnia 7 czerwca 2017 r. Promotorem rozprawy jest dr hab. Bogusław Michalik, prof. GIG a promotorem pomocniczym dr Leokadia Róg.

Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Celem rozprawy jest przeprowadzenie oceny wpływu wybranych czynników fizycznych na pomiar zawartości popiołu w węglu na podstawie naturalnej promieniotwórczości oraz analiza organiczeń badanej metody i możliwości ich eliminacji.

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów oraz trzech załączników. Rozdział pierwszy - *Wstęp* Autor poświęcił opisowi znaczenia pomiarów zawartości popiołu w węglu i produktach spalania. Rozdział drugi zawiera opis metod oznaczania zawartości popiołu w węglu – metody klasyczne oparte na spalaniu próbki w określonych warunkach, metody wykorzystujące zjawisko pochłaniania lub odbicia promieniowania gamma ze źródeł zewnętrznych oraz metoda, której poświęcona jest rozprawa, wykorzystująca naturalną promieniotwórczość gamma. Rozdział trzeci zawiera cel i tezy pracy. Kolejne rozdziały zawierają opis i wyniki badań własnych Autora. Rozdział czwarty poświęcony jest badaniom zależności pomiędzy zawartością popiołu w węglu a zawartością pierwiastków promieniotwórczych. W rozdziale piątym Autor przedstawił wyniki badań własnych: badań laboratoryjnych zawartości popiołu na podstawie widma promieniowania gamma węgla z wykorzystaniem liczników scyntylicyjnych z detektorami NaI(Tl) i CsI, oraz wyniki badań przemysłowych z wykorzystaniem detektora NaI(Tl). Rozdział szósty zawiera wyniki badań nad wpływem wybranych czynników na metodę oznaczenia zawartości popiołu w węglu opartą na pomiarach naturalnej promieniotwórczości oraz optymalizację parametrów metrologicznych metody. Autor określił wpływ wilgotności, uziarnienia, gęstości nasypowej a także geometrii pomiarowej i otoczenia na błąd pomiaru naturalnej promieniotwórczości gamma węgla.

Wnioski są przedstawione w rozdziale siódmym. Spis wykorzystanej literatury zawiera 91 pozycji. Praca zawarta jest na 113 stronach tekstu oraz 31 stronach załączników. Zamieszczenie wyników w oddzielnych załącznikach ułatwia czytanie pracy. Załączniki A i B zawierają wyniki archiwalne dotyczące zależności pomiędzy zawartością popiołu w węglu a zawartością pierwiastków promieniotwórczych (^{226}Ra , ^{228}Ra i ^{40}K), załącznik C wyniki badań

przemysłowych przeprowadzonych przez Autora w celu określenia naturalnej promieniotwórczości gamma węgla detektorem NaI(Tl).

Praca jest opracowana bardzo starannie, objętości kolejnych rozdziałów dobrze korelują z treścią. Zamieszczenie większości wyników w załącznikach pozwoliło Autorowi na przedstwienie treści w sposób skondensowany, na 113 stronach zawarł ogromną ilość informacji. Praca została zredagowana na bardzo wysokim poziomie edytorskim.

Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska p. Jarosława Smyły poświęcona jest badaniu stacjonarnych analizatorów węgla dla dyskretnego pomiaru zawartości popiołu z wykorzystaniem naturalnej radioaktywności węgla.

Pomiary automatyczne wspierają standardowe analizy zawartości popiołu, wykonywane w warunkach laboratoryjnych. Analizatory *on line* są szeroko rozpowszechnione w przemyśle wydobywczym węgla i energetyce. Urządzenia do automatycznych pomiarów zawartości popiołu w węglu muszą być przystosowane do pracy w trudnych warunkach, ich środowiskiem pracy jest kopalnia, zakład wzbogacania węgla lub składowiska węgla w energetyce. Czas wykonania pomiaru jest krótki, wyniki są uzyskiwane praktycznie natychmiast.

Badanie promieniotwórczości naturalnej ma znaczenie nie tylko dla węgla (jako sposób oznaczania zawartości popiołu) ale przede wszystkim dla ubocznych produktów spalania z uwagi na ich zastosowanie np. w budownictwie (gdzie wartość promieniotwórczości determinuje możliwość zastosowania).

Autor przeprowadził kompleksowe badania nad możliwością wykorzystania pomiarów promieniotwórczości naturalnej węgla do oznaczania zawartości popiołu.

W pierwszym etapie, w oparciu o dane archiwalne zgromadzone w Głównym Instytucie Górnictwa (dane dla 600 próbek węgla, pochodzących z 21 kopalń) Autor przeprowadził analizę statystyczną zależności zawartości popiołu od zawartości pierwiastków promieniotwórczych (^{226}Ra , ^{228}Ra i ^{40}K). Izotopy emitują promieniowanie w różnych zakresach widma. Ocena korelacji między ich stężeniem promieniotwórczym a zawartością popiołu w węglu pozwoliła na wybór zakresów widma promieniowania gamma energii dla których współczynnik korelacji zliczanymi impulsami zawartości popiołu są najwyższe. Opracowanie Doktoranta jest pierwszą analizą przeprowadzoną dla tak dużej ilości próbek. Autor wykazał, że istnieje silna zależność między stężeniem naturalnych pierwiastków promieniotwórczych (szczególnie ^{40}K) a zawartością popiołu. Oceny zależności dokonał na podstawie wyznaczonych wartości błędu standardowego σ i współczynnika korelacji Pearsona r .

Autor wykazał także, że dla węgla pochodzących z różnych kopalń celowe jest indywidualne wyznaczanie zależności między zawartością popiołu a stężeniem promieniotwórczym izotopów. Potwierdzeniem lokalnych właściwości węgla jest także porównanie zależności między składem chemicznym popiołu a stężeniem pierwiastków promieniotwórczych w węglu. Natomiast w przypadku próbek węgla pochodzących z tej samej kopalni zależności zawartości popiołu od stężenia promieniotwórczego wybranych izotopów, dla różnych okresów wydobycia, nie różnią się istotnie.

Drugim etapem badań były badania laboratoryjne. Autor przeprowadził analizy 26 próbek, pochodzących z pięciu kopalń. Dla każdej próbki dokonał pomiaru naturalnej promieniotwórczości na spektrometrze gamma, otrzymał widmo promieniowania gamma oraz wartości stężenia promieniotwórczego naturalnych izotopów promieniotwórczych ^{226}Ra , ^{228}Ra i ^{40}K . Wartości skorelował z oznaczoną zawartością popiołu. Pomiary naturalnej promieniotwórczości gamma węgla wykonał licznikiem scyntylicyjnym z kryształami NaI(Tl) oraz z kryształami CsI(Tl)

Prowadząc pomiary technologiczne z wykorzystaniem detektorów NaI(Tl) i CsI(Tl) Doktorant stwierdził brak różnicy w zależnościach zawartości popiołu od rodzaju detektora, w związku z tym zaproponował żeby w przypadku projektowania urządzeń do pomiarów technologicznych parametrów jakościowych węgla, poprzez pomiar naturalnej promieniotwórczości, jako kryterium doboru sond scyntylicyjnych przyjąć ich cenę i dostępność.

Kolejnym etapem badań przeprowadzonych przez Doktoranta były badania w warunkach przemysłowych z wykorzystaniem detektora NaI(Tl). Autor wykorzystał analizatory technologiczne węgla *Gamma Natura*, skonstruowane w Instytucie EMAG. Badania przeprowadził na próbkach węgla z siedmiu kopalń. Badał zależności zawartości popiołu w węgla i liczby zliczeń uzyskanej dla czterech zakresów widma promieniowania gamma. Stwierdził, że najlepsze rezultaty uzyskuje się dla zakresu charakterystycznego dla pików potasu ^{40}K .

Kolejny etap badań dotyczył optymalizacji metody pomiaru: przygotowania próbki do badań, geometrii i czasu pomiaru oraz wpływu otoczenia na pomiar naturalnej promieniotwórczości gamma węgla. Uzyskane wyniki zostały wykorzystane

do opracowania w Emagu drugiej generacji analizatora *Gamma Natura* (*Gamma Natura 2*), w którym wyeliminowano większość wad, m.in. przeprojektowana została komora pomiarowa oraz naczynie pomiarowe. Doktorant przeprowadził także na jednym z obiektów przemysłowych, we współpracy z obsługą kopalni, badania porównawcze analizatora jakości węgla radiometrycznego ze sztucznym izotopem i analizatora nie zawierającego zewnętrznego źródła promieniowania - *Gamma Natura 2*.

Podsumowanie

Doktorant przedstawił rozprawie oryginalne wyniki prac prowadzonych zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i w obiektach przemysłowych. Podczas prowadzonych na przestrzeni kilku lat badań, testów, modernizacji, wdrożeń i serwisów analizatorów węgla opartych na pomiarze naturalnej promieniotwórczości, zidentyfikował większość czynników, które negatywnie wpływają na analizowaną metodę pomiarową. Opisane zagadnienia dotyczą szczególnie urządzeń stacjonarnych przeznaczonych do pomiarów dyskretnych.

Praca ma charakter doświadczalny. Za główny wkład Doktoranta do rozwoju nauk technicznych w dyscyplinie górnictwo i geologia inżynierska uważam:

- przeprowadzenie identyfikacji czynników, które mogą negatywnie wpływać na niepewność pomiaru zawartości popiołu w węglu.
- analizę najważniejszych zagadnień dotyczących metody pomiaru,
- wybór właściwego zakresu energii widma gamma zmierzonej próbki
- wykorzystywanie do oceny zawartości popiołu analizy statystycznej szerokiego zakresu danych dotyczące zawartości popiołu i promieniotwórczości w blisko 600 próbkach węgla,
- określenie wpływ wody (całkowitej wilgoci) zawartej w węglu na wyniki pomiaru
- wykorzystanie naturalnej radioaktywności węgla w celu określenia zawartości popiołu w próbce,
- określenie wpływu wielkości ziarna na dokładność pomiaru,
- udoskonalenie rozwiązań technicznych stosowanych w analizatorze - wybór optymalnych detektorów scyntylicyjnych, wybór odpowiedniej geometrii przestrzeni pomiarowej, ocena oddziaływania promieniowania tła na wynik pomiaru.

Wyniki badań mogą zostały wykorzystane w projektowaniu nowej generacji urządzeń opartych na pomiarze naturalnej promieniotwórczości gamma - wersji GAMMA NATURA 2.

W trakcie realizacji pracy Doktorant opublikował kilka artykułów. Na VIII Międzynarodowym Konkursie i Forum "Problemy eksploatacji minerałów", który odbył się w kwietniu 2017 w Petersburgu Doktorant zdobył prestiżową nagrodę - w sekcji geologicznej uzyskał drugie miejsce referatem "Ocena zawartości popiołu w węglu przez pomiar jego naturalnej promieniotwórczości gamma". Konkurs organizowany jest przez jedną z najstarszych i najbardziej uznanych uczelni górniczych świata - rosyjski państwowy Uniwersytet Narodowych Zasobów Mineralnych (zwany tradycyjnie Uniwersytetem Górniczym) w Sankt Petersburgu. W 2017 roku rywalizowali uczestnicy z ponad 70 uczelni z 21 państw.

Autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawiania uzyskanych przez siebie wyników. Praca jest napisana jasno, materiał ilustrujący wyniki jest przygotowany bardzo starannie.

Praca stanowi kompendium wiedzy na temat wykorzystania naturalnej promieniotwórczości do oznaczania zawartości popiołu w węglu.

Analizując temat, tezy pracy, omówienie uzyskanych wyników, przedstawione wnioski i realizację założonych celów oraz przyjętego zakresu pracy uważam, że przyjęty temat pracy doktorskiej jest trafny, a rozważane w niej zagadnienia mają znaczenie zarówno teoretyczne jak i praktyczne.

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie przez Doktoranta problemu naukowego.

Rozprawa dotyczy dyscypliny naukowej *Inżynieria Środowiska*.

Rozprawa świadczy dobrze o ogólnej wiedzy Doktoranta w tej dyscyplinie.

Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa przygotowana jest bardzo starannie. Zawiera kompleksowe rozwiązanie problematyki wykorzystania promieniotwórczości naturalnej do analizowania zawartości popiołu w węglu.

Stwierdzam, że dysertacja spełnia w stopniu bardzo dobrym wymogi Ustawy z dnia 14 marca 2013r. (Dz. U. nr 65) o stopniach naukowych oraz o stopniach w zakresie sztuki - z późniejszymi zmianami i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Jednocześnie wobec bardzo wysokiego poziomu zrealizowanej pracy wnoszę o jej wyróżnienie.

Barbara Toró