

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamila Stańczyka
pt. Badanie procesu wzbogacania węgla i odzysku węgla z odpadów powęglowych w
separatorze podciśnieniowym**

Rozprawa została zrealizowana w Głównym Instytucie Górnictwa. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Marian Jacek Łączny, promotorem pomocniczym dr inż. Andrzej Bajerski. Praca została wykonana w ramach projektu międzynarodowego AMSEP *Novel dry sorter for coal processing and coal recovery from mine originating wastes* (współwzyskany w GIG).

Cel i zakres pracy

Celem recenzowanej rozprawy było opracowanie modeli matematycznych separacji powietrznej materiałów uziarnionych (węglonośnych) na podstawie badań wielkoskalowych przeprowadzonych na nowoskonstruowanym separatorze powietrznym.

Węgiel kamienny może być wzbogacany na wiele sposobów. Można wymienić wzbogacanie ręczne, grawitacyjne (np. w cieczach ciężkich, w osadarkach, we wzbogacalnikach strumieniowych) elektrostatyczne, magnetyczne, flotacyjne. Wzbogacanie w ośrodku powietrznym, któremu poświęcona jest recenzowana rozprawa, można zaliczyć do wzbogacania grawitacyjnego. Wzbogacanie węgla w separatorach powietrznych znajduje zastosowanie w przypadku deficytu wody. Podkreśla się zaletę wzbogacania urobku węglowego na sucho, jaką jest brak obiegu wodno-mułowego, a zatem eliminacja kosztów odwadniania produktów.

Proces separacji pneumatycznej jest alternatywą dla wzbogacania na mokro. Suche wzbogacanie węgla, znane jako odkamienianie (ang. deshaling) jest metodą oddzielania ziaren we wznoszącym się lub pulsującym strumieniu powietrza, bazującą na różnicy gęstości ziaren czystego węgla i ziaren zanieczyszczeń.

Autor badał również wpływ objętości ziaren, kształt ziaren oraz stopień zwilżenia a także szorstkość powierzchni ziaren.

Podjęty przez Autora temat dotyczy wzbogacania węgla i odpadów węglowych w separatorze powietrznym. Taki sposób wzbogacania nie jest powszechnie stosowany w polskich zakładach wzbogacania (w Polsce znane są dwa zastosowania powietrznego stołu koncentracijnego FGX w niedużej skali)

Na podstawie przyjętego i osiągniętego celu pracy oraz przedstawionego problemu badawczego oraz ustalonego zakresu uważam, że przyjęty temat rozprawy doktorskiej jest trafny a przedstawione przez Doktoranta rozwiązania mają znaczenie zarówno teoretyczne jak i praktyczne.

Ogólna charakterystyka recenzowanej pracy

Recenzowana praca liczy, wraz z załącznikami, 172 strony. Składa się z siedmiu rozdziałów, spisu wykorzystanej literatury oraz dwu załączników. Kolejne rozdziały zawierają wprowadzenie, cel i zakres pracy, opis stanu wiedzy, opisu badań, wyników badań i dyskusji, części modelowej oraz podsumowania i wniosków.

We wprowadzeniu Autor przedstawił uzasadnienie podjęcia tematu, związanego z metodą separacji węgla metodą pneumatyczną. Opisując stan wiedzy w zakresie dysertacji (rozdz.3) Autor koncentrował się na czterech zagadnieniach – przeróbce mechanicznej kopalin, zagadnieniach mechaniki płynów, modelowaniu numerycznym oraz określaniu błędów i niepewności pomiarów.

W rozdziale czwartym, poświęconym badaniom własnym Autor opisał stanowisko badawcze – skonstruowane w Głównym Instytucie Górnictwa na potrzeby projektu AMSEP oraz metodykę prowadzenia badań w celu optymalizacji procesu i optymalizacji rozdziału badanych materiałów. Opracowanie uzyskanych wyników Doktorant zamieścił w kolejnych rozdziałach zawierających: wyniki optymalizacji pracy urządzenia, wyniki wzbogacania metodą suchą, wyniki badania wpływ charakterystyki nadawy na proces rozdziału i analizę błędów. W rozdziale *Część modelowa* Doktorant zawarł wyniki modelowania procesu – obliczone zależności pomiędzy mierzonymi parametrami. Rozdział *Model numeryczny* zawiera wyniki modelowania numerycznego separacji powietrznej przy założeniu turbulentnego przepływu powietrza w oparciu o *Reynolds Stress Model*. Podsumowanie i wnioski zawarte są w rozdziale siódmym.

Bibliografia zawiera 116 pozycji, w tym 15 zagranicznych. Niestety spis jest przygotowany bez należytej staranności.

W załączniku A Autor przedstawił uzupełnienie wyników przedstawionych w rozdziałach 5 i 6, co zdecydowanie ułatwia czytanie zasadniczych rozdziałów, załącznik B zawiera spis nagranych przyznanych projektowi AMSEP.

Merytoryczna ocena pracy

Problem podjęty przez Doktoranta dotyczy procesu separacji węgla i materiałów węglonośnych metodą wzbogacania pneumatycznego.

Badania zostały przeprowadzone na bębnowym separatorze powietrznym.

Separator o wydajności 4-8 Mg/h został zabudowany w Głównym Instytucie Górnictwa. Rozwiązanie zostało zgłoszone do opatentowania w 2017 roku, pod numerem zgłoszenia 420190, i po tytule *Sposób sortowania materiałów ziarnowych oraz urządzenie do sortowania pneumatycznego* (w spisie literatury brakuje tej pozycji).

Zbudowany w ramach projektu AMSEP separator pneumatyczny stanowi innowacyjne rozwiązanie techniczne.

Doktorant zrealizował prace związane z optymalizacją procesu separacji w tym urządzeniu i budową modeli procesu wzbogacania powietrznego. Celem pracy było przeprowadzenie oceny możliwości i skuteczności zastosowania separatora powietrznego do wzbogacania materiałów zawierających węgiel a także możliwość odzysku węgla z odpadów znajdujących się na składowiskach.

Badania obejmowały wyznaczenie charakterystyki pracy urządzenia, przeprowadzenie eksperymentów czynnikowych dla określenia wpływu parametrów procesu i charakterystyki materiału poddawanego do urządzenia (nadawy) na wyniki separacji oraz zbudowanie modelu matematycznego i numerycznego procesu separacji pneumatycznej.

Część doświadczalna obejmuje badania na dwu rodzajach materiałów – węgla surowym i odpadach powęglowych. Plan i sposób realizacji doświadczeń jest poprawny. Autor przeprowadził eksperyment czynnikowy badając wpływ parametrów technicznych urządzenia i właściwości nadawy na efektywność wzbogacania. Wyniki eksperymentów przeprowadzonych w instalacji posłużyły Doktorantowi do opracowania modeli matematycznych wzbogacania pneumatycznego w zbudowanym urządzeniu oraz modeli numerycznych. Modelowanie matematyczne Autor oparł na równaniach ruchu ciała stałego w cieczy. Przyjął, że najistotniejszym (z punktu widzenia przewidywania wyników separacji) jest równanie toru ruchu cząsteczki, które pozwala na oszacowanie czy cząsteczka zostanie zassana do dyszy ssącej (przejdzie do koncentratu). Jako wielkości zmienne Autor przyjął gęstość cząsteczek, ich średnicę oraz kształt a także szorstkość powierzchni.

Model nazwany przez Autora modelem numerycznym jest modelem geometrycznym w którym uwzględniono geometrię urządzenia oraz założono przepływ turbulentny powietrza, dla modelowania wykorzystano model *Reynolds Stress Model*. Cząsteczki są modelowane za pomocą Discrete Phase Model. Obliczenia wykonano przy użyciu oprogramowania ANSYS FLUENT.

Jako przykładowe wyniki Autor przedstawia wyniki dla klasy ziarnowej (0 – 20mm) – wybór takiej klasy ziarnowej kłóci się z wnioskiem przedstawionym w części eksperymentalnej mówiącym, że wzbogacanie klasy 0 – 5 mm badana metodą jest nieefektywne.

Autor przedstawił szereg wniosków wynikających z przeprowadzonych badań półtechnicznych i analizy uzyskanych wyników i zbudowanych na ich podstawie modeli dotyczących optymalizacji procesowej i wpływu właściwości nadawy na produkty separacji.

Bazując na podstawie przedstawionych wyników poziom merytoryczny rozprawy oceniam pozytywnie.

Oryginalnymi osiągnięciami Doktoranta są: opracowanie metodyki badania separatora powietrznego w celu określenia optymalnych punktów pracy, zaprojektowanie eksperymentu czynnikowego w celu określenia efektywności separacji dla różnych materiałów (węgiel surowy i odpady węglowe), zbudowanie modelu numerycznego separacji powietrznej w badanym urządzeniu i dla badanych materiałów.

Autor przedstawił szereg wniosków praktycznych dotyczących wpływu właściwości nadawy (gęstość, uziarnienie, wskaźnik płaskości ziaren) na wyniki separacji, określenie wpływu sposobu podawania nadawy na efektywność procesu a także określenie jakości uzyskiwanych produktów. Wyniki zostały opracowane starannie – istotnym jest fakt, że Autor poświęcił uwagę analizie błędów.

Uwagi

W procesie separacji powietrznej ważną rolę odgrywa wilgotność nadawy – zarówno z powodu zmiany gęstości i sklejanania się materiału. Wyniki dla wzbogacania na powietrznym stole koncentracyjnym wskazują, że istnieje graniczna wartość wilgoci powyżej której nie zachodzi rozdział. Czy Autor zaobserwował takie zjawisko dla badanego separatora?

Pośród metod wzbogacania na sucho znane są metody wykorzystujące promieniowanie RTG (sortery firmy Comex z Kęt) – proszę o analizę możliwości zastosowania takiego urządzenia do wzbogacania materiałów węglowych.

Jeżeli Autor zdecyduje publikować wyniki uzyskane w pracy powinien zwrócić uwagę na edycję tekstu – brak w rozprawie spisu oznaczeń, również brak objaśnień oznaczeń literowych w tabelach i wzorach (np. tabele 1 i 2).

Zgodnie z równaniem bilansu produktów podwyższenie jakości produktów związane jest z uzyskiem czy wychodem produktów – dość zdawkowo Autor przedstawił to we wnioskach na stronie 116 (3 akapit od góry) – proszę o uszczegółowienie. Jaka jest opłacalność zastosowania separatora powietrznego dla odpadów węglowych?

Ocena końcowa

Realizując pracę doktorską Doktorant wykazał umiejętności sformułowania i rozwiązania problemu badawczego. Autor opanował metody badawcze stosowane w dyscyplinie górnictwo i geologia i potrafi się nimi prawidłowo posługiwać, posiada wiedzę teoretyczną i specjalistyczną w zakresie tej dyscypliny, wykazuje samodzielność w planowaniu i prowadzeniu badań.

W recenzowanej rozprawie Doktorant podjął istotny z teoretycznego i praktycznego punktu widzenia problem badawczy dotyczący separacji materiałów węglonośnych w sorterze pneumatycznym.

Urządzenie, na którym Doktorant przeprowadził badania, było zbudowane specjalnie dla realizacji pracy, gabaryt urządzenia pozwolił na badania w skali półtechnicznej.

Realizacja pracy pozwala na stwierdzenie, że jej Autor posiadał niezbędne kompetencje do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Wybrany przedmiot badań i podjęty w odniesieniu do niego problem badawczy, jak i osadzenie tematu w istniejącym dorobku teoretycznym i badawczym są poprawne i oryginalne. Metodologia badań empirycznych i prawidłowość interpretacji uzyskanych wyników są poprawne.

Praca jest oryginalna, przedstawione wyniki i wnioski są dobrze udokumentowane, uzasadnione i udowodnione. Autor wykazał dobrą znajomość literatury przedmiotu i sposób wykorzystania literatury.

Treść rozprawy i jej problematyka mieszczą się w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie górnictwo i geologia inżynierska, obecnie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Podsumowanie

Przedstawiona praca doktorska wnosi istotny wkład zarówno do nauki jak i praktyki przeróbki surowców mineralnych, zawiera bowiem analizę techniczno-technologiczną nowego urządzenia do wzbogacania materiałów uziarnionych metodą wzbogacania powietrznego raz z optymalizacją parametrów pracy tego urządzenia oraz opisem modelowym i jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego.

Przedstawiona praca doktorska dobrze świadczy o umiejętności Doktoranta rozwiązywania problemów naukowych.

W związku z powyższym, na podstawie przedstawionej dysertacji doktorskiej p.t. „Badanie procesu wzbogacania węgla i odzysku węgla z odpadów powęglowych w separatorze podciśnieniowym” spełniającej wymogi Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z dnia 16 kwietnia 2003 r. wraz z późniejszymi zmianami) wnioskuję o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.

Barbara Tota