

R E C E N Z J A
pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Kurusa
pt. „Model procesu produkcji węgla handlowego uwzględniający
redukcję wybranych zanieczyszczeń”

Recenzję wykonano na podstawie pisma 1381/2015/2016, z dnia 3 czerwca 2016, prof. dr hab. inż. M. Turka, Dziekana Wydziału Organizacji i Zarządzania, Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Do pisma zlecającego wykonanie recenzji dołączono pracę doktorską, o tytule jak wyżej.

1. Ocena celowości podjęcia tematu pracy

Węgiel jest jedynym surowcem energetycznym, którego Polska ma duże zasoby. Z ponad 40 miliardów ton węgla kamiennego dwie trzecie tych zasobów to węgle energetyczne, a pozostałe to węgle koksujące. Surowiec ten to najważniejszy w naszym kraju nośnik energetyczny, traktowany jako paliwo w znacznym stopniu gwarantujące bezpieczeństwo energetyczne kraju. Problem jednak w tym, że polski węgiel uznawany jest jako znacznie zanieczyszczony co powoduje, że w wyniku jego energetycznego wykorzystania do środowiska uwalniane są duże ilości zanieczyszczeń. Wśród tych zanieczyszczeń, z punktu widzenia wielkości ładunku zgromadzonemu w węglu, dominuje popiół i siarka, zaś z punktu widzenia toksyczności istotne miejsce zajmuje zawarta w węglu rtęć, w formie różnych jej związków chemicznych. Właśnie badaniom możliwości redukcji zawartości w węglu handlowym tych 3 wymienionych niepożądanych składników węgla kamiennego poświęcona jest praca doktorska mgr inż. K. Kurusa.

Spalanie węgla dla celów energetycznych jest źródłem emisji rtęci do atmosfery oraz jest kategorią procesów odpowiedzialną za emisje dwutlenku siarki – czyli głównego zanieczyszczenia odpowiedzialnego za procesy zakwaszania środowiska – wód powierzchniowych i gleb oraz związanych z tym procesów korozji. To kolejny argument pozwalający stwierdzić, że wybór tematu opiniowanej pracy, nakierowanej na analizę możliwości i efektywności procesów wzbogacania węgla, jako sposobów redukcji emisji wymienionych zanieczyszczeń podczas spalania tego paliwa, jest więc w pełni uzasadniony, cenny poznawczo i ważny od strony praktycznej. Przedmiot badań podjętych w pracy jest tym bardziej ważny, że specyfiką polskich źródeł energetycznych jest stosowanie węgla jako paliwa dominującego, a spalanie tego właśnie nośnika energetycznego jest w polskich warunkach procesem dostarczającym do środowiska największe ładunki SO_2 i rtęci.

Przedstawiając tezę i cel pracy (str.12), Doktorant stwierdza, że zamierza stworzyć model produkcji węgla umożliwiający obniżenie ładunku siarki i rtęci w procesie wydobywania i przeróbki mechanicznej oraz dokonać weryfikacji opracowanego modelu w warunkach polskich zakładów górniczych. Cel pracy jak i wszystkie wymienione wyżej fakty pozwalają stwierdzić, że zasadność wyboru przedmiotu badań podjętych w opiniowanej pracy doktorskiej nie budzi wątpliwości.

2. Zakres pracy

Merytoryczną część pracy doktorskiej mgr inż. K. Kurus rozpoczyna od podania (str.12) podstawy na jakiej opart podjęty problem badawczy i wyjaśnia co stanowiła bazę przyjętej przez niego tezy badawczej. Stwierdza mianowicie, że aby optymalnie wykorzystać istniejący w węglu potencjał minimalizacji siarki i rtęci należy dysponować kompleksowym modelem produkcji węgla, uwzględniającym możliwość redukcji zawartych w nim niepożądanych składników. I zaraz stwierdza, że dotychczas takiego modelu nie opracowano. Wyjaśnia, że stworzony przez niego model to „*oryginalna koncepcja wykorzystująca w swoim działaniu wyniki pomiarów fizykochemicznych, różne technologie wzbogacania węgla oraz standardowe metody numeryczne*”. Stworzenie takiego modelu, nakierowanego na redukcję ładunku siarki i rtęci w węglu, jak również weryfikacja tego modelu w oparciu o realia wybranego zakładu górniczego, to główny cel opiniowanej pracy.

Część ogólną pracy (rozdz.1, określony jako kwerenda literatury) Doktorant poświęca omówieniu pochodzenia różnych zanieczyszczeń w węglu. Sporo uwagi poświęca rtęci, przedstawieniu jej właściwości i wykorzystaniu, form jej występowania w przyrodzie, toksyczności oraz naturalnym i antropogennym źródłom jej emisji. Omawia zawartości tego metalu w węglach z pokładów w Polsce i zagranicą. Ważnym elementem przeglądu danych literaturowych dotyczących problematyki jego pracy jest omówienie współwystępowania różnych zanieczyszczeń w węglu kamiennym. Interesuje go zwłaszcza (rozdz. 1.2) współzależność występowania rtęci, siarki i popiołu jako składników węgla. Właśnie to zagadnienie jak i informacje nt. technologii i metod prowadzenia ruchu zakładu górniczego w celu ograniczenia zanieczyszczeń w węglu surowym (rozdz.1.4) mają ścisły związek z tematyką podjętego zagadnienia badawczego i ułatwiają zrozumienie założeń jakie Doktorant przyjął podejmując część badawczą swojej pracy. Dopelnieniem tego są również informacje, zawarte w dwu kolejnych podrozdziałach części literaturowej pracy, omawiające infrastrukturę i potencjał polskich ZG w zakresie redukcji ładunku zanieczyszczeń zawartych w węglu. Wprowadzeniem literaturowym do problematyki modelowania procesu produkcji węgla handlowego, uwzględniającego redukcję obecnych w węglu zanieczyszczeń, są informacje zawarte w rozdz.1.6, w którym autor omawia istotę mapowania i modelowania procesów technologicznych.

Część badawcza pracy to dwa obszernie rozdziały (rozdz. 2 i 3), podzielone na wiele podrozdziałów. Treść rozdziału 2 to, najogólniej, wyniki badań dotyczących możliwości ograniczenia ładunku rtęci w procesie wydobywania i przeróbki węgla kamiennego, stanowiące materiał bazowy do, najpierw, stworzenia założeń do opracowywanego modelu redukcji zawartości rtęci i siarki w węglu handlowym, a potem (rozdz.3), do budowy tego modelu i jego weryfikacji. Ponieważ oba te rozdziały, podzielone na 12 podrozdziałów, stanowią podstawową część omawianej pracy, do ich treści szczegółowo odniosę się w kolejnej części mojej recenzji.

Część badawczą pracy zamyka „Podsumowanie i wnioski” (rozdz.4). Podsumowanie efektów swoich badań autor przedstawia w formie obszernej tabeli, wydzielając w niej 3 kolumny ujmujące: poszczególne etapy swoich badań, podejmowane w tych etapach problemy badawcze i uzyskane efekty. Na końcu tego rozdziału zebranych jest 11 wniosków szczegółowych; całość zamykają „*zalecenia dla zakładu górniczego*”, gdzie zawarte są wskazania mogące być przydatne w usiłowaniach wprowadzenia w zakładach górniczych programu redukcji emisji rtęci do środowiska.

Zestawiony na końcu spis cytowanej literatury zawiera 135 pozycji; w przywołanych w pracy pozycjach literaturowych znalazłem 3 prace których doktorant jest współautorem. Opiniowaną pracę mgr inż. K. Kurus przedstawia na 126 stronach tekstu, łącznie z 8 załącznikami zawierającymi szczegółowe lecz uzupełniające wyniki badań.

3. Uzyskane wyniki i ocena merytoryczna pracy

Przedmiotem badań i analiz w części eksperymentalnej pracy było, ogólnie mówiąc, wyznaczenie danych potrzebnych do stworzenia modelu dającego możliwość wpływania na ładunek zanieczyszczeń w procesie produkcji węgla.

W tej fazie badań wykonano ilościową ocenę możliwej redukcji zawartości rtęci w węglu handlowym, uwzględniając infrastrukturę polskich kopalń węgla kamiennego (rozdz.2.1). Infrastrukturą konieczną do uwzględnienia było tu wyposażenie kopalń w urządzenia i stosowane metody przeróbki mechanicznej węgla. Zakładając pełny zakres wzbogacania węgla, średnią zawartość rtęci w węglu przetwarzanym w 36 zakładach wzbogacania oraz ilość węgla, udało się wyznaczyć ilościowy potencjał redukcji rtęci przy zastosowaniu różnych modeli wzbogacania. Wykazano, że w przypadku pełnego zakresu wzbogacania, przy reżimie dwuproduktowym, możliwe jest obniżenie ładunku rtęci z 7,16 Mg do 3,80 Mg, co dotyczy rtęci zawartej w węglu surowym wg danych o sprzedaży w roku 2013.

Dla zrealizowania celu pracy, dla Doktoranta ważną sprawą było poznanie natury procesów będących istotą redukcji zawartości siarki i rtęci podczas przeróbki mechanicznej węgla. Badania prowadził na materiale pochodzącym z ZG „Siltech” w Zabrze i z zakładów Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA. Przedmiotem badań była zależność pomiędzy zasiarzeniem, zapozieleniem oraz zawartością rtęci, sprawy migracji zanieczyszczeń w procesie wzbogacania w cieczy ciężkiej, w osadarkach oraz podczas wzbogacania flotacyjnego. Tym badaniom towarzyszyły jeszcze inne analizy, o charakterze wspomagającym, takie jak poszukiwanie współzależności zawartości rtęci i węgla całkowitego w produkcie handlowym, zawartości rtęci i wartości opałowej węgla, czy badania zmian zawartości zanieczyszczeń w procesach termicznego suszenia flotokonzentratu. Badał też zmienność zawartości rtęci w odpadach oraz w produktach po procesie uzdatniania, w zależności od stopnia zapozielenia urobku.

Wszystkie wymienione wyżej warianty badań odnoszące się do rtęci, Doktorant wykonał także w odniesieniu do siarki zawartej w węglu. Uwieńczeniem tej części badań (rozdz. 2.4) była możliwość dokonania ilościowej oceny redukcji ilości tych dwu zanieczyszczeń węgla, w poszczególnych procesach wzbogacania.

Przedstawiona powyżej część badań niewątpliwie imponuje zakresem oraz ilością uzyskanych danych. Zwłaszcza w odniesieniu do rtęci, są to dane oryginalne i jedyne, czyli dotychczas przez nikogo nie podjęte w warunkach polskich zakładów górniczych. Według mojej wiedzy, nie ma tego rodzaju wyników, o tak szerokim zakresie i szczegółowości, publikowanych w światowej literaturze fachowej. W pewnym stopniu jest paradoksem, że ta część badań, mająca charakter służebny dla zrealizowania głównego celu pracy – opracowania modelu procesu produkcji węgla nakierowanego na redukcję zanieczyszczeń – jest, moim zdaniem, naukowo najbardziej ciekawym fragmentem badawczej części omawianej pracy doktorskiej. Wartość poznawczą tej części badań znacząco podwyższa kompetentny komentarz jakim Doktorant opatruje prezentowane w pracy wyniki pomiarów.

Tworząc model produkcji, będący celem głównym pracy, Doktorant wykorzystał realia technologiczne istniejące w Ruchu „Jas-Mos” KWK „Borynia-Zofiówka-Jastrzębie”, zarówno odnośnie infrastruktury technicznej procesu przeróbczego jak i przerabianego urobku. Wybór właśnie tego zakładu Doktorant tłumaczy poprzez treść zamieszczoną na Rys. 25 – przedstawiona tam argumentacja jest wystarczająco przekonująca. Istotny i pozytywny był tu fakt, że w węglu handlowym produkowanym w tym zakładzie bardzo mała była zmienność zawartości rtęci oraz to, że węzły technologiczne przeróbki mechanicznej były znacznie rozbudowane (Tab. 19). Nasuwa się jednak następująca wątpliwość, dotycząca wyboru do analiz węgla pozyskiwanego przez tę Spółkę. Rodzajem paradoksu jest to, że Doktorant tworzył tu model dotyczący redukcji zanieczyszczeń w węglu handlowym. Tymczasem wybrał zakład, w którym, w procesie przeróbki mechanicznej, patrząc na dane w tabeli 21 a zwłaszcza dane w Tab. 22, zwiększała się zawartość siarki i rtęci w węglu handlowym w porównaniu z zawartością w

węgla surowym. Uważam, że sprawa ta powinna być skomentowana, czego jednak Doktorant nie zrobił. Zauważyłem też błąd w tytule tabeli 27 gdzie mowa jest o „zawartości rtęci”, tymczasem dane w tabeli przedstawiają zawartości siarki. Formułując te krytyczne uwagi trzeba jednak podkreślić wielką oryginalność i przydatność przedstawianych danych uzyskanych w tej części badań (rozdz. 2.7). Nie są mi znane inne tego rodzaju dane bilansowe, tak bardzo szczegółowe, charakteryzujące zawartości siarki, a zwłaszcza rtęci, na poszczególnych etapach (węzłach produkcyjnych) procesu uzyskiwania węgla handlowego.

Bardzo przydatne w zrozumieniu całości technologii w tym zakładzie jest treść Rys. 26, gdzie przedstawiono wzajemne powiązanie poszczególnych węzłów technologicznych, a na ich tle zaznaczono punkty poboru próbek do analiz. Mam jednak w tym miejscu następującą uwagę. Autor w najmniejszym stopniu nie informuje nas o metodyce poboru próbek (jedna próbka czy więcej w danym węźle?) i powtarzalności uzyskanych danych analitycznych (wynik z pojedynczej analizy czy średnia z kilku analiz – dla jednej czy kilku próbek?).

Aby stworzyć możliwie dokładny model procesów technologicznych mechanicznej przeróbki węgla Doktorant przeprowadził szczegółowe badania urobku, produktów i odpadów, w tym, charakterystykę technologiczną miału i mułu surowego oraz analizę densymetryczną dla całego zakresu uziarnienia. Na podstawie uzyskanych wyników dokonał kompleksowej analizy procesu migracji badanych zanieczyszczeń, czyli siarki, rtęci i popiołu. Bazą do skonstruowania modelu były wyznaczone w pomiarach współczynniki wzbogacalności (zał. 5 – 7, Tab. 20 i 21); zakres rozpatrywanej gęstości urobku był od 1,3 do 2,75 kg/dm³, przyjęty krok zmiany wynosił 0,01 kg/dm³, a dla potrzeb analizy zakres gęstości podzielił na 146 równych odcinków. Wyznaczając równania regresji określające zawartość zanieczyszczeń w nadawie w funkcji gęstości, w przypadku rtęci uwzględniono 3 przedziały gęstości, a w przypadku popiołu i siarki uwzględniono jeden pełny przedział.

Uzyskany model pozwolił na obliczeniowe wyznaczenie zawartości siarki, rtęci i popiołu w produktach i odpadach uzyskiwanych na etapie przerobu w płuczce cieczy ciężkiej i w osadzarce. W celu zweryfikowania modelu autor dokonał porównania danych obliczeniowych uzyskanych przy jego użyciu z danymi pomiarowymi, czyli wynikami analiz densymetrycznych. Zgodność (Tab.32) danych z modelu i danych pomiarowych jest niezwykle wysoka. Największa różnica w przypadku rtęci pomiędzy tymi wartościami wynosiła 13% (dla osadzarki) co uznać trzeba jako różnicę mało znaczącą, prawie na granicy błędu. Co więcej, różnicę tę autor uzyskał, co zaznacza na str 104, bez uwzględnienia skuteczności wzbogacenia (imperfekcji) – nie jest to dla mnie sprawa zrozumiała; nasuwa się pytanie dlaczego pominięty został ważny przecież parametr, tym bardziej, że autor, wydaje się, dysponował stosownymi wartościami?

Na szczególne podkreślenie zasługuje wyróżniająca się ilość ciekawych wątków badawczych podjętych w pracy przez Doktoranta oraz znacząca ilość uzyskanych cennych merytorycznie wyników pomiarów zawartych w części eksperymentalnej pracy. W ogarnięciu tego obszernego merytorycznego zakresu opiniowanej pracy bardzo pomocne jest tabelaryczne zestawienie uzyskanych przez Doktoranta rezultatów badań (Tab.36). Zrealizowany zakres swojej pracy autor dzieli na 5 etapów, w ramach których wydzielił 17 podjętych w pracy problemów badawczych, którym oddzielnie przypisuje uzyskane, konkretne efekty badawcze. Jako najciekawsze wydają się być badania możliwości ograniczenia ładunku rtęci w procesie wydobywania i przeróbki węgla kamiennego, które umożliwiły stworzenie trafnych założeń do budowy modelu redukcji zawartości tego zanieczyszczenia w węglu handlowym. Uzyskane rezultaty pozwoliły też sformułować zalecenia dla zakładu górniczego, istotne, bo mające wpływ na ograniczenie potencjalnej emisji rtęci do środowiska. Co warto podkreślić, Doktorant wskazał też możliwości poprawy funkcjonalności opracowanego modelu, w aspekcie produkcji węgla handlowego z obniżoną zawartością zanieczyszczeń.

Oprócz zapytań skierowanych do Doktoranta, przedstawionych powyżej, z obowiązku recenzenta pracy muszę wskazać jeszcze inne, które nasunęły mi się czytając tę pracę.

- Zaznaczyłem już wcześniej, że bardzo wartościowe poznawczo są dane dotyczące badań zależności pomiędzy zasiarczeniem, zapopieleniem oraz zawartością rtęci i badania migracji tego zanieczyszczenia w procesie wzbogacania w cieczy ciężkiej, w osadzarkach oraz podczas wzbogacania flotacyjnego, co umożliwiło ilościową ocenę redukcji zawartości rtęci w poszczególnych procesach wzbogacania (rozdz. 2.4). Prosiłbym o komentarz, na ile wyznaczone zależności mają charakter uniwersalny, czyli będą możliwe do wykorzystania w przypadku węgla kamiennych z innych zakładów.
- Co znaczy stwierdzenie użyte w Tab. 11, że istnieje „możliwość sterowania ładunkiem rtęci (poprzez) ilość produktów i ich zastosowanie”.
- Niezrozumiałe są dla mnie dane bilansowe dotyczące ładunku rtęci przedstawione w Tab.13. Jaka jest dokładność wyznaczonych wartości wskaźników redukcji rtęci skoro brak zbilansowania ładunku rtęci (nadawa = koncentrat + przerosty + odpad) wynosi dla płuczki cieczy ciężkiej, osadzarki i flotacji odpowiednio 20%, 10% i 15%?
- Tytuł Rys.26 informuje, że zaznaczone są tu „punkty pomiaru prób jakościowych”. Jest pytanie - dlaczego „prób jakościowych”, skoro dane przedstawione w dalszej części tego rozdziału wskazują, że Doktorant wykonywał analizy ilościowe – czy tak więc było istotnie?.

4. Ocena całościowa pracy i wnioski

Ocenie celowości podjęcia badań jakich dotyczy opiniowana praca poświęciłem pierwszy rozdział mojej recenzji stwierdzając, że zasadność wyboru problematyki nie budzi żadnych wątpliwości. Oprócz walorów naukowych pracy oraz wartości poznawczej uzyskanych wyników, trudny do przecenienia jest jej aspekt praktyczny, warty do wdrożenia w bieżącej działalności wielu zakładów górniczych. Dodatkowym jeszcze wzmocnieniem aktualności zagadnień podjętych w recenzowanej pracy jest fakt, że niestety pogarsza się jakość węgla handlowego w wielu kopalniach, co może stawać się coraz większym problemem w traktowaniu tego surowca w kategoriach handlowych. Zwłaszcza będzie to problemem gdy do obowiązującej praktyki wdrożone zostaną przepisy dotyczące konieczności podniesienia efektywności produkcji energii. Zwłaszcza wtedy przydatne okażą się ustalenia jakie mgr inż. K. Kurus uzyskał i przedstawił w swojej pracy, zwłaszcza w tej części, która dotyczy szeroko rozumianych spraw optymalizacji procesów produkcji czyli ważnego zagadnienia z zakresu inżynierii produkcji.

Na podkreślenie zasługuje wartość naukowa uzyskanych i przedstawionych w pracy danych. Mam tu na myśli wyniki badań zależności pomiędzy zasiarczeniem, zapopieleniem oraz zawartością rtęci, czyli dane charakteryzujące urobek oraz migrację siarki i rtęci w procesie przetwórstwa węgla surowego. Doktorant użył ich zwłaszcza dla potrzeb utworzenia modelu produkcji. Są one jednak na tyle ciekawe, że warte będą do wykorzystania w innych badaniach efektów procesu spalania węgla i wpływu powstających zanieczyszczeń stałych i gazowych na jakość różnych elementów środowiska.

Przedstawioną do oceny pracę doktorską cechuje logiczny układ merytoryczny. Stwierdzam, że uzyskane rezultaty stanowią oryginalny wkład do obecnego stanu wiedzy dotyczącej badanego problemu. Przedstawiona do oceny rozprawa dowodzi, że Doktorant opanował warsztat pracy badawczej, dysponuje wiedzą z zakresu uprawianej specjalności, a z uzyskanych wyników potrafi wyciągać poprawne wnioski.

Podjęty przez mgr inż. K. Kurusa przedmiot pracy i jej zakres dotyczył problematyki wpisującej się w problematykę czystych technologii węglowych, pozwalając umiejscowić ją w dyscyplinie naukowej inżynieria produkcji. Całość rozprawy odpowiada warunkom określonym w ustawie z 14.03.2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U.2003 nr 65, poz.595 z późn. zm.)

Uwzględniając wszystko powyższe wnoszę więc o przyjęcie opiniowanej pracy i dopuszczenie mgr inż. Krzysztofa Kurusa do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



[Handwritten signature]