

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgra inż. Łukasza Zalewskiego pt.
Badania eksperymentalne i numeryczne pierścienia dyszowego
w młynach średniobieżnych.**

Recenzja została opracowana na podstawie pisma z Biura Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej z dnia 26.01.2026 r.

1. Celowość podjęcia tematu

Przedłożona do recenzji praca dotyczy wieloaspektowych badań pierścienia dyszowego, bardzo istotnego elementu konstrukcyjnego wpływającego na pracę młynów średniobieżnych, powszechnie stosowanych w energetyce zawodowej.

Obecnie w kraju, udział energetyki opartej na węglu kamiennym jest bardzo duży. Również bardzo istotny jest ten udział w szeregu innych krajach świata, przykładowo w Chinach, USA, Indiach czy Rosji. Mimo intensywnego rozwoju energetyki odnawialnej konwencjonalne elektrownie ciepłe wykorzystujące paliwa węglowe są, obok elektrowni jądrowych oraz hydroelektrowni, mocnym elementem stabilizującym systemy elektroenergetyczne.

W energetycznych blokach węglowych dominują paleniska pyłowe z instalacjami mielenia węgla wykorzystującymi głównie młyny rolowo – misowe bądź kulowo – misowe. Widać również tendencje, aby te paleniska wykorzystywać do współspalania bądź spalania odpowiednio przygotowanej i również mielonej biomasy.

Paleniska pyłowe, przy względnie dobrych własnościach dynamicznych, mogą sprostać wymaganiom stawianym jednostkom wytwórczym centralnego dysponowania. Wymogi te przekładają się bezpośrednio na oczekiwania stawiane zespołom młynowym. Dotyczą one zarówno jakości przemiału jak i możliwości regulacyjnych młynów. Stąd młynom węglowym,

jako urządzeniom kluczowym w przygotowaniu paliwa konstruktorzy nadal poświęcają wiele uwagi. Dlatego uważam temat przedstawionej do oceny pracy doktorskiej za ważny i aktualny.

Pierścień dyszowy jako element konstrukcyjny spełnia krytyczną rolę w transporcie mieliwa w obrębie komory mielenia, separacji wtrąceń, a także powinien zapobiegać tworzeniu nagromadzeń pyłu w obrębie młyna. Dobrze zaprojektowany pierścień ogranicza również jednostkowe zużycie energii na przygotowanie pyłu. Ta wielość wymagań co do konstrukcji pierścienia przemawia również za poziomem wymagań jakie stawiane są nowym rozwiązaniom technicznym.

2. Zakres pracy, sposób jej realizacji i wyniki badań

Przedstawiona do recenzji praca doktorska składa się z 6 rozdziałów, spisu literatury, spisów rysunków, tabel oraz streszczenia. Całość jest poprzedzona spisem treści oraz spisem ważniejszych oznaczeń i skrótów.

W rozdziale pierwszym – Wprowadzeniu, Doktorant przedstawił bardzo obszerną analizę stanu badań młynów średniobieżnych. Szczegółowo omówiono kilkadziesiąt pozycji literaturowych dotyczących problemów mielenia w tego typu młynach. Podano wiele istotnych szczegółów co do metodologii badań, ich zakresu oraz osiągniętych rezultatów.

Rozdział drugi – Cel, zakres i tezy pracy, Autor jasno określa swój cel: przedstawienie konstrukcji pierścienia dyszowego o wielostronnie korzystnych cechach.

Rozdział trzeci zawiera opis zastosowanych przez Autora metod badawczych. Opisano sposób i warunki przeprowadzenia pomiarów młyna przemysłowego. Następnie opisano stanowisko badawcze – modelowe w skali młyna i przedstawiono zakres przeprowadzanych na tym stanowisku badań. Kolejną trzecią metodą badań były symulacje cyfrowe procesów zachodzących w młynie. W podrozdziale 3.3 przedstawiono model matematyczny badanego zjawiska, syntetycznie opisano zastosowaną metodykę i komercyjne oprogramowanie.

Rozdział czwarty zawiera Wyniki badań podstawowej – bazowej geometrii pierścienia dyszowego. Dla tej geometrii przedstawiono wyniki zarówno badań wykonanych na młynie przemysłowym jak i na stanowisku laboratoryjnym. Wyniki te, poprzez zastosowanie warunków podobieństwa modelowego, odniesiono do warunków rzeczywistych – przemysłowych. Do powyższych wyników badań dołączono wyniki obliczeń numerycznych.

W podrozdziale 4.3.1 przedstawiono kompleksowe wyniki obliczeń pól prędkości i ciśnień oraz przestrzennych rozkładów temperatury dla pierścienia bazowego przy różnych stopniach przysłonięcia (otwarcia) przekroju wylotowego pierścienia. W tabelach 4.30 i dalszych przedstawiono porównanie zmierzonych na obiekcie wartości ciśnień, prędkości

czynnika i jego temperatury z wielkościami modelowanymi numerycznie. Porównanie to omówiono i przedstawiono stosowne wnioski. Podano również bardzo istotne informacje, a mianowicie w jakim stopniu przysłonięcie przekroju wylotowego pierścienia dyszowego wpływa na straty ciśnienia i ich udział w sumarycznej stracie ciśnienia na poszczególnych elementach młyna.

Następnie, w podrozdziale 4.3.2, przedstawiono dalsze badania numeryczne podstawowej geometrii pierścienia dyszowego analizując wpływ innych czynników mających wpływ na pracę młyna tj. ruch bądź brak ruchu pierścienia, sposób przysłaniania wylotu pierścienia, kąt ustawienia łopatek w pierścieniu oraz kształt wlotu powietrza wentylującego młyn. Obszernie udokumentowano wyniki badań uzupełniając je gruntowną analizą uzyskanych wyników.

W rozdziale piątym przedstawiono wyniki badań zarówno na stanowisku laboratoryjnym (modelowym) jak i badań numerycznych różnych zmodyfikowanych wariantów geometrii pierścienia dyszowego. Badania laboratoryjne obejmowały pięć różnych modeli pierścienia. Przeprowadzono je na zimnym powietrzu, a wyniki przeliczono również dla warunków jakie panują w młynie przemysłowym. Dla wszystkich przypadków wyznaczono i przeliczono stratę ciśnienia na pierścieniu dyszowym.

Dla rozszerzenia i uzupełnienia badań, m.in. o analizę wpływu ruchu obrotowego pierścienia na opory aerodynamiczne, wykonano serię dalszych badań numerycznych. Łącznie zbadano jedenaście wariantów geometrii pierścienia. Część z tych wariantów dotyczyła zmian geometrii łopatek umieszczonych w pierścieniu. Wyniki tych badań przedstawiono w podrozdziale 5.2. Oprócz przestrzennych rozkładów ciśnienia statycznego, prędkości czynnika oraz jego temperatury i trajektorii ruchu pyłu, wyniki uzupełniono dla każdego wariantu tabelami zawierającymi najistotniejsze dla analizy wartości parametrów charakteryzujących przepływ czynnika przez młyn m. in. wartością współczynnika strat miejscowych przy przepływie przez pierścień. W tabelach tych uzyskane wyniki porównano z wynikami uzyskanymi dla warunków przepływowych z pierścieniem bazowym. Przedstawione wyniki badań uzupełniono ich obszerną dyskusją. Analiza dotyczyła przede wszystkim wyboru wariantu konstrukcyjnego, który przy wyraźnie zmniejszonych oporach przepływu dawałby jak najbardziej równomierny strumień powietrza wentylującego zarówno w komorze młyna jak i w innych jego elementach.

Rozdział szósty – „Wnioski” - stanowi syntetyczne, dwustronicowe podsumowanie przeprowadzonych badań i podkreślenie tych ich rezultatów, które mają największe praktyczne znaczenie.

Literatura zamieszczona w rozdziale siódmym jest obszerna (72 poz.), właściwie dobrana i wykorzystana.

3. Charakterystyka pracy

Temat recenzowanej rozprawy doktorskiej jest bardzo aktualny z punktu widzenia techniki rozdrabniania paliw i innych materiałów. Badane zagadnienia są istotne z punktu widzenia ograniczania zużycia energii na przygotowanie pyłu węglowego. Wyniki badań mogą być przydatne przy mieleniu innych paliw i ich mieszanin, a także w innych obszarach wytwarzania.

Zakres zrealizowanych badań jest bardzo obszerny. Znacznie wykracza poza zakres badań i analiz zwyczajowo przyjęty w pracach doktorskich. Już sama analiza stanu badań jest na poziomie spotykanym w przedkładanych monografiach habilitacyjnych.

Autor wykonał badania na obiekcie przemysłowym, traktując wyniki jako odniesienie do rzeczywistych warunków ruchowych. Dalsze badania realizowane były na stanowisku laboratoryjnym stanowiącym model młyna w skali oraz, w bardzo dużym zakresie, wykonane zostały badania symulacyjne – numeryczne. Całość prac została tak zebrana, by możliwe były pewne porównania wyników, zwłaszcza w odniesieniu do pomiarów, które Doktorant traktuje jako tzw. bazowe. Daje to możliwość porównania kolejnych rozwiązań oznaczonych przyporządkowanym im numerami pod względem strat ciśnienia na pierścieniu a także, na podstawie symulacji cyfrowych, stopnia równomierności przepływu czynnika transportującego przez dalsze elementy młyna. Przedstawione wyniki stanowiąc mogą podstawę wdrożenia konkretnego rozwiązania konstrukcyjnego o cechach wyraźnie korzystniejszych od innych rozwiązań.

Zaletą pracy jest wielostronność podejścia do badanego zagadnienia. Jak już wspomniano część badań była zrealizowana na stanowisku laboratoryjnym będącym całościową instalacją młynową w skali. Nieliczne instytucje badawcze czy światowe firmy dysponują takimi stanowiskami. To również podkreśla wiarygodność i wartość przeprowadzonych badań.

Praca, jak na swoją objętość, jest zredagowana dość starannie. Jest redakcyjnie ujednolicona co do prezentowanych tabel, rysunków i zestawień. Z pewnością ułatwia to jej studiowanie.. Ułatwia to również spis konsekwentnie stosowanych oznaczeń.

4. Uwagi dyskusyjne i inne

W trakcie studiowania rozprawy nasuwają się następujące pytania i uwagi:

W jaki sposób realizowany był pomiar prędkości oraz ciśnienia statycznego w młynie przemysłowym (tab. 4.5. i dalsze)? Jeśli stosowana była rurka Pitota, to jak uwzględniano wpływ ciśnienia statycznego w mierzonym ciśnieniu całkowitym. Czy i jak uwzględniano kierunek przepływu? Jakim przyrządem i z jaką niepewnością mierzono ciśnienia o wielkości pojedynczych paskali?

Jak wcześniej podkreślono, nieliczne instytucje i firmy posiadają stanowiska badawcze będące kompleksową instalacją młynową w skali laboratoryjnej. To, że Doktorant nie zbudował tej instalacji nie znaczy, że nie powinien przedstawić uzyskiwanych w niej parametrów, zakresu możliwych przy jej wykorzystaniu badań, wyposażenia aparaturowego przedmiotowej instalacji. Uważam, że jednostronicowy opis tego stanowiska wraz z metodyką badań to zbyt mało.

Uważam także, że Doktorant powinien przedstawić sposób postępowania przy sprowadzaniu wyników uzyskanych na stanowisku laboratoryjnym do warunków przemysłowych.

Przedstawiony na stronach 27 i 28 model matematyczny przepływu czynnika dwufazowego gaz – ciało stałe w instalacji młynowej jest niekompletny. Brak jest równań ruchu i ciągłości fazy gazowej. Brak jest warunków brzegowych zarówno na ścianach ruchomych jak i nieruchomych, a także na wlocie i wylocie z instalacji. Jeśli zagadnienie traktowane jest jako niestacjonarne (niestacjonarna jest postać równań modelu turbulencji) to musi być sformułowany warunek początkowy. Taki warunek może być przybliżeniem początkowym jeśli rozpatruje się zagadnienie w postaci stacjonarnej (równania ruchu z tzw. lepkością turbulentną, model turbulencji, równanie ciągłości oraz warunki brzegowe) i je rozwiązuje iteracyjnie metodą kolejnych przybliżeń. Zdaję sobie sprawę, że Doktorant korzysta (nie on jeden) z komercyjnego programu symulacyjnego. Lecz program wymaga poprawnego matematycznego sformułowania zagadnienia. To wymaga uzupełnienia.

Doktorant starannie oznaczył poszczególne badane rozwiązania konstrukcyjne oraz rozwiązanie bazowe. W poszczególnych tabelach i zestawieniach trzymał się tych oznaczeń konsekwentnie co ułatwia porównywanie poszczególnych rozwiązań. Tylko, że o informacje o samych rozwiązaniach konstrukcyjnych jak również rozwiązaniu bazowym są maksymalnie ograniczone. Powoduje to, że brak jest możliwości spojrzenia na fizyczne aspekty proponowanych zmian i stopień wpływu tych zmian na, przykładowo, współczynnik oporów miejscowych czy stopień wyrównania profilu prędkości powietrza w komorze mielenia. Zdaję sobie sprawę, że wyniki prac mogą być uwarunkowane klauzulami poufności. Natomiast przedstawiona i oceniana jest rozprawa naukowa. Warunkiem rzetelności przedstawionych

wyników eksperymentu jest podanie wszystkich warunków, które pozwalają ten eksperyment odtworzyć. Dlatego, uważam, dla potrzeb obrony pracy doktorskiej, powinno zostać przygotowane zestawienie charakteryzujące poszczególne koncepcje konstrukcyjne oraz wyjaśniony tok postępowania.

5. Ocena pracy

Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne i dyskusyjne nie wpływają znacząco na moją ocenę pracy doktorskiej Pana Łukasza Zalewskiego. Jego rozprawę doktorską uważam za bardzo dobrą. Za taką oceną przemawia zakres przeprowadzonych badań, znacznie przekraczający zwyczajowe wymagania, wykorzystany warsztat badawczy oraz poziom opracowania i dyskusji uzyskanych wyników. Na uwagę zasługują również walory aplikacyjne uzyskanych wyników badań. Podkreślam, że noszą one znamiona oryginalności naukowej.

Praca dotyczy badań wpływu cech konstrukcyjnych na własności eksploatacyjne młyna stosowanego w energetyce i mieści się w dyscyplinie naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

6. Konkluzja

Pracę doktorską Pana Łukasza Zalewskiego jednoznacznie oceniam pozytywnie. Uważam, że przedmiotowa praca doktorska w pełni zasługuje na jej dopuszczenie do publicznej obrony. Przemawia za tym istotny naukowy wkład pracy Autora, oryginalność uzyskanych wyników, a także praktyczne ich znaczenie.

Uważam, że Pan Łukasz Zalewski wykazał się umiejętnością planowania i realizacji badań.

Stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska Pana Łukasza Zalewskiego spełnia wymogi ustawowe stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Podpisał Janusz Pospolita