

dr hab. inż. Zbigniew Stępień, prof. INiG-PIB

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Oceny Właściwości Eksploatacyjnych
ul. Łukasiewicza 1, 31–429 Kraków

Kraków, dnia 17 sierpnia 2022 r.

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Lesiaka

pt.: „**Nowe rozwiązanie układu wylotowego silników spalinowych maszyn
górnictwa przeznaczonych do prac w strefie zagrożonej wybuchem**”

Podstawa opracowania: Uchwała Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki
Krakowskiej z dnia 15 czerwca 2022 r.

1. Informacje o pracy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska została opracowana na Wydziale Mechanicznym (Katedra Pojazdów Samochodowych) Politechniki Krakowskiej pod kierunkiem Pana prof. dr hab. inż. Marka Brzeżańskiego. Rolę promotora pomocniczego pełnił Pan dr hab. inż. Dariusz Prostański, prof. ITG KOMAG.

Praca doktorska została napisana na 110 stronach formatu A4, przy czym zasadniczy tekst pracy został przedstawiony na 102 stronach. Całość pracy obejmuje: wykaz skrótów i oznaczeń, osiem zasadniczych rozdziałów pracy doktorskiej, podsumowanie i wnioski końcowe, propozycje dalszych badań, wykaz literatury, spis rysunków, spis tabel oraz streszczenie przygotowane w języku polskim i angielskim.

W pracy zamieszczono łącznie:

- 53 podpisane i ponumerowane rysunki,
- 20 podpisane i ponumerowane tabele.

Przy redakcji merytorycznej pracy doktorskiej skorzystano z literatury obejmującej 79 pozycji, ściśle związanej z tematyką dysertacji doktorskiej, w tym:

- 3 pozycje literatury będące dyrektywami,
- 5 pozycje literatury będące karatami charakterystyki produktów
- 6 pozycje literatury będące normami PN-EN
- 4 pozycje literatury będące rozporządzeniami

2. Kryteria doboru tematu pracy

Tematyka pracy doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa Lesiaka dotyczy opracowania koncepcji nowego systemu wylotowego silników spalinowych, stosowanych w maszynach górniczych przeznaczonych do prac w strefie zagrożonej wybuchem, który będzie

bezpieczniejszy i łatwiejszy w eksploatacji. Ponadto, wymiary i masa całego systemu będą mniejsze w porównaniu do istniejących rozwiązań.

Rosnąca świadomość społeczeństw nie tylko w obszarze szeroko pojmowanej ekologii, ale także w zakresie zagrożenia dla zdrowia i życia ludzkiego spowodowanego coraz większym zanieczyszczeniem otaczającego środowiska wymusza różnego rodzaju działania i zmiany także na pracodawcach.

Podobnie jak w przypadku innych zastosowań tłokowych silników spalinowych, również w zakładach górniczych napędy spalinowe maszyn pracujących także pod ziemią, w strefie zagrożonej wybuchem, stanowią istotny element warunkujący ich codzienne funkcjonowanie. W takich zastosowaniach oczyszczanie spalin z silników spalinowych nabiera szczególnego znaczenia jako, że w środowisku podziemnych wyrobisk górniczych występują ograniczone możliwości przewietrzania, a zatem usuwania zanieczyszczonego powietrza. Równie istotnym problemem są niekorzystne warunki mikroklimatu wyrobisk górniczych związane z wysoką temperaturą i wilgotnością powietrza zawierającą się w przedziale 70% - 100%. Ta wysoka temperatura i wilgotność powietrza wpływa nie tylko w sposób bezpośredni na wydajność pracy górników, ale także, ze względu na obowiązujące przepisy, przekłada się na skrócenie czasu ich pracy. Obecnie stosowane rozwiązania układów wylotowych napędów spalinowych, a w szczególności systemy ich chłodzenia, często w znaczący sposób przyczyniają się do zwiększania wilgotności powietrza poprzez odparowanie czynnika chłodzącego (wody) do atmosfery kopalnianej. Ponadto systemy chłodzenia układów wylotowych napędów spalinowych mają duże gabaryty oraz masę i wymagają bieżącej obsługi, związanej z uzupełnianiem czynnika chłodzącego. Jakkolwiek rozwój tych systemów chłodzenia jest utrudniony, ponieważ na rynku występuje niewielkie zapotrzebowanie na napędy spalinowe przeznaczone do pracy w górnictwie, pod ziemią w strefach zagrożonych wybuchem. Powoduje to brak zainteresowania i wsparcia producentów silników spalinowych w zakresie ich dostosowania do warunków pracy w powyżej opisanych warunkach.

Biorąc powyższe pod uwagę, Autor pracy podjął trudne wyzwanie opracowania koncepcji nowego układu wylotowego silników spalinowych, stosowanych w maszynach górniczych przeznaczonych do prac w strefie zagrożonej wybuchem, który będzie mniejszy, lżejszy, bezpieczniejszy i łatwiejszy w eksploatacji.

Ponadto, wychodząc naprzeciw obecnym potrzeb, Autor opracował też nowoczesne, obliczeniowe narzędzie inżynierskie, wykorzystujące uproszczony model matematyczny, które może wspomagać projektowanie i służyć do doboru konfiguracji systemów wylotowych silników spalinowych zarówno w górniczych spalinowych układach napędowych, jak również we wszelkiego typu systemach przemysłowych, podlegających szczegółowym przepisom dotyczącym temperatury oraz wygaszania płomienia. Dlatego też podjęta tematyka ma bardzo duże znaczenie zarówno w zakresie naukowym, jak i użytkowym.

Uważam, że tematyka pracy doktorskiej podjęta przez Pana mgr inż. Krzysztofa Lesiaka jest w pełni uzasadniona, a samo sformułowanie tematu dysertacji prawidłowe.

3. Analiza struktury i podziału treści pracy

Na podstawie przeprowadzonej analizy pracy doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa Lesiaka uznaję postawiony przez Autora cel pracy za ważny, zgodny z największymi wyzwaniami jakimi są obecnie, w przypadku pracy górników, zwiększenie bezpieczeństwa pracy, ograniczenie czynności obsługowych napędów spalinowych maszyn roboczych, oraz zwiększenie ich efektywności ekologicznej w dążeniu do poprawy warunków pracy.

Zasadniczy tekst pracy został zawarty w 10 rozdziałach tematycznych, przy czym zagadnienia poruszane w kolejnych rozdziałach odpowiadają przedstawionej, w rozdziale 6 p.t. „Naukowy cel badawczy, zakres i plan pracy” (str. 34–37), głównej tematyce pracy i związanym z nią poszczególnym etapom koniecznym do przedstawienia problemu podjętego w pracy, a także metodyką i planem pracy pozwalającym na zrealizowanie postawionego celu pracy.

Rozdział 1 pt. „Wstęp” – przedstawiono w dalszym ciągu duże znaczenie węgla kamiennego jako jednego z podstawowych paliw dla wytwarzania energii elektrycznej w kraju i na świecie. Równocześnie, podkreślono rosnącą świadomość społeczeństw w zakresie zagrożeń dla zdrowia i życia ludzkiego spowodowanych coraz większym zanieczyszczeniem otaczającego środowiska. W konsekwencji, większy nacisk kładzie się na zrównoważoną eksploatację zasobów naturalnych oraz na poprawę warunków pracy i przestrzeganie sukcesywnie zastrzanych norm środowiskowych w zakładach pracy. W konkluzji stwierdzono, że wszelkie działania zmierzające do poprawy efektywności ekologicznej i ograniczenia obsługi napędów spalinowych, a tym samym warunków pracy górników, są oczekiwane i bardzo ważne z punktu widzenia bieżącego wydobywania węgla, mającego wpływ na bezpieczeństwo energetyczne.

Rozdział 2 pt. „Wprowadzenie” – Autor pracy uzasadnia potrzebę podjęcia działań mających na celu ograniczenie zagrożeń i szkodliwych oddziaływań wynikających ze stosowania w maszynach górniczych napędów spalinowych. Wylicza, opisuje i charakteryzuje związane ze stosowaniem tych napędów zagrożenia i szkodliwe oddziaływania w powiązaniu z warunkami pracy górników panującymi w środowisku podziemnych wyrobisk górniczych i ograniczonymi możliwościami ich przewietrzania. Autor wskazuje też na konieczność modyfikacji i poprawy działania układów wylotowych silników spalinowych maszyn górniczych przeznaczonych do pracy w strefie zagrożenia wybuchem w celu zmniejszenia ich gabarytów i masy, a w szczególności ograniczenia ich obsługi i wpływu na zwiększanie wilgotności środowiska pracy przy równoczesnej poprawie jakości spalin.

Rozdział 3 pt. „Wymagania formalno-prawne przy stosowaniu górniczych spalinowych układów napędowych” – obejmuje trzy podrozdziały („Akty prawne”, „Wymagania dotyczące jakości spalin” i „Podsumowanie wymagań formalno-prawnych”). W tym rozdziale Doktorant przedstawia, między innymi, europejskie akty prawne (Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady) normujące stosowanie napędów spalinowych w górnictwie zagrożonym występowaniem gazów i/lub pyłów palnych. Następnie opisuje wymagania szczegółowe dla poszczególnych grup produktów i wyrobów zawarte w normach zharmonizowanych z powyższymi dyrektywami. Wskazuje, że zgodnie z powyższymi regulacjami prawnymi, poza modyfikacjami układu dolotowego i wylotowego spalinowego układu napędowego stosowanego w górnictwie musi być on dodatkowo wyposażony w inne układy (między innymi w układ samoczynnego wyłączania silnika) aktywowane w przypadku wystąpienia określonych warunków pracy. W dalszej części rozdziału opisuje wymagania dotyczące jakości spalin emitowanych przez spalinowe układy napędowe stosowane w górnictwie w powiązaniu z przepisami, które w tym zakresie obowiązują. W zakończeniu rozdziału wylicza układy, podzespoły i elementy napędów spalinowych, które wymagają modyfikacji w przypadku ich stosowania w maszynach górniczych do prac w strefie zagrożonej wybuchem.

Rozdział 4 pt. „Urządzenia z napędem spalinowym stosowane w wyrobiskach górniczych węgla kamiennego” – obejmuje cztery podrozdziały („Spalinowe układy napędowe stosowane w górnictwie”, „Górnicy spalinowy układ napędowy”, „Ograniczanie temperatury gazów wylotowych silnika” i „Przerywacz płomienia”). Autor pracy wylicza i krótko opisuje maszyny górnicze, a w szczególności mobilne urządzenia transportowe w

których wykorzystywany jest napęd spalinowy. Opisuje też zmodyfikowany silnik spalinowy wraz z układem dolotowym i wylotowym oraz paliwowym przygotowany do stosowania jako górniczy, spalinowy układ napędowy. Zwraca uwagę, na istotne wymaganie stawiane takim układom napędowym jakim jest ograniczenie temperatury powierzchni zewnętrznych zespołu napędowego oraz gazów wylotowych silnika do max. 150°C. Następnie opisuje obecnie stosowane rozwiązania techniczne w tym wymienniki ciepła i sposoby ich działania, stanowiące środki zabezpieczające przed przekroczeniem przedmiotowej temperatury w wyżej wymienionych obszarach. Wskazuje istotne wady i możliwości modyfikacji wymienników ciepła w celu poprawy ich funkcjonalności, ograniczenia obsługi i zmniejszenia wymiarów oraz masy. W ostatnim podrozdziale Autor opisuje zagadnienia związane z zagrożeniami w sferze w której występuje atmosfera potencjalnie wybuchowa będąca mieszaniną powietrza i substancji palnych w postaci gazu, oparów, mgły lub pyłu, w której po wystąpieniu zapłonu, spalanie rozprzestrzenia się na całą niespaloną mieszaninę. Aby zapobiec takiej sytuacji urządzenia mechaniczne w szczególności te z napędem spalinowym muszą być wyposażone, w układach dolotowych i wylotowych, w przerywacze płomienia zabezpieczające przed propagacją płomienia lub wybuchem. Autor opisuje też obecnie stosowane przerywacze płomienia wskazując ich wady jak i techniczne możliwości ich zmniejszenia.

Rozdział 5 pt. „Koncepcja nowego układu wylotowego górniczego spalinowego układu napędowego” – obejmuje cztery podrozdziały („Koncepcja ogólna”, „Koncepcja wymiennika ciepła”, „Rurki ciepła” i „Koncepcja przerywacza płomienia”). W tym rozdziale Doktorant przedstawia własną koncepcję kompaktowego układu wylotowego silnika spalinowego stosowanego do napędu maszyn górniczych. Opisuje założenia przyjęte przy opracowywaniu tej koncepcji, sposób funkcjonowania układu oraz nowatorski wymiennik ciepła, własnego pomysłu, z wykorzystaniem rurek ciepła. W dalszej części rozdziału Autor szczegółowo opisuje budowę i zasadę działania rurek ciepła, stosowane w nich płyny robocze oraz charakterystyki rurek ciepła w zależności od ich warunków pracy i pozycji (położenia strefy skraplania względem strefy parowania). Zwraca też uwagę na potencjalne zagrożenia powstające w przypadku uszkodzenia rurki, związane z rodzajem zastosowanego w rurce ciepła płynu roboczego. W ostatnim podrozdziale Autor rozważa możliwość wykorzystania katalitycznego reaktora utleniającego zarówno do ograniczenia emisji składników toksycznych jak i jako wygaszacza płomieni.

Rozdział 6 pt. „Naukowy cel badawczy, zakres i plan pracy” - obejmuje trzy podrozdziały („Geneza naukowego problemu badawczego”, „Sformułowanie naukowej tezy pracy oraz użytecznego celu badawczego” i „Metodyka i plan realizacji badań”). Autor pracy opisuje genezę podjętego, naukowego problemu badawczego i własną koncepcję układu wylotowego górniczego, spalinowego układu napędowego w której założono wykorzystanie nowych, dotychczas nie stosowanych rozwiązań jakim są rurki ciepła intensywnie odprowadzające ciepło ze spalin do czynnika chłodzącego. Ponadto, Autor zaproponował wykorzystanie utleniającego reaktora katalitycznego zarówno do zmniejszania emisji produktów niecałkowitego i niezupełnego spalania jak i jako wygaszacza płomieni. W rozdziale tym Autor formułuje też tezę naukową pracy w sposób następujący: *zastosowanie wymiennika z rurkami ciepła w układzie wylotowym górniczego zespołu spalinowego, przyczyni się do wyeliminowania bieżącej obsługi układu schładzania spalin oraz zmniejszenia jego masy i wymiarów. Ponadto, zastosowanie utleniającego reaktora katalitycznego, oprócz oczywistych funkcji zmniejszenia emisji produktów niecałkowitego i niezupełnego spalania, przyczyni się do przejęcia funkcji wygaszacza płomieni.*

W dalszej części rozdziału Doktorant przedstawia plan realizacji badań i opisuje przyjętą metodykę, która obejmuje, między innymi badania symulacyjne wymiennika ciepła z rurkami ciepła i weryfikacyjne badania modelowe CFD wymiennika ciepła.

Rozdział 7 pt. „Badania doświadczalne” - obejmuje dwa podzielone na części podrozdziały („Identyfikacyjne badania stanowiskowe górniczego spalinowego układu napędowego” i „Badania laboratoryjne rurek ciepła”). Doktorant opisuje cel podjęcia badań identyfikacyjnych standardowego górniczego spalinowego układu napędowego, sposób prowadzenia, monitorowania i rejestrowania wybranych parametrów badań i uzyskane wyniki. Następnie dokonuje analizy wyników badań identyfikacyjnych. W dalszej kolejności opisuje przeprowadzone badania laboratoryjne rurek ciepła na opracowanym w ramach pracy stanowisku badawczym wg. opracowanej metodyki badań. Po zakończeniu badań, Doktorant przeprowadza ich analizę i dokonuje podsumowania uzyskanych wyników szczególnie w zakresie możliwości ich wykorzystania w dalszej części pracy.

Rozdział 8 pt. „Badania symulacyjne” - obejmuje pięć podzielonych na części podrozdziałów („Cel badań symulacyjnych”, „Model matematyczny wymiennika rurowego”, „Model matematyczny wymiennika z rurkami ciepła”, „Model CFD wymiennika z rurkami ciepła” i „Podsumowanie badań symulacyjnych”). W tym rozdziale, Doktorant opisuje przebieg badań symulacyjnych których celem była weryfikacja zaproponowanego układu wylotowego, górniczego spalinowego układu napędowego, od strony przepływu ciepła oraz rozprzężu spalin i wody chłodzącej. Badania prowadzono wykorzystując dwa opracowane w ramach pracy jednowymiarowe modele matematyczne, które mogą stanowić uniwersalne i kompleksowe narzędzie wspomagające proces projektowania tego typu układów wylotowych. Modele matematyczne obejmowały dwie części układu spalin wylotowych:

- odcinek rurowy pokryty płaszczem wodnym z przepływającą wodą
- oraz
- wymiennik główny wykorzystujący rurki ciepła

W celu weryfikacji pierwszego z opracowanych, jednowymiarowych modeli matematycznych, dokonano porównania wyników uzyskanych w trakcie badań identyfikacyjnych opisanych w rozdziale 7.1 z wynikami uzyskanymi za pomocą tego modelu. Za pomocą drugiego modelu dokonano obliczeń niezbędnych do dobrania wstępnej konstrukcji (parametrów geometrycznych) wymiennika ciepła wg. przedstawionej w pracy koncepcji.

Do weryfikacji jednowymiarowego modelu matematycznego wymiennika opartego na rurkach ciepła wykorzystano trójwymiarowe modelowanie CFD wybranych fragmentów wymiennika ciepła, które są najistotniejsze lub najbardziej problematyczne. W końcowej części rozdziału Autor dokonał analizy uzyskanych wyników i podsumowania badań symulacyjnych.

Rozdział 9 pt. „Podsumowanie i wnioski końcowe” – W tym rozdziale Doktorant dokonuje podsumowania wyników uzyskanych w ramach całej pracy i stwierdza, że przeprowadzone w pracy badania i symulacje potwierdziły stawianą tezę, że zastosowanie wymiennika z rurkami ciepła w układzie wylotowym górniczego zespołu spalinowego, przyczyni się do wyeliminowania bieżącej obsługi układu schładzania spalin oraz zmniejszenia jego masy i wymiarów. Ponadto podkreśla, że w ramach pracy opracowano nowoczesne, obliczeniowe narzędzie inżynierskie, wykorzystujące uproszczony model matematyczny, który może wspomagać projektowanie i służyć do doboru konfiguracji systemów wylotowych silników spalinowych zarówno w górniczych spalinowych układach napędowych, jak i we wszelkiego typu systemach przemysłowych, podlegających szczegółowym przepisom dotyczącym temperatury oraz wygaszania płomienia.

Rozdział 10 pt. „Propozycja dalszych badań” – W tym rozdziale Pan mgr inż. Krzysztof Lesiak stwierdza, że przeprowadzone w ramach pracy badania symulacyjne pozwoliły na analizę i optymalizację kilku rozwiązań, jednak nie mogą one zastąpić badań prototypowych z obiektem rzeczywistym. W związku z powyższym Autor wskazuje zakres dalszych prac jakie powinny zostać jeszcze wykonane w celu ostatecznego zweryfikowania proponowanego rozwiązania w warunkach zbliżonych do rzeczywistej eksploatacji.

Podsumowując, należy zaznaczyć, że konstrukcja pracy, podział treści na rozdziały i podrozdziały jest właściwy i logicznie poprawny. Praca zawiera wszystkie niezbędne elementy wymagane w pracach naukowych. Ponadto należy podkreślić, że treść pracy pomiędzy poszczególnymi elementami składowymi przedstawionej dysertacji doktorskiej jest spójna ze sobą i odzwierciedla tematykę pracy.

4. Tematyka rozprawy i problem badawczy

Istotnym elementem funkcjonowania zakładów górniczych jest zastosowanie napędów spalinowych w maszynach pracujących także pod ziemią. Rosnące wymagania dotyczące warunków pracy, zagrożenia wystąpienia wybuchu metanu i/lub pyłu węglowego i niekorzystne warunki mikroklimatu w podziemnych wyrobiskach, w połączeniu z ograniczoną możliwością systemów wentylacji, wymuszają wprowadzanie modyfikacji maszyn górniczych w tym w szczególności ich napędów spalinowych. Jest to jednak bardzo trudne biorąc pod uwagę stosunkowo niewielkie zapotrzebowanie na napędy spalinowe dostosowane do pracy pod ziemią, dodatkowo w strefach zagrożonych wybuchem. Powoduje to, że rozwój takich napędów nie stanowi przedmiotu zainteresowania producentów silników spalinowych.

Biorąc powyższe pod uwagę, Autor pracy podjął próbę opracowania nowego systemu wylotowego silników spalinowych, przeznaczonych do pracy w tych szczególnie wymagających warunkach środowiskowych podziemnego górnictwa węglowego. Formułując problem badawczy, Autor dokonał analizy z której wynikało, że istnieje potrzeba opracowania systemu wylotowego silników przeznaczonych do pracy w przestrzeni zagrożonej wybuchem, który ograniczy obsługę i zapewni stałą, wysoką sprawność zespołu napędowego jak również wpłynie na poprawę jakości spalin i ograniczenie gabarytów wymiennika ciepła. Postawiona została teza że cyt: *zastosowanie wymiennika z rurkami ciepła w układzie wylotowym górniczego zespołu spalinowego, przyczyni się do wyeliminowania bieżącej obsługi układu schładzania spalin oraz zmniejszenia jego masy i wymiarów. Ponadto, zastosowanie utleniającego reaktora katalitycznego, oprócz oczywistych funkcji zmniejszenia emisji produktów niecałkowitego i niezupełnego spalania, przyczyni się do przejścia funkcji wygaszacza płomieni.*

W konsekwencji, naukowym celem pracy było opracowanie uniwersalnego narzędzia inżynierskiego w postaci modelu matematycznego, wspomagającego projektowanie opracowanego systemu wylotu spalin silników, we wszelkiego typu systemach przemysłowych, podlegających szczególnym przepisom dotyczącym temperatury oraz wygaszania płomienia. Celem utylitarnym było opracowanie koncepcji nowego systemu wylotowego silników spalinowych, stosowanych w maszynach górniczych, który będzie bezpieczniejszy i łatwiejszy w eksploatacji oraz mniejszy i lżejszy w porównaniu do istniejących rozwiązań.

Tak sformułowany problem badawczy oraz cele dysertacji doktorskiej są ważne, a zarazem złożone i wymagają wieloetapowej realizacji. Ich podjęcie przez Autora wymagało dużej

wiedzy, analizy wielu prac badawczych i nowatorskiego, twórczego podejścia do rozwiązania wskazanych problemów badawczych.

5. Analiza i ocena merytoryczna rozprawy

Doktorant, w celu osiągnięcia celu pracy, przedstawił koncepcję nowego systemu wylotowego silników spalinowych do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem obejmującą nowatorski wymiennik ciepła z wykorzystaniem rurek ciepła. Następnie przeprowadził wieloetapowe badania obejmujące:

- identyfikacyjne badania stanowiskowe górniczego spalinowego układu napędowego wykorzystującego obecnie stosowane rozwiązania techniczne,
- badania laboratoryjne rurek ciepła przy wykorzystaniu opracowanego w ramach pracy stanowiska badawczego do badania pojedynczych rurek ciepła.

Wyniki powyższych badań posłużyły jako dane wejściowe do dalszych badań modelowych,

- badania symulacyjne których celem była weryfikacja zaproponowanego rozwiązania układu wylotowego, górniczego spalinowego układu napędowego od strony przepływu ciepła oraz rozprywu spalin i wody chłodzącej.

W wyniku przeprowadzonych prac powstało narzędzie inżynierskie w postaci modeli matematycznych (wg zaproponowanej w pracy koncepcji), wspomagające projektowanie systemów wylotu spalin silników we wszelkiego typu systemach przemysłowych, podlegających szczególnym przepisom dotyczącym temperatury oraz wygaszania płomienia. W wyniku analizy trzech konfiguracji geometrycznych nowego rozwiązania wymiennika ciepła, zaproponowano docelową konfigurację wymiennika, którą poddano weryfikacji z wykorzystaniem badań CFD.

W ten sposób Autor, dzięki swojej kreatywności, opracował interesujący system wylotowy silników spalinowych do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem obejmujący nowatorski wymiennik ciepła z wykorzystaniem rurek ciepła. Zaproponowane rozwiązanie techniczne wpisuje się w proekologiczną politykę UE, a poprzez zastosowanie utleniającego reaktora katalitycznego DOC, przyczynia się zarówno do poprawy warunków pracy, jak również ogranicza zanieczyszczenia emitowane do środowiska. Niewątpliwym atutem zaproponowanego wymiennika jest pomysłowe wykorzystanie znanych rozwiązań technicznych, które pozwoliły na ograniczenie jego obsługi, oraz wymiarów, a także masy i zapewniły wysoką sprawność działania przy małych nakładach finansowych związanych z jego opracowaniem.

W zakresie przyjętych w pracy założeń, przedmiotowa koncepcja nowego systemu wylotowego silników spalinowych do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem obejmująca nowatorski wymiennik ciepła z wykorzystaniem rurek ciepła nie budzi zastrzeżeń podobnie jak sam proces jej tworzenia oparty na bieżących analizach i weryfikacjach uzyskiwania wyników pośrednich. Zastrzeżeń nie budzi też powstałe w ramach pracy narzędzie inżynierskie w postaci modeli matematycznych (wg zaproponowanej w pracy koncepcji), wspomagające projektowanie systemów wylotu spalin silników we wszelkiego typu systemach przemysłowych, podlegających szczególnym przepisom dotyczącym temperatury oraz wygaszania płomienia.

Zarówno cel pracy jak i postawiona teza odpowiadają zakresowi i tematyce rozprawy oraz określają zakres przeprowadzonych badań.

Podczas realizacji pracy Pan mgr inż. Krzysztof Lesiak wykazał się kreatywnością, umiejętnością planowania procesu badawczo-naukowego, realizacją tego procesu, a także prowadzeniem wieloetapowych badań i analiz. Charakter przedłożonej do recenzji dysertacji

doktorskiej, w tym jej celu ma charakter innowacyjny, a wiele jej elementów ma potencjał użytkowy, co stanowi o jej dużej wartości naukowej.

Wszystko to świadczy o umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych, a także opracowania i przygotowania autorskich narzędzi badawczo-naukowych i stanowi dowód dobrego przygotowania merytorycznego Doktoranta do prowadzenia dalszych badań.

6. Uwagi ogólne

Pomimo dużej staranności przygotowanej rozprawy w tym zarówno części wprowadzającej jak i badawczej oraz podsumowującej przeprowadzone badania, analizy i oceny, dostrzeżono w niej kilka drobnych braków i kwestii wymagających dodatkowego wyjaśnienia lub uzupełnienia. Nie wpływają one na moją pozytywną ocenę rozprawy, jednakże chciałbym, aby Doktorant odniósł się do moich uwag, w szczególności merytorycznych, są to:

1. W streszczeniu pracy należy wskazać elementy pracy stanowiące o jej nowatorskości oraz te które wyróżniają ją na tle innych, podobnych prac.
2. Rozdział nr. 5, podrozdział nr. 5.1 „Koncepcja ogólna” (str. 22, drugi akapit od góry, cyt.: „W oparciu o przeprowadzoną analizę stosowanych metod oczyszczania spalin silników ZS, rozwiązań schładzania spalin w górniczych spalinowych układach napędowych oraz” koniec cyt. W tym miejscu należało zrobić tzw. „przegląd patentowy” w zakresie opatentowanych już rozwiązań układów, o podobnym przeznaczeniu do zaproponowanej w pracy koncepcji układu wylotowego silnika spalinowego.
3. W rozdziale nr. 5, podrozdział nr. 5.1 „Koncepcja ogólna” (str. 22, trzeci akapit od góry, cyt.: „Do oczyszczania spalin proponuje się zastosowanie katalitycznego reaktora oksydacyjnego DOC. Zastosowanie reaktora DOC pozwoli zmniejszyć” koniec cyt. Nie wdając się w szczegóły, można wyróżnić dwie zasadnicze części (fazy) składowe cząstek stałych, pomijając zaadsorbowaną na nich część lotną w postaci odparowujących lekkich frakcji węglowodorowych tj. część (fazę) nierozpuszczalną ang. INSOF – Insoluble Fraction w tym część nierozpuszczalną organiczną – IOF – Insoluble Organic Fraction i część nierozpuszczalną nieorganiczną – INSINO – Insoluble Inorganic Fraction, oraz część (fazę) rozpuszczalną – SOF – Soluble Organic Fraction, której głównymi składnikami są między innymi produkty niepełnego spalania paliwa i oleju smarowego. W przypadku katalitycznego reaktora oksydacyjnego DOC, można liczyć jedynie na ograniczenie (utlenienie) części SOF cząstek stałych natomiast część INSOF (a zatem ta zasadnicza) nie ulegnie ograniczeniu. Dlatego w układach wylotowych spalin stosuje się filtry cząstek stałych. Sam DOC nie ograniczy emisji cząstek stałych w części INSOF. Podobnie, DOC nie rozwiąże problemu emisji NO_x, ponieważ wystąpi w nim jedynie reakcja utlenienia NO do NO₂. Dlatego do ograniczenia emisji NO_x najczęściej stosuje się SCR.
4. Podrozdział nr. 5.4 „Koncepcja przerywacza płomienia” (str. 33, trzeci punkt od góry cyt.: „- dobór reaktora katalitycznego o projektowanym przepływie większym niż.....” koniec cyt. W całej pracy nie opisano procedury doboru reaktora katalitycznego DOC, a temat DOC jako elementu w opracowanej koncepcji nowego systemu wylotowego silników spalinowych do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem został przedstawiony bardzo ogólnie i tylko teoretycznie. W podrozdziale

- nr. 6.3 „Metodyka i plan realizacji badań”, str. 35-36 w planie metodyki realizacji pracy też nie ma nic na temat badań (doboru) DOC.
5. Podrozdział nr. 6.3 „Metodyka i plan realizacji badań”, (str. 36 – Analiza literaturowa) zawiera jedynie krótką informację, że taka analiza została zrobiona. Jednak w analizie literaturowej pracy należało przywołać i przeanalizować konkretne pozycje literaturowe, w szczególności te dotyczące zagadnień poruszanych w pracy. Należało zapoznać czytelnika jaki jest aktualny stan wiedzy w zakresie problematyki badawczej rozpatrywanej w pracy i czy były prowadzone prace (badania) - jeżeli tak to jakie - w zakresie opracowania alternatywnych koncepcji systemu wylotowego silników spalinowych do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Ponadto pisząc cyt.: „Analizie poddano wymagania przepisów krajowych (normy i rozporządzenia), europejskich (dyrektywy UE i rozporządzenia UE)....” koniec cyt., należało przytoczyć konkretne dokumenty jakie poddano analizie.
 6. W rozdziale nr. 7 „Badania doświadczalne”, w kolejnych podrozdziałach zawarto, między innymi, opisy obiektu badań (pkt. 7.1.2) i elektrycznej hamowni silnikowej (pkt. 7.1.3), jednak nie zawarto (podobnie jak i w dalszej części pracy) żadnych informacji dotyczących wymagań jakie powinno spełniać paliwo do zasilania silników spalinowych stosowanych w maszynach górniczych. Nie podano też żadnych właściwości fizykochemicznych paliwa. Tymczasem paliwo, a w szczególności jego skład komponentowy, w tym zawartość np. siarki, biokomponentów, oraz sposób uszlachetniania mają bardzo duży wpływ na przebieg procesu spalania oraz związaną z tym emisję składników toksycznych i szkodliwych emitowanych przez silnik. Jest to w tym przypadku istotne z punktu widzenia działania DOC oraz jego trwałości biorąc pod uwagę, że jego ścianki pokryte są warstwą metali szlachetnych.
 7. W rozdziale nr. 7 „Badania doświadczalne”, w kolejnych podrozdziałach zawarto, między innymi, opisy pomiaru temperatury (pkt. 7.1.4), pomiaru zużycia paliwa (pkt. 7.1.5), pomiaru prędkości obrotowej silnika spalinowego (pkt. 7.1.6) i pomiaru składu spalin (pkt. 7.1.7) jednak nie podano dokładności, względnie niepewności prowadzonych pomiarów.
 8. W podrozdziale nr. 7.1.10 „Analiza wyników badań identyfikacyjnych”, w Tabeli 9, nie podano wyników pomiaru węglowodorów, chociaż z opisu zawartego w pkt. 7.1.7 „Pomiar składu spalin” wynika, że takie pomiary wykonywano.
 9. Wnioski zostały przedstawione w sposób bardzo ogólny – opisowy. Tymczasem wnioski powinny być szersze i bardziej precyzyjnie opisywać dokonania i osiągnięcia uzyskane w pracy ze szczególnym podkreśleniem innowacyjności rozwiązań powstałych w ramach pracy oraz aspektów wyróżniających pracę na tle innych podobnych opracowań. Należy też wskazać możliwości utylitarnego wykorzystania wyników i osiągnięć pracy. Bardzo korzystne byłoby podzielenie wniosków na grupy np.: wnioski ogólne, wnioski szczegółowe i utylitarne oraz wnioski perspektywiczne
 10. Literatura – zawarta ilość pozycji literaturowych jest dość skromna, biorąc dodatkowo pod uwagę, że 3 pozycje literatury są dyrektywami, 3 pozycje literatury to dyrektywy, 5 pozycji literatury to karty charakterystyki produktów, 6 pozycji literatury to normy PN-EN, a 4 pozycje literatury to rozporządzenia. Ponadto wśród pozycji literaturowych duża część pochodzi jeszcze z ubiegłego wieku.

7. Uwagi redakcyjne

Pod względem redakcyjnym przedłożona do recenzji rozprawa doktorska jest przygotowana bardzo dobrze. Jednakże zauważono kilka błędów i nieprawidłowości popełnionych w trakcie opracowania tekstu. Najważniejsze z nich to:

- Str. 7, „Wprowadzenie” w Tabeli 1, w kolumnie „faza gazowa” nie uwzględniono „CO”
- Str. 11, góra, 1 wiersz „Dopuszczalne stężenia emitowane....” Ale stężenia czego ?
- Str. 11, w opisach Tabeli 3 i 4 występują skróty „NRE” i „SPE” których brak wyjaśnienia i nie zostały one zawarte w Wykazie skrótów i oznaczeń na str. 5.
- Str. 29, 3 wiersz powyżej opisu Tabeli 6, skrót GHS powinien być wyjaśniony i zawarty w Wykazie skrótów i oznaczeń na str. 5.
- Str. 31, w opisie rys. 12 nie podano źródła z którego pochodzi rysunek.
- Str. 31, występujący w opisie rys. 12 skrót „CPSI” powinien być wyjaśniony i zawarty w Wykazie skrótów i oznaczeń na str. 5.
- Str. 55, na rys. 28 średnicę rurki ciepła opisano jako „fi”, podczas gdy ogólnie przyjętym oznaczeniem średnicy jest „ ϕ ”
- Str. 89, 5 wiersz od dołu. W pracy nie ma rys. 67, powinien być rys. 46.
- Str. 97, 5 wiersz od dołu cyt. „.....spalania standardowego oleju napędowego...” Czy to oznacza olej napędowy spełniający wymagania normy PN-EN 590 ? Jeśli tak jest to tak należy opisać ten olej napędowy.
- Str. 102, 4 wiersz od góry. Należy poprawić zdanie cyt.: „Jest to procesem powolny, szczególnie”.

8. Osiągnięcia Autora

Za istotny dorobek Doktoranta należy uznać:

- poprawnie przeprowadzona krytyczna analiza i identyfikacja problemu występującego w układach wylotowych silników spalinowych maszyn górniczych przeznaczonych do prac w strefie zagrożonej wybuchem,
- prawidłowe wyznaczenie i sprecyzowanie celu pracy, a następnie określenie poszczególnych etapów jego realizacji,
- przyjęta metodyka badań w tym opracowanie i przygotowanie autorskich, nowoczesnych, obliczeniowych narzędzi inżynierskich co stanowi dowód dobrego przygotowania merytorycznego oraz kreatywności Doktoranta w zakresie prac badawczo-eksperymentalnych stosowanych w nauce,
- opracowanie autorskiej koncepcji nowego, kompaktowego układu wylotowego silników spalinowych, stosowanych w maszynach górniczych przeznaczonych do prac w strefie zagrożonej wybuchem, przewyższającego w wielu obszarach oceny dotychczas stosowane systemy,
- przemyślany, krytyczny i wielowątkowy sposób analizowania i weryfikacji wyników z wykorzystaniem zaawansowanych badań symulacyjnych,

Prezentowane zagadnienia rozważane przez Pana mgr inż. Krzysztofa Lesiaka są umiejscowione w zakresie dyscypliny naukowej: inżynieria mechaniczna.

Rokuje to na dalszy, poprawny rozwój naukowy Pana mgr inż. Krzysztofa Lesiaka w zakresie prowadzonych lub nadzorowanych prac badawczych.

9. Podsumowanie

Reasumując, praca doktorska Pana mgr inż. Krzysztofa Lesiaka pt.: „Nowe rozwiązanie układu wylotowego silników spalinowych maszyn górniczych przeznaczonych do prac w strefie zagrożonej wybuchem” jest oryginalnym, interesująco przedstawionym, uzasadnionym, wartościowym i aktualnym opracowaniem zawierającym elementy nowatorskie. Stanowi twórczy wkład w dyscyplinę naukową Inżynieria mechaniczna. Rozprawa wnosi nowe treści poznawcze, wskazuje nowe kierunki działania w podjętej tematyce i w konsekwencji cechuje się potencjalnie dużym stopniem przydatności dla praktycznego wykorzystania.

Pan mgr inż. Krzysztof Lesiak wykazał się umiejętnością samodzielnego, poprawnego formułowania i rozwiązywania problemów badawczych, oraz dobrym opanowaniem i sprawnym posługiwaniem się warsztatem badawczym na poziomie wymaganym w pracach doktorskich. Na podkreślenie zasługuje dobre przygotowanie merytoryczne Pana mgr inż. Krzysztofa Lesiaka do pracy naukowej, jego duża wiedza oraz inwencja połączona z innowacyjnością w zakresie rozwiązywania problemów badawczych. Praca reprezentuje także wysoki poziom w zakresie komunikatywności, logicznego układu tekstu i w aspekcie edycji.

Praca jest napisana poprawnym językiem. Użyta terminologia jest zgodna z obszarem naukowym którego dotyczy i z ogólnie przyjętymi kanonami redagowania prac naukowych. Występujące w pracy niedoskonałości, o charakterze formalnym lub redakcyjnym nie mają wpływu na jej dużą wartość poznawczą i użyteczną.

10. Konkluzja

Przedłożona praca doktorska dotyczy ważnego i aktualnego zagadnienia badawczo-naukowego. Zawiera poprawnie sformułowany i rozwiązany problem badawczy oraz posiada duży aspekt praktyczny. Stanowi oryginalne rozwiązanie w ujęciu aplikacyjnym. Uważam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Krzysztofa Lesiaka spełnia warunki dla prac naukowych w rozumieniu przepisów ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

Stawiam wniosek o przyjęcie pracy doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa Lesiaka pt.: „Nowe rozwiązanie układu wylotowego silników spalinowych maszyn górniczych przeznaczonych do prac w strefie zagrożonej wybuchem” i dopuszczenie do publicznej obrony na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej w ramach Dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych, dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

Koniec recenzji

Recenzję opracował:

dr hab. inż. Zbigniew Stępień, prof. INiG - PIB

Liczba stron recenzji:

11 stron

Data: 17.08.2022r.

17 sierpnia 2022 r.

Podpis

