

PN
1. 07 2019

dr hab. inż. Marek FIDALI, prof. Pol. Śl.
Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska

Gliwice 28-06-2019

RECENZJA
rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Dominika Rabsztyna

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Dominika Rabsztyna pt.: *Metoda oceny stanu technicznego pomp wyporowych na podstawie analizy przebiegu pulsacji ciśnienia* wykonana w Instytucie Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, pod opieką promotora prof. dr. hab. inż. Piotra Gendarza.

Recenzja została opracowana na podstawie:

- uchwały Rady Wydziału Mechanicznego technologicznego Politechniki Łódzkiej z dnia 17 kwietnia 2019, która powierzyła mi obowiązki recenzenta w przewodzie mgr. inż. Dominika Rabsztyna,
- pisma Dziekana Wydziału z dnia 17 kwietnia 2019, przekazującym pracę do recenzji.

1. Wniosek

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską stwierdzam, że jej ocena jest pozytywna. Rozprawa została przygotowana pod opieką promotora. Stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wykazuje odpowiedni poziom ogólnej wiedzy teoretycznej i praktycznej Autora w dziedzinie nauk technicznych w zakresie dyscypliny *Budowa i Eksploatacja Maszyn*. Rozprawa wykazuje również odpowiednie przygotowanie Autora do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam, że spełnione zostały wymagania stawiane rozprawom doktorskim w tym wymagania określone w Art. 13 ustępu 1 *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dziennik Ustaw nr 65, poz. 595 z dnia 14 marca 2003 r z późn. zm.).

W związku z Art. 14 ustęp 2 punkt 3 tej Ustawy stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej przez Radę Wydziału Mechanicznego Technologicznego oraz o dopuszczenie jej do publicznej obrony, w celu nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk technicznych w zakresie dyscypliny *Budowa i Eksploatacja Maszyn*.

2. Uzasadnienie wniosku

2.1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa liczy 142 strony i składa się z dziewiętnastu rozdziałów. Na wstępie rozprawy zamieszczono wykaz symboli stosowanych w pracy. Na końcu rozprawy zamieszczono streszczenie w wersji polskiej i angielskiej oraz liczący 195 pozycji spis aktualnych i poprawnie dobranych pozycji literaturowych, do których Autor odnosi się w tekście. Zaproponowany układ rozprawy tworzy logiczną całość jednak odbiega od ogólnie stosowanego podziału publikacji naukowych na numerowane rozdziały i podrozdziały tworzące hierarchiczną strukturę. W pracy, numeracji poddano rozdziały główne. Uważam, że przyjęcie klasycznego podziału na rozdziały i numerowane podrozdziały pozwoliłoby ograniczyć liczbę rozdziałów głównych do sześciu i umożliwiłoby stworzenie lepiej uporządkowanej struktury pracy oraz bardziej szczegółowego spisu treści. Treść rozprawy jest zrozumiała a zamieszczone rysunki i wykresy są czytelne i prawidłowo opisane. Edycja rozprawy jest staranna. Zawiera one nieliczne drobne usterki językowe i edytorskie. Zastosowano odpowiednią numerację wzorów, rysunków, tablic i pozycji literatury.

2.2. Wybór tematu rozprawy doktorskiej

Temat rozprawy jest aktualny i dotyczy kluczowego z punktu widzenia eksploatacji układów hydraulicznych zagadnienia diagnozowania pomp waporowych. Pompy waporowe należy traktować, jako klasę urządzeń pełniących w układzie hydraulicznym tą samą funkcję - generowanie strumienia medium roboczego. Pomimo tej samej funkcji, istnieją różne rodzaje pomp o odmiennych cechach konstrukcyjnych, rozmiarach, parametrach i różnym sposobie działania, zatem i różnym mechanizmie powstawania niesprawności a co za tym idzie różnym sposobie generowania symptomów związanych z tymi niesprawnościami w przebiegach pulsacji ciśnienia. Przegląd literatury oraz badania przeprowadzone przez autora wskazują, że uszkodzenia pomp głównie związane są ze zmianami amplitudy sygnału pulsacji ciśnienia i częstotliwości składowej głównej pulsacji co stanowiło podstawę uogólnienia badań do pomp waporowych. Należy jednak nie zapominać o zjawiskach nieliniowych zachodzące w trakcie działania różnych pomp z różnymi uszkodzeniami czego autor nie uwzględnił w badaniach numerycznych. Tego typu zjawiska powinny generować oryginalne i specyficzne symptomy w przebiegach sygnału ciśnienia, których ekstrakcja np. z wykorzystaniem metod czasowo-częstotliwościowych i dalsza analiza mogłaby stanowić bardzo oryginalny element prac autora. Uwzględniając oryginalny dla każdego rodzaju pompy waporowej zbiór relacji diagnostycznych między niesprawnościami i symptomami tych niesprawności bardzo trudne lub niemożliwe staje się określenie jednej i skutecznej metody diagnozowania pozwalającej jednoznacznie wykrywać, lokalizować i identyfikować niesprawności różnych pomp waporowych. Stąd warto zadać sobie pytanie czy tytuł rozprawy nie powinien dotyczyć metod lub metodyki diagnozowania pomp waporowych na podstawie analizy przebiegów pulsacji ciśnienia medium roboczego lub metody diagnozowania stanu określonej rodziny pomp waporowych np. pomp zębatych.

2.3 Ocena merytoryczna rozprawy

W rozdziale pierwszym stanowiącym jednocześnie wstęp do pracy w zwięzły i przekonujący sposób zaprezentowano genezę podjęcia badań oraz uzasadnienie znaczenia badań dla rozwoju nowoczesnych systemów hydraulicznych wykorzystujących w układach sterowania zaawansowane systemy monitorowania i diagnostyki. Warto zwrócić uwagę, że autor słusznie zwraca uwagę na konieczność wykorzystania w diagnostyce układów hydraulicznych istniejących czujników będących źródłem informacji diagnostycznych i prostych, ale skutecznych metod diagnozowania.

W rozdziale drugim zamieszczono wyniki badań literaturowych dotyczących diagnozowania układów hydraulicznych a w szczególności pomp wyporowych z wykorzystaniem informacji pochodzących z czujników ciśnienia medium roboczego. Zamieszczony przegląd literatury został przygotowany rzetelnie i skrupulatnie. Przegląd podsumowano krótką dyskusją wskazującą na potrzebę uzupełnienia istniejących badań o dodatkowe, proponowane przez autora w pracy. Ponieważ praca dotyczy diagnostyki pomp wyporowych czytający pracę oczekiwali, poza licznymi odniesieniami do literatury, również zwarte przedstawienie (w postaci wstępu teoretycznego) zagadnień dotyczących metodologii diagnostyki technicznej w odniesieniu do układów hydraulicznych i przeglądu rozwiązań pomp wyporowych ze szczególnym zwróceniem uwagi na cechy konstrukcyjne i związane z nimi potencjalne niesprawności. Wprawdzie zagadnienia charakteryzujące różne rodzaje pomp wyporowych zamieszczono w pracy jednak zrobiono to selektywnie w różnych rozdziałach.

W rozdziale 3 szczegółowo omówiono i przedyskutowano znaczenie sprawności pomp w ocenie ich stanu technicznego. Rozdział ten powinien stanowić fragment rozdziału poprzedniego zawierającego przegląd literatury. Treść rozdziału jest poprawna. Wątpliwości budzą jedynie zastosowane jednostki sprawności niebędące podstawowymi jednostkami SI.

Rozdział 4, najkrótszy z rozdziałów, bo zajmujący jedną stronę opisuje zjawisko pulsacji ciśnienia medium w układach hydraulicznych ze szczególnym uwzględnieniem pomp hydraulicznych, jako źródeł powodujących pulsację. W rozdziale omówiono również podstawowe metody tłumienia pulsacji ciśnienia medium. Ze względu na treść i objętość rozdział raczej powinien stanowić podrozdział rozdziału zawierającego przegląd literatury w zakresie pomp wyporowych. Merytoryczna zawartość rozdziału nie budzi większych wątpliwości. Istnieje jednak pewien niedosyt w zakresie opisu zjawisk nieliniowych i chaotycznych, które mogą pojawiać się w trakcie działania pomp w szczególności z uszkodzeniami oraz związków między cechami konstrukcyjnymi konkretnych rodzajów pomp wyporowych a dominującymi składowymi częstotliwościowymi pulsacji ciśnienia. W rozdziale jedynie ogólnie wskazano zakres częstotliwości pulsacji ciśnienia generowanego przez pompy wyporowe. Jest to temat ważny ze względu na proces generowania relacji diagnostycznych między stanem technicznym pomp a symptomami.

W rozdziale 5 sformułowano cel pracy, postawiono tezy i opisano zakres przeprowadzonych badań. Umieszczenie rozdziału i jego treści w strukturze pracy budzi wątpliwości. Sformułowanie celu pracy jak i opis zakresu przeprowadzonych badań powinien znaleźć się we wstępie pracy. Z kolei tezy powinny zostać umieszczone w dyskusji podsumowującej przegląd istniejącej wiedzy. Pomijając kwestie struktury treści pracy, treść merytoryczna rozdziału jest poprawnie napisana. Pewne wątpliwości budzi treść tezy pierwszej a w szczególności fragment dotyczący analizy porównawczej zmian przebiegów pulsacji ciśnienia. Niedostatecznie wyjaśniono, co konkretnie będzie porównywane ze sobą. Z dalszej części pracy wynika, że są to wybrane cechy sygnałów ciśnienia w dziedzinie czasu i częstotliwości dla pomp działających w stanie uznanym za dobry z podobnymi przebiegami dla pomp działających z symulowanym uszkodzeniem. Niestety podobnego zapisu zabrakło w części pracy formułującej tezy.

Rozdział 6 zawiera teoretyczne rozważania dotyczące wpływu pulsacji ciśnienia na wpływ wydajności pomp wyporowych. Rozdział jest bardzo mocno związany z zagadnieniami opisanymi w rozdziale 4 i powinien stanowić jego część. W rozdziale zamieszczono model pulsacji wydajności pompy zębatej o zazębieniu zewnętrznym i na jego podstawie wyznaczono hipotetyczne przebiegi natężenia przepływu w dziedzinie czasu i częstotliwości w celu ich dalszej analizy. W rozdziale skupiono się na modelowaniu jednego rodzaju pomp – pomp zębatych. Na podstawie analizy wyników symulacji dla zdefiniowanego modelu wskazano związki między amplitudą i składowymi częstotliwościowymi przebiegów natężenia przepływu a parametrami modelu. Wnioski płynące z analizy pompy zębatej uogólniono do szerokiej

klasy pomp wyporowych i wykorzystano podczas badań na obiektach rzeczywistych. Moim zdaniem tego typu uogólnienie jest zbyt daleko idące. Ze względu na wykorzystywanie w trakcie badań również innych rodzajów pomp, wskazane byłoby przynajmniej zamieszczenie i omówienie modeli teoretycznych natężenia przepływu dla innych pomp i wskazanie możliwych relacji między parametrami modelu i cechami sygnałów przebiegów natężenia przepływu.

W rozdziale 7 zwrócono uwagę na bardzo ważne zagadnienie dotyczące wpływu parametrów linii hydraulicznej na pulsację ciśnienia. Ze względu na miejsce pomiaru pulsacji ciśnienia, które najczęściej znajduje się w określonym miejscu linii hydraulicznej, parametry hydrauliczne i geometryczne są czynnikami decydującymi o własnościach rezonansowych linii hydraulicznej mających bezpośredni wpływ na cechy mierzonych sygnałów pulsacji ciśnienia. Autor na podstawie zdefiniowanego w rozdziale modelu analitycznego hydraulicznej linii długiej przeprowadził eksperyment numeryczny w trakcie, którego dokonywano zmian różnych parametrów zgodnie z zaproponowaną macierzą eksperymentu. W wyniku przeprowadzonych obliczeń wyznaczono szereg funkcji modułów transmitancji w dziedzinie częstotliwości dla linii długiej, które pozwoliły autorowi na przeprowadzenie jakościowej analizy porównawczej wpływu parametrów linii na własności rezonansowe. W trakcie analizy porównywano liczbę i częstotliwości własnych oraz tłumienie modalne. Zabrakło analizy ilościowej oceniającej wpływ parametrów na tłumienie linii hydraulicznej. Analizę taką można było z łatwością przeprowadzić stosując metodę połowy mocy. Nie zmienia to faktu, że wnioski, które wyciągnął autor z przeprowadzonych analiz są słuszne i pomogły mu przy planowaniu i prowadzeniu dalszych badań. Podobnie jak w przypadku poprzednich rozdziałów treść i tego rozdziału mogłaby zostać rozmieszczona w bardziej dogodny sposób w całej strukturze pracy.

Rozdział 8 stanowi kontynuację rozważań teoretycznych dotyczących zależności między pulsacją wydajności i pulsacją ciśnienia w linii hydraulicznej. Z tego powodu w naturalny sposób wraz z rozdziałami 4, 5, 6 i 7 powinien stanowić spójną całość w strukturze pracy, czego niestety nie uczyniono. W rozdziale przeprowadzono ważne badania symulacyjne pozwalające na identyfikację własności dynamicznych linii hydraulicznej, co jest istotne z punktu widzenia detekcji niesprawności pomp wyporowych na podstawie przebiegów pulsacji ciśnienia.

Rozdział 9 rozpoczyna część pracy dotyczącej badań eksperymentalnych. Autor opisał w nim poprawnie wykonane wyniki badań wzorcujących i oceniających dokładność pomiarową stosowanych w dalszych eksperymentach przetworników ciśnienia oraz ocenił wpływ częstotliwości próbkowania na uzyskiwane wyniki badań. O ile pierwszą część badań dotyczącą oceny dokładności pomiarowej należy uznać za przydatną to badania dotyczące wpływu częstotliwości próbkowania uważam za zbędne. Po raz kolejny podjęto próbę udowodnienia słuszności powszechnie znanego twierdzenia o próbkowaniu Whittakera-Nyquista-Kotelnikowa-Shannona. Autor ostatecznie przyjął do badań najwyższą z udostępnianych przez sprzęt pomiarowy częstotliwości próbkowania, co tym bardziej wskazuje, że zamieszczanie w pracy dyskusji o wpływie częstotliwości próbkowania na wyniki badań było niepotrzebne. O wiele przydatniejsze byłoby oszacowanie maksymalnych częstotliwości wszystkich badanych pomp wynikających z istoty ich działania i potencjalnych uszkodzeń, które mogłyby występować w tych pompach. Zabrakło również odniesienia do parametrów samego sprzętu pomiarowego a w szczególności do informacji, czy stosowany przetwornik analogowo cyfrowy wyposażony jest w filtr antyaliasingowy i jak jego brak może wpływać na strukturę widma rejestrowanego sygnału. Nawijając do badań oceniających dokładność pomiarową przetworników warto nadmienić, że międzynarodowe organizacje standaryzacyjne w tym Główny Urząd Miar zalecają szacowanie niepewności pomiaru dla układów pomiarowych. Zatem bardziej wskazane byłoby, aby autor przeprowadził rachunek niepewności zgodnie np. z przewodnikiem GUM.

W rozdziale 10 zamieszczono wyniki badań doświadczalnych dotyczących wpływu wybranych parametrów układu hydraulicznego na zmianę przebiegu pulsacji ciśnienia. Badania miały na celu ocenę możliwości detekcji wzrostu przecieków wewnętrznych w pompach wywołanych zmianami ciśnienia i temperatury. Badania wymagały przeprowadzenia wielu eksperymentów zgodnie z zaproponowanymi matrycami. Dodatkowo przeprowadzono eksperymentalną analizę lepkości kinematycznej oleju stosowanego w układzie. Eksperymenty zaplanowano bardzo dobrze w zgodzie z ogólnie przyjętymi zasadami planowania badań eksperymentalnych. Dla potrzeb badań zbudowano stanowisko badawcze wyposażone w pompę zębatą. Wnioski z badań przeprowadzonych tylko na jednym rodzaju pompy – pompie zębatej - uogólniono dla innych pomp wyporowych, co jednak nie do końca musi być prawdziwe, ponieważ nie zbadano wrażliwości symptomów diagnostycznych na zmiany przecieków wewnętrznych wywołanymi zmianami ciśnienia i temperatury w innych niż zębate pompach wyporowych.

Rozdział 11 stanowi kontynuację badań w zakresie możliwości diagnozowania przecieków wewnętrznych na podstawie sygnałów pulsacji ciśnienia pompy zębatej. Symulację przecieków wewnętrznych zrealizowano za pomocą zaworu w układzie bocznikowym między częścią tłoczną a ssawną pompy. Eksperymenty i analizę wyników przeprowadzono prawidłowo. Należy jednak zadać pytanie czy zakres symulowanych przecieków wewnętrznych odpowiada zakresowi rzeczywistych przecieków, które mogą pojawić się w pompie a także czy charakter sygnałów pulsacji ciśnienia przy rzeczywistych przeciekach będzie korespondował z cechami sygnałów dla warunków symulowanych. Jak słusznie autor zauważył w podsumowaniu rozdziału, przeprowadzone badania nie pozwalają odpowiedzieć na to pytanie jednak kluczowe z punktu widzenia tematyki rozprawy wydawałoby się zbadanie wpływu rzeczywistych przecieków w różnych rodzajach pomp na cechy sygnałów pulsacji ciśnienia, ponieważ pozwoliłoby to stwierdzić, czy ujawnią się dodatkowe symptomy w sygnale pulsacji ciśnienia ze względu na różną konstrukcję pomp i różne zjawiska związane z zaburzeniem przepływu wewnętrznego wywołane przeciekami wewnętrznymi. W podsumowaniu rozdziału autor stwierdził, że nie jest możliwe wykrycie nadmiernych przecieków wewnętrznych w równomiernie zużytej pompie na podstawie analizy zmian przebiegu pulsacji ciśnienia tłoczenia. Stwierdzeniu temu przeczą jednak amplitudy składowych widmowych pulsacji ciśnienia zamieszczone na rys. 11.4 gdzie różnice są widoczne szczególnie przy ciśnieniu 15MPa. Warto się zastanowić, czy nie wykorzystać skali decybelowej do skałowania amplitud widm w celu wykrywania niewielkich zmian wywołanych niesprawnościami a także naturalnych własności rezonansowych linii tłocznej do wzmacniania zjawisk związanych z powstającymi niesprawnościami w tym przeciekami wewnętrznymi.

W rozdziale 12 autor starał się odpowiedzieć na pytanie, w jakim stopniu stosowanie przemienników częstotliwości będzie wpływało na cechy sygnałów pulsacji ciśnienia. Moim zdaniem jest to bardzo istotne zagadnienie i należy pochwalić autora, że starał się odpowiedzieć na to pytanie. Badania składały się z szeregu eksperymentów badających zarówno wpływ różnych prędkości obrotowych silnika jak i trybu pracy przemiennika częstotliwości (wektorowy i skalarny) na poślizg i przebiegi pulsacji ciśnienia. Podobnie jak w poprzednich rozdziałach badania przeprowadzono tylko dla jednego rodzaju pompy – pompy zębatej, co nie do końca pozwala uogólniać wnioski płynące z badań na pompy wyporowe innego typu. W trakcie badań autor zauważył rozmycie prążków widma sygnałów ciśnienia jednak nie do końca wyjaśnił genezę tego zjawiska. Wyjaśnienia tego zjawiska można by było szukać analizując charakterystykę czasowo-częstotliwościowej wyznaczoną np. z zastosowaniem krótko-czasowej analizy Fouriera (STFT). Charakterystyka taka mogłaby zostać stworzona, ponieważ autor śledził na bieżąco prędkość obrotową. Pozwoliłoby to na wykluczenie chwilowych zaburzeń prędkości obrotowej lub zjawisk związanych z zaburzeniami przepływu. Zamieszczone przez autora w podsumowaniu rozdziału wnioski i zalecenia są słuszne i wynikają zarówno z przeprowadzonych badań, jaki i jego wiedzy oraz doświadczenia.

Rozdział 13 stanowi kontynuację opisu badań dotyczących oceny wpływu elementów linii hydraulicznej, w tym przypadku zaworów maksymalnych na przebieg sygnału pulsacji ciśnienia. Uzasadnienie konieczności przeprowadzenia tego typu badań zamieszczone przez autora jest słuszne. Metodyka przeprowadzenia badań i sposób analizy oraz prezentacji wyników są poprawne. Wyniki wskazują, że sprawny zawór dla badanego układu nie ma wpływu na pulsację ciśnienia, zatem nie będzie stanowił dodatkowego źródła zakłóceń podczas analizy sygnałów pulsacji ciśnienia. Rodzi się jednak pytanie czy jednak zawór zużyty i/lub uszkodzony nie będzie wprowadzał dodatkowych składowych do sygnału pulsacji ciśnienia i czy nie można by było diagnozować dzięki temu zaworów maksymalnych na podstawie analizy cech sygnałów pulsacji ciśnienia.

W rozdziale 14 opisano wyniki badań oceniających wpływ nieszczelności przewodu ssawnego a co za tym idzie zapowietrzenia medium roboczego na chwilowe wartości ciśnienia w linii tłocznej pompy. Celem badań było sprawdzenie czy istnieje możliwość detekcji nadmiernego napowietrzenia cieczy na podstawie analizy sygnałów pulsacji ciśnienia. W rozdziale autor wskazuje na niekorzystny wpływ aeracji medium roboczego na trwałość pomp pokazując przykłady uszkodzeń pomp wielotłoczkowych i łopatkowych. Natomiast w stanowisku badawczym zastosowano pompę zębatą, co stanowi pewną niekonsekwencję w przygotowaniu i realizacji badań. Pomimo tego, badania przeprowadzono w prawidłowy sposób a analiza wyników pozwoliła wykazać, że możliwa jest detekcja wpływu nawet niewielkiej ilości powietrza w medium roboczym. Moim zdaniem są to ważne i oryginalne badania szczególne z punktu widzenia metodyki diagnozowania pomp w oparciu o sygnały pulsacji ciśnienia z zastosowaniem standardowych czujników ciśnienia.

Rozdział 15 jest ostatnim z rozdziałów zawierających opisy badań laboratoryjnych. Dotyczy oceny wpływu rodzaju przewodu hydraulicznego na tłumienie linii hydraulicznej a co za tym idzie na przebiegi sygnałów pulsacji medium roboczego. W mojej ocenie są to również oryginalne i bardzo ważne badania, ponieważ pozwalają na ocenę przydatności stosowania metody diagnozowania bazującej na pulsacji medium w zależności od rodzaju stosowanego w układzie przewodu. W trakcie badań przebadano powszechnie dostępne na rynku przewody hydrauliczne o różnych średnicach wykonane z różnych materiałów. Procedura badawcza oraz analiza wyników została przeprowadzona prawidłowo. Wnioski wskazują na istotny wpływ rodzaju przewodu na tłumienie pulsacji ciśnienia medium roboczego. Wprawdzie autor nie uzasadnił w sposób ilościowy, co oznacza istotny wpływ jednak uzyskane wyniki są bardzo ciekawe i stanowią ciekawe źródło informacji zarówno dla projektantów układów hydraulicznych jak i służb utrzymania ruchu.

W rozdziale 16 autor przeprowadził badania dwóch pomp wielotłoczkowych, jak stwierdził w warunkach przemysłowych. Niestety w rozdziale zabrakło krótkiej charakterystyki obiektów przemysłowych w skład, których wchodziły pompy oraz trybu ich pracy. Przeprowadzenie badania i postawienie diagnozy są poprawne. Prezentowane wyniki dotyczą pomp wielotłoczkowych i jednego rodzaju niesprawności natomiast wnioski po raz kolejny w pracy uogólniane są dla klasy pomp wyporowych. Tego typu postępowanie byłoby słuszne w przypadku posiadania większego zbioru relacji symptom stan dla różnych typów pomp wyporowych.

Ostatni rozdział pracy stanowi podsumowanie i wnioski. W podsumowaniu zabrakło syntetycznego zestawiania relacji diagnostycznych między uszkodzeniami i symptomami poszczególnych pomp a w szczególności pompy zębatej, która była wykorzystywana w większości badań. W podsumowaniu zabrakło również ogólnego zdefiniowania metody oceny stanu technicznego pomp wyporowych, czego należało się spodziewać po tytule rozprawy. Przedstawione w ostatnim rozdziale wnioski z badań są prawidłowo sformułowane i potwierdzają słuszność postawionych tez. Wątpliwości budzi jedynie wniosek końcowy nr 2 str. 131, w którym pojawiają się przypuszczenia, co do symptomów, jakimi są harmoniczne od prędkości wirowania wałów pomp wywołane takimi uszkodzeniami jak wyłamanie lub

wykruszenie zębów w pompie zębatej i pęknięcie, zawieszenie lub ukruszenie łopatkowej. W pracy nie symulowano tego typu uszkodzeń. Można przypuszczać, że wnioski są efektem przeglądu literatury jednak nie wspomniano o tym. Autor założył, na podstawie badań pompy wielotłoczkowej, że cechy pozostałych pomp będą podobne, co jest jednak mało precyzyjne ponieważ istnienie podobieństwa implikuje również istnienie różnic.

3. Ocena końcowa

Opiniowana rozprawa to zbiór logicznie powiązanych wyników badań dotyczących wpływu różnych parametrów i warunków działania układu hydraulicznego na cechy sygnałów pulsacji ciśnienia. Podkreślenia wymaga duży zakres przeprowadzonych badań symulacyjnych i eksperymentalnych. Badania podzielono na część symulacyjną i część eksperymentalną w tym badania weryfikacyjne na pompach zainstalowanych na obiekcie przemysłowym. Taki sposób postępowania był słuszny i zgodny z metodologią badań naukowych. Wiele z badań wymagało dużego zaangażowania środków technicznych i pracy, co czyniło je bardzo czasochłonnymi. W pracy postawiono jednoznacznie określony cel, który dzięki starannie zaplanowanym i prawidłowo przeprowadzonym eksperymentom osiągnięto.

Do głównych oryginalnych osiągnięć Autora opiniowanej rozprawy zaliczam przeprowadzenie unikalnej serii badań mających na celu:

- Zbadanie wpływu wybranych parametrów hydraulicznych i geometrycznych linii hydraulicznej na jej dynamikę a tym samym na wartości sygnałów pulsacji ciśnienia.
- Zbadanie wpływu prędkości obrotowej i sposobu działania przemiennika częstotliwości napędu pomp na chwilowe wartości pulsacji ciśnienia medium.
- Zbadanie wpływu rodzaju przewodu hydraulicznego na własności dynamiczne linii hydraulicznej.
- Zbadanie sposobu zachowania się zaworu maksymalnego przy różnych stanach eksploatacyjnych pompy w celu oceny jego wpływu na pulsację ciśnienia w układzie hydraulicznym.
- Zbadanie możliwości wykrywania aeracji medium roboczego powstałej w wyniku nieszczelności przestrzeni ssawnej pompy

Należy podkreślić, że wyniki przeprowadzonych badań stanowią cenny fundament niezbędny do opracowanie zbioru relacji diagnostycznych symptom –stan przydatnego w prowadzeniu procesu diagnozowania układów hydraulicznych a w szczególności pomp wyporowych. Pozwalają również na wyraźne rozdzielenie symptomów związanych z uszkodzeniami i symptomów związanych z cechami konstrukcyjnymi i warunkami działania całego układu hydraulicznego.

Przy tak szerokim zakresie badań trudno, aby autor podczas opracowywania treści rozprawy nie ustrzegł się potknięć i błędów. Za słabe strony rozprawy należy uznać:

Przyjęcie za obiekt badań szeroko rozumianej klasy urządzeń, jakimi są pompy wyporowe. Spowodowało to, że autor sformułował wiele ogólnych wniosków odnoszących się do pomp wyporowych na podstawie badań tylko trzech pomp wyporowych: zębatej, wielotłoczkowej i łopatkowej. Uważam, że taki sposób postępowania wymaga ostrożności a przynajmniej potwierdzenia formułowanych wniosków wskazując wyniki podobnych badań opisanych w dostępnej literaturze.

Nieuporządkowaną ze względu na treść formę rozprawy odbiegającą od ogólnie przyjętego kanonu grupowania treści badań w uporządkowaną strukturę podzieloną na numerowane rozdziały i podrozdziały o różnym poziomie zagłębienia.

Brak sformułowania i zaprezentowania sposobu postępowania w celu oceny stanu pomp wyporowych, jako uniwersalnej metody zapowiadanej w tytule rozprawy. Wprawdzie obraz takiej metody czytający może zbudować na podstawie częściowych wniosków wynikających z każdego z rozdziałów jednak rozdział podsumowujący i jednocześnie formułujący metodę uwzględniającą zarówno zalecenia pomiarowe, relacje diagnostyczne i czynniki zakłócające stanowiłby kluczowy ze względu na sformułowany tytuł rozprawy fragment pracy.

W rozdziałach opisujących wyniki badań pojawiają się tezy częściowe, które mogłyby być zgrupowane w części dotyczącej tez ogólnych.

Pomimo wyżej wskazanych braków, opiniowana rozprawa dowodzi, iż jej Autor posiada odpowiednią wiedzę i umiejętności w zakresie objętym tematem rozprawy. Mgr inż. Dominik Rabsztyn potrafi przeprowadzać złożone analizy oraz potrafi planować i wykonywać wielowątkowe badania, zarówno numeryczne jak i eksperymentalne. Autor przedstawiając w rozprawie wyniki wielowątkowych badań, dowiódł słuszności postawionych w pracy tez.

Bez względu na uwagi krytyczne, które mają na celu wskazanie pewnych aspektów, na które autor powinien zwracać uwagę w trakcie prowadzenia przyszłych badań, całość rozprawy oceniam pozytywnie i uważam ją za istotną dla rozwoju nowoczesnych systemów hydraulicznych a zatem i całej dziedziny wiedzy, jaką jest Budowa i Eksploatacja Maszyn. Pozytywna ocena rozprawy doktorskiej uzasadnia podany w punkcie 1. wniosek o przyjęcie tej rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Marek Fidali

