

Częstochowa, dn.22.05.2017 r.

Dr hab. inż. Tadeusz Złoto, prof. PCz
Instytut Technologii Mechanicznych
Politechnika Częstochowska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Pawła Załuskiego

pt. „Wpływ położenia osi obrotu tarczy wychylnej na sprawność objętościową pomp wielotłoczkowych osiowych”

wykonana na zlecenie Prodziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej

1. Charakterystyka pracy

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera 168 stron i składa się z dziesięciu rozdziałów, które obejmują: cztery pierwsze rozdziały, które traktować można jako wprowadzenie do właściwych rozważań, w tym rozdział gdzie sformułowano tezy rozprawy oraz nakreślono cel i zakres pracy, pięć kolejnych rozdziałów, gdzie opisano zasadnicze rozważania poświęcone realizacji celu pracy, rozdział „Podsumowanie” oraz spis rysunków i tabel. Ponadto zamieszczono w niej bibliografię, która obejmuje 110 pozycji.

W rozdziale pierwszym, poprzedzonym krótkim wprowadzeniem do tematyki pracy, opisano budowę i zasadę działania pomp wielotłoczkowych osiowych. Przedstawiono kinematykę elementów roboczych i przeanalizowano nierównomierność wydajności pompy w zależności od ilości tłoczków. Następnie przedstawiono obciążenia podstawowych par kinematycznych pompy i zakres badań dotychczas stosowanych. Scharakteryzowano przy tym różne rodzaje stosowanych tłoczków, ich zalety i wady.

W rozdziale drugim dokonano przeglądu konstrukcji i parametrów pracy pomp wielotłoczkowych oferowanych przez znaczących producentów.

W rozdziale trzecim zdefiniowano cel główny pracy, postawiono tezy pracy oraz wymieniono szczegółowo zagadnienia obejmujące zakres rozprawy doktorskiej.

W rozdziale czwartym dokonano przeglądu literatury związanej z szeroko zakrojonymi badaniami naukowymi zmierzającymi do doskonalenia konstrukcji pomp wielotłoczkowych.

Rozdział piąty obejmuje analizę wpływu ciśnienia i temperatury na moduł odkształcenia objętościowego, wykonana na podstawie literatury. Ponadto zaprezentowano w nim różne modele matematyczne i sposoby obliczania modułu niezapowietrzonej cieczy. Zwrócono uwagę, że jedynie model IFAS uwzględnia zjawisko wzrostu modułu odkształcenia objętościowego oleju pod wpływem ciśnienia. Jednocześnie dokonano autorskiej modyfikacji zależności Feldmanna określającej moduł odkształcenia zapowietrzonej cieczy w funkcji ciśnienia, co było powodem do przeprowadzenia weryfikujących badań eksperymentalnych.

W rozdziale szóstym przedstawiono opatentowane autorskie stanowisko badawcze do określania zmiany objętości cieczy zapowietrzonej w funkcji ciśnienia. Opisano budowę i działanie zbudowanego stanowiska badawczego oraz przeprowadzono analizę niepewności

pomiaru objętości roboczej cieczy badanej. Na stanowisku badawczym przeprowadzono eksperymenty określające zmiany objętości w funkcji ciśnienia oleju mineralnego, wody i oleju rzepakowego z zawartościami 2 i 4.8 % zapowietrzenia. Na podstawie otrzymanych wyników badań wyznaczono izotermiczny styczny moduł odkształcenia objętościowego i potwierdzono pełną zgodność otrzymanych wyników ze zmodyfikowanym modelem Feldmanna.

W rozdziale siódmym przeanalizowano wpływ przecieków występujących w szczelinach podstawowych par kinematycznych pompy i wpływ objętości przestrzeni martwej wypełnionej cieczą roboczą na sprawność objętościową pompy wielotłoczkowej.

Rozdział ósmy poświęcony jest zagadnieniu przesunięcia osi obrotu tarczy i jej skutków. Jednocześnie przedstawiono szczegółową analizę zmian objętości przestrzeni martwej i przecieków w parze kinematycznej tłoczek - cylinder powstałych w wyniku tego przesunięcia. Poza tym przeanalizowano wpływ przesunięcia osi obrotu tarczy wychylnej na obciążenie bębna cylindrowego i tarczy wychylnej. Przeanalizowano także wpływ przesunięcia osi na sprawności objętościową i mechaniczno - hydrauliczną pompy.

W rozdziale dziewiątym przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych na zmodyfikowanej konstrukcji pompy, umożliwiającej poosiowe przesuwanie tarczy. Opisano modyfikację konstrukcji pompy PV023 firmy Parker i stanowisko badawcze wraz z wykazem aparatury badawczej i błędami pomiarów wielkości mierzonych. W pracy zaprezentowano wyniki badań sprawności całkowitej, objętościowej i mechaniczno - hydraulicznej w funkcji ciśnienia, prędkości obrotowej i lepkości oleju z różnymi kątami wychylenia tarczy, która ma przesuniętą oś obrotu i porównano je z wynikami uzyskanymi w przypadku nieprzesuniętej osi obrotu tarczy. Wyniki badań eksperymentalnych potwierdziły pełną zgodność z przyjętymi modelami obliczeniowymi.

W rozdziale dziesiątym dokonano podsumowania rozprawy wskazując na jej zasadnicze osiągnięcia.

2. Ocena pracy

Tematyka rozprawy doktorskiej obejmuje teoretyczne i doświadczalne określenie wpływu przemieszczania osi obrotu tarczy wychylnej na sprawność objętościową pomp wielotłoczkowych osiowych. W celu rozwiązania tego skomplikowanego zagadnienia Autor przeprowadził szerokie rozeznanie literaturowe, dokonał autorskiej modyfikacji zależności Feldmanna, określającej moduł odkształcenia objętościowego zapowietrzonej cieczy w funkcji wzrostu ciśnienia. Ze względu na brak pełnych opisów zjawisk fizycznych w dotychczasowych modelach matematycznych opracował i opatentował stanowisko badawcze do weryfikacji wywodów teoretycznych określania modułu odkształcenia objętościowego zapowietrzonej cieczy.

Realizacja podjętej tematyki badawczej wymagała szczegółowej analizy teoretycznej występujących w pompie strat objętościowych, wynikających z przecieków w podstawowych parach kinematycznych pompy oraz wpływu ściśliwości objętości cieczy przestrzeni martwej, wpływających na sprawność objętościową pompy. Autor przeanalizował wnikliwie dotychczasowe modele obliczeniowe przecieków i znacznie je rozbudował. Dokonał obliczeń przecieków par kinematycznych tłoczek - cylinder, zespołu tłoczka i stopki oraz bloku cylindrowego współpracującego z tarczą rozrządu określonej pompy. Sporządził bilans szczegółowy, wskazując na rozrząd czołowy jako największe źródło przecieków. W modelu

symulacyjnym służącym do wyznaczania sprawności objętościowej pompy, Autor uwzględnił współautorski model obliczeniowy strat natężenia przepływu cieczy, wynikający ze ścisłości objętości cieczy w komorze martwej.

Wykorzystując opracowane modele obliczeniowe, Autor przeprowadził analizę teoretyczną i symulacyjną strat natężenia przepływu cieczy roboczej w zmodyfikowanej pompie z przesuniętą osią obrotu tarczy wychylnej, potwierdzając jej wyższą sprawność objętościową.

W ramach pracy zrealizowano także badania eksperymentalne pompy wielotłoczkowej o zmodyfikowanej konstrukcji, umożliwiającej niezależne wychylanie i przesuwanie tarczy. Kombinacja tych dwóch ruchów, obrotu i przemieszczenia tarczy dawała efekt przesuniętej osi obrotu tarczy. Celem badań eksperymentalnych było udowodnienie wyższych sprawności objętościowej i całkowitej pompy z tarczą wychylną z przesuniętą osią obrotu w porównaniu z nieprzesuniętą. Wyniki badań eksperymentalnych potwierdziły ich zgodność z badaniami symulacyjnymi i obliczeniami teoretycznymi. Zrealizowane badania potwierdziły słuszność założonych tez w pracy.

Do najważniejszych osiągnięć zrealizowanej rozprawy doktorskiej należy zaliczyć:

- opracowanie i wykonanie unikalnego stanowiska badawczego do określania ścisłości objętości cieczy zapowietrzonej w funkcji ciśnienia. Cechą znaną opracowanego stanowiska jest pozbawienie odkształceń cylindra pomiarowego w pełni odciążonego hydrostatycznie w czasie pomiarów,
- przekonstruowanie pompy wielotłoczkowej osiowej typu PV023, w celu umożliwienia niezależnego wychylania i przesuwania tarczy wychylnej prowadzących do zmiany wydajności pompy z przesuniętą osią obrotu,
- przeprowadzenie szerokiego zakresu badań symulacyjnych i eksperymentalnych pompy o zmodyfikowanej konstrukcji z przesuniętą osią obrotu tarczy wychylnej, co miało wpływ na sprawności objętościową i całkowitą pompy.

Oceniając formę pracy, chciałbym stwierdzić, że jest ona napisana starannie i przejrzysto. Zawiera wiele ilustracji graficznych, w tym wykresów, które ułatwiają właściwą interpretację przedstawianych wyników. Można zauważyć także pewne usterki, z których najbardziej istotne wymienię w dalszej części niniejszej recenzji, jako uwagi szczegółowe.

Podsumowując, oceniam rozprawę jednoznacznie pozytywnie, mimo uwag, które zawarte są w kolejnym rozdziale niniejszej recenzji.

3. Uwagi szczegółowe, w tym dyskusyjne

- str. 26 – dotyczy podpisu pod rysunkiem 1.19, brak jest wyszczególnienia podpisu dotyczącego rysunków a) i b),
- str. 44 i 45 – dotyczy formy cytowania literatury. W pracy przykładowo jest: „[1][15][33][68][85]”, proponuję w cytowaniach wielokrotnych wspólny nawias: [1, 15, 33, 68, 85],
- str. 51 – w podpisie pod rysunkami jest „Rys. 5.5 Sposób wyznaczania stycznego (strona lewa) i siecznego (strona prawa) modułu odkształcenia objętościowego”, proponowałbym oznaczenie rysunków a) i b) z podpisem: Rys. 5.5. Sposób

wyznaczania modułu odkształcenia objętościowego: a) stycznego, b) siecznego, podobnie na str. 72,

- str. 74 – w zależności (7.7) i następnej występuje dodatkowa długość szczeliny l_B . Moim zdaniem długością szczeliny o wysokości h jest jedynie wartość l_A (zgodnie z rysunkiem). Wartość l_B jest odległością pomiędzy krawędziami cylindra i tłoczka w skrajnym przypadku,
- str. 100 – dotyczy górnego rysunku 8.4. Brak oznaczenia początkowego legendy,
- str. 101 – występują dwa rysunki (rys. 8.5), sugerowałbym oznaczenie rysunków: a) i b) z odpowiednim podpisem, podobnie na str. 103,
- str. 134, 135 i 148 – dotyczy rysunków 9.20, 9.21 i 9.44. Brak symboli oznaczeń na początku legend,
- a ponadto tekst zawiera także błędy tzw. literówki lub inne np.:
 - w większości rysunków występujących w pracy, po numerze rysunku powinna być kropka, przykładowo na str. 129 jest: „Rys. 9.13 Charakterystyka regulacyjna badanej pompy” powinno być: Rys. 9.13. Charakterystyka regulacyjna badanej pompy.

Usterki wymienionego typu obniżają w pewnym stopniu ocenę formy pracy, ale mimo tego typu uchybień pracę należy uznać za wykonaną z dużą starannością, w szczególności także pod względem wysokiej jakości prezentowanych schematów, opisów modeli obliczeniowych i uzyskanych wyników w postaci wykresów, co w kontekście realizowanej tematyki ma zasadnicze znaczenie.

4. Wniosek końcowy

Zagadnienia zaprezentowane w rozprawie stanowią zamkniętą całość rozwiązywanego problemu dotyczącego zjawisk występujących w węźle konstrukcyjnym stopka – tarcza wychylna pompy wielotłoczkowej, podczas jej ustawiania z przesuniętą osią obrotu. Postawione cele zostały w pracy zrealizowane. Dysertacja ma charakter poznawczy, gdyż wnosi nowe elementy do teorii konstruowania pomp wyporowych, jak również aplikacyjny, ponieważ jej wyniki mogą być wykorzystane bezpośrednio w praktyce.

Oceniając pracę pod względem merytorycznym stwierdzam, że jest ona samodzielnym i oryginalnym osiągnięciem Autora. Stanowi znaczący wkład w rozwój teoretycznych podstaw konstruowania nowych odmian pomp wielotłoczkowych osiowych i mieści się w obszarze dyscypliny *budowa i eksploatacja maszyn*.

Przedstawiona praca świadczy o dobrym przygotowaniu merytorycznym mgr inż. Pawła Załuskiego do samodzielnej pracy naukowej.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa spełnia w pełni wymagania stawiane pracom doktorskim zawarte w obowiązującej ustawie o stopniach i tytule naukowym i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Pawła Załuskiego do publicznej obrony.