

Dr hab. inż. Andrzej Sobczyk
prof. nadzw. Politechniki Krakowskiej
Osiedle Akademickie 5/16
31-866 Kraków

Kraków, dn. 25.05.2017 r.

R E C E N Z J A

pracy doktorskiej

mgr inż. Pawła Załuskiego

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

Promotor: **dr hab. inż. Leszek Osiecki**

Promotor pomocniczy: **dr inż. Paweł Śliwiński**

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. **Pawła Załuskiego** było pismo Prodziekana ds. Nauki Wydziału Mechanicznego (L.dz. 70/WM/2017) z dnia 19. 04. 2017r. w związku z wyznaczeniem mnie na recenzenta uchwałą Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej.

2. Przedmiot recenzji i ogólna charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska zawiera 10 rozdziałów, spis rysunków, spis tabel oraz wykaz literatury (95 pozycji plus 15 przywołanych katalogów) - łącznie 168 stron.

Po krótkim wprowadzeniu, w którym scharakteryzowano grupę pomp wielotłoczkowych osiowych z tarczą wychylną na tle rosnących wymagań, co do sprawności, przy coraz wyższych ciśnieniach roboczych, rzędu 40 MPa i więcej. Rozdział 1 poświęcony jest opisowi budowy pomp wielotłoczkowych osiowych, w oparciu o podstawową literaturę krajową i zagraniczną a także katalogi czołowych producentów. W szczególności przytoczone zostały zależności opisujące, odniesioną do

konstrukcji kinematykę i związaną z nią wydajność objętościową oraz obciążenia elementów roboczych pompy, takich jak: para tłoczek – cylinder, stopki, bęben cylindrowy, tarcza rozrządu pod wpływem ciśnienia roboczego i z uwzględnieniem sił tarcia pomiędzy współpracującymi elementami w tego typu konstrukcjach pompy. Przytoczone, zaczerpnięte z literatury przedmiotu, zależności matematyczne i wykresy oraz dodatkowo wyniki analizy metodami CFD, zostały poparte - co jest bardzo istotne, wynikami badań innych autorów. W rozdziale 2 dokonano przeglądu konstrukcji, dostępnych na rynku, pomp wielotłoczkowych osiowych z tarczą wychylną w celu wyciągnięcia wniosków co do ich głównych cech konstrukcyjnych. Rozdział 3 zawiera sformułowany cel i zakres pracy. Celem pracy jest teoretyczne i doświadczalne określenie wpływu przemieszczenia osi obrotu tarczy wychylnej na sprawność objętościową, a tym samym i całkowitą pompy. Dla tak sformułowanego celu pracy Autor sformułował tezy, które odnoszą się do wpływu przemieszczenia osi obrotu tarczy wychylnej pompy na zmniejszenie objętości przestrzeni martwej, i związane z tym zwiększenie sprawności objętościowej i całkowitej przy jednoczesnym zwiększeniu wartości momentu nastawczego tarczy. Dla tak sformułowanego celu i głównych tez pracy podano szczegółowy zakres pracy w formie zadań związanych z budową modelu matematycznego i zadań eksperymentalnych. Natomiast w rozdziale 4, co jest trochę nietypowe w typowym układzie prac doktorskich, dokonano przeglądu literatury z zakresu konstrukcji, modelowania oraz badań eksperymentalnych dotyczących elementów roboczych pomp wielotłoczkowych osiowych z tarczą wychylną.

Rozdział 5 zawiera istotne przy opisie i modelowaniu zespołów hydraulicznych wpływ na właściwości cieczy roboczych, takich czynników, jak ciśnienie, temperatura, zapowietrzenie. W rozdziale 6 przedstawiono wyniki badań mających na celu doświadczalne wyznaczenie modułu odkształcenia objętościowego oleju mineralnego, oleju rzepakowego oraz wody wodociągowej. Wyniki porównano z dostępnymi w literaturze rezultatami badań innych autorów, stwierdzając ich dużą zbieżność.

Rozdział 7 poświęcony jest analizie wpływu parametrów konstrukcyjnych pompy, ze szczególnym uwzględnieniem występujących w niej przecieków pomiędzy współpracującymi elementami, lepkości i ściśliwości cieczy oraz przestrzeni martwej na - postawioną w celu pracy - sprawność objętościową. Z kolei cały rozdział 8 zawiera opracowanie własne Autora w zakresie analizy i wyników badań eksperymentalnych dla

– postawionego w celu pracy - określenia wpływu przesunięcia osi obrotu tarczy wychylnej na poprawę sprawności objętościowej pompy poprzez zmniejszenie przestrzeni martwej w zespole tłoczek-tarcza rozrządu. Przeanalizowano konsekwentnie również wpływ przesunięcia osi obrotu tarczy na przecieki oraz na obciążenie bębna cylindrowego, jak też samej tarczy wychylnej. Skomentowano również spodziewaną poprawę sprawności mechanicznej pompy (choć podrozdział 8.5. mówi o sprawności mechaniczno-hydraulicznej) Rozdział 9 przedstawia zaplanowane przez Autora i przeprowadzone według opracowanej własnej metodyki badania doświadczalne zmodyfikowanej 9-tłoczkowej pompy PV023 firmy Parker z proporcjonalnym regulatorem wydajności. Badania wykonano na stanowisku w laboratorium Hydrauliki i Pneumatyki Politechniki Gdańskiej. W wyniku badań uzyskano charakterystyki sprawności w funkcji przesunięcia osi obrotu tarczy wychylnej, kąta wychylenia tarczy, ciśnienia tłoczenia oraz charakterystyki strat objętościowych w funkcji prędkości obrotowej, a także charakterystyki strat i sprawności objętościowej w funkcji lepkości cieczy. Uzyskane wyniki doświadczalne posłużyły zarówno do udoskonalenia modeli matematycznych, poprzez ich sparametryzowanie, jak też do weryfikacji wyników z symulacji komputerowej.

Podsumowanie pracy zawarto w rozdziale 10. Generalnie należy stwierdzić, że Autor udowodnił słuszność postawionych tez w rozdziale 3, wykazując wyraźny, jak pisze, nawet kilkunastokrotny wzrost sprawności objętościowej pompy przy małych kątach wychylenia tarczy, co może być szczególnie korzystne w zastosowaniu tego typu pomp do sterowania wydajnością w szerokim zakresie zmian od wartości minimalnej do nominalnej. Należy tu podkreślić, że w swojej pracy Autor dokonał bardzo wnikliwej analizy rozwiązań konstrukcyjnych grupy pomp osiowych tłoczkowych z tarczą wychylną, co pozwoliło na trafne i precyzyjne sformułowanie tez pracy. Na podkreślenie zasługuje dbałość Autora przy weryfikacji modeli matematycznych badanych zjawisk poprzez zaplanowanie i wykonanie badań dotyczących określenia m.in. rzeczywistych właściwości czynników hydraulicznych w zależności od ciśnienia, temperatury i zapowietrzenia. To ostatnie zaowocowało modyfikacją znanej zależności Feldmanna określającej moduł odkształcenia zapowietrzanej cieczy w funkcji ciśnienia.

Przy tej okazji, dodatkowym osiągnięciem Autora było zaprojektowanie przyrządu do objętościowej metody badania ściśliwości czynnika roboczego w funkcji ciśnienia, który stał się przedmiotem zgłoszenia patentowego.

Po zapoznaniu się z całością pracy stwierdzam, że Doktorant podjął interesujący i bardzo istotny problem do rozwiązania i to zarówno pod względem poznawczym, jak i utylitarnym. Jednocześnie na podkreślenie zasługuje dokonanie szerokiego rozpoznania stanu wiedzy na podstawie dostępnej literatury krajowej i zagranicznej, niezbędnego dla sformułowania celu, tez i zakresu pracy.

3. Ocena układu treści i uwagi szczegółowe

Układ treści rozprawy jest logiczny i poprawny, użyte sformułowania w treści w zdecydowanej większości są poprawne i czytelne, w tym w odniesieniu do wymogów stawianych tekstom technicznym w zakresie nazewnictwa. Rysunki w zdecydowanej większości wykonane są bardzo starannie. Wykresy przedstawiające wyniki analiz i badań doświadczalnych dobrze opisane i czytelne. Jedynie niektóre ilustracje w kolorze są, w otrzymanym egzemplarzu do recenzji nieco mniej czytelne, co może wynikać zarówno z jakości oryginału jak i z techniki druku. Dobrze dobrany wykaz źródłowych pozycji literaturowych, związanych z poruszaną tematyką w rozprawie, znajduje odwołania w treści pracy.

W tak obszernym opracowaniu jakim jest przedłożona rozprawa doktorska Autor nie ustrzegł się drobnych błędów redakcyjnych, czy też niedopowiedzeń, z których ważniejsze wymieniono poniżej, w kolejności występowania w opracowaniu:

- s. 8, w.11 od góry – lepiej byłoby napisaćich zastosowanie jest stosunkowo niska sprawność w porównaniu z innymi rodzajami układów przeniesienia napędu;
- 8 w. 17 od góry – można tu zaryzykować stwierdzenie, że do poprawy sprawności, nie tylko objętościowej ale ogólnej pomp ma wpływ nie tylko rozwój technik obróbki skrawaniem i ich wysokiej dokładności ale szerzej: m.in. inżynierii materiałowej, innych technologii poprawy własności powierzchni, w tym stosowanie nano-powłok.
- s. 19, w. 12 – w tym miejscu nie każdy czytelnik może wiedzieć, jaką pompę oznacza symbol PWK;
- s. 19, w. 13 – powinno być: .w pompach Sauer-Danfoss [110] (obecnie Danfoss);

- s. 31, w. 6 od dołu – zamiast ...układy tłoków sterowane hydraulicznie - lepiej byłoby napisać np. ...specjalne siłowniki hydrauliczne...(tłokami, w literaturze, najczęściej nazywa się elementy siłownika);
- s. 37, w. 1 – powinno być (zgodnie z wykazem w tabeli przeglądu pomp) ...pompa Sauer Danfoss serii 90;
- s. 39, Rys. 2.7 – można było dodać opis oznaczonych numerami elementów na rysunku albo je usunąć;
- s. 112, w. 1 od dołu – konsekwentnie powinno być ...mechaniczno-hydraulicznej pompy. (tak jak w tytule podrozdziału).

W uwagach do treści pracy nie wymieniono nielicznych spotkanych błędów interpunkcyjnych czy tzw. literówek. Jedyne do rozważenia poddaję czy w przypadku podawania wartości liczbowej różnych parametrów wraz z ich jednostkami nie lepiej byłoby, dla przejrzystości tekstu, oddzielić je odstępem (np. 40 MPa zamiast 40MPa, 15cSt zamiast 15cSt, itd.)? Powyższe uwagi, z których część może mieć lub ma charakter dyskusyjny, nie obniżają wysokiej ogólnej oceny całej pracy a tylko mają charakter często korektorski, wynikający z dbałości o spójność językową w dziedzinie i tematyce, w której praca się lokuje i mogą być przydatne Autorowi np. przy późniejszym publikowaniu wyników swojej pracy.

4. Ocena podsumowująca recenzowana pracę doktorską

Przechodząc do ogólnej oceny pracy stwierdzam, że praca Pana mgr inż. Pawła Załuskiego obejmuje kompleksowe podejście do zrealizowania przyjętego celu i potwierdzenia postawionych tez pracy, poczynając od szerokiej analizy stanu wiedzy przez modelowanie matematyczne oraz bardzo istotne, w tym przypadku, badania eksperymentalne. W szczególności na podkreślenie zasługuje fakt, że Autor wykazał się umiejętnością wykorzystania dotychczasowej wiedzy w przedmiocie do prowadzenia własnych rozważań teoretycznych, jak też, popartych opracowaną przez siebie metodyką, badań laboratoryjnych, bardzo istotnych, z punktu widzenia nie tylko oceny jakościowej ale ilościowej uzyskanych wyników.

W szczególności należy podkreślić osiągnięcie Doktoranta w rozwinięciu i wprowadzeniu modyfikacji w opisie matematycznym zjawisk, m.in. takich jak

zapowietrzenie cieczy roboczej, na moduł ściśliwości cieczy roboczej przy zmianach ciśnienia, które znalazły potwierdzenie w wynikach badań doświadczalnych

Zawarte w podsumowaniu wnioski wynikające z własnych rozważań teoretycznych, poprzedzonych pogłębioną analizą dostępnych źródeł literaturowych oraz poparte wynikami badań doświadczalnych - stanowią istotny wkład w rozwój badań w dziedzinie nowoczesnych konstrukcji jednostek wielotłoczkowych. Oceniając wyniki pracy można stwierdzić, że zawiera zarówno wartości poznawcze jak i użyteczne w zakresie nowoczesnych konstrukcji maszyn hydrostatycznych, a konkretnie wielotłoczkowych pomp z tarczą wychylną. Dlatego też, wyrażam opinię, że rozprawa zasługuje na wysoką ocenę a zawarte w niej wyniki powinny być upowszechnienie poprzez opublikowanie. Ponadto przedstawiona do recenzji praca pozwala na również na stwierdzenie, że Doktorant jest przygotowany w przyszłości do prowadzenia samodzielnej pracy naukowej.

5. Wniosek końcowy

Reasumując, stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Pawła Załuskiego, pt. „Wpływ położenia osi obrotu tarczy wychylnej na sprawność objętościową pomp wielotłoczkowych osiowych” - jest oryginalna i w spełnia wymagania, jakie stawia pracom doktorskim, obowiązująca USTAWA z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Merytorycznie praca odpowiada jednocześnie standardom stawianym pracom doktorskim w naukach technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn i na tej podstawie stawiam wniosek o dopuszczenie przedmiotowej pracy do publicznej obrony.

Kraków, 25.05.2017

