

Szczecin, 5.09.2018 r.

Prof. dr hab. inż. Ryszard Buczkowski
Zakład Mechaniki Konstrukcji i Wibroakustyki
Wydział Techniki Morskiej i Transportu
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Zawistowskiego **Symulacja zjawisk dynamicznych w wysokociśnieniowej pompie hydraulicznej o zmiennej wydajności**, promotor: prof. dr hab. inż. Michał Kleiber

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę opracowania recenzji stanowiło pismo dr. hab. inż. Zbigniewa Ranachowskiego, sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, z dnia 6.07.2018 r.

2. Opis rozprawy

Praca dotyczy komputerowej symulacji zjawisk w hydraulicznej pompie osiowo-tłokowej o zmiennej wydajności pompy wielotłoczkowej z rozrządem krzywkowym oznaczonej w pracy jako pompa PWK. Pompa PWK została zaprojektowana w Katedrze Hydrauliki i Pneumatyki Politechniki Gdańskiej przez prof. Andrzeja Osieckiego i jego syna dr. hab. Leszka Osieckiego. Rozważaną koncepcję pompy trudno jest nazwać nową czy innowacyjną skoro prace dotyczące takiej pompy były prowadzone już w latach 90-tych ubiegłego stulecia (p. A. Osiecki, L. Osiecki, Prace rozwojowe nad nową konstrukcją pomp wielotłoczkowych osiowych, Hydraulika i Pneumatyka, nr 4/98, Wrocław 1998). Można w tym przypadku mówić jedynie o dalszych pracach rozwojowych, szczególnie w odniesieniu do rozrządu krzywkowego pompy (p. również L. Osiecki, Możliwość zmniejszenia strat ciśnieniowych w pompie wielotłoczkowej dzięki zastosowaniu rozrządu sterowanego krzywką, konferencja Hydrauliczny Napęd i Sterowanie, Wrocław 2002 ISBN 83-87982-90-3). Autor rozprawy nie przytacza tych pozycji oraz innych z wcześniejszego okresu, a jedynie publikacje młodsze z lat 2006-2013, 2017 (często ze swoją osobą jako współautorem) mogące sugerować, że tematyka jest stosunkowo nowa i innowacyjna. Należy tutaj dodać, że pompa PWK o stałej wydajności została

wprowadzona przez firmę Hydrotor do produkcji na początku lat 2000, lecz nie mając dużego zbytu pozostała praktycznie nie zauważona na rynku międzynarodowym. Późniejsze prace rozwojowe miały tę sytuację nieco zmienić. Jednak mechanizm sterowania krzywką rozrządu pompy z przekładnią planetarną oraz silnikiem krokowym powodowały spore kłopoty z wdrożeniem projektu na skalę produkcyjną (liczba dodatkowych detali produkcyjnych powodowały problemy z niezawodnością pompy).

3. Uwagi i spostrzeżenia

1. Str. 8-9 Objasnienia oznaczeń i skrótów.

W oznaczeniach panuje nieporządek i brak konsekwencji.

Na str.9 Autor oznacza: ν – lepkość kinematyczną i zaraz po nim

ν – liczbę Poissona (tą samą literą)

v – oznacza prędkość płynu a tymczasem w wielu miejscach prędkość oznacza przez v lub v , np. str.123 wzór 8.5.4-11 prędkość oznacza przez v zamiast v ,

a – w objaśnieniach to przyspieszenie a np. str.112 rys 127 a - to wymiar (tą samą literą),

k – w objaśnieniach to wsp. przewodności cieplnej a np. str.112 wzór 8.5.1-5 k - to współczynnik poprawkowy,

L – w objaśnieniach to Lagrangian a np. str.111 rys 125 L - to wymiar.

Tego rodzaju niekonsekwencji w pracy jest więcej.

2. Str.70 Błąd we wzorze 8.3.1-2

Jest $B = \frac{dp}{\rho}$ brak wyjaśnienia w tekście co to ρ , ho

Powinno chyba być: $B = \frac{dp}{\rho}$

2. Str.18 rys. 5 podano błędne źródło [34] - to publikacja L. Olemsa – Investigations of the temperature behavior of the piston-cylinder assembly in axial piston pumps.

Błędnie przywołano pozycję [34], poza tym błędnie opisana ją w spisie literatury str.165. Powinno być International Journal on Fluid Power, vol.1 (1), (2000), 27-38.

3. Str.31 rys.17 – opis rysunku przesłonięty.
4. Str.32 1 wers od dołu. Na rysunku 20 opisano własności materiałowe ...
Powinno być:....Na rysunku 21 opisano własności materiałowe...
5. Str.71 Wzór na prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej w oleju (wzór 8.3.1-4)
$$c = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$
 nie uwzględnia podatności (odkształcalności) komory w której się on rozchodzi (w pompie jest odkształcalna membrana, która ma istotny wpływ na tę prędkość).
6. Str.74 drugi wers od dołu jest „schematu testów na w tabeli2... - wyraz na jest niepotrzebny.
7. Str.74 - Zastosowano do symulacji model molekularnej lepkości kinematycznej w obszarach przyściennych Spalarta-Allmarsona, argumentując że przy ubogiej siatce pozwala na uzyskanie wiarygodnych wyników. Bez badań eksperymentalnych wnioszek autora jest mało przekonujący.
8. W pracy brak jest zaawansowanej dyskusji na temat grubości i własności warstwy przyściennej przyjętego modelu tarcia przyściennego. W analizie niestacjonarnych przepływów o wysokiej dynamice i falowym charakterze przepływu cieczy, uwzględnienie tych zjawisk ma zasadnicze znaczenie w przypadku obliczeń CFD. Bez właściwego odniesienia do pomiarów wszystkie numeryczne symulacje mają wartość jedynie pogładową.
9. Str. 85 – 2 wers od góry jest „...wpływ na temperatura oleju...” Powinno być: „...wpływ ma temperatura oleju..”
10. Str. 86 – rys.92 Porównanie wyników badań na stanowisku [37] z symulacją. Na pierwszym wykresie – „pomiar” mamy pik ciśnienia do 30 MPa a wynik symulacji (wykres obok) 20 MPa. Różnica wynosi aż 50%. Komentarz autora: „Wyniki symulacji pokazują zbliżoną charakterystykę ciśnienia, niemniej występują pewne różnice, które

wynikały m.in. z nieuwzględnienia kawitacji w modelu symulacyjnym”. Czy w pojęciu autora błąd wynoszący 50% jest wynikiem zbliżonym do rzeczywistego?

11. Str.87 – 4 wers od dołu: „Olej potraktowano jako ciecz lekko ściśliwą”. Co to jest ciecz lekko ściśliwa?

12. Str.98 Wyjaśnić dlaczego przyjęto do obliczeń zjawiska kawitacji ciśnienie ssawne równe 0.2 MPa oraz zapowietrzenie 8%. Czy podane wielkości były zmierzone eksperymentalnie?

13. Str. 105 – 2 linia od dołu: „ Porównując rys. 118 i 116 można zauważyć zgodność co potwierdza poprawność uzyskanych wyników”. Stwierdzenie bez badań eksperymentalnych, że zgodne wyniki symulacji z wykorzystaniem modelu 2-fazowego z modelem 3-fazowym ZGB są potwierdzeniem poprawności symulacji, jest dość ryzykowne.

14. Str. 112 – wzór 8.5.1-4.

Jest: „Wykorzystując wzór 8.5.2-2, natężenie objętościowe przepływu wynosi

$$Q = k_{lam}\Delta p = 8.14 \cdot e^{-13}2.8 = 2.28 \cdot e^{-6} \frac{m^3}{s}$$

Błąd: Nie ma wzoru 8.5.2-2 – powinno być: Wzór 8.5.1-2 ze str.111

Błąd w obliczeniach: $8.14 \cdot e^{-13}2.8 \neq 2.28 \cdot e^{-6} \frac{m^3}{s}$

Powinno być: $Q = k_{lam}\Delta p = 8,14 \cdot e^{-13} \cdot 2,8 \cdot e^6 = 2,28 \cdot e^{-6} \frac{m^3}{s}$

(brakuje pomnożenia przy liczbie 2.8 przez 10^6 , czyli zmiany jednostki z MPa na Pa)

15. Str. 113 Autor do obliczeń przyjmuje temperaturę w szczelinie $49^{\circ}C$ na podstawie załączonego wykresu na Rys.128. Lepkość dynamiczna oleju Azolla ZS46 dla tej temperatury jest inna i wynosi $\mu = 0.027 \frac{kg}{m \cdot s}$

Tymczasem w przypadku wzoru 8.5.1-6 autor przyjmuje wartość $\mu = 0.026 \frac{kg}{m \cdot s}$.

Podobny błąd jest na str.117, wzór 8.5.3-1 (na dole str.117 również powtórzono, że temperatura pracy oleju wynosi $49^{\circ}C$).

Podobnie: str.124 Olej ma temperaturę $49^{\circ}C$

16. Str.113 – 6 linia od dołu jest: „i przyjmując $Q = 2.98 \cdot e^{-3} \frac{m^3}{s}$ oraz $A = 4 \cdot e^{-7} m^2$ uzyskuje się $v = 7.45 \frac{m^2}{s}$ ”

Błąd: Powinno być $Q = 2.98 \cdot e^{-6} \frac{m^3}{s}$

17. Str.123 – Błąd – jest: „ $Q = 5.11 \cdot e^{-6} \frac{m^3}{s}$ lub $5.11 \cdot e^{-3} \frac{l}{min}$ ”

Tymczasem: obie strony nie są równe, co oznacza, że $Q = 5.11 \cdot e^{-6} \frac{m^3}{s} \neq 5.11 \cdot e^{-3} \frac{l}{min}$

18. Str.126 Tabela 5 Porównanie przecieków ...

Niektóre otrzymane wyniki są, przy przyjętych przez autora założeniach upraszczających, poprawne, ale mało realne. Przykładowo, podana w tabeli dolnej, konfiguracja II Przepływ Szczelina 10 mm (strona ssawna) wartość $Q = 2.81 \cdot e^{-5} [\frac{l}{min}]$ jest tak mała, że biorąc pod uwagę zjawiska adhezji w szczelinach i napięcia powierzchniowego oleju w szczelinie, praktycznie przecieki byłyby zerowe. Warto tutaj dodać, że znane są powszechnie kłopoty projektantów mikrosystemów hydraulicznych (również mikropomp oleju) z praktycznym otrzymywaniem wydajności o tak niewielkiej wartości jaką podaje autor.

19. Odnośnie Roz. 8.5 i obliczeń w szczelinach smarujących pompy PWK, str.106-129. Wzory podane w pracy przez autora do obliczeń teoretycznych są prawdziwe dla przepływów stacjonarnych w przypadku oleju jako płynu nieściśliwego oraz przy założeniu stałej, niezmiennej wartości lepkości oleju. Założenia te jednak bardzo odbiegają od rzeczywistości. Lepkość oleju w szczelinie zależy od ciśnienia oraz od temperatury. Dla rozpatrywanych przez autora szczelin i przecieków o charakterze laminarnym dawno wyprowadzono wzory teoretyczne na przecieki z uwzględnieniem zmienności ciśnienia w szczelinie i temperatury. Nieuwzględnienie tego faktu, zarówno w modelach teoretycznych oraz przy obliczeniach numerycznych (zakładano tam stałą temperaturę oleju a zatem i lepkości – patrz.np. obliczenia numeryczne str.112 gdzie założono $\mu = 0.026 \frac{kg}{m \cdot s} = const$) powoduje, że wyniki obliczeń teoretycznych i numerycznych mogą znacznie różnić się od wyników pomiarowych. Brak przywołania

wyników eksperymentalnych powoduje małą wiarygodność podanych wyników. W tym miejscu należało skorzystać z gotowych, znanych z literatury, wzorów teoretycznych uwzględniających w przepływach laminarnych przez szczeliny zmienność ciśnienia od temperatury.

20. Autor w swoich rozważaniach raz uwzględnia zapowietrzenie oleju, w innych miejscach pracy pomija. Brak jest konsekwencji, zwłaszcza że stopień zapowietrzenia ma duży wpływ na zjawiska dynamiczne w pompie, np. na prędkość propagacji fali ciśnieniowej w oleju. Przyjmowany moduł sprężystości objętościowej oleju odgrywa ważną rolę w obliczeniach dynamiki przepływów i należy być bardzo ostrożnym w modelowaniu tego rodzaju przepływów. Odnosi się to zarówno do analizy warstwy przyściennej jak również do jej zmienności w warunkach dynamicznych.

21. Bibliografia

Autor nie przytacza szeregu ważnych pozycji z opisywanej tematyki. Autor odniósł się jedynie do swoich prac oraz prac zespołu kierowanego przez dr. hab. Leszka Osieckiego. Stanowi to spore niedopatrzenie ze strony autora. W tej tematyce jest sporo ciekawych publikacji z badań symulacyjnych, obliczeniowych i eksperymentalnych. Ocena dokonań autora w tym zakresie na tle innych osiągnięć jest więc utrudniona. Bibliografia sporządzona jest niedbale, przez co niemożliwa jest staranna analiza literaturowa. Brak jest publikacji krajowych o zbliżonej tematyce, np.: (a) Petrovic R., Pezdarnik J., Banaszek A., Durcic L. Influence of compressibility of working fluid on hydrodynamic Processes in the axial piston pump with combined distribution/flow of working fluid, 2011 International Conference of Fluid Power and Mechatronics (FPM2011) Beijing August 2011 China, (b) Petrovic R., Banaszek A., Experimental research of characteristic parameters hydrodynamic processes of axial piston pump with constant pressure and variable flow, The Archive of Mechanical Engineering Vol. LVI 2009, Nr 2, pp. 131-142, (c) Petrovic R., Pizdirnik J., Banaszek A., Durcic L., Mathematical modeling and experimental research of novel seawater hydraulic axial piston pump, The Twelfth Scandinavian Int. Conference on Fluid Power, Tampere 2011, Finland, (d) Petrovic R., Banaszek A., Vasiliev A., Batocianin S., Mathematical modeling and simulation of slide contacts Vane/profiled stator of vane pump,

Bath/ASME Symposium on Fluid Power and Motion Control FPMC 2010, Bath University UK.

4. Podsumowanie

W recenzowanej rozprawie przeprowadzono i opisano szereg symulacji komputerowych, których celem było ulepszenie działania hydraulicznej pompy osiowo-tłokowej o zmiennej wydajności oznaczonej w pracy jako PWK. Autor podjął się zadania dosyć trudnego, z uwagi na złożoność procesów zachodzących w takich urządzeniach. Wyniki, przeprowadzonych przez autora, obliczeń komputerowych mogą przydać się w procesie przeprojektowania i polepszenia działania urządzenia. Notę obniża fakt, że nie przeprowadzono pełnej analizy sprzężonej cieplno-mechanicznej.

Mając na uwadze złożoność oraz pracochłonność zadań podjętych w rozprawie, uważam, że rozprawa doktorska p.t. Symulacja zjawisk dynamicznych w wysokociśnieniowej pompie hydraulicznej o zmiennej wydajności autorstwa mgr. inż. Tomasza Zawistowskiego spełnia wymagania stawiane w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595 ze zmianami) i może stanowić podstawę o ubieganie się przez niego o stopień naukowy doktora w dyscyplinie mechanika, wnoszę zatem o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

 5.09.2018