

Dr hab. inż. Andrzej Banaszek, prof. ZUT
Katedra Mechaniki Konstrukcji
Wydział Techniki Morskiej i Transportu
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
71-065 Szczecin
Ul. Aleja Piastów 41
Tel. 91 694 889 866
e-mail: andrzej.banaszek@zut.edu.pl

Szczecin dn. 5.lipca.2024

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Towarnickiego p.t.

„Metoda projektowania tłumika spiralnego typu odgałęźnego do redukcji pulsacji ciśnienia w układach hydraulicznych”.

Promotorami rozprawy doktorskiej są : dr hab. inż. Michał Stosiak, prof. uczelni

: dr inż. Mykola Karpenko, prof. Wileńskiego
Uniwersytetu Technicznego im. Giedymina

1. Podstawa recenzji rozprawy doktorskiej

Podstawą opracowania recenzji było pismo Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej (Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej ‘Inżynieria Mechaniczna’ Politechniki Wrocławskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego) w Wrocławiu z dnia 23.04.2023 r. odnośnie napisania recenzji Rozprawy Doktorskiej nr pisma W10/RDND07/40/2024.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska liczy 172 strony. Bibliografia zawiera aż 287 pozycje, w tym 65 artykułów autora (współautorstwo), a także artykuły i materiały konferencyjne, podręczniki, książki, dysertacje oraz poradniki i patenty. Za spisem treści znajduje się 1 stronicowy wykaz ważniejszych oznaczeń. Pracę uzupełniają liczne rysunki (w ilości - 172) oraz tabele (ilość - 6). Część merytoryczna składa się z 6 rozdziałów i podsumowania z wnioskami końcowymi.

We wstępie ponumerowanym jako rozdział 1, opisano powody rozwoju napędów hydraulicznych, w tym mikrohydrauliki oraz wyszczególniono ich zalety i wady. Następnie sformułowano problem naukowy poruszany w dysertacji, związany z generowanym hałasem w układach mikrohydraulicznych. Podkreślono również problem koincydencji drgań mechanicznych i pulsacji ciśnienia w układach mikrohydraulicznych, jako głównego źródła

generowanego hałasu w tych układach. Następnie przedstawiono bierne metody redukcji pulsacji ciśnienia, podkreślając w szczególności potrzebę opracowania skutecznego spiralnego tłumika typu odgałęźnego. Stanowiło to tym samym genezę powstania recenzowanej dysertacji. W następnych podpunktach rozdziału opisano stan badań w omawianym zakresie, sformułowano tezę pracy oraz wyznaczono trzy (3) główne cele pracy. W ostatniej części rozdziału wyznaczono zakres pracy, który został podzielony na dziewięć (9) oddzielnych obszarów tematycznych.

W rozdziale 2 ogólnie omówiono zalety i wady mikroukładów hydrostatycznych, własności hydraulicznych cieczy roboczych, rodzaje przewodów rurowych, rodzaje przepływów a także pomp wyporowych i zaworów hydraulicznych.

Treść rozdziału 3 zawiera rozważania na temat zjawiska pulsacji wydajności i ciśnienia w układach hydrostatycznych, w tym, mikrohydrostatycznych. Zdefiniowano podstawowe pojęcia opisujące zjawiska nierównomierności wydajności pomp wyporowych oraz ich przyczyny. Opisano źródła oraz zagadnienia drgań mechanicznych oddziałujących na zawory hydrauliczne, w tym mikrozawory hydrauliczne. Autor przedstawił zbudowane do badań tego zjawiska stanowisko pomiarowe oraz wyniki badań charakterystyk ciśnieniowo-przepływowych oraz widma amplitudowo-częstotliwościowego pulsacji ciśnienia mikrozaworu maksymalnego (typu gniazdowego ze stożkowym elementem zamykającym) przy różnych wartościach częstotliwości wymuszeń zewnętrznych oraz różnych wartościach ciśnienia, przepływu oraz sztywności sprężyny. Na ich podstawie udowodnił istotny wpływ zewnętrznych drgań mechanicznych na powstawanie dodatkowych pulsacji ciśnienia odpowiadających częstotliwościom występujących wymuszeń. Autor zbadał również dla danych częstotliwości wymuszeń, wartości pojawiającej się amplitudy pulsacji ciśnienia i przedstawił wyniki w formie zbioru wykresów widm amplitudowo-częstotliwościowych pulsacji ciśnienia wpływu zewnętrznych drgań mechanicznych, powodujących pulsacje ciśnienia w zależności od częstotliwości wymuszeń zewnętrznych drgań mechanicznych dla trzech różnych wartości natężenia przepływu (0,6, 0,8, 1,0 dm³/min), ciśnienia średniego (5, 8, 10 MPa) i sztywności zastosowanej sprężyny dla zaworu gniazdowego ze stożkowym elementem zamykającym (0,76, 3,44 i 7,49 N/mm). W dalszej części rozdziału zbadano dla danych częstotliwości wymuszeń zewnętrznych, wartości pojawiającej się amplitudy pulsacji ciśnienia a wyniki obliczeń przedstawiono w formie zbioru wykresów widm amplitudowo-częstotliwościowych pulsacji ciśnienia w zależności od zastosowanej sztywności sprężyny i przepływów, powodujących pulsacje ciśnienia w relacji od częstotliwości wymuszeń zewnętrznych drgań mechanicznych. Na koniec wspomniano o niekorzystnym zjawisku uderzenia hydraulicznego w systemie hydrostatycznym, jako źródła pulsacji ciśnienia w układzie.

W rozdziale 4 przedstawiono problematykę redukcji pulsacji ciśnienia w układach hydraulicznych. Opisano metody redukcji pulsacji ciśnienia, wynikających z kinematyki pracy pomp wyporowych, w tym pomp zębatych. Opisano wpływ instalacji akumulatorów hydraulicznych, tłumików biernych i tłumików aktywnych na redukcję hałasu. Następnie autor przedstawił problematykę i metody redukcji pulsacji ciśnienia w układzie hydraulicznym, będących wynikiem oddziaływania zewnętrznych drgań mechanicznych na

zawór hydrauliczny oraz rozdzielacz. Opisano opatentowane przez autora rozwiązania rozdzielaczy hydraulicznych z elementami tłumiącymi drgania suwaka i problemy jego stabilizacji położenia w czasie eksploatacji. Na koniec rozdziału omówiono zagadnienia redukcji pulsacji ciśnienia występujące podczas stanów przejściowych, w tym na drodze wyposażenia układu w akumulator oraz na drodze sterowania zaworami (szczególnie zaworem rozruchowym, zaworem dławiącym) a także sterowania rozdzielaczami 2-stopniowymi lub proporcjonalnymi, pozwalającymi na spowolnienie procesów rozruchowych lub wywołanie dodatkowych przecieków podczas operacji rozruchu.

Rozdział 5 rozpoczęto od omówienia metod projektowania odgałęźnego spiralnego tłumika pulsacji ciśnienia. Opisano zasadę działania biernych tłumików typu refleksyjnego. Następnie badano moduł sprężystości objętościowej oleju oraz prędkość propagacji fali ciśnienia w przewodzie hydraulicznym. Przedstawiono modele matematyczne liniowego tłumika typu odgałęźnego beztarciowego (bezstratnego), oraz z uwzględnieniem tarcia quasi-stacjonarnego i tarcia niestacjonarnego. Przedstawiono również model matematyczny spiralnego tłumika typu odgałęźnego a także przeprowadzono badania wpływu ciśnienia średniego na impedancję oraz długość tłumika spiralnego. Na podstawie autorskiego programu, zrealizowanego w programie Matlab, przedstawiono wyniki obliczeń modułu impedancji początkowej tłumika odgałęźnego, określając wpływ zmian ciśnienia średniego na długość tłumika dla zadanej wartości częstotliwości wymuszenia (1 MHz) oraz wpływ zmiany temperatury cieczy roboczej (lepkości oleju) dla tłumika spiralnego typu odgałęźnego. Wykonano również analizę (w sposób modelowy) zmian wartości modułu impedancji tłumika, w zależności od wskazanego parametru przy stałych wartościach pozostałych parametrów, wykazując, że największy wpływ na wartość modułu ma jego długość i zastępczy moduł sprężystości objętościowej cieczy i przewodów, a najmniejszy - lepkość (temperatura) cieczy.

W ostatnim merytorycznym rozdziale dysertacji (Rozdział 6) przeprowadzono badania eksperymentalne weryfikacji modelu teoretycznego obliczeń pulsacji ciśnienia w układzie hydraulicznym z zastosowaniem biernego spiralnego tłumika typu odgałęźnego. Opisano stanowisko laboratoryjne zbudowane do tego celu wraz z oceną niepewności pomiarów. Badano wartości pulsacji ciśnień dla układu bez tłumika, z tłumikiem liniowym oraz z tłumikiem spiralnym o różnych długościach w zakresie 2370 - 2860 mm (co 10 mm), dla trzech wybranych wartości temperatur oleju (30, 40 i 50 stopni Celsjusa) i trzech średnich ciśnień roboczych (5, 10 i 12 [MPa]), przy ustalonej prędkości obrotowej pompy wyporowej (800 obr/min).

Przedstawiono:

- - Zestaw zbiorczych wyników pomiarów pulsacji ciśnienia w układzie dla tłumika spiralnego dla trzech wybranych temperatur oleju (30, 40 i 50 stopni Celsjusa) i trzech średnich ciśnień roboczych (5, 10 i 12 MPa).
- - Porównanie amplitud pulsacji ciśnienia oleju w układzie przy zastosowaniu tłumika spiralnego dla różnych długości tłumika przy trzech wartościach średnich ciśnień

roboczych (5, 10 i 12 MPa) i trzech temperatur oleju (30, 40 i 50 stopni Celsjusa) oraz przy trzech wartościach prędkości obrotowej pompy wyporowej/ częstotliwościach wymuszeń zewnętrznych pochodzących od pompy wyporowej: (800 , 1000 i 1400 obr/min/120, 150 i 210 Hz).

Następnie autor analizował efektywność badanych tłumików typu odgałęźnego, porównując efektywność tłumika spiralnego o różnej długości przy wybranej prędkości obrotowej pompy wyporowej (1200 obr/min) dla trzech wartości średnich ciśnień roboczych (5, 10 i 12 MPa) i trzech temperatur oleju (30, 40 i 50 stopni Celsjusa).

Na koniec tego rozdziału autor porównał wyniki obliczeń symulacji efektywności i długości tłumika liniowego i spiralnego, z wynikami badań laboratoryjnych dla trzech prędkości obrotowej pompy wyporowej (800, 1000 i 1400 obr/min) dla trzech wartości średnich ciśnień roboczych (5, 10 i 12 MPa) i trzech temperatur oleju (30, 40 i 50 stopni Celsjusa).

Część merytoryczną kończy rozległe, 5-stronicowe podsumowanie zawierające wnioski końcowe z rozprawy.

Praca została napisana zrozumiale i poprawnie pod względem edytorskim (z drobnymi problemami z numeracją rysunków, z powtórzeniami tekstu w opisach patentów i błędami literowymi). Zawarte w rozprawie liczne rysunki, schematy i wykresy są czytelne i starannie wykonane, przez co stanowią dobre uzupełnienie prezentowanej treści pracy.

3. Ocena ogólna rozprawy

Tematyka przedstawionego do recenzji pracy doktorskiej jest ważna i aktualna, zwłaszcza w odniesieniu do tematyki redukcji hałasu emitowanego przez układy hydrostatyczne. Zbyt wysoki poziom emitowanego w czasie eksploatacji hałasu był często problemem hamującym rozwój nowoczesnych hydrostatycznych układów napędowych, ograniczając możliwości ich wykorzystania w wielu dziedzinach techniki jak na przykład w oceanotechnice. Zdarzały się przypadki montowania na pokładach tankowców napędowych układów hydrostatycznych o dużej mocy, emitujących hałas o natężeniu przekraczającym poziom 100 dB i więcej. Zbyt wysoki poziom hałasu ma też istotny wpływ na zdrowie i komfort ludzi obsługujących tego typu urządzenia oraz na bezpośrednie otoczenie środowiskowe. Dlatego rozwój nauki i kształcenie własnych specjalistów z tej dziedziny jest bardzo ważne i istotne dla gospodarki narodowej.

Celem naukowym rozprawy doktorskiej było opracowanie modelu matematycznego obliczeń impedancji tłumika odgałęźnego o kształcie spiralnym, jego weryfikacja eksperymentalna na drodze badań skuteczności redukcji amplitudy pulsacji ciśnienia dla wybranej częstotliwości wymuszenia oraz sformułowanie wytycznych do projektowania skutecznych tłumików spiralnych dla wybranych częstotliwości wymuszenia.

W tym celu autor na początku dokonał analizy i identyfikacji wymuszeń, powodujących zmiany w widmie pulsacji ciśnienia w układzie mikrohydraulicznym. Na podstawie badań

eksperymentalnych określił sposób przenoszenia się drgań na elementy sterujące, związane z korpusem zaworu hydraulicznego za pośrednictwem sprężyny. Na tej podstawie zaproponował model fizycznego uchwytu do redukcji oddziaływania niekorzystnych zewnętrznych drgań mechanicznych na korpus zaworu przez wykorzystanie materiału wibroizolującego oraz przez wprowadzenie zmian konstrukcyjnych w zaworach maksymalnych i rozdzielaczach suwakowych. W dalszej części rozdziału zmodyfikował wkładkę sierpową dla wyporowych pomp zębatych o zazębieniu wewnętrznym celem wprowadzenia w nich kompensacji luzów promieniowych. Następnie opracował model matematyczny, pozwalający na określenie lokalnego minimum wartości impedancji biernego tłumika spiralnego typu odgałęźnego umożliwiającego redukcję pulsacji ciśnień w układzie mikrohydraulicznym wywołanych kinematyką pracy pompy wyporowej z uwzględnieniem częstotliwości jej pracy. Na tej podstawie opracował własny program obliczeniowy w środowisku MATLAB celem przeprowadzenia szeregu symulacji numerycznych i obliczeń wartości impedancji biernego tłumika spiralnego typu odgałęźnego dla różnych parametrów technicznych i warunków eksploatacji. W dalszej części pracy autor wykonał rozległe badania eksperymentalne. W tym celu zbudował stanowisko pomiarowe do określenia prędkości propagacji fali ciśnienia oraz modułu sprężystości objętościowej cieczy i przewodu. Następnie po zaadaptowaniu układu mikrohydraulicznego do określenia wpływu analizowanego biernego tłumika spiralnego typu odgałęźnego przeprowadził wielowątkowe badania eksperymentalne układu mikrohydraulicznego wraz z weryfikacją opracowanego przez siebie modelu matematycznego biernego tłumika spiralnego typu odgałęźnego celem określenia efektywności jego zastosowania w redukcji pulsacji ciśnienia w układzie. Wyniki badań eksperymentalnych posłużyły do weryfikacji dokładności modelu teoretycznego oraz pozwoliły na sformułowanie wytycznych do projektowania skutecznych tłumików spiralnych dla wybranych częstotliwości wymuszenia.

Autor w pracy przedstawił zatem równoległe rozległe badania eksperymentalne, rozważania teoretyczne i obliczenia symulacyjne analizowanego zagadnienia. Słusznie założył, że w tego typu skomplikowanych zagadnieniach praktycznych, tylko kompleksowa analiza eksperymentalna całego zagadnienia w połączeniu z wynikami obliczeń symulacyjnych i teoretycznych może prowadzić do otrzymania wartościowych wyników i wniosków naukowych. Przedstawiona rozprawa jest obszerna i rozbudowana.

Za główne oryginalne osiągnięcia autora recenzowanej pracy mgr inż.. Krzysztofa Towarnickiego uważam:

Osiągnięcia naukowo-badawcze:

1. Opracowanie modelu matematycznego pozwalającego na określenie lokalnego minimum impedancji biernego tłumika spiralnego typu odgałęźnego pozwalającego na redukcję pulsacji ciśnienia w układzie mikrohydraulicznym, spowodowanych kinematyką pracy hydraulicznej pompy wyporowej z uwzględnieniem wartości jej prędkości obrotowej wału napędowego /częstotliwości działania.

2. Opracowanie autorskiego matematycznego modelu quasi-stacjonarnego spiralnego tłumika odgałęźnego do obliczania skutecznej długości tłumika uwzględniającego opory liniowe i opory miejscowe.
3. Przeprowadzenie eksperymentalnych badań stanowiskowych wraz z porównaniem i weryfikacją modelu matematycznego biernego tłumika spiralnego typu odgałęźnego oraz określeniem efektywności jego zastosowania w układach hydraulicznych.
4. Sformułowanie metodologii i wytycznych do projektowania i doboru do układu hydraulicznego skutecznych tłumików spiralnych dla wybranych częstotliwości wymuszenia.

Osiągnięcia projektowo-konstrukcyjne:

5. Opracowanie własnego autorskiego rozwiązania konstrukcji kompensacji luzów promieniowych dla pomp wyporowych o zazębieniu wewnętrznym – rozwiązania, które uzyskało świadectwa patentowe RP nr PL 241281 nr PL 239914.
6. Opracowanie konstrukcji hydraulicznego mikrozaworu maksymalnego wzniosowego oraz stanowiska laboratoryjnego w celu przeprowadzenia badań eksperymentalnych i analizy problemu oddziaływań zewnętrznych drgań mechanicznych na charakterystyki i własności techniczne mikrozaworów hydraulicznych.
7. Opracowanie (współautorstwo) konstrukcji wibroizolacyjnego uchwyty do redukcji wpływu zewnętrznych drgań mechanicznych oddziałujących na korpus hydraulicznego mikrozaworu wzniosowego.
8. Opracowanie (współautorstwo) konstrukcji zaworu wzniosowego z tłumieniem wpływu zewnętrznych drgań mechanicznych oddziałujących na element sterujący zaworu- rozwiązania, które uzyskało świadectwa patentowe RP nr PL 443296 i nr PL 443297.
9. Opracowanie (współautorstwo) konstrukcji rozdzielacza hydraulicznego z suwakiem sterowanym za pośrednictwem napędu śrubowego, pozwalającego na redukcję niekorzystnego oddziaływania zewnętrznych drgań mechanicznych na stabilne położenie suwaka sterującego – patrz zgłoszenia patentowe RP nr PL 443299 i nr PL 422547.
10. Opracowanie (współautorstwo) konstrukcji rozdzielacza hydraulicznego, z suwakiem połączonym z wbudowanym w rozdzielacz dodatkowym tłumikiem wiskozytycznym, pozwalającego na redukcję nadmiernych ruchów suwaka wywołanych oddziaływania zewnętrznych drgań mechanicznych na suwak rozdzielacza – patrz zgłoszenia patentowe RP nr PL 443298 i nr PL 443300.

Praca ma charakter użytkowy, stanowiąc pomoc merytoryczną dla projektantów i eksploatorów napędów mikrohydraulicznych, w których poziom emitowanego hałasu stanowi istotny problem techniczny i eksploacyjny.

Postawiona przez autora w rozdziale 1.3 teza rozprawy, została w pełni udowodniona na drodze przeprowadzonych badań symulacyjnych i eksperymentalnych. Wszystkie trzy cele pracy, wymienione w rozdziale 1.4, również zostały osiągnięte. Na wyróżnienie zasługuje zakres i osobisty wkład pracy doktoranta w badania eksperymentalne, potwierdzający jego wysokie kompetencje naukowe i organizacyjno-metodyczne. Dzięki temu recenzowana rozprawa ma wyjątkowo wysoki poziom poznawczy, stanowiąc kompendium wiedzy dla projektantów cichych układów mikrohydraulicznych ze zredukowaną pulsacją ciśnienia oraz dla projektantów biernych hydraulicznych tłumików spiralnych typu odgałęźnego.

4. Uwagi krytyczne

1. Autor w swojej rozprawie nie używa konsekwentnie jednostek układu SI. Przykładem może być częste używanie jednostki temperatury [$^{\circ}\text{C}$] zamiast [K], jednostki objętości [dm^3 , cm^3 , l] zamiast [m^3], ciśnienia [bar] zamiast [Pa, MPa], długości np. [mm] zamiast [m], itp. Z racji tego, że powyższe jednostki są zwyczajowo wykorzystywane do opisów różnych zjawisk w danej dziedzinie, proponuje się wprowadzenie w przyszłości ewentualnych uzupełnień opisów jednostek w formie wartości przeliczeniowych danych wartości, wykonanych w układzie SI, zawartych w nawiasach obok.
2. Brak jest w pracy precyzyjnego rozgraniczenia wkładu pracy autora rozprawy i jego promotora.
3. Autor opracował model matematyczny pozwalający na określenie lokalnego minimum wartości impedancji biernego tłumika spiralnego typu odgałęźnego umożliwiającego skuteczny dobór tłumika do redukcji pulsacji ciśnień w układzie mikrohydraulicznym wywołanych kinematyką pracy pompy wporowej z uwzględnieniem danej częstotliwości jej pracy. Na tej podstawie opracował własny program obliczeniowy w środowisku MATLAB celem przeprowadzenia szeregu obliczeń i symulacji numerycznych wartości impedancji biernego tłumika spiralnego typu odgałęźnego dla różnych parametrów i warunków eksploatacji. Szkoda, że zwyczajowo, w tego typu opracowaniach jak rozprawa doktorska, autor nie zamieścił na końcu pracy (w załączniku) listingu, napisanego programu obliczeniowego z MATLABA, co by umożliwiło czytelnikowi sprawdzenie poprawności obliczeń numerycznych oraz z jakich procedur skorzystano przy obliczeniach.
4. Na stronie 34 w opisie mikrozaworu podano, że : „Element zamykający charakteryzuje się budową stożkową o kącie rozwarcia 30° .” Tymczasem na Rys. 13/str.34 kąt rozwarcia stożka elementu zamykającego jest inny (ok. 60°). Proszę o wyjaśnienie.

5. W rozdziale 3.4 badano pulsacje ciśnienia wywołane drganiami elementu sterującego rozdzielacza, wzbudzonego zewnętrznymi drganiami mechanicznymi. Na Rys. 75-Rys.77 / str.67 przedstawiono pomiary widma amplitudowo-częstotliwościowego pulsacji ciśnienia w układzie z drgającym rozdzielaczem hydraulicznym przy różnych częstotliwościach wymuszenia zewnętrznego. Z analizy rysunków wynika pokrywanie się częstotliwości pierwszego pik pulsacji ciśnienia w układzie z częstością wymuszenia zewnętrznego, działającego równoległe do kierunku działania elementu sterującego rozdzielacza. Ciekawe jest jednak to, że drugi pik pulsacji ciśnienia przypada na częstotliwość ok. 250 Hz i to niezależnie od częstotliwości zadanego wymuszenia zewnętrznego i kierunku działania wymuszenia (równoległe czy prostopadłe). Czy jest to spowodowane kinematyką pompy wyporowej? W tekście rozdziału nie podano typu ani prędkości obrotowej wału napędowego pompy wyporowej zasilającej rozdzielacz. Proszę o komentarz odnośnie przyczyn tego zjawiska.
6. Brak jest przeprowadzonej głębszej analizy i dyskusji dokładności pomiarów eksperymentalnych w pomiarach wartości efektywności tłumika spiralnego typu odgałęźnego o różnej długości patrz rozdział 6.4. Rys.161-Rys.169/str.139-str.143.
7. Przy sformułowanie metodologii i i końcowych wniosków odnośnie projektowania i doboru do układu hydraulicznego skutecznych tłumików spiralnych dla wybranych częstotliwości wymuszenia, brakuje wyraźnego określenia do jakiej wielkości układu hydraulicznego mają one zastosowanie (do systemów mikrohydraulicznych, standardowych układów hydraulicznych, czy również do układów hydraulicznych o większej mocy (o mocy przekraczającej 50 kW i więcej)). Prosimy o komentarz
8. Autor pogubił się trochę w numeracji rysunków w rozprawie. Na str. 137 są zamieszczone rysunki Rys.161 + Rys.162, a także na str. 139 są również rysunki Rys.161 + Rys.162 o innej tematyce.
9. Brak jest w tekście odniesienia się do kilku pozycji zawartych w spisie literatury.

Wymienione uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na ogólną bardzo pozytywną ocenę recenzowanej rozprawy.

5. Uwagi szczegółowe

Poniżej przytaczam istotniejsze dostrzeżone w pracy błędy i pomyłki o charakterze edycyjnym.

1. Str. 5, wers 16 od góry: jest: „ (...)związany w miniaturyzacja hydrauliki (...)” powinno być : „ (...)związany z miniaturyzacją hydrauliki (...)”,
wers 3 od dołu: jest: „ (...) zewnętrzna drgania mechaniczne (...)” powinno być : „(...) zewnętrzne drgania mechaniczne (...)”,

2. Str. 6, 9 wers od góry: jest „Zagadnienie (...) powinno być rozpatrywana (...)”
powinno być : „Zagadnienie (...) powinno być rozpatrywane (...)”
3. Str. 7 4 wers od dołu: jest : „Przyczyna występowania hałasu są (...)” powinno
być „Przyczynami występowania hałasu są (...)”,

7 wers od góry jest: „Obok sił okresowo zmieniające swoją wartość (...)”
powinno być : „Obok sił okresowo zmieniających swoją wartość (...)”,

10 wers od dołu jest: „Gdy siła uzyskana z ciśnienia działającego na
wyznaczona powierzchni kulki, to kulka zostanie przesunięta (...) wyrażenie
błędne gramatycznie – prawdopodobnie brak dodania części zdania: powinno
być np. „Gdy siła uzyskana z ciśnienia działającego na wyznaczona
powierzchnie kulki będzie wyższa od siły wywieranej przez sprężynę, to kulka
zostanie przesunięta (...)”,
4. Str. 9 16 wers od góry: jest „ (...) , że przewód hydrauliczny jest linią
hydrauliczna (...)” powinno być : „ (...) , że przewód hydrauliczny jest linią
hydrauliczną (...)”
5. Str. 10 1 wers od góry: jest „ (...) źródłem pojawiających się pulsacji ciśnienia
w układzie to występują stany (...)” – błąd gramatyczny- powinno być : „ (...)
źródłem pojawiających się pulsacji ciśnienia w układzie są przypadki, gdy
występują stany (...)że przewód hydrauliczny jest linią hydrauliczną (...)”
6. Str. 11 9 wers od góry: dwa razy w literaturze powołano się na poz. 260, ,

6 wers od góry: w literaturze powołano się na poz. 306, która nie występuje w
spisie literatury na końcu rozprawy,

10 wers od dołu jest: „ (...) z liczba tłoczków (...)” powinno być : „ (...) z
liczbą tłoczków (...)” że przewód hydrauliczny jest linią hydrauliczną (...)”
7. Str.15 2 wers od góry jest: „Uzyskuje się znaczną wykonana pracę (...)”
powinno być: „Uzyskuje się znaczną wykonaną pracę (...)”

8 wers od góry: jest : „Mała masa powoduje mała bezwładność (...)” powinno
być „Mała masa powoduje małą bezwładność (...)”

12 wers od góry: jest ”Každy napęd ma zalety i wady. dotyczy to również
(...)” powinno być: ”Každy napęd ma zalety i wady. Dotyczy to również (...)”
8. Str.16 4 wers od góry jest: „(...), która jest nośnikiem energii napędach
hydraulicznych (...)” powinno być: „(...), która jest nośnikiem energii w
napędach hydraulicznych (...)”
9. Str.17 12 wers od dołu jest: „Wytrzymałość rury na ciśnienie pracy zależne jest
od (...)” powinno być: „Wytrzymałość rury na ciśnienie pracy zależna jest od
(...)”

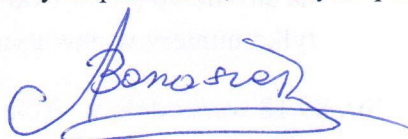
10. Str.21 10 wers od dołu jest: „(...) nad kompensacją promieniową w pomp zębatych.” powinno być: „(...) nad kompensacją promieniową w pompach zębatych.”,
11. Str.23 11 wers od góry jest: „Najczęściej stosuje się pompy z liczbą tłoczków (...)” powinno być: „Najczęściej stosuje się pompy z liczbą tłoczków (...)”,
13 wers od góry jest: „Produkowane są jako jednostki **ostalej** wydajności (...)” powinno być: „Produkowane są jako jednostki **o stałej** wydajności (...)”.
12. Str.24 7 wers od dołu jest: „(...) przed maksymalna siłą (...)” powinno być: : „(...) przed maksymalną siłą (...)”.
- 6 wers od dołu jest: „**Po** za tym (...)” powinno być: : „**Poza** tym (...)”.
- 13 Str. 26 7 wers od dołu: jest: „Ze względu na przedstawiona powyżej (...)” powinno być: „Ze względu na przedstawioną powyżej (...)”.
- 14 Str. 28 Rys.6 Brak poniżej pod rysunkiem wyjaśnienia oznaczeń krzywych 1-5. Nie wiadomo zatem jakie typy pomp i gdzie są opisywane na wykresie ,
- 15 Str. 32/33 Rys.11, Rys.12. W opisie pod rysunkami nie podano dokładności pomiarowych poszczególnych czujników i piezoelektrycznych czujników ciśnienia wykorzystywanych na stanowisku badawczym. Podano jedynie typy czujników,
- 16 Str.13. 8 wers od góry jest: „(...) element zamykający charakteryzuje się budową stożkowa (...)”, (...)”, powinno być: „(...) element zamykający charakteryzuje się budową stożkową (...)”.
- 11 wers od góry jest: „(...) tłoczek dociskany śrubą posiada (...)” powinno być: „(...) tłoczek dociskany śrubą posiada (...)”.
- 17 Str. 63 3 wers od dołu: jest: „ Istotna własność rozdzielacza suwakowego to **przykrycie** tłoczków kanałów (...)”. Przykrycie czy **przekrycie** ? Autor już w następnym zdaniu użył formuły „**przekrycie**”.
- 18 Str. 64 2 wers od góry: jest: „Szerokość kanału **różna** szerokości tłoczka (...)” powinno być „Szerokość kanału **równa** szerokości tłoczka (...)”.
- 5 wers od góry: jest: „**Na** podstawie licznych badań eksperymentalnych.” Prawdopodobnie jest to część poprzedniego zdania i dlatego powinno być z małej litery „**na**”.
- 19 Str. 65 Rys. 73 Stare oznaczenie symboli zaworów ciśnieniowych (niezgodne z obowiązującymi przepisami ISO),
- 20 Str. 69 3 wers od góry: jest: „(...), dotyczy to głównie (...)” powinno być „(...), dotyczy to **głównie** (...)”.

- 21 Str. 77 12 wers od góry: jest: „W celu zmniejszenia **obecności** ? hałasu (...)”
powinno być raczej „W celu zmniejszenia natężenia hałasu (...)”,
- 22 Str. 81 Rys. 94. Brak opisu pod rysunkiem oznaczeń elementów 1-10,
- 23 Str. 84 Rys. 97. Brak opisu pod rysunkiem oznaczeń elementów 1-7,
- 24 Str. 85 Rys. 99. Brak opisu pod rysunkiem oznaczeń elementów 1-7,
- 25 Str. 86 8 wers od dołu : Tekst „Rozdzielacz zawiera korpus (1) (...) (4 wers od dołu) (...) pozycji suwaka (4 wers od dołu)”- (razem 5 wersów) - **skopiowany** na stronie 87 (od 3 wersu od góry do 7 wersu od góry) oraz na stronie 88 (od wersu 1 do 5 od góry),
- 26 Str. 87 1 wers od dołu : Tekst „Przedstawiony powyżej rozdzielacz to (...) w układach hydraulicznych.” **skopiowany** na dole str. 87 (1 i 2 wers od dołu),
- 27 Str. 88 11 wers od dołu : Tekst „Rozdzielacz hydrauliczny ma korpus (1) Zainstalowano przyłącze elektryczne (18)” 7 wersów tekstu **skopiowano** na stronie 90 (wers 1 od góry do 8 wers od góry -zmieniając niektóre tylko numery w nawiasach.,
- 28 Str. 89 18 wers od dołu : Tekst „W mechanizmie śrubowym występuje odmiana (...) (2 wers od dołu (...) w położeniu neutralnym rozdzielacza.” - 16 wersów tekstu **skopiowano** na stronie 90/91 (od wersu 1 od dołu na str.90 do 17 wersu od góry str.91.,
- 29 Str.101 We wzorze na moduł impedancji początkowej patrz wzór (5.5), w mianowniku jest błąd - zamiast funkcji **tan** powinna być funkcja **tgh**.,
- 30 Str. 104 3 wers od góry. Brakuje uzupełnienia tekstu: jest: „(...) bezstratnego, $L_0=1.43$ [m] dla modelu oraz $L_0=1.41$ [m] dla modelu niestacjonarnego tarcia.” – powinno być: „(...) bezstratnego, $L_0=1.43$ [m] dla modelu **quasi stacjonarnego tarcia** oraz $L_0=1.41$ [m] dla modelu niestacjonarnego tarcia.”,
- 31 Str.106 we wzorze (5.25) jest błąd - po przekształceniu wzoru (5.23) i (5.24) we wzorze (5.25) na końcu wzoru przy ułamku w liczniku zamiast L powinno być $4L$,
- 32 Spis rysunków oraz spis tabel – zwyczajowo powinien być zamieszczony na końcu rozprawy za spisem literatury.

Wymienione uwagi o charakterze edytorskim mają jednak pomijalne znaczenie dla bardzo pozytywnej oceny pracy.

6. Wniosek końcowy

Praca jest bardzo ciekawa i oryginalna . Dowodzi ona dużej wiedzy doktoranta a także dużej wytrwałości i samodzielności w pracy badawczej, szczególnie w dziedzinie badań eksperymentalnych. Ważnym walorem pracy jest jej charakter użyteczny, który umożliwia wdrożenie jej wyników w praktyce . Dyplomant posiadał umiejętność prowadzenia samodzielnie badań naukowych, analizy wyników i wyciągania właściwych wniosków. Oceniając całościowo recenzowaną pracę stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. „*Metoda projektowania tłumika spiralnego typu odgałęźnego do redukcji pulsacji ciśnienia w układach hydraulicznych*”, autorstwa mgr inż. Krzysztofa Towarnickiego 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 „inżynieria mechaniczna” . Wnoszę zatem o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony. W przypadku pozytywnego wyniku obrony, stawiam równocześnie wniosek, o jej wyróżnienie, że względu na wysoki, ponadprzeciętny wkład pracy doktoranta w wieloletnie badania eksperymentalne, ich poziom naukowy a także za umiejętność opracowywania nowych innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych wybranych elementów układów hydrostatycznych, zakończonych licznymi otrzymanymi patentami, nadanymi przez Urząd Patentowy RP.



Dr hab. inż. Andrzej Banaszek, prof. ZUT

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie