

dr hab. inż. Wiesław Fiebig, prof. uczelni
Politechnika Wroclawska
Wydział Mechaniczny
Ul. Łukasiewicza 7/9
50-371 Wrocław

Wrocław, 16.06.2022

RECENZJA

nt. osiągnięć mgr inż. Karola Kończalskiego „*Badanie właściwości hydrostatycznego układu skrętu przegubowych bezzałogowych platform lądowych w systemie podążania za przewodnikiem*”

wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” WAT w oparciu o pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej prof. dr hab. inż. Jerzego Małachowskiego z dn. 06.05.2022, na podstawie otrzymanego egzemplarza rozprawy doktorskiej

1. Wstęp

Przedłożona do recenzji rozpraw jest pracą o charakterze badawczym. Dominujące znaczenie mają badania hydrostatycznego układu skrętu stosowanego w przegubowych bezzałogowych platformach lądowych. Istotne jest to, że doktorant przeprowadził badania symulacyjne oraz doświadczalne mające na celu określenie dokładności w odwzorowaniu ruchu platformy po wyznaczonym torze ruchu, w tym w podążaniu za przewodnikiem. Recenzowana praca mieści się w dyscyplinie „Inżynieria Mechaniczna”. Praca zawiera z wykazem literatury 109 stron oraz 82 rysunków. Wykaz cytowanej literatury zawiera 106 pozycji oraz 12 materiałów ze stron internetowych. W wykazie literatury znajdują się 2 pozycje współautorskie Doktoranta. Treść pracy podzielono na 8 głównych rozdziałów oraz zawiera bibliografię. Tytuł pracy w pełni odpowiada zawartości pracy.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

We *Wprowadzeniu* Doktorant przedstawia różnorodne rozwiązania odnośnie stosowanych w bezzałogowych platformach lądowych, systemów podążania za przewodnikiem oraz problemy występujące w hydrostatycznych układach skrętu. W

rozdziale tym Doktorant opisał rozwój bezzałogowych platform lądowych w kontekście ich zastosowania oraz podziału ze względu na systemy sterowania. Doktorant scharakteryzował występujące najczęściej układy skrętu: burtowy, zwrotnicowy i przegubowy.

Szczególnie istotnym parametrem z uwagi na zwrotność pojazdu jest kąt skrętu członu przedniego względem tylnego.

Analiza stanu wiedzy jest przedstawiona w rozdziale 2 *Analiza stanu zagadnienia*.

Doktorant rozpoczyna przegląd literatury od omówienia ograniczeń występujących w systemach sterowania wykorzystujących podążanie za przewodnikiem między innymi omijanie przeszkód, dobór prędkości jazdy platformy oraz utrzymywanie odległości od przewodnika. Scharakteryzowane zostały różne rodzaje układów skrętu występujące w pojazdach dwuczłonowych z układami jezdnyimi kołowymi i gąsienicowymi. System sterowania powinien zapewnić wymagany skręt platformy pokonując opory skrętu i ruchu w relacji z podłożem. Bazując na dostępnej literaturze dotyczącej przegubowych maszyn roboczych opisane zostały również problemy występujące w przegubowych hydrostatycznych układach skrętu między innymi ze stabilnością oraz z czasami opóźnienia reakcji na zmianę położenia przewodnika.

W rozdziale 3 opisany został cel pracy, którym jest określenie wpływu wybranych właściwości hydrostatycznego układu skrętu lekkiej przegubowej bezzałogowej platformy lądowej na odwzorowanie toru ruchu w systemie podążania za przewodnikiem.

Rozdział 4 zawiera wynik badań rozpoznawczych odnośnie określenia prędkości skrętu platform przegubowych podczas pokonywania odcinków toru testowego. W oparciu o model dynamiczny siłownika przedstawiono parametry mające wpływ tor jazdy platformy. Obiektem badań rozpoznawczych była bezzałogowa platforma lądowa oraz ładowarka. Na podstawie badań rozpoznawczych Doktorant ustalił prędkości i kąty skrętu jak również ciśnienia występujące w siłowniku potrzebne do utworzenia modelu symulacyjnego.

W rozdziale 5 rozprawy został zaprezentowany model fizyczny przegubowej bezzałogowej platformy lądowej. Model ten został utworzony w programie Adams po przyjęciu pewnych założeń upraszczających z uwzględnieniem gąsienicowego układu jezdnyego. Model hydrostatycznego układu skrętu, w którym podjęto próbę uwzględnienia sprężystości cieczy roboczej oraz sprężystości elastycznych przewodów hydraulicznych. W modelu układu skrętu należało uwzględnić również charakterystyki

częstotliwościowo-fazowe rozdzielacza proporcjonalnego. Parametry modelu układu skrętu, takie jak między innymi: tłumienie w układzie, strefa nieczułości rozdzielacza, czas opóźnienia działania układu skrętu. Na zakończenie rozdziału porównano wyniki symulacji z wynikami badań doświadczalnych.

Rozdział 6 zawiera wyniki badań dotyczących ruchu platformy lądowej na określonym torze. W oparciu o badania doświadczalne na platformie Dromader określono wpływ prędkości ruchu platformy na odchylenia od trajektorii ruchu przyjmując pewne wskaźniki do oceny.

W rozdziale 7 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych przeprowadzonych przy założeniu toru ruchu platformy w kształcie okręgu o różnym promieniu oraz dla toru jazdy w kształcie sinusoidy o różnej amplitudzie. Model symulacyjny układu skrętu został uzupełniony o sterownik PID. Podczas symulacji badano wpływ sztywności układu skrętu, strefy nieczułości rozdzielacza oraz opóźnień w układzie sterowania. Po przyjęciu pewnych kryteriów oceny oszacowano błędy w odwzorowaniu toru ruchu platformy. Odwzorowanie toru jazdy platformy zostało poprawione poprzez zmniejszenie strefy nieczułości rozdzielacza. Stwierdzono dużą zgodność wyników symulacji z wynikami badań doświadczalnych.

Pracę kończą *Podsumowanie i wnioski końcowe*. Wynika z nich, że poczyniono pewien dalszy postęp na drodze do osiągnięcia najbardziej korzystnych parametrów w hydrostatycznym układzie skrętu bezzałogowych platform lądowych podczas podążania za przewodnikiem. Ważne jest również, że Doktorant planuje dalsze badania dla rozbudowy modeli obliczeniowych dostrzegając w tym źródło wiedzy wspomagającej dobór optymalnych rozwiązań dla układu skrętu platform lądowych.

3. Uwagi ogólne

4.1 W rozdziale 4 oraz w 5.1.2 znajduje się opis części hydraulicznej układu skrętu, który jest bardzo ogólny. Nie zawiera dokładniejszego opisu w formie równań odnośnie wpływu zapowietrzenia czynnika roboczego oraz jego temperatury. Jak wiadomo oba te czynniki wpływają w istotny sposób na sztywność układu skrętu. Brak jest równań opisujących dławienie na wlocie i wylocie z cylindra, charakterystyk rozdzielacza w zależności od położenia suwaka oraz sił tarcia występujących w cylindrze i w rozdzielaczu proporcjonalnym.

Proszę o przedstawienie stanowiska w tej kwestii podczas obrony

4.2 W rozdziale 5 przedstawiony został w sposób ogólny model dynamiczny platformy BPL. Nie pokazano modelu utworzonego w programie Adams, nie podano szczegółowych informacji odnośnie mas oraz masowych momentów bezwładności poszczególnych elementów, sztywności połączeń oraz nie podano szczegółowych danych odnośnie uwzględnienia następujących czynników:

- w jaki sposób uwzględniono w modelu opory ruchu podczas jazdy na gruncie,
- w jaki sposób modelowane są gąsienicowe układy jezdne,
- w jaki sposób modelowano kontakt z podłożem.

Należy zaznaczyć, że w zależności od ukształtowania terenu, opory ruchu są zmienne a co za tym idzie zmieniają się obciążenia układu skrętu i ma to wpływ na dokładność odwzorowania toru podczas przemieszczania platformy.

Proszę o przedstawienie stanowiska w tej kwestii podczas obrony

4.3 W rozdziale 7 dotyczącym podążania BPL po wyznaczonym torze ruchu układ sterowania jest opisany bardzo ogólnie bez podania szczegółowych informacji dotyczących wpływu poszczególnych elementów na odwzorowanie ruchu oraz regulatora PID. Pojazd rzeczywisty nie ma bezpośredniego połączenia z przewodnikiem stąd wyniki symulacji nie mogły zostać zweryfikowane doświadczalnie.

4.4 W punkcie 6.3 przedstawiono wyniki walidacji modelu symulacyjnego na podstawie porównania torów jazdy po łuku. Z porównania tego wynika, że w początkowej oraz dalszych fazach ruchu występują odchylenia zbliżone do 1 m. Czy takie odchylenia torów jazdy są dopuszczalne?

4. Uwagi szczegółowe

S. 9 ...w procesie kształtowania hydrostatycznego układu skrętu

powinno być: ...w procesie projektowania hydrostatycznego układu skrętu

S. 10 ...ocenę problemów i błędów otrzymywania zadanego toru ruchu

Powinno być: ... ocenę problemów i błędów utrzymywania zadanego toru ruchu

S. 36 Rys. 4.3 Terenowego tor badawczy

powinno być: Terenowy tor badawczy

S. 39 ... jest płynny i powtarzalny

powinno być: ... jest płynny i powtarzalny

S. 46 ... połączone ze sobą idealnymi parami kinematycznymi

- powinno być: ... *połączone są ze sobą idealnymi parami kinematycznymi*
- S. 58 ...*czasu wymuszenia otwarcia rozdzielacza*
 powinno być: ... *czasu przesterowania rozdzielacza*
- S. 61 w tabeli 5.2...*walidacja kąta skrętu ramy, walidacja prędkości skrętu ramy, walidacja ciśnienia w układzie*
 mogłoby być;*wartość wskaźnika kąta skrętu, wartość wskaźnika prędkości skrętu, wartość wskaźnika ciśnienia w układzie*
- S. 70 ...*manewrowi zawracaniu platformy*
 powinno być: ... *manewrowi zawracania platformy*
- S. 94 ... *skrócono o połowę opóźnienia czasu zadziałania układu skrętu*
 powinno być:
 ... *skrócono o połowę opóźnienie czasu zadziałania układu skrętu*

5. Ocena końcowa pracy

Podjęty w recenzowanej pracy doktorskiej temat jest aktualny i ważny ponieważ przyczynia się do przygotowania nowej konstrukcji bezzałogowej platformy lądowej z hydraulicznym układem skrętu. Doktorant na podstawie studiów literaturowych oraz badań własnych zbadał wpływ podstawowych parametrów mających wpływ na działanie układu skrętu BPL. Postawiony cel pracy doktorany osiągnął poprzez realizację zaplanowanych głównych zadań naukowych a ich wyniki zostały udokumentowane wynikami badań doświadczalnych i obliczeń na podstawie modeli fizycznych.

Za najważniejsze osiągnięcia badawcze Doktoranta można uznać:

- opracowanie i zbadanie modelu fizycznego opisującego dynamikę układu skrętu w BPL,
- uwzględnienie układu sterowania hydraulicznego w modelu obliczeniowym i zbadanie wpływu podstawowych parametrów mających wpływ na odwzorowanie toru ruchu pojazdu podczas podążania za przewodnikiem,
- opanowanie narzędzi i technik pomiarowych oraz wykorzystanie nowoczesnych metod obliczeniowych,
- walidację modeli obliczeniowych i wykazanie przydatności opracowanej metody obliczeń do badania układów skrętu w bezzałogowych platformach lądowych.

Mając na uwadze powyższy wywód stwierdzam, że Doktorant spełnia wymagania stawiane kandydatom na stopień doktora nauk technicznych.

6. Wniosek końcowy

Opiniowana praca doktorska pt. : „*Badanie właściwości hydrostatycznego układu skrętu przegubowych bezzałogowych platform lądowych w systemie podążania za przewodnikiem*” Pana mgr inż. Karola Kończalskiego spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim i na wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Dr hab. inż. Wiesław Fiebig