

dr hab. inż. Paweł Drożdziel, prof. uczelni  
Katedra Zrównoważonego Transportu  
i Źródeł Napędu  
Wydział Mechaniczny  
Politechnika Lubelska  
ul. Nadbystrzycka 36  
20- 618 Lublin  
p.drozdziel@pollub.pl

Lublin, 07.06.2022 r.

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Łukasza Mozgi pt.:

„*Modelowanie układu elektrohydraulicznego w aspekcie oceny jego stanu zużycia*”

### 1. Wprowadzenie

Recenzję rozprawy doktorskiej wykonano na podstawie pisma prof. dra hab. inż. Jacka Przepiórskiego Prorektora ds. Nauki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie z dnia 27.04.2022 roku.

### 2. Charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska Pana mgra inż. Łukasza Mozgi pt.: „*Modelowanie układu elektrohydraulicznego w aspekcie oceny jego stanu zużycia*” liczy 165 stron tekstu. W skład rozprawy wchodzi: streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz ważniejszych oznaczeń, wprowadzenie, 7 rozdziałów merytorycznych, wnioski końcowe, literatura oraz jeden załącznik w wersji CD.

Wykaz cytowanej w rozprawie literatury zawiera 70 pozycji, w tym: 13 zagranicznych i 6 krajowych monografii naukowych, 6 publikacji w czasopismach i konferencjach krajowych oraz 12 publikacji z czasopism i konferencji zagranicznych. Przywołano także 6 opracowań techniczno-organizacyjnych, 15 źródeł informacji z Internetu. Należy w tym miejscu stwierdzić, że 37 % (26 pozycji) cytowanych publikacji i materiałów zostało wydanych po 2016 roku. Doktorant umieścił także w wykazie czasopism 1 pozycję, w której jest autorem. W tym miejscu muszę wtrącić uwagę dotyczącą rozdziału *Literatura*, a mianowicie, Doktorant w rozprawie pisze nazwiska raz dużymi literami, raz małymi. Jest to widoczny brak konsekwencji.

Wracając do mojej oceny pracy, chcę podkreślić, że przedstawiona analiza przywoływanej przez Autora rozprawy literatury wskazuje, że prześledził On bardzo dokładnie zagraniczne i krajowe publikacje z zakresu modelowania pracy oraz zużycia wybranych układów elektrohydraulicznych stosowanych w pojazdach samochodowych.

Uwagi krytyczne dotyczące recenzowanej rozprawy doktorskiej, w której przedstawiono 128 rysunków, 15 tabel oraz 106 wzorów umieściłem w dalszej części recenzji.

## 2.1. Wybór tematu i zakres pracy

Doktorant w swojej rozprawie doktorskiej bardzo dokładnie wykazał, że istnieje konieczność opracowania modelu prognostycznego służącego do oceny poziomu zużycia wybranego układu mechatronicznego, jakim jest sterownik elektrohydrauliczny zrobotyzowanej skrzyni biegów stosowanej we współczesnych pojazdach samochodowych. Jest to istotne z punktu widzenia możliwości prognozowania wystąpienia awarii tego układu podczas jego eksploatacji, a tym samym minimalizacji kosztów jego napraw oraz zwiększenia bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Opracowanie modelu predycyjnego dla wybranego układu elektrohydraulicznego wymagało od Autora w szczególności:

1. opracowania modelu matematycznego i fizycznego analizowanego obiektu technicznego;
2. przeprowadzenia w oparciu o model matematyczny, symulacji pracy tego obiektu technicznego w specjalistycznym środowisku komputerowym;
3. zaprojektowania oraz zbudowania specjalistycznego stanowiska laboratoryjnego umożliwiającego odwzorowanie rzeczywistych warunków funkcjonowania oraz stanów zużycia tego obiektu technicznego;
4. identyfikacji parametrów modelu fizycznego analizowanego obiektu technicznego w celu poprawy symulacji komputerowych;
5. określenia kryteriów oceny zużycia elementów analizowanego obiektu technicznego;
6. weryfikacji eksperymentalnej przyjętych kryteriów na rzeczywistym obiekcie technicznym.

Tak szeroki zakres przeprowadzonych i opisanych w rozprawie doktorskiej prac wymagał od Autora dokładnej analizy stanu zagadnienia, dużej wiedzy z zakresu modelowania działania przedmiotowego obiektu technicznego oraz umiejętności prowadzenia różnego typu eksperymentów.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że zarówno temat rozprawy, jak i zakres dokonanych oraz opisanych przez Autora w rozprawie doktorskiej analiz i rozważań matematycznych, symulacji komputerowych, a także badań stanowiskowych oraz eksploatacyjnych zostały przeprowadzone właściwie, zgodnie z zasadami dociekań naukowych.

## 2.2. Ogólna charakterystyka pracy

W rozdziale pierwszym pt. *Wprowadzenie* Autor pracy wykazał w skrócie, dlaczego podjął się opracowania metody oceny zużycia wybranego układu elektrohydraulicznego.

Rozdział drugi pt. *Analiza literatury* to dokładnie wykonany przegląd stanu zagadnienia dotyczący zagadnień diagnostyki uszkodzeń elementów i zespołów elektrohydraulicznych stosowanych w samochodach.

W rozdziale trzecim rozprawy zatytułowanym *Cel pracy* Autor zaprezentował cel i tezę rozprawy oraz zakres przeprowadzonych przez niego prac symulacyjnych, projektowych oraz eksperymentalnych.

W kolejnym czwartym rozdziale pt. *Układ elektrohydrauliczny* Doktorant szczegółowo opisał budowę badanego układu elektrohydraulicznego zrobotyzowanej skrzyni biegów typu Selespeed. Zaprezentował komputerowy model jego zespołu elektrozaworów opracowany na podstawie skanowania przemysłowym tomografem rentgenowskim.

W rozdziale piątym pt. *Model matematyczny układu elektrohydraulicznego* Autor rozprawy przedstawił opracowany przez Siebie model matematyczny opisujący zachowanie badanego układu przy określonych warunkach początkowych oraz w przy różnych stopniach uszkodzenia. W rozdziale tym zaprezentowano także modele podsystemów układów: zasilania, sprzęgła i zmiany biegów,

W kolejnym rozdziale zatytułowanym *Identyfikacja modeli w oparciu o badania na obiektach rzeczywistych* Doktorant bardzo dokładnie zaprezentował zbudowane przez Siebie stanowiska badawcze, które posłużyły do identyfikacji parametrów opisanego wcześniej modelu układu elektrohydraulicznego wraz z jego podsystemami. W celu właściwego przeprowadzenia badań Autor rozprawy opracował szczegółowy plan eksperymentu. Ponadto w tym rozdziale bardzo dokładnie przedstawił uzyskane wyniki w przeprowadzonych badaniach stanowiskowych.

Rozdział siódmy pt. *Wyniki pomiarów – omówienie i analiza* to krótkie podsumowanie dokonane przez Autora przeprowadzonych badań stanowiskowych.

W rozdziale ósmym pt. *Model predykcyjny* Doktorant na podstawie pozyskanych informacji z rzeczywistej eksploatacji pojazdów samochodowych wyposażonych w analizowany układ elektrohydrauliczny dokonał szacowania czasu pracy do wystąpienia uszkodzenia w jego poszczególnych podsystemach.

W ostatnim merytorycznym rozdziale pracy doktorskiej zatytułowanym *Wnioski końcowe* Autor podsumował przeprowadzone przez Siebie rozważania teoretyczne oraz badania eksperymentalne. W tym miejscu wskazał także perspektywy przyszłych badań.

### **2.3. Cel i teza pracy doktorskiej**

Celem recenzowanej pracy doktorskiej było *stworzenie modelu predykcyjnego do przewidywania i wspomagania oceny stanu zużycia wytypowanego układu elektrohydraulicznego.*

Tezą pracy zaproponowaną przez Doktoranta było następujące sformułowanie: *Możliwe jest przeprowadzenie oceny stanu zużycia poszczególnych elementów składowych układu elektrohydraulicznego w oparciu o model matematyczny i wyniki pomiarów głównych parametrów badanego obiektu.*

W mojej ocenie postawiona przez Doktoranta teza i cel pracy zostały właściwie sformułowane. Mam jednak uwagę edycyjną związaną ze sposobem zaprezentowania celu pracy w tekście rozprawy, mianowicie zlokalizowanie pracy, jako zdania w jednym z akapitów powoduje, że jest on niedostatecznie wyróżniony. W mojej opinii cel pracy powinien zostać przedstawiony w odrębnym zdaniu.

Pomimo tej uwagi należy stwierdzić, że cel recenzowanej pracy doktorskiej został przez Doktoranta zrealizowany, zaś postawiona teza udowodniona.

### **2.4. Metodyka i obiekt badań**

Obiektem opisanych i przeprowadzonych w rozprawie rozważań teoretycznych, badań stymulacyjnych oraz eksperymentalnych był zespół elektrohydrauliczny zrobotyzowanej skrzyni biegów typ C510 produkcji Fiat Chrysler Automobile.

Zrealizowane prace wymagały od Autora rozprawy szczegółowej analizy stanu zagadnienia, wiedzy z zakresu modelowania działania obiektu badań oraz umiejętności planowania i prowadzenia eksperymentów. Bardzo dobrze zostało to przedstawione w punkcie 2.2 recenzji.

W tym miejscu chciałbym pochwalić Doktoranta za bardzo szeroki zakres działań oraz czynności wykonanych w celu realizacji założonego celu i tezy pracy. Wymagało to od Badacza osobistego zaangażowania. Dlatego mogę stwierdzić, że potrafi On rozwiązywać złożone problemy naukowe.

## 2.5. Oryginalność pracy

Oryginalną wartością recenzowanej rozprawy doktorskiej było opracowanie modelu predykcyjnego służącego do przewidywania oraz wspomagania oceny poziomu zużycia układu elektrohydraulicznego zrobotyzowanej skrzyni biegów wykorzystywanej w wybranych pojazdach samochodowych. Zaproponowany model umożliwia także określenie wartości zużycia poszczególnych elementów przedmiotowego układu mechatronicznego.

Umiejętność określenia poziomu zużycia tego obiektu technicznego jest kluczowa podczas prognozowania momentu wystąpienia jego uszkodzenia. Umożliwia to właściwe zaplanowanie działań zapobiegawczych oraz naprawy tego układu elektrohydraulicznego, a tym samym minimalizuje koszty z tym związane. Dodatkowo zwiększa to także bezpieczeństwo ruchu drogowego.

## 3. Uwagi krytyczne

### 3.1. Uwagi o charakterze edycyjnym

Pierwszy zbiór uwag o charakterze edycyjnym dotyczy błędów językowych i stylistycznych występujących w recenzowanej rozprawie doktorskiej.

Dla przykładu – na stronie 10 Autor rozprawy napisał *Jak każde urządzenie, układ hydrauliczny (podzespół układu elektrohydraulicznego) ulega z czasem stopniowemu zużyciu poszczególnych elementów. Następuje wówczas awaria uniemożliwiająca zapewnienie funkcjonalności*. Mam pytanie do Autora pracy, kiedy następuje awaria?

Z kolei na stronie 11 możemy przeczytać *Analizując rys. 1 widać wejście U i wyjście Y sygnału, gdzie układ działa na zasadzie sprzężenia zwrotnego*. Nie za bardzo rozumiem to zdanie w odniesieniu do rysunku 1.

Na stronie 15 czytamy *Wielu doświadczonych diagnostów zaznaczają, że nie ważne są same kody błędów, lecz umiejętność analizy parametrów poszczególnych systemów [32]*. Na stronie 18 czytamy *Zaletą zaproponowanej metodologii jest możliwość identyfikacji wielu usterek, o ile można zamodelować parametrycznie*. Nie rozumiem co Autor rozprawy miał na myśli w tych zadaniach? Proszę o wyjaśnienie.

Podobna sytuacja występuje na stronie 25, gdzie Doktorant napisał: *W porównaniu do klasycznych metod, gdzie parametry wyznaczamy na podstawie danych producenta są o wiele dokładniejsze*. Co Autor chciał przez to zadanie wyrazić, proszę o odpowiedź.

Koleje źle sformułowane zdanie możemy znaleźć na stronie 28: *Zdaniem autorów opracowana procedura diagnostyczna hydraulicznego układu hamulcowego, wykorzystując sygnały drgań otrzymane ze stanowiska doświadczalnego umożliwiające symulacje usterek takich jak: zapotrzebowanie układu hamulcowego, wyciek płynu hamulcowego na hamulce tarczowe, zużycie klocków hamulcowych równomierne i nierównomierne (zużyty tylko wewnętrzny klocek), zużycie szczek hamulcowych w hamulcach bębnowych, nieszczelność zbiornika, zanikanie hamulca w hamulcu bębnowym.* W tym miejscu, mam dodatkowo pytanie do Doktoranta. Proszę o wskazanie, jaki rodzaj tarcia oraz zużycia występuje w układzie hamulcowym?

Na stronie 52 Autor pisze *W pierwszej fazie modelowania stworzono schemat funkcjonalny układu zasilnia oraz kolejnych, został zrealizowany zgodnie z nomenklaturą zawartą w normie PN-ISO 1219-1/2.* Nie rozumiem tego zdania.

Z kolei na stronie 71 czytamy *Dobór kryteriów i ich wartości były wynikiem zarówno uzyskanych danych pomiarowych wybranych parametrów pracy układu w stanie nowym, zużytym lub normalnie eksploatowanym, jak i wynikały z wielopłaszczyznowych badań symulacyjnych.* Proszę o odpowiedź, co Autor rozprawy miał na myśli w tym zadaniu? Co rozumie się przez pojęcie normalnie eksploatowany.

We wnioskach końcowych czytamy *Ogólny stan całego układu jest zależny od poszczególnych elementów podsystemów Skrajne zużycia, uszkodzenie danego elementu układu elektrohydraulicznego wpływa na działania całego systemu przeniesienia napędu. Dlatego podczas oceny stanu zużycia należy brać zawsze pod uwagę najslabszy element. Jego przewidywana żywotność będzie wówczas czasem pracy układu, jaki pozostał do osiągnięcia stanu krytycznego.* Wg mnie jest to wniosek znany i oczywisty.

Jednocześnie, w tekście rozprawy występują błędy łamania tekstu. Dla przykładu tzw. „wiszące wiersze” można znaleźć na stronach 12, 18, 22, 23, 32, 53, 74, 124. Pozostałe błędy językowe zostały zaznaczone w tekście rozprawy i przekazane Autorowi.

Pragnę zauważyć, że w recenzowanej pracy doktorskiej występują także błędy związane z prezentowanymi rysunkami oraz wzorami.

Na stronie 14 znajdują się rysunki 2 i 3, jednak w tekście pracy nie znalazłem odwołań do nich. Mogę też stwierdzić, że rysunek 16 ze strony 23 nie jest czytelny. Taka sama uwaga dotyczy rysunku 23 ze strony 27. Z kolei na rysunkach 27, 31, 32 33, 34 występuje słownictwo po angielsku. Wg mojej opinii nie powinno tak być.

Na rysunku 78 ze strony 90 znajduje się zbiór kolorowych linii prostych. Nie bardzo rozumiem, co ten rysunek wnosi do pracy? Podobną uwagę mam do rysunków 91 i 92.

Wg mojej opinii numeracja wzorów powinna być wyrównana do prawego marginesu. Niektóre ze wzorów na przykład 74-76, 79-82, 101-102 nie są wycentrowane.

### 3.2. Uwagi o charakterze ogólnym

Moja pierwsza uwaga o charakterze ogólnym dotyczy sposobu oznaczenia wielkości fizycznej jaką jest ciśnienie. Autor w tym celu użył dużej litery  $P$ . W mojej opinii powinna być użyta mała litera  $p$ , gdyż oznaczenie dużą literą  $P$  dotyczy wielkości fizycznej jaką jest moc.

Druga uwaga ogólna dotyczy zastosowania znaku kropki zamiast przecinka w ułamkach znajdujących się w tekście rozprawy. W języku polskim jest to oczywisty błąd.

### 4. Pytania do Autora pracy

1. Na stronie 44 można przeczytać *Zasada funkcjonowania zespołu mechatronicznego opiera się na transformacji ruchu liniowego siłowników hydraulicznych zmiany biegów w ruch obrotowy lub obrotowo przesuwny. Wybór szeregu biegów przedstawionych na rys. 40 odbywa się następująco:*
  1. *przez ruch jednego z siłowników biegów w ruch postępowy*
  2. *z pomocą elementu łączącego (4) wałek zostaje wprowadzony w ruch obrotowy*
  3. *elektromagnes (2) będąc aktywnym umożliwia przesunięcie bębna (6) w lewo lub w prawo poprzez wprowadzenie w ruch krzyżaka (7) poruszającego się na krzywce*Proszę o odpowiedź na pytanie, czego dotyczą te zdania?
2. Na stronie 52 można przeczytać, że akumulator hydrauliczny ma pojemność  $0,28 \text{ dm}^3$ . Zaś na stronie 57 Autor wykazał, że objętość ta wynosi  $28 \text{ dm}^3$ . Mam pytanie jaka jest rzeczywista objętość przedmiotowego akumulatora hydraulicznego?
3. Na stronie 60 możemy przeczytać  *$l$  - długość przewodu  $[\text{m}^2]$* . Czy jednostką długości jest metr kwadratowy?
4. Na stronie 89 znajduje się rysunek 76 na którym przedstawiono wykres z zaznaczonym wielomianem. Mam pytanie jakiego stopnia jest to wielomian.
5. Podobne pytanie dotyczy sformułowania ze strony 127 *postać prostego wielomianu*. Co to jest według Autora prosty wielomian?
6. Na stronie 158 we wnioskach czytamy *Identyfikacja poszczególnych parametrów w opracowanym modelu matematycznym jest kluczowa do dokładności modelu predykcyjnego, parametry wstępnie przyjęte są doprecyzowane empirycznie*. Proszę Autora o rozwinięcie tego sformułowania na publicznej obronie doktoratu.

## 5. Ocena rozprawy i wnioski końcowe

Pomimo przedstawionych przeze mnie w punkcie 3 uwag krytycznych, recenzowaną rozprawę doktorską Pana mgra inż. Łukasza Mozgi oceniam bardzo wysoko. Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością problematyki prowadzenia badań literaturowych, symulacyjnych oraz eksperymentalnych.

Rozprawa doktorska mgra inż. Łukasza Mozgi ma znaczenie aplikacyjne, a uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w praktyce. Autor wykazał się także bardzo dobrą analizą stanu zagadnienia oraz zrozumieniem problematyki odnoszącej się do przedmiotu badań. Biorąc pod uwagę całość pracy tj. jej wartość poznawczą i użyteczną oraz znaczący wkład własny uważam, że Doktorant rozwiązał ważny problem z zakresu dyscypliny naukowej **inżynieria mechaniczna**.

Dlatego też stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgra inż. Łukasza Mozgi pt.: „*Modelowanie układu elektrohydraulicznego w aspekcie oceny jego stanu zużycia*” spełnia wymogi obowiązujących przepisów w odniesieniu do prac doktorskich.

Wnioskuje, zatem o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

W przypadku pozytywnego przebiegu obrony wnoszę także o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Łukasza Mozgi pt.: „*Modelowanie układu elektrohydraulicznego w aspekcie oceny jego stanu zużycia*”.

