

dr hab. inż. Jędrzej Mączak, prof. ucz.

Warszawa, 22.10.2022 r.

Zakład Ciągników i Napędów Hydraulicznych
Instytut Pojazdów i Maszyn Roboczych
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
Politechnika Warszawska
ul. Narbutta 84
02-524 Warszawa
jedrzej.maczak@pw.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Rafała Czoka pt.

Właściwości trakcyjne pojazdu z napędem pneumatyczno-hydraulicznym

przygotowanej pod kierunkiem naukowym promotora
dr. hab. inż. Sebastiana Broła, prof. ucz.

1. Wprowadzenie

Recenzję wykonano na podstawie pisma RNDIM/148/22 prof. dr. hab. inż. Tadeusza Łagody, Przewodniczącego rady naukowej dyscypliny inżynieria mechaniczna Politechniki Opolskiej, z dnia 08.07.2022 roku.

2. Uwagi o sformułowanym zadaniu

Problematyka budowy i wykorzystania hybrydowych układów napędowych pojazdów, z uwagi na konieczność ograniczenia efektu cieplarnianego, jest w chwili obecnej szczególnie aktualna. W swojej pracy Autor skupił się na nietypowym i dość rzadko spotykanym rozwiązaniu: pneumatyczno-hydraulicznym układzie napędowym pojazdu, w którym elementem wykonawczym jest silnik hydrauliczny zasilany z konwerterów gazowo-olejowych. W układzie tym medium dostarczającym energię do napędu jest sprężony gaz zgromadzony w ciśnieniowym zasobniku. Cechą szczególną badanego układu jest naprzemienne przepompowanie cieczy roboczej z jednego konwertera pneumatyczno-hydraulicznego do drugiego poprzez silnik hydrauliczny który jest źródłem napędu. Układ ten wykorzystuje zbiornik gazu sprężonego i w porównaniu do typowych, hydraulicznych, układów napędowych, może pozwolić na zwiększenie zasięgu i zmniejszenie zużycia energii bez konieczności ładowania zasobnika pneumatyczno-hydraulicznego po jego rozładowaniu. Rozwiązanie takie wykazuje szereg zalet w stosunku do napędów czysto pneumatycznych lub jedynie hydraulicznych, m. in. charakteryzuje się mniejszą masą w stosunku do napędu czysto



hydraulicznego oraz wysoką sprawnością napędu nieosiągalną w przypadku układów pneumatycznych.

Inspiracją do podjęcia badań była dla Autora praca chińskich autorów (Shaw D., Yu J., Chieh Ch.: *Design of a Hydraulic Motor System Driven by Compressed Air*) opublikowana w renomowanym czasopiśmie *Energies* prezentująca wczesną koncepcję układu sterowania takiego napędu. Autor dysertacji podjął krytyczną dyskusję nt. układu sterowania zaproponowanego przez chińskich autorów oraz zaproponował i przebadał eksperymentalnie nowy wariant sterowania takim układem w znaczący sposób poprawiający wydajność oryginalnego układu. Opracowany układ sterowania pozwala na wydłużenie pracy silnika do chwili przełączenia układu pneumatyczno-hydraulicznego.

We wstępie do pracy, oprócz obszernego przeglądu dostępnej literatury na temat wykorzystania Jednostki Pneumatyczno-Hydraulicznej (JPH) Autor omówił cztery możliwe algorytmy sterowania. Algorytm I, jest oryginalnym algorytmem Shaw'a. Analiza jego działania ujawniła problem występowania samohamowania silnika hydraulicznego podczas stanów przejściowych cyklu pracy jednostki napędowej. Algorytm II minimalizuje to zjawisko poprzez zastosowanie tzw. fazy „luzu”. W algorytmie tym, podczas stanów przejściowych silnik nie jest napędzany, co niekorzystnie wpływa na sprawność względną cyklu. W związku z tym Autor zaproponował nowe rozwiązanie sterowania (Algorytm III) pozwalający na rozprężenie gazu w założonym marginesie objętości konwertera pneumatyczno-hydraulicznego podczas stanów przejściowych. Powoduje to, iż silnik hydrauliczny jest cały czas napędzany. Algorytm IV omówiony przez Autora zakłada, że ciśnienie w obu konwerterach jest regulowane i utrzymywana jest stała różnica ciśnień. Rozwiązanie to łączy zalety poprzednio wymienionych algorytmów sterowania.

W celu realizacji pracy Autor opracował, w programie Matlab/Simulink, kompletny symulacyjny model matematyczny działania JPH, wykorzystujący Algorytm III pozwalający zarówno na symulacyjne badanie pracy JPH jak i na ocenę własności trakcyjnych prototypu pojazdu w nią wyposażoną. Opracował, zbudował i przetestował prototyp pojazdu wyposażonego w JPH, autorski system sterowania tym układem oraz układ pomiarowy do weryfikacji pracy tej jednostki, opracowanych algorytmów sterowania oraz własności trakcyjnych pojazdu. Dzięki skonfigurowaniu zaworów hydraulicznych z wykorzystaniem idei odwróconego mostka H, Autor przebadął działanie zaproponowanego algorytmu sterowania odnosząc uzyskane wyniki do wyników uzyskanych z algorytmu symulacyjnego ruchu pojazdu.

W pracy szeroko opisano wyniki badań symulacyjnych oraz drogowych pojazdu wyposażonego w JPH wykorzystującą zaimplementowany algorytm sterowania.

Celami pracy, które postawił sobie Autor były:

- zbadanie wpływu doboru parametrów wybranych elementów konstrukcyjnych JPH na wybrane właściwości trakcyjne pojazdu,
- zbadanie wpływu budowy i konfiguracji podsystemów pneumatycznego i hydraulicznego JPH na jej sprawność,
- wyjaśnienie przyczyn, określenie skutków oraz ustalenie sposobów przeciwdziałania zjawiskom dławienia i duszenia konwertera za pomocą w kontekście wybranych parametrów trakcyjnych pojazdu,
- zbadanie metodami symulacyjnymi i eksperymentalnymi wybranych właściwości trakcyjnych prototypowego pojazdu wyposażonego w autorski układ pneumatyczno-hydrauliczny,
- zbadanie sprawności ogólnej prototypowego pojazdu w różnych fazach ruchu,
- opracowanie algorytmu doboru parametrów elementów JPH ze względu na założone właściwości trakcyjne pojazdu oraz zjawiska duszenia konwertera i dławienia konwertera.

Powyższe cele pracy prowadzą do tezy postawionej przez Autora stanowiącej, że

możliwe jest zwiększenie sprawności układu napędowego pneumatyczno-hydraulicznego poprzez zmianę jego konstrukcji oraz racjonalny dobór parametrów komponentów układu.

Mając na uwadze obecny stan wiedzy w tym zakresie należy uznać, że cele rozprawy sformułowane przez Autora są poprawne, a tematyka pracy ma duże znaczenie naukowo–poznawcze i aplikacyjne.

3. Charakterystyka pracy

Opiniowana praca, składająca się z sześciu rozdziałów, spisu literatury oraz wykazu oznaczeń i skrótów, zajmuje 136 stron. Wykaz literatury, obejmujący 120 pozycji, należy uznać za trafny. Wśród cytowanych pozycji jest 21 publikacji sygnowanych przez Autora związanych w całości z tematem pracy co należy uznać nader pozytywne. Bibliografia została pogrupowana alfabetycznie według pierwszego autora, jednakże wszystkie źródła

zaczepnięte z Internetu (13 pozycji) rozpoczynają się od słowa „dostępny – data”, co jest kontrowersyjne z uwagi na ich występowanie w środku spisu.

Układ treści, w tym podział na rozdziały oraz strona graficzna rozprawy w zasadzie nie budzą zastrzeżeń. Wskazane byłoby jednakże poprawienie jakości rysunku nr 10 (Schemat blokowy symulacji pojazdu...), gdyż jest całkowicie nieczytelny. Rys. 12 jest powiększoną częścią Rys. 11a (z dodatkowymi opisami). Można go było zatem umieścić przed Rys. 11. W pracy brak jest Rys. 13, do którego występuje odwołanie. Tytuł Rys. 23 to *Różnica ciśnienia...* podczas gdy powinien raczej brzmieć *Przebieg ciśnienia...*, jak na Rys. 22. Tytuły tabel są nieprawidłowo i dość dowolnie stosowane (*Tabela 8 zakres ciśnień...*, *Tabela 13 Parametry...* *Tabela 17 . Parametry...*). W odwołaniach do tabel Autor nie używa przypadków (W *Tabela x* zamieszczono...). Odwołując się do jednostek fizycznych autor często opuszcza wymaganą spację lub znak mnożenia (czas 0.87s, ciśnienie $70 \cdot 10^5 \text{Pa}$, $300 \cdot 10^5 \text{Pa}$). Czasami Autor używa zmiennie jednostek ciśnienia bar (str. 8).

Zasadniczą wadą pracy jest niedopracowany język, nadmierna ilość literówek, błędów stylistycznych (niewłaściwy szyk zdania) i gramatycznych wskazujące na brak wnikliwej korekty językowej pracy. Napotykanne w pracy błędy niejednokrotnie utrudniają percepcję tej ciekawej i wartościowej pracy zmuszając czytelnika do intelektualnego wysiłku podczas czytania aby odkryć co Autor miał na myśli, a czasem niestety czynią treść niezrozumiałą (np. str. 18: *A takie zalety wykazują korzyści dla jednostki pneumatyczno-hydraulicznej (JPH). Gdzie wymaga się ograniczenia przepływu cieczy roboczej (pozwala to na oszczędzenie gazu), uzyskanie wysokiego momentu obrotowego przekłada się na właściwości trakcyjne.*; wnioski z rozdziału 3.2, str 49: *Przedstawiono schemat działania podczas pracy JPH a na rysunkach Rys. 11.b) i c) **przedstawiono zysk pracy, który uzyskano** za pomocą modyfikacji układu PH (zastosowanie elektrozaworów pneumatycznych jak i hydraulicznych a także zastosowanie akumulatorów hydraulicznych o budowie otwartej) **umożliwiły uzyskanie pracy algorytmu III***; str. 67: *Badania symulacyjne z próbami drogowymi okazały się zbliżone.*; oraz niekompletne zdanie: *Ze względu na czas ewaluacji ..., , który pozwalał określić prędkość pojazdu w stanie quasi ustalonym.*; str. 116: *Na rysunkach ... **przestawiono** zmiany...*; itd.)

4. Ogólna ocena rozprawy

W opiniowanej rozprawie przedstawiono symulacyjną analizę pracy pneumatyczno-hydraulicznej jednostki napędowej zabudowanej w pojeździe oraz wykonano próby drogowe pojazdu wyposażonego w JPH. Otrzymane wyniki pozwoliły na weryfikację opracowanego algorytmu sterowania w warunkach rzeczywistych. Uzyskano 8% zgodność wyników badań

symulacyjnych i drogowych. Inspiracją do podjęcia badań była praca Shaw'a zamieszczona w *Energies*.

W celu weryfikacji działania opracowanego algorytmu Autor wykonał i przebadął testowy pojazd (bazujący na podwoziu ATV firmy Adly) napędzany zaprojektowanym pneumatyczno-hydraulicznym układem hybrydowym. Opracował również model symulacyjny układu pojazdu korzystając z pakietu Matlab/Simulink.

Zagadnienia podjęte w pracy zostały przedstawione w sześciu rozdziałach.

Rozdział 1 zawiera wstęp do rozprawy nazwany nieco myląco *Rozeznanie literaturowe*. Autor opisał w nim historię i aktualny stan rozwoju jednostek napędowych i układów jezdnych ze szczególnym uwzględnieniem układów alternatywnych: pneumatycznych, hydraulicznych oraz hybrydowych. Omówił zalety i wady poszczególnych rozwiązań oraz przedstawił znalezione w literaturze rozwiązania działających pojazdów lub układów napędowych. Opisuując pneumatyczne i hydrauliczne jednostki napędowe Doktorant zamieścił i omówił schematy typowych rozwiązań (konfiguracji) tych napędów. Środkowe dwa akapity we wstępie na str. 6 wydają się być wyjęte z kontekstu. Z ich treści wynika, że prawdopodobnie dotyczą one silników ze spalaniem wewnętrznym, jednakże rozdział dotyczy napędów pneumatyczno-hydraulicznych.

Osobne części Rozdziału 1 dotyczą opisu procesu rozprężania gazu, własności trakcyjnych pojazdów z napędem pneumatycznym, pneumatyczno-hydraulicznym oraz ich zastosowaniem w pojazdach. Rozdział 1 kończy się wnioskami dotyczącymi zalet stosowania układów pneumatyczno-hydraulicznych, co jest wstępem do zdefiniowania celów pracy, tezy pracy oraz zakresu pracy pozwalającego na udowodnienie postawionej tezy.

Rozdział 2 zawiera, nader skrótowe niestety, przedstawienie wymienionych już wyżej celów pracy oraz samą tezę pracy. Cele pracy są określone w 6 punktach z podpunktami. Teza mówiąca, iż możliwe jest zwiększenie sprawności poprzez odpowiednie opracowanie konstrukcji oraz dobór parametrów sterowania jest moim zdaniem zbyt płytka i oczywista. Nie jest zadaniem recenzenta proponowanie tezy pracy, lecz Autor mógł np. nawiązać tu do wykorzystania modelu symulacyjnego przy opracowywaniu algorytmów sterowania w celu poprawy sprawności napędu. Podrozdział 2.2 *Zakres pracy* zawiera wypunktowane szczegółowe zadania do rozwiązania i przebadania.

Rozdział 3 (Metodyka badań), rozpoczyna się od wypunktowanego spisu działań eksperymentalnych zaplanowanych do wykonania. Opis metodyki badań nie wyjaśnia, które badania dotyczą modelu symulacyjnego, a które są badaniami stricte eksperymentalnymi na zbudowanym prototypie pojazdu. Rozdział 3.1 *Model matematyczny* opisuje zbudowany model symulacyjny JPH. Jak już wspomniano wyżej, Rys. 10 zawierający schemat modelu

jest nieczytelny. Rozdział 3.2 *Badania symulacyjne* zawiera opis czterech możliwych algorytmów sterowania oraz szczegółowy opis algorytmu (Algorytm III) wybranego przez Autora. Rozdział 3.3 *Prototyp pojazdu z układem napędowym PH* zawiera schemat JPH oraz opis prototypu pojazdu oraz układów wykorzystanych do jego budowy, a także sposobu prowadzenia eksperymentów na prototypie pojazdu. Jak już wspomniano uprzednio, brak jest w pracy Rys. 13. Rozdział 3.5 opisuje sposób przetwarzania i analizy danych eksperymentalnych, w tym dyskusję sposobu określania niepewności pomiarowych.

Obszerny Rozdział 4 opisuje wyniki badań symulacyjnych i drogowych prototypu oraz zawiera dyskusję na temat podobieństwa wyników eksperymentalnych i symulacyjnych. Autor podejmuje tu dyskusję nt. oceny przyczyn występowania różnic w uzyskanych przebiegach. W Rozdziale 4.2 opisano proces rozprężania gazu ze zbiornika głównego do konwertera PH, zaś w Rozdziale 4.3 wpływ parametrów konstrukcyjnych na wskaźniki pracy JN. Nie jest tu oczywiste, czy dyskusja wpływu parametrów JPH przedstawiona w Rozdziałach 4.2 - 4.4 dotyczy badań modelowych, czy eksperymentalnych na pojeździe. Rozdział 4.6 zawiera dyskusję nad sprawnością prototypowego pojazdu w zależności od zastosowanych parametrów JPH. Omówiono w nim wpływ parametrów JPH na cztery rodzaje sprawności składające się na sprawność całkowitą: sprawność rozprężania gazu ze zbiornika głównego do konwertera, sprawność konwersji energii w cyklu, sprawność układu hydraulicznego, sprawność układu napędowego. Tak jak w poprzednich rozdziałach nie jest oczywiste, czy do oceny wpływu parametrów na poszczególne sprawności korzystano z wyników symulacyjnych, czy też z wyników eksperymentalnych uzyskanych podczas jazd pojazdu.

Rozdział 5 zawiera opis zaproponowanych algorytmów optymalnego doboru parametrów elementów składowych układu JPH pozwalających na uzyskanie optymalnej pracy. Zawiera w szczególności dyskusję, na temat kolejności doboru poszczególnych parametrów. Rozdział ten stanowi swoiste podsumowanie badań prowadzonych w pracy.

Rozdział 6 zatytułowany *Wnioski* zawiera bardzo zwięzłe *Wnioski poznawcze*, *Wnioski użytkitarne* oraz *Zalecenia projektowe* dotyczące wpływu poszczególnych parametrów na pracę JPH oraz podsumowanie metod ich doboru. Niestety w pracy brak jest typowego podsumowania wykonanych działań i odniesienia się do postawionej w Rozdziale 2 tezy pracy oraz dyskusję nt. osiągnięcia założonych celów pracy. Częściowo tą lukę wypełnia streszczenie zamieszczone na końcu pracy zwięzłe opisujące prowadzone badania. Znajdujemy tam też potwierdzenie udowodnienia postawionej tezy (*Zaobserwowano że na przebieg pola pracy wpływają takie czynniki jak: objętości konwertera (V_P , V_K , V_R), strumień przepływu cieczy (tu patrz prędkość pojazdu), współczynnik K_V zaworów pneumatycznych jak*

i hydraulicznych co potwierdza tezę pracy, że parametry konstrukcyjne wpływają na właściwości trakcyjne pojazdu). Biorąc pod uwagę wcześniejsze dyskusje nad wpływem parametrów można istotnie uznać, że postawiona teza iż możliwe jest zwiększenie sprawności układu napędowego pneumatyczno-hydraulicznego poprzez zmianę jego konstrukcji oraz racjonalny dobór parametrów komponentów układu została dowiedziona zaś postawione w pracy cele zostały zrealizowane.

Brak jest niestety w zakończeniu omówienia dalszych perspektyw pracy i zamierzeń Autora w zakresie rozwijania tej ciekawej konstrukcji pojazdu i jego układu sterowania.

Wyniki uzyskane eksperymentalnie i podczas przeprowadzanych symulacji potwierdziły uprzednie rozważania teoretyczne i poprawne wyznaczenie celów rozprawy. Całość przeprowadzonych wywodów należy uznać za przekonującą. Przedstawiony materiał ma kompleksowy charakter i wskazuje na dobre przygotowanie warsztatowe Kandydata. Na szczególne podkreślenie zasługuje opracowanie prototypu układu napędowego pojazdu oraz szeroki program wykonanych badań zarówno symulacyjnych jak i eksperymentalnych.

5. Uwagi szczegółowe i zapytania

Część uwag umieszczono już uprzednio w tekście, tu jednak zebrano je w całość:

1. Rozdział 3.2. Czy model symulacyjny korzysta z przebiegów uzyskanych w wyniku przejazdu pojazdu?
2. Rozdział 3.3 (str. 54). Zastosowanie cyklonu podczas badań, pozwoliło na zebranie około 1 dm³ (1 litr) oleju, który podczas różnych prób drogowych, czy też stanowiskowych wydostał się z układu. Co wynikało z desynchronizacji układu PH, bądź mylnej interpretacji położenia cieczy roboczej W konwerterze. Abstrahując od stylu zdania, jakiego przebiegu pojazdu dotyczy to zużycie?
3. Str. 60, Tabela 9. W jaki sposób określano podczas eksperymentu przepływ Q i w jaki sposób tworzono wykresy P-V na podstawie danych eksperymentalnych?
4. Str. 63/64, Tabele 10 i 11. Proszę o wyjaśnienie wzorów:

v_{sr}	$v_{sr} = \frac{\frac{(v_{max_cyc_1} + v_{max_cyc_2} + v_{max_cyc_4})}{4} + \frac{(v_{min_cyc_1} + v_{min_cyc_2} + v_{min_cyc_4})}{4}}{2}$
a_{sr}	$a_{sr} = \frac{\frac{(a_{max_cyc_1} + a_{max_cyc_2} + a_{max_cyc_4})}{4} + \frac{(a_{min_cyc_1} + a_{min_cyc_2} + a_{min_cyc_4})}{4}}{2}$

Skąd pochodzi dzielenie przez 4 przy określaniu średnich wartości?

5. Czy były wykonywane próby identyfikacji modelu symulacyjnego, tzn. korekty parametrów modelu aby lepiej dopasować go do wyników eksperymentu? Czy oceniano wrażliwość parametrów modelu na uzyskane wyniki symulacji?
6. Rozdziały 4.2 - 4.4, 4.6. Czy przedstawiona dyskusja nad wpływem parametrów JPH oraz sprawnością dotyczy badań modelowych, czy eksperymentalnych?
7. Jaka jest przyczyna „losowych” zaburzeń zmierzonego ciśnienia za zaworami hydraulicznymi pokazana na Rys. 46 sięgająca $2 \cdot 10^5$ Pa? Deklarowana, w Rozdziale 3.5, niepewność pomiarowa to $0.02 \cdot 10^5$ Pa.

Ogólnie, wyjaśnienia wymaga sposób oceny doboru parametrów JPH. Czy (i kiedy) do tego celu wykorzystano model symulacyjny, czy też badania eksperymentalne na prototypie pojazdu?

Jak już wspomniano wyżej, zasadniczą wadą pracy jest niedopracowany język, nadmierna ilość literówek, błędów stylistycznych (m. in. niewłaściwy szyk zdania) i gramatycznych wskazujące na brak wnikliwej korekty językowej pracy. Denerwujące jest też nadmiernie częste użycie zdań wtrąconych w tekście. Napotykanne w pracy błędy stylistyczne niejednokrotnie utrudniają percepcję tej ciekawej i wartościowej pracy zmuszając czytelnika do intelektualnego wysiłku podczas czytania aby odkryć co Autor miał na myśli. Czasem, niestety, czynią treść niezrozumiałą.

Percepcję pracy utrudnia również przemieszanie wyników badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych. Nie zawsze jest jasne, czy autor odwołuje się do eksperymentu numerycznego, czy fizycznego prowadzonego z wykorzystaniem opracowanego prototypu pojazdu.

5. Ocena rozprawy i wniosek końcowy

Oceniając całość przedstawionej rozprawy należy podkreślić istotną wagę poznawczą i techniczną głównego problemu pracy. Autor w głównej mierze skupił się nad opracowaniem sposobu doboru parametrów pewnej klasy metod sterowania pneumatyczno-hydraulicznymi jednostkami napędowymi, co w pełni wyczerpuje zakres rozprawy doktorskiej. Równocześnie, takie ujęcie pozwoliło całkowicie ocenić poprawność przyjętej metodyki postępowania, przeprowadzić analizę i zweryfikować otrzymane wyniki.

Zagadnienie zostało rozwiązane samodzielnie, a uzyskane rezultaty mogą być w części wykorzystane bezpośrednio w postaci rozwiązań aplikacyjnych, w części zaś stanowią przesłankę do dalszych badań metodycznych. Rozwiązując zadanie określone w pracy, Autor wykazał się dobrą znajomością i wyczuciem problemów technicznych, rzetelną wiedzą w

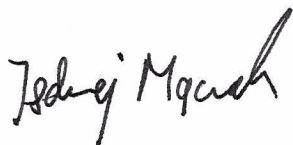
dziedzinie modelowania układów hydraulicznych i mechanicznych, planowania eksperymentów oraz analizy sygnałów, szczególnie sygnałów niestacjonarnych.

Pomimo przedstawionych przeze mnie uwag krytycznych, głównie dotyczących kwestii redakcyjnych nie zaś merytorycznych recenzowaną rozprawę doktorską Pana mgr. inż. Rafała Czoka pt. *Właściwości trakcyjne pojazdu z napędem pneumatyczno-hydraulicznym* oceniam pozytywnie. Doktorant wykazał się dobrą znajomością problematyki prowadzenia badań literaturowych, symulacyjnych oraz eksperymentalnych, które umożliwiły opracowanie recenzowanej rozprawy doktorskiej. Oryginalność rozwiązania podjętego zagadnienia naukowego potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Rafała Czoka ma znaczenie aplikacyjne, a uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w praktyce. Autor wykazał się także dobrym zrozumieniem problematyki odnoszącej się do przedmiotu prowadzonych badań. Biorąc pod uwagę całość pracy, a w szczególności jej wartość poznawczą i użyteczną oraz znaczący wkład własny uważam, że Doktorant rozwiązał istotny problem z zakresu dyscypliny naukowej **inżynieria mechaniczna**.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, iż przedłożona rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Rafała Czoka pt. *Właściwości trakcyjne pojazdu z napędem pneumatyczno-hydraulicznym* spełnia wymogi obowiązujących przepisów w odniesieniu do prac doktorskich i może służyć za podstawę do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych.

Niniejszą opinię przedkładam Przewodniczącemu rady naukowej dyscypliny inżynieria mechaniczna Politechniki Opolskiej, zleceniodawcy tej recenzji.



dr hab. inż. Jędrzej Mączak, prof. ucz.