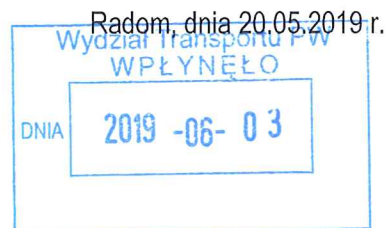


dr hab. inż. Marcin Chrzan
prof. UTH
Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny
w Radomiu
Wydział Transportu i Elektrotechniki



Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Wawrzyńca Wychowańskiego

pt.:

**„Niezależny inercyjny układ pomiaru zmian prędkości
jako pętla sprzężenia zwrotnego w sterowaniu pociągiem”**

przedstawionej

Radzie Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej

promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Marianna Jacyna

promotor pomocniczy: dr inż. Sławomir Jasiński

I. Podstawa opracowania recenzji

Podstawa opracowania recenzji – pismo Prodziekana ds. Nauki Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Krzysztofa Zboińskiego na podstawie dostarczonej rozprawy doktorskiej zatytułowanej: „*Niezależny inercyjny układ pomiaru zmian prędkości jako pętla sprzężenia zwrotnego w sterowaniu pociągiem*”.

II. Uwagi ogólne

Przedstawiona do recenzji przez Pana mgr inż. Wawrzyńca Wychowańskiego rozprawa doktorska zatytułowana: „***Niezależny inercyjny układ pomiaru zmian prędkości jako pętla sprzężenia zwrotnego w sterowaniu pociągiem***” jest modelowym przykładem dysertacji zawierającej w sobie trzy istotne elementy: aspekt naukowy, aspekt inżynierski oraz aspekt wdrożeniowy. Przedstawione w dysertacji rozwiązanie problemu naukowego w powiązaniu go z aplikacją wdrożeniową jest istotnym zagadnieniem z punktu widzenia dyscypliny naukowej, w której doktorant aplikuje. Wybór tematu dysertacji był poprzedzony wieloletnim doświadczeniem zawodowym Autora w prezentowanym zakresie oraz jego badaniami dlatego uważam, że jest on wybrany w sposób przemyślany, właściwy i zasadny. Zasadność wyboru tematu zweryfikowano jak sam zaznacza Autor: „*przyjmując kryterium znaczenia*

poznawczego, w tym innowacyjności podejmowanych zagadnień oraz znaczenia praktycznego w odniesieniu do możliwości wykorzystania inercyjnych układów pomiarowych IMU (ang. *Inertial Measurement Unit*) w systemach automatycznego prowadzenia pociągów klasy CBTC". Rozprawa poświęcona jest w całości problematyce wykorzystania układów inercyjnych do sterowania pociągiem. Choć w pracy Autor badania przeprowadzał na infrastrukturze Warszawskiego Metra, można jego rozważania uogólnić na inne gałęzie transportu szynowego, gdzie wykorzystywana jest transmisja w relacji tor-pojazd do nadzoru i sterowania ruchem. Świadczy to o dysertabilności rozprawy. W ramach realizacji rozprawy Autor przeprowadził szereg badań eksperymentalnych w zakresie podsystemu pojazdowego odometru z wykorzystaniem zbudowanych na potrzeby rozprawy kart pomiarowych wykorzystujących inercyjne układy pomiarowe wykonane w technologii MEMS, co stanowi o innowacyjności rozwiązania, ze względu na fakt wykorzystywania do tej pory wspomnianej technologii w systemach inercyjnych statków morskich i powietrznych. Doktorant zbudował także autorski model pojazdu szynowego w inercyjnym układzie odniesienia poprzez przeniesienie na grunt kolei doświadczenie w opisie dynamiki statków powietrznych i morskich, zdefiniował lokalny układ współrzędnych oraz zestaw wielkości mierzonych, po czym opracował algorytm pozycjonowania pojazdu z wykorzystaniem inercyjnych układów pomiarowych. Opracowany algorytm stanowił w dalszej części rozprawy podstawę do rozbudowy jego funkcjonalności do pełnej, rzeczywistej architektury systemu.

Praca ta jest całościowym rozwiązaniem problemu naukowego w prezentowanym obszarze, jest przygotowana w sposób uporządkowany, zawiera wyraźny podział na część wstępną, opisową, badaniową i weryfikacyjną. Struktura rozprawy jest poprawna pod względem prezentowanych treści merytorycznych, metodologii badań a także pod kontem wyciąganych wniosków a jej treść znakomicie wpisuje się w obszar dyscypliny naukowej inżynieria lądowa i transport.

III. Struktura formalna oraz przedmiot i zakres dysertacji

Praca zawiera dziewięć rozdziałów zasadniczych oraz wstęp, wykaz skrótów i pojęć, bibliografię, spis rysunków i tabel a także streszczenie w języku polskim i angielskim. Została opisana na 275 stronach i zawiera 173 pozycje literatury światowej i krajowej istotne z punktu widzenia zawartości rozprawy. Układ treści, podział na rozdziały i podrozdziały oraz sformułowanie celu, tezy i wniosków jest prawidłowe, spójne i logiczne. Uzupełnieniem prezentowanych treści są liczne załączniki zawarte na stronach 228-275. Zauważalny w pracy, jak już wspomniano w II Uwagi ogólne, jest podział na część analityczną określającą bieżący stan wiedzy w zakresie rozprawy a także część praktyczną, w której autor przedstawił swoje propozycje rozwiązań oraz wyniki badań. Badania własne autor bogato udokumentował w pracy w postaci, zdjęć, schematów, zrzutów okien programu.

Reasumując, można stwierdzić, że struktura pracy odpowiada jej charakterowi dysercyjnemu, a język rozprawy świadczy o bogatym doświadczeniu praktycznym Autora oraz jego głębokiej znajomości prezentowanej problematyki, a zakres tematyczny rozprawy jest zgodny z potrzebami bezpieczeństwa. Transportu szynowego. Przedstawiona do oceny dysercyja jest elementem projektu badawczo-rozwojowego realizowanego wspólnie przez firmę Rail-Mil Computers oraz Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej przy współfinansowaniu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, którego celem było opracowanie i wdrożenie do eksploatacji innowacyjnego systemu automatycznego prowadzenia pociągu klasy CBTC pod nazwą rmCBTC. Jak już wspomniano wcześniej jest to przykład modelowego wykorzystania środków z partnerstwa publiczno-prywatnego na realizację celów badawczych, których wynikiem jest prezentowana rozprawa. Cel i teza rozprawy zostały zdefiniowane na stronach 82 i 83.

Jako główny cel rozprawy przyjęto:

„a) opracowanie i implementację sprzętową układów pomiarowych opartych o inercyjne układy pomiarowe wykonane w technologii MEMS;

b) opracowanie i implementację programową układów pomiarowych opartych o inercyjne układy pomiarowe wykonane w technologii MEMS;

c) wyznaczenie kryteriów oceny dla wpływu zastosowania układów pomiarowych opartych o inercyjne układy pomiarowe w pętli zwrotnej sterowania pociągiem;

d) walidację i weryfikację implementacji sprzętowej;

e) walidację i weryfikację implementacji programowej.”

Przy tak postawionych celach rozprawy następnie zdefiniowano tezę naukową rozprawy:

„Wykorzystanie układów pomiarowych opartych o IMU, jako pętli zwrotnej sterowania pociągiem w systemie automatycznego prowadzenia pociągu klasy CBTC pozwala na skrócenie czasu następstwa pociągów przy zachowaniu poziomu bezpieczeństwa realizowanego procesu transportowego na obszarze objętym systemem.”

oraz tezę pomocniczą jako twierdzenie:

„Wykorzystanie układów pomiarowych opartych o IMU jako pętli zwrotnej sterowania pociągiem w systemie automatycznego prowadzenia pociągu klasy CBTC pozwoli na:

- podniesienie poziomu bezpieczeństwa realizowanego procesu transportowego poprzez wprowadzenie, w architekturze projektowanego systemu, redundantnego źródła informacji o odpowiedzi pociągu na zadane sterowanie;
- utrzymanie lub podniesienie poziomu bezpieczeństwa realizowanego procesu transportowego poprzez skrócenie czasu reakcji systemu na zadane sterowanie;
- zwiększenie wydajności systemu poprzez skrócenie czasu następstwa pociągów dzięki skróceniu czasu reakcji systemu sterowania, który przekłada się bezpośrednio na zmniejszenie dystansu pomiędzy poruszającymi się pociągami, i co za tym idzie na skrócenie czasu następstwa pociągów."

Powyższa teza pracy została sformułowana przy założeniach:

„- czas oraz prawidłowa reakcja pociągu na zadane sterowanie ma bezpośredni wpływ na poziom bezpieczeństwa realizowanego procesu transportowego;

- wprowadzenie redundantnego źródła informacji o odpowiedzi pociągu na zadane sterowanie podnosi poziom bezpieczeństwa realizowanego procesu transportowego;

- skrócenie czasu oraz podniesienie poziomu prawdopodobności odpowiedzi pociągu na zadane sterowanie ma bezpośredni wpływ na wydajność realizowanego procesu transportowego;

- potwierdzeniem przyjętej tezy głównej i tezy pomocniczej oraz osiągnięcia celów badawczych określonych w rozprawie jest zaproponowany sposób implementacji sprzętowej układu pomiarowego, opartego o zastosowanie IMU, w jednolitym systemie automatycznego prowadzenia pociągu klasy CBTC;

- potwierdzeniem przyjętej tezy głównej i tezy pomocniczej oraz osiągnięcia celów badawczych określonych w rozprawie będzie realizacja zaproponowanego sposobu implementacji sprzętowej i programowej układu pomiarowego, z wykorzystaniem czujników IMU, w jednolitym systemie automatycznego prowadzenia pociągu klasy CBTC."

Teza wraz z tezą pomocniczą, cel i zakres pracy są sformułowane w sposób czytelny i świadczą o naukowym charakterze pracy, a przedstawione cele cząstkowe w klarowny sposób określają kierunek badań wiodący do uzyskania postawionego celu i potwierdzenia stawianej tezie w pracy. Tak postawiona teza i cele pracy świadczą o trafności wyboru i oryginalności problemu badawczego podjętego w rozprawie, a sam problem badawczy zaprezentowany w rozprawie należy uznać za istotny, z punktu widzenia jej tematyki i dyscypliny naukowej w której aplikuje.

Ze względu na charakter rozprawy można dokonać podziału jej na cztery zasadnicze części.

W pierwszej Autor dokonał przeglądu literatury analizując dorobek naukowy i wdrożeniowy będący w obszarze prezentowanej dysertacji. Zaprezentował problem badawczy podejmowany niniejszą rozprawą wraz ze wskazaniem przedmiotu badań. W sposób syntetyczny omówił aktualnie eksploatowane systemy automatycznego prowadzenia pociągów oparte o ciągłą, dwukierunkową redundantną transmisję w relacji tor/pojazd, w tym w szczególności: systemy klasy CBTC oraz systemy zgodne ze standardem ERTMS/ETCS poziomu drugiego. Jest to istotne, zwłaszcza w aspekcie wdrażanego obecnie na liniach kolejowych Polski systemu ERTMS/ETCS poziomu pierwszego i w perspektywie drugiego. W dalszej części pierwszego rozdziału doktorant dokonał charakterystyki istotnych z punktu widzenia sterowalności cech pojazdów szynowych ze szczególnym uwzględnieniem tych eksploatowanych w aglomeracyjnym transporcie szynowym na przykładzie Metra Warszawskiego.

Druga część rozprawy przedstawia bazujące na przeglądzie literatury oraz dokumentacjach techniczno-ruchowych poszczególnych producentów założenia dla realizacji układów pomiarowych IMU zbudowanych w technologii MEMS wykorzystanych na potrzeby rozprawy. Dokonano w tej części doboru komponentów aktywnych systemu, analizy i wyboru algorytmów filtracji, doboru algorytmów działania oraz dokonano powiązania zaprezentowanych analiz z układem sterowania pociągu w relacji tor-pojazd. Wszystkie rozważania są bogato ilustrowane materiałem zdjęciowym i rysunkowym.

W części trzeciej rozprawy doktorant szeroko omówił i przedstawił współautorską implementację sprzętową kart pomiarowych wykonanych w technologii MEMS będące komponentem budowanego pojazdowego bezpiecznego komputera rmVC. Dalej omówiono implementacje programową na poziomie ww. komponentów oraz opisano sposób włączenia układów pomiarowych opartych o IMU w architekturę systemu automatycznego prowadzenia pociągów klasy CBTC, typu: rmCBTC wraz z implementacją na pojeździe typu ALSTOM METROPOLIS 98B eksploatowanym w Metrze Warszawskim.

Część czwarta rozprawy zawiera metodę walidacji i weryfikacji wyników swoich analiz i pomiarów. Został w nim przedstawiony bogato ilustrowany materiał potwierdzający realizację badań a także dyskusja uzyskanych rozwiązań i wyników. Niewątpliwie w tej części został ponownie udowodniony poznawczy i użyteczny charakter rozprawy poprzez możliwość weryfikacji i walidacji przyjętych założeń oraz zaimplementowanych w systemie układów pomiarowych bazujących na IMU w warunkach rzeczywistego zastosowania i rzeczywistej eksploatacji na linii metra.

Celem naukowym rozprawy było opracowanie metody przekazywania informacji z zaprojektowanego systemu inercyjnego z zastosowaniem odpowiednich bezpiecznych algorytmów pozwalającej na ciągłą identyfikację położenia pojazdów szynowych w sieci transportu szynowego przy ustalonych warunkach brzegowych oraz celem użytecznym było zbadanie poprawności działania oraz skuteczności zaproponowanego w rozprawie rozwiązania w warunkach rzeczywistych Metra Warszawskiego.

Zaprezentowane, w rozprawie, rozważania i analizy dowodzą, że autorskie podejście do elementów transmisji w relacji tor-pojazd z wykorzystaniem układów inercyjnych może prowadzić do zwiększenia bezpieczeństwa transportu szynowego. Opracowana autorska metoda zaimplementowana w warunkach eksploatacyjnych wykazała poprawność założonych celów co potwierdziło w całości tezę pracy.

Realizacja celu rozprawy wymagała dokonanie krytycznej analizy literatury dotyczącej nie tylko układów inercyjnych, ale również algorytmów filtracji i symulacji komputerowych oraz systemów transmisji danych. Świadczy to o zdolności Autora do szerokiej analizy problemów naukowych nie będących w bezpośrednim nurcie jego zainteresowań badawczych i zasługuje na zauważenie.

Sposób analizy problemu naukowego i badawczego oraz jak się można domyślać z treści pracy duże doświadczenie praktyczne autora rozprawy pozwoliły mu na wypracowanie autorskiej metody pomiaru zmian prędkości z wykorzystaniem systemu inercyjnego z zastosowaniem pętli sprzężenia zwrotnego oraz przeprowadzenia badań na obiekcie rzeczywistym.

IV. Ocena rozprawy oraz uwagi krytyczne

Dysertacja przedstawiona do recenzji, tak jak już niejednokrotnie wspomniano powyżej w tej recenzji świadczy o dojrzałości naukowej kandydata, bogatym doświadczeniu praktycznym oraz o zrealizowaniu postawionych tez badawczych. Autor sformułował w sposób czytelny tezę (jej uzupełnienie w postaci tezy pomocniczej) oraz cele i problemy badawcze, co w rezultacie doprowadziło od rozdziału dziesiątego, w którym uzasadniono stawianą tezę oraz problem badawczy. Autor również zrealizował wszystkie postawione cele szczegółowe, a także przedstawił nie rozwiązane problemy i wskazał obszar swojego dalszego rozwoju. Praca zawiera dobrze udokumentowany aparat matematyczny, którym autor podpierał się przy opisywaniu i rozwiązywaniu problemu naukowego.

Autor osiągnął efekty teoretyczne w swojej pracy, do których można zaliczyć:

- zdefiniowanie podstawowych pojęć poruszanych w rozprawie;
- dokonanie analizy literatury w zakresie dysertacji. W rozprawie dokonano oceny aktualnego stanu wiedzy w tym zakresie na podstawie literatury polskiej jak i obcojęzycznej z uwzględnieniem norm oraz dokumentacji techniczno-ruchowych;
- zbudowanie modelu teoretycznego systemu;

oraz efekty praktyczne:

- opracowanie autorskiego systemu inercyjnego z zastosowaniem pętli sprzężenia zwrotnego;
- zaimplementowanie systemu do obiektów rzeczywistych;

- dokonanie walidacji i weryfikacji wypracowanej metody na rzeczywistym systemie

Niestety autor nie uszczegółił się nielicznych błędów edytorskich i formalnych. Niektóre pozycje literatury mimo, że związane z tematyką dysertacji nie znajdują odzwierciedlenia w tekście. Autor nie konsekwentnie opisuje osie wykresów a także dane we wzorach, raz posługuje się symbolem drogi jako d (np. rys. 2.2, 2.3, 2.14) innym jako s (np. 2.18, 9.11 ...). Na rysunkach brakuje opisu osi współrzędnych (np. 2.6, 2.8, 2.9, 2.16, 2.17). Brak konsekwencji w zamieszczaniu rysunków, raz są to rysunki w języku polskim raz w angielskim, a na rys. 4.14 występują opisy mieszane polskie i angielskie. Na stronie 101 pojawia się zapis WLAN, – nie powinno być kropki, na stronie 106 jest firma Rail-Mil Computers, winno być firmą Rail-Mil Computers.

Na stronie 115 oznaczenie pojazdu jest [M] natomiast wcześniej i dalej jest M. Na stronie 118 jest 0m/s^2 do $1,3\text{ m/s}^2$ winno być 0m/s^2 do $1,3\text{ m/s}^2$.

Tytuły podrozdziałów 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 w ocenie recenzenta winny nosić odpowiednio nazwy:

Pojazd produkcji Metrowagonmasz serii 81, Pojazd firmy Alstrom serii Metropolis 98B, Pojazd firmy Siemens serii Inspiro.

W ocenie recenzenta rozdział 8.1 jest zbyteczny z punktu widzenia naukowego charakteru dysertacji oraz zbędne są rysunki 9.5 i 9.6.

Proszę też na odpowiedź podczas publicznej obrony rozprawy doktorskiej na następujące pytania:

1. Na stronie 105 powołuje się Pan na rozwiązania wykorzystujące do transmisji radiowej technologię LTE. Proszę o wskazanie możliwych zagrożeń w zakresie wykorzystania tej technologii w aspekcie współlistnienia systemu GSM-R?
2. Arbitralnie w rozważaniach przyjęto filtrację ARMA. Proszę o wskazanie dlaczego, dlaczego wykluczono inne typy filtracji (np. popularnego w aplikacjach systemów inercyjnych filtru Kalmana)?
3. Czy zaproponowane rozwiązanie wiąże się z potrzebą powtórnej certyfikacji do użytku pojazdów i systemów sterowania?

V. Konkluzja

Mimo przedstawionych powyżej (pragnę zaznaczyć nielicznych) uwag krytycznych, które w żadnym przypadku nie umniejszają wartości dysertacji przygotowanej przez Doktoranta, należy stwierdzić, że została przygotowana na bardzo wysokim poziomie zarówno naukowym jak i merytorycznym, a część wdrożeniowa zasługuje na szczególne wyróżnienie. Rozprawa stanowi znaczące osiągnięcie naukowe przygotowane pod merytoryczną opieką promotora i promotora pomocniczego.

Biorąc pod uwagę przedstawione w recenzji szeroko omówione aspekty rozprawy stwierdzam, że zasługuje ona na pozytywną ocenę, a przedstawiony w pracy warsztat naukowy oraz doświadczenie zawodowe mgr inż. Wawrzyńca Wychowańskiego tylko potwierdzają moją opinię.

Przygotowana pod opieką promotora i promotora pomocniczego rozprawa stanowi w myśl art. 13 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki" z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65 z dnia 16 kwietnia 2003 r., poz. 595 z póź. zm.) oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa i transport, jest pracą naukowo-wdrożeniową oraz spełnia wymogi stawiane rozprawie doktorskiej.

Dlatego też wnoszę o dopuszczenie jej do dalszego procedowania, publicznej obrony oraz o wyróżnienie.



Handwritten signature of Marcin Chmura in black ink, written in a cursive style. The signature is positioned above a horizontal line that extends across the width of the signature.