

dr hab. inż. Andrzej Typiak, prof. WAT
Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn
ul. gen S. Kaliskiego 2
00-908 Warszawa
andrzej.typiak@wat.edu.pl

Warszawa 26 wrzesień 2022 r.

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Grzegorza Witkowskiego
na temat:**

**„Badania rozproszonego systemu sterowania osprzętu jednonaczyniowej koparki
hydraulicznej”**

Promotor dr. hab. inż. Leszek Płonecki, prof. PŚk
Promotor pomocniczy dr hab. inż. Paweł Łaski, prof. PŚk

Podstawą opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Grzegorza Witkowskiego było pismo Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej dr hab. inż. Sławomira Błasiaka prof. PŚk z dn. 11.07.2022 roku.

1. Ocena aktualności wybranego tematu

Postępujący rozwój elektroniki przyczynił się do wzrostu popularności stosowania w maszynach do robót ziemnych układów mechatronicznych, które częściowo automatyzują pracę urządzenia i zaliczane są do układów wspomagania operatora. Wraz z pojawianiem się coraz szybszych procesorów, układów przetwarzania sygnałów i czujników pomiarowych możliwy staje się rozwój nowych kierunków automatyzacji maszyn. Rozwiązania oparte na mikrokontrolerach, układach dedykowanych, sterownikach przemysłowych wraz z coraz mniejszymi i dokładniejszymi czujnikami pomiarowymi stanowią szybkie i skuteczne rozwiązania, stosowane już przez grupę światowych liderów na rynku maszyn roboczych.

Automatyczny cykl pracy maszyny roboczych można potraktować jako pewien proces wymagający zestawów środków i rozwiązań systemowych. Dotychczasowo stosowane rozwiązania zarówno komercyjne jak i badawcze wykorzystują systemy scentralizowane, niekiedy mocno ograniczające funkcjonalność, blokując możliwość dalszej rozbudowy i integracji systemu jako całości. Większość funkcji jest realizowanych przez jedną jednostkę obliczeniową wyposażoną we wszystkie interfejsy umożliwiające podłączenie czujników i układów wykonawczych. Rozwiązanie takie niesie ze sobą szereg istotnych problemów i niedogodności.



Jednocześnie należy podkreślić, że projektowanie i synteza systemów rozproszonych są zadaniami bardziej złożonymi niż w przypadku systemów scentralizowanych. Jest to spowodowane przede wszystkim koniecznością zapewnienia niezawodnej komunikacji w systemie oraz konieczności uwzględnienia wielu interakcji pomiędzy elementami systemu.

Rozważana przez Doktoranta tematyka stanowi bardzo ciekawy problem z punktu widzenia naukowego, ale przede wszystkim praktycznego ponieważ rozważane w niej zagadnienia rozproszonego systemu sterowania jednonaczyniowej koparki hydraulicznej są bardzo istotną problematyką zarówno ze względu na problemy naukowe jak również możliwość aplikacji opracowanych rozwiązań w przemyśle. Podjęty problem jest aktualny i ważny, a także bardzo mocno osadzony w realiach. Przeprowadzone analizy i wyniki badań opracowane na danym przykładzie mogą być wykorzystywane również na innych obszarach badawczych. Jest to szczególnie cenne zważywszy na fakt, że rozprawa może stanowić pewien przewodnik czy wzór dla innych chcących podjąć się tego tematu.

W mojej opinii podjęcie takiej tematyki badawczej, z uwagi na obserwowany w ostatnich latach rozwój algorytmów sterowania i budowy rozproszonych układów sterowania, jest bardzo aktualne. Proponowane przez Doktoranta rozwiązanie ma bardzo dużą aplikacyjność z punktu widzenia praktycznego.

2. Cel i teza rozprawy doktorskiej

Cel pracy został jasno sprecyzowany w rozdziale 4 rozprawy na stronie 42 i brzmi następująco: "Celem pracy jest opracowanie i zrealizowanie rozproszonego systemu sterowania eliminującego ograniczenia występujące w konwencjonalnych systemach."

Teza pracy została podana również w rozdziale 4 na stronie 39 i brzmi następująco: "Zastosowanie rozproszonego systemu sterowania osprzętem maszyny do robót ziemnych, umożliwiającego sterowanie osprzętem przez operatora, także zdalnie, wspomaganie operatora w procesie sterowania oraz automatyczną realizację ruchów roboczych osprzętu, pozwala na wykorzystanie procedur, które zwiększają możliwości systemu, a nie mogą być zastosowane w systemie zwartym."

3. Analiza krytyczna treści rozprawy

Rozprawa doktorska napisana jest w języku polskim. Treść pracy jest zgodna z jej tytułem. Składa się ona z dwunastu numerowanych rozdziałów, zakończeniem pracy jest rozdział zawierający pozycje literaturowe. Struktura rozprawy jest przemyślana i logicznie uporządkowana.

We Wprowadzeniu Doktorant przybliży problematykę pracy oraz główne poruszane zagadnienia. Rozpoczyna od zarysu zagadnień związanych z pracą maszyn do robót ziemnych oraz w problematyki związanej z automatyzacją takich maszyn wnioskując, że zapewni to zarówno wzrost ekonomiczności ich użycia jak też zmniejszy szkodliwość oddziaływania na środowisko.

W rozdziale drugim „Automatyzacja maszyn do robót ziemnych”, Doktorant skupia się głównie na analizie rozwiązań dotyczących koparek jednonaczyniowych. Na tej podstawie

wnioskuje, że rozwiązania dotychczas spotykane komercyjnie dotyczą głównie zadań kontroli wzajemnej silnika i układu hydraulicznego. Układy precyzyjnej realizacji założonego ruchu występują niezwykle rzadko, stanowiąc zazwyczaj układy prototypowe. Dokonując przeglądu literaturowego i analizując stan obecnej wiedzy Doktorant zauważa, że zagadnienia automatyzacji maszyn roboczych podejmowane są jedynie przez nieliczne ośrodki naukowe. Prace badawcze w przeważającej mierze dotyczą modelowania układów wykonawczych maszyn roboczych. Prowadzone badania mają często charakter symulacyjny, ponieważ niewielka część ośrodków naukowych (szczególnie krajowych) dysponuje rzeczywistym osprzętem maszyn roboczych.

W rozdziale trzecim pracy Doktorant opisał budowę i zasadę funkcjonowania rozproszonych systemów sterowania, oraz przedstawił ich podział na warstwy funkcyjne wraz z typowymi rozwiązaniami sprzętowymi dla różnych warstw systemu skupiając się głównie na sposobach komunikacji urządzeń w systemach rozproszonych, warunkujących poprawną pracę systemu. Bardzo istotnym punktem tego rozdziału jest przeprowadzona analiza zasadności stosowania systemów rozproszonych dla sterowania maszynami do robót ziemnych. Doktorant wskazał szereg przypadków dla których implementacja rozproszonych systemów sterowania może być celowa. Dotyczy to zarówno kontroli pracy wielu urządzeń jak i pojedynczej maszyny.

Przeprowadzone analizy zasadności stosowania systemów rozproszonych jak również automatyzacji maszyn do robót ziemnych były podstawą sformułowania w rozdziale czwartym tezy (hipotezy badawczej), że „Zastosowanie rozproszonego systemu sterowania osprzętem maszyny do robót ziemnych, umożliwiające sterowanie osprzętem przez operatora, także zdalnie, wspomaganie operatora w procesie sterowania oraz automatyczną realizację ruchów roboczych osprzętu, pozwala na wykorzystanie procedur, które zwiększają możliwości systemu, a nie mogą być zastosowane w systemie zwartym.” Postawioną tezę postanowił zweryfikować Doktorant poprzez opracowanie i zrealizowanie rozproszonego systemu sterowania eliminującego ograniczenia występujące w konwencjonalnych systemach, co było celem jego pracy.

W rozdziale piątym Doktorant przedstawił opis stanowiska badawczego. Scharakteryzował część wykonawczą koparki hydraulicznej wraz z graficzną interpretacją przestrzeni roboczej, a także zamieścił schemat hydraulicznej stacji zasilania wraz z charakterystykami regulacyjnymi zaworów proporcjonalnych oraz pompy hydraulicznej. Ponadto zaprezentował część pomiarową stanowiska badawczego ze szczególnym uwzględnieniem zastosowanych przetworników przemieszczeń liniowych oraz konfiguracji torów pomiarowych. Większość zamieszczonych w tym rozdziale schematów i rysunków zaczerpnął Doktorant z literatury choć opisuje swoje stanowisko badawcze i należałoby oczekiwać, że zamieści rezultaty własnej pracy.

W rozdziale szóstym Doktorant przedstawił strukturę zaprojektowanego i wykonanego rozproszonego systemu sterowania dla koparki K-111. Przy budowie systemu przyjął szereg założeń, które powinien spełniać opracowany system. W opisie Doktorant przedstawił rozwiązania techniczne, które zostały użyte do budowy systemu. Każde urządzenie zostało zakwalifikowane do odpowiedniego poziomu systemu, który wynikał z dokonanego przez Doktoranta podziału logicznego na warstwy procesu, sterowania i nadzoru oraz dostępu

zdalnego. Przedstawione zostały także moduły funkcyjne opracowanego systemu w tym moduły planowania trajektorii, symulacji oraz wizualizacji procesu.

W rozdziale siódmym Doktorant przedstawił funkcjonalny model napędów osprzętu koparki K-111 przeznaczony do badania dynamiki obiektów opracowanych na potrzeby strojenia regulatorów rozmytych a następnie przeprowadził identyfikację ich parametrów. Miało to na celu dobór parametrów regulatorów oraz symulację pracy osprzętu koparki. Przeprowadzenie badania symulacyjne umożliwiły określenie jakości regulacji przy przyjętych regulatorach oraz ocenę układu dla zmieniających się wartości wzmocnień obiektu. Niestety w pracy nie zamieszczono żadnych wskaźników określających jakość regulacji. Doktorant, przedstawiając otrzymane przebiegi, ograniczył się jedynie do sformułowania, że „Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na dostatecznie dobrą zgodność przyjętych modeli obiektów z obiektami rzeczywistymi.”

Rozdział ósmy zawiera informacje dotyczące modelowania i sterowania rozmytego. Na piętnastu stronach rozprawy (str. 85 – 101) Doktorant przedstawił podstawy logiki rozmytej oraz operacji takich jak rozmywanie, interferencja i wyostrzanie. Jest to materiał obejmujący podstawy logiki rozmytej i zdaniem Recenzenta powinien być pominięty w treści rozprawy lub zamieszczony w załączniku.

Następnie Doktorant przedstawił regulatory opierające się na logice rozmytej o algorytmach P oraz PI, oraz opracowany regulator rozmyty dla układów regulacji koparki K-111 i etapy jego strojenia z wykorzystaniem modeli funkcjonalnych. Parametry regulatorów określił na podstawie odpowiedzi na sygnał skoku jednostkowego.

W rozdziale dziewiątym przedstawił Doktorant wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych i doświadczalnych związanych z oceną jakości regulacji z użyciem zaprojektowanych regulatorów rozmytych o algorytmie PI. Przeprowadzone badania eksperymentalne polegające na ocenie odpowiedzi układów regulacji na szereg sygnałów wymuszających w tym sygnałów skokowych, liniowo narastających oraz sinusoidalnych. Na ich podstawie sformułowano wnioski, które są jednak dość ogólne i brak jest w nich odniesienia do wyników odpowiednich etapów badań.

Rozdział dziesiąty zawiera opis procedury obliczania kinematyki prostej i odwrotnej osprzętu oraz metody planowania trajektorii. W przedstawionym systemie możliwe jest planowanie trajektorii w przestrzeni roboczej maszyny z wykorzystaniem interpolacji liniowej bądź wielomianowej. Dla tych metod tor narzędzia określany jest przez zbiór punktów węzłowych definiowanych przez operatora, a kształt toru pomiędzy punktami węzłowymi zależy od przyjętego sposobu interpolacji. Przeprowadzono eksperymenty dla zaplanowanych zarysów wykopów z wykorzystaniem omówionych metod.

Następnie przedstawiono opracowaną procedurę korekcji trajektorii eliminującą możliwość wystąpienia kolizji osprzętu z profilem wykopu. Opracowana procedura została zaimplementowana w nadrzędnej warstwie kontroli i dozoru opracowanego systemu.

Rozdział jedenasty zawiera wyniki badań eksperymentalnych dotyczących badań pozycjonowania narzędzia roboczego dla różnych profili wykopów. Przeprowadzone eksperymenty polegały na wykonaniu ruchów roboczych osprzętu w celu realizacji zaprogramowanych trajektorii. Tory ruchu określano przy wykorzystaniu metod z wykorzystaniem interpolacji liniowej, jak również wielomianowej.

W rozdziale dwunastym przedstawił Doktorant wnioski ze zrealizowanej pracy podkreślając, poprzez opracowanie i wykonanie systemu sterowania osprzętem koparki hydraulicznej, w systemie rozproszonym, podzielonym na warstwy logiczne. Ze jej cel został zrealizowany. Ze względu na ograniczenia sprzętowe komunikacja pomiędzy urządzeniami w systemie odbywa się z wykorzystaniem standardu Ethernet co nie zapewnia zachowania determinizmu czasowego, a przez to obniża niezawodności systemu. Przedstawiony system sterowania ma charakter badawczy, jednak zapewnił potwierdzenie postawionej tezy, że "Zastosowanie rozproszonego systemu sterowania osprzętem maszyny do robót ziemnych, umożliwiającego sterowanie osprzętem przez operatora, także zdalnie, wspomaganie operatora w procesie sterowania oraz automatyczną realizację ruchów roboczych osprzętu, pozwala na wykorzystanie procedur, które zwiększają możliwości systemu, a nie mogą być zastosowane w systemie zwartym."

Pewien niedosyt, w sformułowanych wnioskach budzi brak przedstawiania kierunków dalszych prac.

Rozdział trzynasty zawiera wykaz cytowanej literatury obejmującej 113 pozycji. Są to w znacznej części prace wydane po 2000 roku, choć dużo jest też dużo książek wydanych w latach 80-tych, które są cytowane z tego względu, że są kanonem literatury z rozpatrywanego obszaru badawczego.

4. Metoda badawcza i oryginalny dorobek Autora

Oceniając metodę badawczą podzielam pogląd Doktoranta, że istnieje ograniczona ilość dostępnej literatury dotyczącej badania rozproszonych systemów sterowania maszynami roboczymi. Dlatego też podjętą tematykę uważam za aktualną i ważną zarówno ze względów naukowych, utylitarnych jak również z powodu uzyskania doskonałych materiałów dydaktycznych. Autor w swojej pracy realizuje kolejno poszczególne etapy studium budowy rozproszonego systemu sterowania osprzętu roboczego koparki jednonaczyniowej:

W etapie I Doktorant zmodyfikował istniejące stanowisko badawcze osprzętu koparki K-111.

Etap II to budowa modelu dynamicznego osprzętu koparki i opracowanie algorytmu sterowania rozproszonego.

Etap III to badania eksperymentalne opracowanego układu i badania symulacyjne.

Etapy I – II stanowią analizę projektowanego układu.

Etap III to synteza, tj. podjęcie decyzji projektowych, czyli przyjęcie fizycznych parametrów układu, tak aby jego własności dynamiczne były zgodne z wymaganymi.

Rozwiązanie tak postawionego studium dynamiki maszyn dla złożonego układu, jakim jest sterowanie rozproszone osprzętem roboczym koparki jednonaczyniowej uważam za rozwiązanie problemu naukowego. Autor nie poprzestał na uzyskaniu wyników z symulacji komputerowego modelu, ale przeprowadził walidację modelu na stanowisku badawczym.

Za oryginalne osiągnięcia Doktoranta uważam:

- **Zbudowanie stanowiska badawczego z rozproszonym systemem sterowania**, którego głównym zadaniem była możliwość sterowania osprzętem jednonaczyniowej koparki

hydraulicznej. W zbudowanym systemie wyróżniono trzy podstawowe warstwy funkcyjne. Warstwę procesu, warstwę sterowania i kontroli, oraz warstwę komunikacji.

- **Opracowanie i zastosowanie funkcjonalnych modeli napędów na potrzeby badań symulacyjnych z wykorzystaniem regulatorów rozmytych.** Zrealizowano to poprzez opracowanie modeli napędów w postaci transmitancyjnej opisujące zależność długości wysunięcia siłownika od napięciowego sygnału sterującego, przy założeniu, że część linowa pojedynczego układu napędu składa się z połączenia członów całkującego i oscylacyjnego. Opracowany funkcjonalny model napędów wraz z modelem kinematyki tworzą model funkcjonalny dynamiki koparki, zastosowany kolejno do syntezy układów regulacji.
- **Opracowanie geometrycznej metody unikania kolizji osprzętu roboczego z profilem wykopu (na podstawie punktów charakterystycznych łyżki).** Opracowany algorytm na podstawie znajomości położenia krawędzi narzędzia skrawającego, wartości kąta skrawania oraz chwilowego położenia punktów charakterystycznych łyżki w układzie roboczym maszyny porównuje rzędne punktów charakterystycznych i rzędne toru dla danych odciętych i w danej elementarnej chwili czasu. W przypadku gdy wszystkie wartości rzędnych punktów na powierzchni bocznej łyżki są większe bądź równe rzędnym toru, algorytm nie podejmuje działań korekcyjnych. W sytuacji gdy którakolwiek z wartości rzędnych punktów charakterystycznych na powierzchni bocznej łyżki jest mniejsza od wartości rzędnych toru dla danych odciętych, algorytm wyznacza sygnały korekcyjne. Procedura ma charakter iteracyjny i trwa do chwili wyeliminowania kolizji przez spełnienie warunków geometrycznych. Wadą procedury jest wydłużenie czasu obliczeń podczas planowania trajektorii.
- **Metoda planowania trajektorii (off-line) poprzez całkowanie krzywej opisującej tor ruchu.** Opracowana metoda wyznacza trajektorie we współrzędnych kartezjańskich. Dysponując analitycznym opisem, określany jest również kąt przyłożenia narzędzia roboczego ϕ względem profilu. Kolejno stosując metody całkowania numerycznego obliczane są długość toru oraz współrzędne punktów określających kolejne odcinki elementarne toru ruchu dla przyjętej prędkości ruchu narzędzia. Metoda ta polega na obliczaniu długości odcinka poprzez kolejne zwiększanie górnej granicy całkowania z zadanym programowo krokiem. Ze względu na złożoność obliczeniową procedura ta odbywa się w trybie *off-line*. Ostatni etap procedury polega na wyznaczeniu przebiegu zmian współrzędnych konfiguracyjnych osprzętu, czyli zmian długości siłowników hydraulicznych, które kolejno stają się sygnałami zadanymi dla trzech układów automatycznej regulacji. Przebiegi zmian współrzędnych konfiguracyjnych uzyskiwane są dzięki uprzednio obliczonym współrzędnym kartezjańskim dla każdego taktu pracy systemu sterowania przy wykorzystaniu algorytmów kinematyki odwrotnej.

Analizując zawartość ocenianej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że postawione i zrealizowane w rozprawie zadania mają znaczenie zarówno poznawcze, jak i praktyczne. Na podkreślenie zasługuje także fakt, że przyjęte założenia modelowe mają odpowiednie odniesienie do literatury, a zamieszczone w pracy wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych dobrze ilustrują zastosowanie opracowanych modeli, potwierdzają prawidłowość sformułowanych wniosków oraz stanowią dobrą bazę do dalszych badań.

5. Słabe strony rozprawy i jej główne mankamenty

Rozprawa spełnia wszystkie kryteria formalne, stawiane pracom doktorskim, jednak zawiera także słabsze strony. Autor w kilku miejscach nie uniknął niedopowiedzeń, powiązanych z nieustabilizowaną jeszcze terminologią oraz drobnych zawilosci stylistycznych.

Struktura rozprawy jest przemyślana i logicznie uporządkowana, jednak istotnym niedociągnięciem w strukturze pracy jest brak wykazu użytych oznaczeń i skrótów, który w sposób znaczący ułatwiłby czytanie rozprawy.

W pracy Autor nie ustrzegł się także błędów językowych i nieprecyzyjnych sformułowań i skrótów myślowych.

Str. 8: Sformułowanie „Koparka hydrauliczna” jest żargonem należy raczej użyć określenia „Koparka jednonaczyniowa o napędzie hydraulicznym”.

Str. 8: w zdaniu „Zagadnienia związane z zupełną automatyzacją maszyn roboczych wraz z wyeliminowaniem człowieka z funkcji operatora...” Doktorant stosuje określenie „automatyzacja” zamiast „autonomizacja”.

Str. 9: w zdaniu „...umożliwia opracowanie i implementację rozwiązań wspomagających pracę operatora [14, 15, 32, 51, 52, 99] podczas procesu doboru optymalnych parametrów pracy maszyny [61].” Należało raczej użyć określenia „...umożliwia opracowanie i implementację rozwiązań wspomagających pracę operatora [14, 15, 32, 51, 52, 99] poprzez dobór optymalnych parametrów pracy maszyny [61].”

Str. 9: czy sformułowanie „W przypadku niektórych maszyn, między innymi równiarek, stosowanie układów automatyzacji prowadzenia lemiesza jest standardem bez którego maszyny te stają się właściwie nieużyteczne.” nie jest zbyt dużym uproszczeniem?

Str. 11: brak powołania na rysunek 2.1.

Str. 14: Rysunki 2.2 i 2.3 – jaka jest różnica pomiędzy układem EMMS a panelem EMMS?

Str. 26: sformułowanie „Pomiędzy systemami automatyzującymi prace koparek i pozostałych maszyn roboczych istnieje wiele podobieństw.” Powinno brzmieć „Pomiędzy systemami automatyzującymi prace koparek i pozostałych maszyn roboczych do prac ziemnych istnieje wiele podobieństw.”

Str. 39: „...zgodnie z rysunkiem 18” – w pracy nie zamieszczono rysunku 18.

Str. 41: rysunek 3.8 – nie zawiera żadnych informacji technicznych.

Str. 49: „**Rys. 5.10.** Schemat układu chydraulicznego z rozdzielaczami 4WRE10.” – błąd ortograficzny.

Str. 75: styl zdania” W poniższym rozdziale przedstawiony został podstawowe informacje i metody wykorzystane do opracowania model rozpatrywanego w pracy obiektu w postaci osprzętu koparki hydraulicznej.” Oprócz niezgodności końcówek to czy model może być „w postaci osprzętu koparki hydraulicznej”?

Str. 80: „...będące odpowiedziami na szereg zakłóceń skokowych prostokątnych...” – należało raczej użyć określenia wymuszeń

Str. 80: W tekście podano „...przebieg procesu dla zadania optymalizacji parametrów modelu ramienia dla określonych punktu pracy przedstawiono na rys. 7.6.” natomiast podpis pod

rysunkiem brzmi: „**Rys. 7.6.** Przebieg procesu identyfikacji obiektu regulacji dla siłownika ramienia.”

Str. 93: Podpis pod rysunkiem „**Rys. 8.7.** Typy systemów rozmytych.” – rysunek przedstawia schematy systemów sterowania w zależności od liczby wejść i wyjść.

Rysunek niewłaściwe odniesienie do literatury

Str. 114: „Regulator rozmyty FPI dla układu regulacji położenia siłownika ramienia osprzętu” – chodzi zapewne o łyżkę osprzętu.

Str. 120 Zdanie „Dysponując opracowanymi i opisanymi w poprzedniej części pracy modelami funkcjonalnymi napędów jednonaczyniowej koparki hydraulicznej, oraz algorytmami regulatorów rozmytych, przeprowadzono badania symulacyjne oraz eksperymentalne mające na celu właściwe dostrojenie parametrów regulatorów rozmytych, zapewniając tym samym odpowiednią jakość regulacji wymaganą dla maszyn do robót ziemnych.” zawiera nieprecyzyjne określenia: „właściwe dostrojenie parametrów regulatorów rozmytych”, „odpowiednią jakość regulacji”

Rysunki 11.19, 11.27, 11.30, 11.34, 11.35, 11.36, 11.38, 11.40, 11.41 i 11.42 mają na osi rzędnych oznaczenia dwóch wielkości, a jedną linijkę znamionową. Z czego to wynika?

Powyższe uwagi ja również znajdujące się w pracy drobne wady redakcyjne nie ujmują wartości merytorycznej rozprawy, szczególnie na tle przedstawianych w rozprawie interesujących i nowatorskich, możliwych do skomercjalizowania, wyników badań naukowo-technicznych.

6. Uwagi dyskusyjne i krytyczne

W tej części rozprawy zawarto uwagi na które Recenzent oczkuje pisemnego ustosunkowania się przez Doktoranta:

1. Zawarte w pracy tytuły części rozdziałów i podrozdziałów są bardzo ogólne i nie odzwierciedlają zawartych w nich treści (np. Komunikacja systemowa, Inżynieria oprogramowania, Regulacja rozmyta)
2. W rozdziale drugi rozprawy Doktorant przeprowadził analizę literaturową automatyzacji maszyn do robót ziemnych. Podsumowanie analizy przedstawione na stronie 26 jest podsumowaniem ilościowym a nie jakościowym Dyplomant przedstawia obszary w jakich prowadzone są prace badawcze nie przedstawiając stopnia ich zaawansowania oraz wyzwań i problemów do rozwiązania.
3. Na stronie 38 pracy Doktorant przedstawił analogię pomiędzy strukturą systemów sterowania maszyn roboczych a budową warstwową systemów rozproszonych – proszę o rozwinięcie tej tezy.
4. Na str. 49 przedstawiono rysunek 5.9. „Przebieg sygnałów w układzie z zaworem proporcjonalnym”. Nie jest to rysunek obrazujący przebieg sygnałów a jedynie schemat ideowy. Proszę o bardziej szczegółowy rysunek układu sterowania na stanowisku (wraz z opisem).
5. Na str. 117 w tabeli 8.20 Doktorant przedstawił bazę reguł dla opracowanych regulatorów opartą o bazę reguł Mac Vicara-Whelana. Proszę o uzasadnienie dlaczego wykorzystano bazę reguł Mac Vicara-Whelana, oraz podanie innych propozycji reguł

wnioskowania opartego na tej bazie. Ponadto proszę o uzasadnienie doboru przebiegu funkcji przynależności zbioru rozmytego wyjścia " Δr " dla układów regulacji położenia siłowników wysięgnika, ramienia i łyżki.

6. Na str. 120 Doktorant pisze „zapewniając tym samym odpowiednią jakość regulacji wymaganą dla maszyn do robót ziemnych.” W pracy nie podano jakie są wymagane dokładności dla sygnałów sterowania przy autonomicznej realizacji prac maszynami roboczymi do prac ziemnych, proszę o ich przybliżenie.
7. Przedstawione na str. 137 wnioski są bardzo opisowe i nie odnoszą się w sposób ilościowy do otrzymanych wyników badań. Proszę o przedstawienie wniosków w powiązaniu z otrzymanymi wynikami.
8. W pracy nie przedstawiono kierunków możliwych do realizacji dalszych prac. Proszę o zarysowanie ewentualnych obszarów dalszych badań.

7. Końcowa ocena pracy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Grzegorza Witkowskiego mieści się w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna. Moja ocena pracy jest wysoka, pomimo znacznej liczby uwag edytorskich.

Recenzent jest pełen uznania dla Doktoranta za uzyskanie interesujących wyników naukowo-badawczych w przedłożonej rozprawie doktorskiej, która stanowi oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowego i wartościowy wkład użyteczny do dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna. Przekazane Doktorantowi do dyskusji uwagi dotyczyły edycji rozprawy i nie umniejszają jej wartości merytorycznej.

Na podstawie wnikliwej analizy przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej, jak również kilku publikacji Doktoranta w zakresie badanego przedmiotu, potwierdzona została słuszność postawionej na wstępie pracy tezy twierdzącej iż:

„Zastosowanie rozproszonego systemu sterowania osprzętem maszyny do robót ziemnych, umożliwiającego sterowanie osprzętem przez operatora, także zdalnie, wspomaganie operatora w procesie sterowania oraz automatyczną realizację ruchów roboczych osprzętu, pozwala na wykorzystanie procedur, które zwiększają możliwości systemu, a nie mogą być zastosowane w systemie zwartym..”

Doktorant udowadniając tezę rozwiązał problemy badawcze w niej zawarte. Wykazał się także dobrym warsztatem naukowym, dobierając odpowiednie metody badawcze, a także udowodnił, że potrafi analizować i oceniać uzyskane rezultaty Wykazał się przy tym dobrym przygotowaniem merytorycznym co stawia go w szeregu specjalistów w zakresie hydrostatycznych układów napędowych.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Grzegorza Witkowskiego spełnia warunki określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku (wraz z późniejszymi zmianami) o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz.U. z 2016 roku poz. 882 ze zmianą w Dz. U. z 2016 roku nr poz. 1311) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 roku w szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora

(Dz. U. z 2016 roku poz. 1586). Wnoszę zatem o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Grzegorza Witkowskiego, przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej, do dalszego procedowania.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'H. Witkowski', is positioned to the right of the main text block.