

PROTOKÓŁ

**z posiedzenia Komisji Doktorskiej powołanej przez
Radę Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej
w sprawie obrony rozprawy doktorskiej
mgra inż. Arkadiusz Jakubowskiego**

pt. Analiza i badania liniowo-obrotowego elektrohydraulicznego zespołu napędowego

Na posiedzeniu Komisji Doktorskiej w dniu 13.12.2024 r. byli obecni:

Przewodniczący Komisji: dr hab. inż. Krzysztof Talaśka, prof. PP

Członkowie:

- prof. dr hab. Ewa Stachowska
- dr hab. inż. Grzegorz Ślaski, prof. PP
- dr hab. inż. Andrzej Gessner
- dr hab. inż. Maciej Tabaszewski
- dr hab. inż. Rafał Talar

Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Milecki

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Dominik Rybarczyk

Recenzenci:

- prof. dr hab. inż. Jarosław Stryczek, Politechnika Wrocławska
- dr hab. inż. Ryszard Jasiński, prof. PG, Politechnika Gdańska

Sekretarz: dr inż. Arkadiusz Kubacki

Posiedzenie otworzył przewodniczący dr hab. inż. **Krzysztof Talaśka**, prof. PP, który powitał recenzentów: prof. dr hab. inż. **Jarosława Stryczka** z Politechniki Wrocławskiej i dr hab. inż. **Ryszarda Jasińskiego**, prof. PG, promotora prof. dr hab. inż. **Andrzeja Mileckiego** oraz promotora pomocniczego dr hab. inż. **Dominika Rybarczyka**. Dalej przewodniczący przywitał członków Komisji w przewodzie doktorskim: prof. dr hab. **Ewę Stachowską**, dr hab. inż. **Andrzeja Gessnera**, dr hab. inż. **Grzegorza Ślaskiego**, prof. PP, dr hab. inż. **Macieja Tabaszewskiego**, dr hab. inż. **Rafała Talara**. Funkcję sekretarza pełnił **dr inż. Arkadiusz Kubacki**. Na końcu przewodniczący przywitał wszystkich obecnych.

dr hab. inż. **Krzysztof Talaśka** zaznaczył, że otwarcie przewodu doktorskiego mgr. inż. **Arkadiusza Jakubowskiego** nastąpiło na posiedzeniu Rady Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania w dniu 14.12.2018 roku, natomiast 18.11.2024 roku, komisja stwierdziła, że mgr

inż. **Arkadiusz Jakubowski** zdał egzaminy doktorskie, w tym z dziedziny podstawowej, egzamin odpowiadający tematowi rozprawy doktorskiej – napędu maszyn, z dyscypliny dodatkowej – podstawy ekonomii oraz z języka Angielskiego. Uzyskał dwie pozytywne recenzje przygotowane przez recenzentów. Wobec spełnienia przez doktoranta wszystkich wymogów Komisja przyjęła uchwałę o przyjęciu rozprawy doktorskiej i dopuszczeniu jej do publicznej obrony.

Następnie dr inż. **Arkadiusz Kubacki** przedstawiła sylwetkę mgr inż. Arkadiusza Jakubowskiego. W ramach działalności naukowej mgr inż. Arkadiusz Jakubowski zajmował się od 7 lat tematem testowania i badania serwonapędów elektrohydraulicznych. Wyniki jego prac z tego zakresu były publikowane w latach 2016 – 2023. Do chwili obecnej mgr inż. Arkadiusz Jakubowski opublikował 18 prac, z których 10 związanych było z tematem rozprawy doktorskiej. Uczestniczył dotychczas w pracach badawczych w ramach 7 projektów naukowo – badawczych, prowadzonych w Zakładzie Urządzeń Mechatronicznych. Mgr inż. Arkadiusz Jakubowski jest również współautorem patentu wdrożonego do przemysłu oraz brał udział w 8 międzynarodowych konferencjach.

W dalszej części posiedzenia przewodniczący udzielił głosu doktorantowi, prosząc go o zaprezentowanie głównych tez rozprawy doktorskiej. Przewodniczący zwrócił uwagę na fakt, że obrona ma charakter publiczny i każdy może zadawać pytania.

Po wysłuchaniu wystąpienia doktoranta, przewodniczący udzielił głosu promotorowi prof. dr hab. inż. **Andrzejowi Mileckiemu**. Zdaniem promotora, opracowana przez mgra inż. Arkadiusza Jakubowskiego rozprawa spełnia warunki stawiane pracom doktorskim, ponieważ:

- zawiera wyczerpujący przegląd literatury dotyczącej postawionego problemu,
- jest samodzielnym rozwiązaniem problemu naukowego, jakim było opracowanie, analiza oraz przebadanie elektrohydraulicznego zespołu napędowego i opracowanie układu sterowania,
- przedstawia realizację celów pracy takich jak:
 - zbudowanie elektrohydraulicznego liniowo-obrotowego zespołu serwonapędowego oraz stanowiska do jego badań,
 - opracowanie metody sterowania zespołem napędowym,
 - zbudowanie modelu teoretycznego i symulacyjnego serwonapędu,
 - zaproponowanie metod równoczesnego sterowania dwoma napędami,
 - przeprowadzenie badań symulacyjnych i doświadczalnych zespołu napędowego.

Stwierdził również, że teza pracy została potwierdzona wynikami badań symulacyjnych i doświadczalnych. W związku z powyższym stwierdził, że praca doktorska mgr inż. Arkadiusz Jakubowski pt. Analiza i badania liniowo – obrotowego elektrohydraulicznego zespołu napędowego może być dopuszczona do publicznej obrony.

W dalszej kolejności przewodniczący poprosił prof. dr hab. inż. **Jarosława Stryczka** o przedstawienie recenzji pracy. Na początku recenzent wspomniał o wyborze tematu rozprawy doktorskiej. Doktorant podjął temat: Analiza i badania liniowo – obrotowego elektrohydraulicznego zespołu napędowego. Recenzent uznał temat za uzasadniony i istotny z punktu widzenia naukowego i technicznego. Recenzent stwierdził, że literatura została dobrze dobrana. Dalej omówił postawione cele w pracy. Zaznaczył jednak, że należało by najpierw określić cele teoretyczne a w dalszej kolejności badawcze. Drugą kwestią jaką zaznaczył Recenzent to trudna do zrozumienia teza, dodał, że teza mogła by być pominięta. Cele zawarte w pracy mogą być wystarczające. Przeszedł dalej do omówienia rozdziału 4 w pracy dotyczącego modelowania i modeli symulacyjnych. Kolejno omówił rozdział piąty, który dotyczył badań doświadczalnych. Doktorant przedstawił dużo badań doświadczalnych, które są bardzo wartościowe. Te badania są unikalnym dorobkiem doktoranta. Dalej stwierdził, że brak jest w pracy omówienia doboru współczynników K_p , K_i oraz K_d , które są kluczowe. Przydało by się w pracy parę słów na temat jak te współczynniki dobrano. Kolejno Recenzent zwrócił uwagę, że wnioski mogłyby być bardziej rozbudowane. Dalej Recenzent przeszedł do osiągnięć doktorant i podkreślił, że temat jest nowy i ciekawy. Po analizie przedłożonej rozprawy doktorskiej Recenzent stwierdził, że praca mgr inż. Arkadiusz Jakubowski pt. Analiza i badania liniowo – obrotowego elektrohydraulicznego zespołu napędowego odpowiada warunkom stawianym pracom doktorskim w dziedzinie nauk technicznych i dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna i stawia wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

W dalszej kolejności przewodniczący poprosił dr hab. inż. **Ryszarda Jasińskiego**, prof. Politechniki Gdańskiej o przedstawienie drugiej z recenzji. Recenzent rozpoczął od podkreślenia, że temat jest ważny i docenił pracę. Doktorant przedstawił w pracy przegląd literatury i jest ona dobrze dobrana. Dalej Recenzent zauważył, że mgr inż. Arkadiusz Jakubowski słusznie zajął się tą tematyką. Przyjęty problem badawczy jest uzasadniony. Zauważył, że w pracy występują błędy stylistyczne i językowe, jednak nie wpływają one na ocenę rozprawy. Dalej przeszedł do oceny rozprawy. Zaznaczył, że głównymi osiągnięciami doktoranta są: zbudowanie i zaprojektowanie zespołu napędowego, opracowanie modeli symulacyjnych, wykonanie badań symulacyjnych oraz wykonanie stanowiska do badań symulacyjnych. Kolejno podkreślił, że wyniki badań symulacyjnych i doświadczalnych są zbieżne co jest istotnym elementem.

Podsumowując Recenzent stwierdził, że rozprawa mgr inż. Arkadiusz Jakubowskiego i poszczególne elementy są właściwe dla tego rodzaju prac. Doktorant wykazał się wiedzą ogólną i biegłością w prowadzeniu badań. Przeszedł dalej do pytań szczegółowych – jak zaznaczył bardziej dyskusyjne i poprosił o wyjaśnienie punktu 6 i 7 zawartych w recenzji. Pod koniec podkreślił, że cele pracy zostały zrealizowane, prezentowane wyniki są wiarogodne oraz doktorant wykazał się samodzielnością w prowadzeniu badań naukowych. Na końcu stwierdził, że praca mgr inż. Arkadiusz Jakubowskiego: Analiza i badania liniowo – obrotowego elektrohydraulicznego zespołu napędowego spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim. W związku z tym zawnioskował o przyjęcie rozprawy doktorskiej Doktoranta i dopuszczenie do publicznej obrony.

Mgr inż. Arkadiusz Jakubowski ustosunkował się do zadanych pytań przez recenzenta prof. dr hab. inż. **Jaroslawa Stryczka**. Pytanie: Jak dobrane były współczynniki, jakie były zakresy wartości.

Autor odpowiedział: Na początku zastosowany był tylko regulator typu P w zakresie 3-100. Zadanie było takie żeby nie występowało przeregulowanie. Dalej dokładane były dwa pozostałe parametry regulatora PID. Dodanie tych współczynników powodowało, że nie występowało przeregulowanie a można było zwiększyć wzmocnienie P. Przeprowadzono kilkadziesiąt prób dla każdego napędu. Sumarycznie było to kilkaset prób. Na tej podstawie dobrano najlepsze wartości współczynników. Celem było to, żeby sygnał najszybciej dochodził do pozycji zadanej i nie występowało przeregulowanie. Autor zaznaczył dodatkowo, że próby były przeprowadzone tylko dla jednego obciążnika o masie 5 kg, nie wykonano prób dla większych obciążeń, wynika to z konstrukcji napędu. Dodatkowo zaznaczył, że było inne podejście do nastawiania regulatora PID – ze sterownika PLC wygenerowano parametry, ale ta metoda się nie sprawdzała.

Recenzent zadał drugie pytanie: jak wygląda sprawa perspektywy tego napędu – gdzie Pan widzi możliwości zastosowania takich napędów.

Autor odpowiedział: Zastosowanie – aplikacja tego napędu może być do przemysłu offshore, czyli przemysłu okrętów. Ze względu na występujący problem, którym np. statek jest na morzu i występują fale. Wówczas przemieszczenie elementu na dno wody lub na inny statek przy falowaniu jest bardzo trudne lub wręcz niemożliwe. Rozbudowanie zaproponowanego napędu o kolejne, dodatkowe napędy może mieć potencjał aplikacyjny.

W dalszej kolejności pytanie zadał recenzent dr hab. inż. **Ryszard Jasiński**, prof. Politechniki Gdańskiej: Czy zostały wykonane badania symulacyjne liniowo-obrotowego elektrohydraulicznego zespołu napędowego opuszczania i podnoszenia obiektu zawieszono na linie dla założonego zakresu pracy? Jaka może być dokładność pozycjonowania obiektu

przemieszczonego przez serwonapęd na odległość kilkuset metrów? Czy zostały wykonane badania doświadczalne liniowo-obrotowego zespołu napędowego dla większych przemieszczeń obiektu niż dla tych podanych w rozprawie doktorskiej?

Autor odpowiedział: Jeśli chodzi o pomiar położenia na odległości kilkuset metrów to zakładałbym, że bazujemy na pomiarze z serwonapędu. Uwagę należy zwrócić na to, że lina na tak dużej odległości się wydłuży. Jeśli będziemy mogli dokonać pomiaru na dole – tzn. na tej dużej odległości wówczas dokładność się nie będzie różniła od tego co zostało zawarte w rozprawie. Jeśli nie będziemy mogli dokonać pomiaru obiektu wówczas dokładność będzie zależała od masy, odległości oraz konstrukcji liny. Dodatkowo przeprowadzono testy z użyciem czujników inercyjnych, które mogłyby być wykorzystane do pomiarów na dużych odległościach jako element sprzężenia zwrotnego. Odpowiadając na dokładność pozycjonowania na dużej odległości należałoby zastosować dodatkowe czujniki, które pomogą w pomiarze na dużych odległościach. Mogą występować drgania na dużych odległościach.

Drugie pytanie, które zadał recenzent dr hab. inż. **Ryszard Jasiński**, prof. Politechniki Gdańskiej: Jakie założenia należy przyjąć oraz jak powinna wyglądać procedura doboru parametrów układu sterowania badanego liniowo-obrotowego elektrohydraulicznego zespołu napędowego?

Autor odpowiedział: Procedura była taka, że najpierw był tylko regulator P. Dla badań z regulatorem P dla dwóch siłowników i silników zastosowanie tylko regulatora typu P jest wystarczająca. Parametry regulatora P były w zakresie 5-100. Dalej dopiero bym dokładał pozostałe parametry regulatora PID.

W dalszej kolejności pytanie zadał dr hab. inż. **Rafał Talar**: Proszę o przybliżenie zagadnienia niepewności pomiaru w przeprowadzonych badaniach doświadczalnych.

Autor odpowiedział: W badaniach doświadczalnych zastosowano laserowe czujniki do pomiaru położenia siłownika i obiektu oraz enkoder do pomiaru wału silnika hydraulicznego. W pracy nie zawarłem i nie była przeprowadzona statystyka pomiarów badań doświadczalnych.

W dalszej kolejności pytanie zadała Prof. dr hab. **Ewa Stachowska**: Na podstawie ilu powtórzeń pomiarów wybierał Pan wartości nastaw?

Autor odpowiedział: Na podstawie kilkudziesięciu prób dla każdego z napędów. Sumarycznie było to kilkaset pomiarów. Jak już ustawiono nastawy regulatora to kilkanaście prób.

Drugie pytanie zadane przez Prof. dr hab. **Ewę Stachowską**: Czym tłumaczy Pan brak jednostajności zmian na przedstawionych krzywych – falowy charakter?

Autor odpowiedział: Wynika to z tego, że oba napędy poruszały się w tym samym kierunku i wówczas obciążnik nie nadążał za tymi zmianami. Zgadza się, że wpływ na to ma sztywność liny i występują drgania.

Trzecie pytanie zadane przez Prof. dr hab. **Ewę Stachowską**: Czy zmiana temperatury otoczenia będzie miała wpływ na pracę urządzenia, przez Pana skonstruowanego?

Autor odpowiedział: Ja sprawdzałem urządzenie w temperaturach pokojowych i później pomieszczenie się nagrzewało, ale to nie miało wpływu. Jednak nie sprawdzałem jak zmieniała się temperatura w pomieszczeniu. Wpływ może mieć temperatura oleju hydraulicznego.

W dalszej kolejności pytanie zadał dr hab. inż. **Grzegorz Ślaski**, prof. PP: Czy może Pan przybliżyć algorytm/założenia sterowania nadrzędnego dla siłownika i silnika hydraulicznego? W szczególności sposób podziału realizowanego ruchu pomiędzy oba napędy?

Autor odpowiedział: Regulator nadrzędny był sprawdzany na kilka sposobów. Było kilkadziesiąt różnych badań. Kilka badań przedstawiono w rozprawie. Np. było to tak, że podawany był taki sam sygnał na oba napędy np. po 50 mm na każdy z napędów. Dalej przykładowo było tak, że udział siłownika był mniejszy niż silnika. Takie podobne konfiguracje były przeprowadzone dla różnych parametrów. Kolejno sprawdzano rozkład od 20 do 80% sygnału na różnych napędów.

W dalszej kolejności pytanie zadał dr inż. **Dariusz Sędziak**: Czy siłownik liniowy może współpracować z wyciągarką elektryczną pełniącą podobną funkcję?

Autor odpowiedział: Uważam, że tak. To jaki element założymy na tłoczysku siłownika nie ma znaczenia. Oczywiście trzeba by było dobrać sterowanie i regulację tego napędu, który założymy. Jeśli byśmy założyli taki sam napęd elektryczny to jego siła byłaby dużo mniejsza niż hydraulicznego.

W dalszej kolejności pytanie zadał dr inż. **Adam Myszkowski**: Czy zaproponowany układ pozwala na skompensowanie drgań pionowych liny po zatrzymaniu podnoszonej masy? Szczególnie istotne przy znacznych długościach liny i drganiach dźwigu.

Autor odpowiedział: Na dużych odległościach to drganie będzie występowało i uważam, że element liniowy – czyli siłownik mógłby to skompensować, jeśli byśmy mieli pomiar tego drgania, które tam występują. Ten problem występuje przy dużych odległościach ale małych amplitudach. Takie badania zostały przeprowadzone dla jednego z układów i nadała to za sygnałem zadany.

Ostatnie pytanie zadał dr inż. **Marcin Białek**: Dlaczego zastosowano zawór proporcjonalny i serwozawór, a nie zastosowano dwóch takich samych typów zaworów? Czy jest to podyktowane ruchem obrotowym i liniowym?

Autor odpowiedział: Wynika to z dwóch rzeczy. Pierwsza rzecz to, że akurat takie zawory mieliśmy na wyposażeniu. Druga sprawa to, że zawór proporcjonalny był zintegrowany z jednym z zasilaczy hydraulicznych. Drugi zawór był zasilany z drugiego zasilacza hydraulicznego. Dzięki temu mogłem rozdzielić zasilanie na dwa źródła.

Po udzieleniu odpowiedzi na wszystkie pytania przewodniczący komisji zamknął dyskusję i zarządził niejawną część posiedzenia.

W niejawnej części posiedzenia udział wzięli:

dr hab. inż. **Krzysztof Talaśka**, prof. P P,

prof. dr hab. inż. **Jarosław Stryczek**,

dr hab. inż. **Ryszard Jasiński**, prof. P G,

prof. dr hab. inż. **Andrzej Milecki**,

prof. dr hab. **Ewa Stachowska**,

dr hab. inż. **Andrzej Gessner**,

dr hab. inż. **Grzegorz Ślaski**,

dr hab. inż. **Maciej Tabaszewski**,

dr hab. inż. **Rafał Talar**,

dr hab. inż. **Dominik Rybarczyk**.

Pierwszy głos zabrał prof. dr hab. inż. **Jarosław Stryczek**. Nadmienił, że doktorant ładnie się bronił, ma dużą wiedzę. Praca jest dobra.

Jako kolejny wypowiedział się dr hab. inż. **Ryszard Jasiński**, prof. Politechniki Gdańskiej. Stwierdził on, że hydraulika siłowa jest dosyć trudną dziedziną i Pan dosyć dobrze sobie poradził z tym, bo to było widać chociażby we wzorach. Dobrze, że ta hydraulika siłowa jest rozwijana. Plus to sterowanie, to jest wielki plus. Ja tutaj jestem zadowolony.

Jako kolejny wypowiedział się dr hab. inż. **Grzegorz Ślaski**, prof. PP. Stwierdził, że ta część, która się odbyła, czyli po prezentacji – odpowiedzi na pytania zdradzały, że tam tej pracy było znacznie więcej niż pokazano i to też wypadło tak samo dobrze albo lepiej niż ta prezentacja. Na mnie wywarło to dobre wrażenie. Plus to połączenie symulacji i eksperymentów i uzyskanie zgodności daje podstawę do stwierdzenia, że wiedza jest spora.

Jako kolejny wypowiedział się dr hab. inż. **Rafał Talar**. Moja opinia jest też bardzo pozytywna. Doktorant mimo zadanych trudnych pytań z nich wybrnął. Warto wspomnieć, że ważne są badania doświadczalne. Ja to bardzo doceniam, bo wiem ile na to czasu potrzeba. Te badania zostały dobrze przeprowadzone. Tam oczywiście można jakieś słabości wynaleźć, ale generalnie oceniam to bardzo dobrze.

Prof. dr hab. **Ewa Stachowska** stwierdziła, że może się dołączyć do kolegów. Bardzo dużo pracy wykonanej. Uważam, że hydrauliczne napędy zawsze będą miały zastosowanie. Było widać ten ogrom pracy, którą doktorant wykonał oraz znajomość dziedziny, w której się doktoryzuje.

Dr hab. inż. **Andrzej Gessner** stwierdził, że ma pozytywną opinię na temat doktoranta. Recenzje, prezentacja przekonały mnie. Dodał, że zawsze podkreśla, że najbardziej wartościowy jest eksperyment. Doktorant to zbudował i zrealizował.

Prof. dr hab. inż. **Andrzej Milecki** stwierdził, że cieszy się, że doktorat udało się zrealizować do końca. Zrobienie tego doktoratu to nie była łatwa sprawa. Zbudowanie trzech stanowisk. Doktorant uzyskał wartościowe rezultaty.

Dr hab. inż. **Dominik Rybarczyk** dodał ze swojej strony, że zna doktoranta od strony typowego konstruktora i intuicja inżynierska jest widoczna w tej rozprawie.

Dr hab. inż. **Krzysztof Talaśka** prof. PP, stwierdził, że na podstawie tego co powiedzieli recenzenci i to co dzisiaj zobaczyliśmy jestem jednoznacznie przekonany, że całokształt zasługuje na pozytywną ocenę.

Następnie odbyło się tajne głosowanie nad przyjęciem i zgłoszeniem wniosku do Rady Dyscypliny o nadanie kandydatowi stopnia naukowego doktora. Wszystkie z 9 obecnych osób poparały wniosek. Jedna osoba (promotor pomocniczy) nie brał udziału w tajnym głosowaniu. Przewodniczący zamknął część niejawną obrony pracy doktorskiej.

Po zakończeniu tej części obrony przewodniczący dr hab. inż. **Krzysztof Talaśka**, prof. PP publicznie ogłosił wyniki niejawnego posiedzenia Komisji po czym złożono gratulacje mgr. inż. Arkadiuszowi Jakubowskiemu.

Doktorant podziękował wszystkim za przybycie. Podziękował recenzentom, promotorom, kolegom z zakładu oraz rodzinie i żonie. Na tym posiedzenie się zakończyło.

Poznań, 13.12.2024 roku


Protokołował dr inż. Arkadiusz Kubacki

