

PROTOKÓŁ
z obrony rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Kapłona
pod tytułem: Konstrukcja i sterowanie przetwornikiem zbudowanym na bazie kompozytu
silikon-etanol

W dniu 20.10.2023 o godz. 12.30 odbyła się publiczna obrona pracy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Kapłona pod tytułem: „Konstrukcja i sterowanie przetwornikiem zbudowanym na bazie kompozytu silikon-etanol”

W skład komisji weszli:

Przewodniczący Komisji:	dr hab. inż. Andrzej Gessner
Promotor:	prof. dr hab. inż. Andrzej Milecki
Recenzenci:	dr hab. inż. Ryszard Jasiński prof. Politechniki Gdańskiej
	dr hab. inż. Marek Płaczek prof. Politechniki Śląskiej
	dr hab. inż. Roland Pawliczek prof. Politechniki Opolskiej

Członkowie Komisji:

dr hab. inż. Rafał Talar
dr hab. inż. Bartosz Gapiński prof. Politechniki Poznańskiej
prof. dr hab. Ewa Stachowska
dr hab. inż. Piotr Paczos prof. Politechniki Poznańskiej
dr hab. inż. Szymon Wojciechowski prof. Politechniki Poznańskiej - nieobecny
prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski - nieobecny

Sekretarz:

mgr inż. Patryk Nowak

Przebieg publicznej obrony pracy doktorskiej

Posiedzenie otworzył Przewodniczący Komisji dr hab. inż. **Andrzej Gessner**, który przywitał Recenzentów, dr hab. inż. **Ryszarda Jasińskiego** prof. Politechniki Gdańskiej, dr hab. inż. **Marka Płaczka** profesora Politechniki Śląskiej, dr hab. inż. **Rolanda Pawliczka** prof. Politechniki Opolskiej, promotora prof. dr hab. inż. **Andrzeja Mileckiego**, członków Komisji : dr hab. inż. **Bartosza Gapińskiego** prof. Politechniki Poznańskiej, dr hab. inż. **Piotra Paczosa** prof. Politechniki Poznańskiej, prof. dr hab. **Ewę Stachowską**, dr hab. inż. **Rafała Talara**. Dr hab. inż. **Andrzej Gessner** stwierdził usprawiedliwioną nieobecność dwóch członków Komisji : prof. dr hab. inż. **Michała Wieczorowskiego** oraz dr hab. inż. **Szymona Wojciechowskiego** prof. PP, jednocześnie zaznaczył, że obecność na Sali większości członków Komisji zapewnia możliwość dalszego procedowania. Następnie, dr hab. inż. **Andrzej Gessner** powitał sekretarza komisji mgr inż. **Patryka Nowaka**, zgromadzonych gości, rodzinę doktoranta, oraz doktoranta - mgra inż. **Tomasza Kapłona**.

Po przywitaniu dr hab. inż. **Andrzej Gessner** podsumował spełnienie wymogów formalnych dopuszczenia do obrony pracy doktorskiej przez mgra inż. Tomasza Kapłona zaznaczając, że

przewód doktorski został otwarty 20 grudnia 2021 roku na posiedzeniu Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej. Na posiedzeniu tym na promotora został wyznaczony prof. dr hab. inż. **Andrzej Milecki**. Praca została przyjęta 12 września 2023 roku, a doktorant spełnił wszystkie wymogi przed dopuszczeniem do publicznej obrony. Po skończeniu tej części przewodniczący Komisji oddał głos sekretarzowi, by ten odczytał życiorys doktoranta.

Nastąpiło odczytanie życiorysu mgr inż. **Tomasza Kapłona**. W ramach działalności naukowej mgr inż. Tomasz Kapłon prowadził badania nad zastosowaniem nowego kompozytu silikon-etanol w budowie napędów i przetworników. Był autorem i współautorem 6 prac naukowych, spośród których 3 były związane z tematem jego rozprawy doktorskiej. Jego prace były publikowane w czasopiśmie punktowanych z listy ministerialnej, między innymi *Materials*, *Polymers*. Obecnie posiada indeks Hirscha równy 2. Wziął także udział w dwóch konferencjach naukowych międzynarodowych. Uczestniczył także w jednym projekcie naukowym.

W dalszej części posiedzenia przewodniczący udzielił głosu doktorantowi, prosząc go o zaprezentowanie głównych tez rozprawy doktorskiej. Poinformował także zgromadzonych o możliwości zapisania pytań, które pojawią się w trakcie prezentacji, na kartkach rozłożonych w Sali.

Następnie doktorant mgr inż. **Tomasz Kapłon** przedstawił główne cele, tezy i osiągnięcia swojej rozprawy doktorskiej pod tytułem: „Konstrukcja i sterowanie przetwornikiem zbudowanym na bazie kompozytu silikon-etanol”. Na początku przedstawił plan prezentacji, następnie omówił genezę tematu oraz dokonany przegląd literatury związanej z tematem pracy. Kontynuując przedstawił cele pracy oraz tezy główną i szczegółową pracy. Przedstawionymi celami były:

- 1) Wykonanie wstępnych badań doświadczalnych kompozytu silikon-etanol i opracowanie dwóch wersji przetworników (napędów).
- 2) Zaprojektowanie, wykonanie i przeprowadzenie badań doświadczalnych przetworników
- 3) Opracowanie modelu komputerowego przetwornika bazującego na kompozycie silikon-etanol i wykonanie badań symulacyjnych.
- 4) Opracowanie układu regulacji serwonapędu z przetwornikiem opartym na kompozycie silikon-etanol i przeprowadzenie badań doświadczalnych potwierdzających tezy.

Teza główna brzmiała:

„Możliwe jest zbudowanie napędu z przetwornikiem wykonanym na bazie kompozytu silikon-etanol, który może generować siły rzędu kilkudziesięciu N i przemieszczenia liniowe rzędu kilku mm”.

Natomiast teza szczegółowa miała następującą treść:

„Serwonapęd, w którym zastosowany jest przetwornik mieszkowy o długości początkowej 57,6 mm i średnicy 27 mm, może generować siłę 35 N i uzyskiwać wydłużenie ok. 6 mm oraz uzyskiwać dokładność pozycjonowania $\pm 0,1$ mm”.

Na kolejnych slajdach swojej prezentacji doktorant przedstawił realizację poszczególnych celów i tez pracy. W połowie prezentacji wystąpiły problemy techniczne, które na krótko przerwały ciąg wystąpienia, szybko jednak mgr inż. **Tomasza Kapłona** je wznowił. Na zakończenie mgr inż. **Tomasz Kapłon** podsumował swoje wystąpienie stwierdzając, że zostały zrealizowane wszystkie cele oraz zostały potwierdzone tezy przedstawione w rozprawie doktorskiej.

Po wysłuchaniu wystąpienia doktoranta, przewodniczący udzielił głosu promotorowi - prof. dr hab. inż. **Andrzejowi Mileckiemu**, prosząc go o przedstawienie opinii o pracy. Zdaniem promotora, opracowana przez mgr inż. Tomasza Kapłona rozprawa spełnia warunki stawiane pracom doktorskim ponieważ:

- zawiera wyczerpujący przegląd literatury, dotyczącej przedstawionego tematu,
- jest samodzielnym rozwiązaniem problemu naukowego, jakim było opracowanie przetwornika na bazie kompozytu silikon-etanol, jego modelu symulacyjnego i

zastosowanie go w napędzie pracującym w układzie zamkniętym oraz wprowadzeniu modyfikacji w tym napędzie usprawniającym go,

- jest na wystarczająco dobrym poziomie merytorycznym by mogła zostać dopuszczona do obrony.

W dalszej części Recenzenci zostali poproszeni przez przewodniczącego o przedstawienie swoich recenzji pracy doktorskiej. Jako pierwszy swoją recenzję przeczytał dr hab. inż. **Ryszard Jasiński** prof. Politechniki Gdańskiej. Recenzję rozprawy wykonano na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej, pismo nr DIM.075.333.2023 Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej dr. hab. inż. Olafa Ciszaka prof. Politechniki Poznańskiej z dnia 05.07.2023 r., do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

Recenzowana praca, będąca przedmiotem rozprawy, obejmuje 100 stron i składa się ze streszczenia w języku polskim i angielskim, wykazu ważniejszych oznaczeń i skrótów, 6 rozdziałów oraz bibliografii obejmującej 63 pozycje. Praca została napisana w języku polskim. Tematyka rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Kapłona koncentruje się na badaniach przetworników zbudowanych na bazie kompozytu silikon-etanol. Recenzent uważa, że to ważny temat, a ponadto że jest to stosunkowo nowe zagadnienie, gdyż przedstawiono budowę materiału silikon-etanol pierwszy raz dopiero w 2017 roku. Doktorant dokonał przeglądu literatury, w którym przedstawiono zaproponowane do tej pory koncepcje budowy przetworników na bazie kompozytu silikon-etanol. Stwierdzono, że w żadnej publikacji nie sformułowano i nie opisano wystarczająco wnikliwie sposobów i zasad, które mogą być wykorzystane do projektowania przetworników na bazie kompozytu silikon-etanol. W dostępnych Autorowi publikacjach praktycznie nie przedstawiono żadnych badań symulacyjnych i doświadczalnych, dotyczących sterowania tymi przetwornikami. Z przeglądu literatury wynika, że badania nad konstrukcją i sterowaniem przetworników wykonanych na bazie kompozytu silikon-etanol nie zostały dotychczas wystarczająco dokładnie przeprowadzone. Recenzent podkreśla, że tematyka ta jest aktualna i potrzebna oraz badania nad możliwościami zastosowania kompozytu silikon-etanol są dopiero w początkowej fazie. W związku z tym, recenzent uważa za słuszne przeprowadzenie przez Doktoranta takich badań w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej.

Prezentowana praca wychodzi naprzeciw tym oczekiwaniom, a Doktorant zaprezentował komplementarne i systemowe podejście do rozwiązania problemu związanego z konstrukcją i sterowaniem przetwornika zbudowanego na bazie kompozytu silikon-etanol. Należy podkreślić, że Autor pracy zbudował jako pierwszy serwonapęd z takim przetwornikiem oraz zaproponował metodę sterowania nim. Wykonał badania przetworników z zastosowaniem kompozytu silikon-etanol.

Recenzent uważa, że mgr inż. Tomasz Kapłon, słusznie zajął się w swojej rozprawie konstrukcją i sterowaniem przetwornika zbudowanego na bazie kompozytu silikon-etanol, gdyż to rozwiązanie znakomicie wpisuje się w potrzeby rozwijającego się rynku nowych technologii. Podjęty przez Doktoranta w rozprawie problem badawczy Recenzent uważa za uzasadniony. Zasadnicza treść recenzowanej rozprawy jest zawarta w 6 rozdziałach. Treść rozdziałów jest powiązana z tytułem rozprawy i stanowi jego rozwinięcie oraz odpowiada sformułowanym celom rozprawy.

Recenzent opisał również treść poszczególnych rozdziałów oraz odczytał pytania szczegółowe.

Recenzent stwierdził, że w pracy występują pewne błędy stylistyczne, literowe i redakcyjne. Błędy te jednak nie mają znaczenia w ogólnej ocenie pracy, zwłaszcza w ocenie merytorycznej. Zawarte w pracy rysunki i schematy w większości przypadków są dobrej jakości i posiadają wyczerpujący opis. Literatura jest aktualna i dobrana zgodnie z tematem pracy. Układ rozprawy i podział treści między poszczególnymi rozdziałami jest logiczny.

Za główne osiągnięcia mgr. inż. Tomasza Kapłona Recenzent uznał:

1. Zbudowanie kilku stanowisk do badania różnych konstrukcji przetworników wykonanych na bazie kompozytu silikon-etanol.
2. Wykonanie badań eksperymentalnych prototypów dwóch konstrukcji przetworników zbudowanych na bazie kompozytu silikon-etanol o różnych koncepcjach budowy.
3. Opracowanie algorytmu projektowania przetwornika mieszkowego wykonanego na bazie kompozytu silikon-etanol.
4. Stworzenie modelu komputerowego, umożliwiającego symulację pracy przetwornika mieszkowego, wypełnionego kompozytem silikon-etanol, na podstawie modyfikacji wzorów opisujących działanie kompozytu silikon-etanol i wykonanie badań symulacyjnych.
5. Opracowanie układu regulacji serwonapędu (regulatory: P, PI, kaskadowy) z przetwornikiem wykonanym na bazie kompozytu silikon-etanol.
6. Zbudowanie i przebadanie napędu z przetwornikiem mieszkowym przy zmiennych warunkach odprowadzenia ciepła z przetwornika, przy zmianie obciążenia napędu, przy różnych napięciach zasilania.

Podsumowując, recenzent stwierdził, że omówiona konstrukcja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Kapłona oraz sposób opracowania materiału badawczego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań są właściwe dla tego rodzaju prac. Doktorant wykazał się dużą wiedzą ogólną, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz opanowaniem metod analitycznych i numerycznych stosowanych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Recenzent stwierdził, że praca mgr. inż. Tomasza Kapłona pt.: „Konstrukcja i sterowanie przetwornika zbudowanego na bazie kompozytu silikon-etanol” (promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Milecki) spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, w rozumieniu ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 30 sierpnia 2018 r. poz. 1668).

W związku z tym recenzent wnioskuje o przyjęcie rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Tomasza Kapłona i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Następnie o przedstawienie swojej recenzji został poproszony dr hab. inż. **Marek Płaczek** prof. Politechniki Śląskiej. Na wstępie Recenzent stwierdził, że materiały inteligentne znajdują coraz większą liczbę zastosowań we współczesnych środkach technicznych i nowoczesnych systemach mechatronicznych ze względu na coraz wyższe wymagania w zakresie ich miniaturyzacji, efektywności, niezawodności, szybkości działania czy też energochłonności.

W tym świetle tematyka przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej z pewnością jest istotna z punktu widzenia współczesnej inżynierii mechanicznej, ze szczególnym uwzględnieniem rozwoju techniki napędowej nowoczesnych systemów mechatronicznych. Podjęta przez Doktoranta tematyka pracy doktorskiej, dotycząca konstrukcji i sterowania przetworników, w których działaniu stosowane jest zjawisko zmiany fazy ciekłej na gazową, wpisuje się w kierunki rozwojowe współczesnej inżynierii mechanicznej i należy uznać za szczególnie trafione i zasadne ukierunkowanie działalności naukowej Doktoranta na tak zidentyfikowany obszar badawczy.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi dosyć zwarte sprawozdanie z procesu projektowo-konstrukcyjnego przetwornika i bazującego na jego działaniu serwonapędu, a także raport z przeprowadzonych badań doświadczalnych opracowanych prototypów projektowanych układów. Całość poprzedzona jest przeglądem literatury oraz prezentacją aktualnego stanu wiedzy, na tle którego Doktorant przedstawił swoje osiągnięcia.

Jako główne osiągnięcia Doktoranta uważa Recenzent skonstruowanie serwonapędu z zastosowaniem przetwornika na bazie kompozytu silikon-etanol, który współpracując z zaprojektowanym układem regulacji automatycznej, osiągnął zakładane parametry w zakresie

generowanej siły, przemieszczenia oraz dokładności pozycjonowania. Ponadto, Doktorant zaproponował algorytm projektowania przetwornika mieszkowego ze względu na jego oczekiwane wydłużenie i siłę blokującą, jak również opracował model komputerowy tego typu przetworników z zastosowaniem oprogramowania Matlab-Simulink. Opracowane narzędzia oraz metodologia mogą stanowić skuteczne rozwiązanie wspomagające prace badawcze w zakresie projektowania, konstruowania, doboru parametrów, analizy samych przetworników bazujących na kompozycie silikon-etanol, jak i utworzonych z ich użyciem układów napędowych. Doktorant wykazał się także umiejętnością zaplanowania i przeprowadzenia prac badawczych, w tym opracowania niezbędnych stanowisk laboratoryjnych, a także analizy otrzymanych rezultatów.

Następnie Recenzent przedstawił uwagi krytyczne. Poprosił także doktoranta o odniesienia się do nich w części poświęconej na dyskusję.

Recenzent zauważył, że istotnym zastrzeżeniem w odniesieniu do przedstawionego do oceny egzemplarza rozprawy doktorskiej jest jej niestaranne przygotowanie pod względem edycyjnym, a także językowym i stylistycznym. W treści pracy dostrzec można niestety liczne błędy w tym zakresie, które wskazują na niestaranne przygotowanie opracowania. Stwierdził jednak, że błędy te nie umniejszają wartości merytorycznej opracowania, a jedynie negatywnie wpływają na jego odbiór.

Recenzent stwierdził, że w zakresie zdefiniowanej przez Doktoranta tezy szczegółowej postawionej w rozprawie doktorskiej, w świetle precyzyjnie zdefiniowanych w niej parametrów geometrycznych oraz siły, przemieszczenia, jak i dokładności pozycjonowania przetwornika, dziwić może brak przyjęcia przez autora założeń w zakresie czasu osiągania zadanej pozycji przez projektowany serwonapęd.

Recenzent zauważył także, że Doktorant nie określił w sposób jasny liczby egzemplarzy wykonanych przetworników, które poddano badaniom w trakcie realizacji pracy. Zauważył także, że w podrozdziale 3.3 zawierającym opis stanowisk do badań rozpatrywanych układów Doktorant zawarł sformułowanie: „W trakcie badań, w niektórych przypadkach wewnątrz przetwornika były umieszczone nawet trzy termopary” (str. 37). W treści pracy nie zamieszczono jednak wyjaśnienia celu wprowadzenia wspomnianej redundancji. Dr hab. inż. Marek Płaczek prof. Politechniki Śląskiej zauważył także w swojej recenzji, że Doktorant w swojej pracy wskazuje na złożony rozkład temperatur wewnątrz przetwornika i wzajemne oddziaływanie na siebie obszarów kompozytu o różnej temperaturze. Jednocześnie przyjmuje dosyć znaczne uproszczenie modelu, zakładając uśrednioną temperaturę materiału kompozytowego w całej jego objętości. Pomimo znaczącego uproszczenia, otrzymane wyniki symulacji układu charakteryzuje jednak dosyć wysoka zgodność z rezultatami badań eksperymentalnych. Autor nie precyzuje w swoim opracowaniu czy, a jeśli tak, to w jaki sposób rozważa możliwość bardziej dokładnego odwzorowania rozkładu temperatur w opracowanym modelu, co mogłoby stanowić element wskazania kierunków dalszych badań.

We wnioskach końcowych Recenzent stwierdza, że Doktorant udowodnił, że potrafi planować i prowadzić teoretyczne badania naukowe, z zastosowaniem metod analitycznych i numerycznych, jak również badania laboratoryjne stanowiące eksperymentalną weryfikację stawianych tez i przyjętych założeń. Pomimo wymienionych niedociągnięć i uwag krytycznych, przedstawioną do oceny rozprawę doktorską należy ocenić pozytywnie.

Biorąc pod uwagę uzyskane rezultaty recenzowanej pracy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Kapłona p.t.: „Konstrukcja i sterowanie przetwornika zbudowanego na bazie kompozytu silikon-etanol” stwierdzam, że opiniowana praca może być podstawą nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych, zgodnie z wymaganiami określonymi w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742) i wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony.

Jako ostatni swoją recenzję przedstawił dr hab. inż. **Roland Pawliczek** prof. Politechniki Opolskiej. Formalną podstawę opracowania niniejszej opinii stanowi pismo z dnia 5.07.2023 o sygnaturze DIM.075.333.2023 wystosowane przez dra hab. inż. Olafa Ciszaka, profesora Politechniki Poznańskiej, Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej, a informujące o powołaniu przez Radę Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej w dniu 3.07.2023 uchwałą nr 6/111/07/2023 na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Kapłona pt. „Konstrukcja i sterowanie przetwornika zbudowanego na bazie kompozytu silikon-etanol” oraz umowa o dzieło nr 0600/2023/140 obejmująca wykonanie recenzji rozprawy.

Recenzent wyraża opinię, że biorąc pod uwagę fakt, że analizowany w pracy materiał zmiennofazowy w postaci kompozytu silikon-etanol jest stosunkowo nowym materiałem, a prace związane z jego aplikacjami są nieliczne, podjęcie przez Doktoranta tego tematu jest problemem aktualnym oraz nowatorskim i jest celowe i zasadne z punktu widzenia poznawczego i naukowego. Praca ma charakter konstrukcyjny i badawczy. Wyniki prac konstrukcyjnych, modelowania pracy układu i badań symulacyjnych służących opracowaniu algorytmu sterowania stanowią kompleksowe rozwiązanie napędu z punktu widzenia systemów mechatronicznych i praca badawcza w tych obszarach wpisuje się w dyscyplinę inżynierii mechanicznej i dziedzinę nauk inżynieryjno-technicznych.

Następnie Recenzent stwierdza, że w części poświęconej ogólnemu charakterowi rozprawy zawarł opis poszczególnych rozdziałów. Recenzent uznał za wartę podkreślenia, że Autor rozprawy zaprojektował i wykonał stosowne stanowiska badawcze do pomiaru siły i przemieszczenia przetworników wraz z układem grzewczym wymuszającym zmianę objętości kompozytu. Recenzent uznał, że ważnym aspektem pracy było poruszenie przez Doktoranta trwałości napędu w dłuższym czasie pracy przy wielokrotnym powtarzaniu cyklu pracy.

Jako główne osiągnięcia Recenzent uznał:

- opracowanie konstrukcji,
- zaprojektowanie i zbudowanie urządzeń pomiarowych,
- opracowanie modelu matematycznego, co umożliwiło opracowanie algorytmu obliczeniowego wspomagającego konstruowanie przetworników na bazie kompozytu silikon-etanol.

Recenzent zauważa także, że ważnym aspektem rozprawy, któremu poświęcono dużo miejsca w pracy był problem sterowania skonstruowanymi przetwornikami, uważa jednak także, że został on za mało zaakcentowany w tezie i celach pracy. Recenzent podkreślił, że jest to zagadnienie szczególnie istotne, gdyż w literaturze faktycznie występuje brak tak konkretnych rozwiązań technicznych dla analizowanych konstrukcji.

Oceniając rozwój i przygotowanie Doktoranta do podjęcia problematyki zawartej w jego rozprawie doktorskiej należy uwzględnić 3 współautorskie pozycje w spisie literatury, gdzie można znaleźć pozycje indeksowane w Web of Science (WoS). Doktorant wykazał bardzo duże umiejętności w przygotowaniu i prowadzeniu eksperymentów, gdzie dla nietypowych obiektów badań potrafił zaprojektować i wykonać niestandardową aparaturę badawczą, zaś wykonane badania cechują się rzetelnością w opracowaniu i prezentacji wyników. Recenzent przedstawił także swoje pytania szczegółowe.

Podsumowując, Recenzent przedstawił rozprawę doktorską mgr inż. Tomasza Kapłona pt. „Konstrukcja i sterowanie przetwornika zbudowanego na bazie kompozytu silikon-etanol” ocenił bardzo pozytywnie.

Praca dotyczy zagadnień projektowania i sterowania pracy przetworników liniowych bazujących na kompozycje zmiennofazowym silikon-etanol. Oceniał, że w pracy zaprezentowano

bardzo dobrze przygotowane badania eksperymentalne oraz rzetelnie je przedstawiono i przeanalizowano. Dokonano również matematycznego modelowania zjawisk zachodzących w obiekcie badań. Autor rozprawy rozpoznał i zdefiniował problem badawczy, wykazał się stosowną wiedzą i umiejętnościami planowania badań i przeprowadzenia eksperymentu. Analizę i wnioski przeprowadzono i sformułowano w sposób poprawny, adekwatny do zagadnienia.

Jako najważniejsze osiągnięcie należy uznać obszerny zakres badań przeprowadzonych przez doktoranta oraz umiejętne wykorzystanie ich wyników do modelowania i prowadzenia obliczeń symulacyjnych. Nie bez znaczenia pozostaje również zaproponowany i zweryfikowany w pracy układ sterowania pracą przetwornika mieszkowego.

Recenzent uważa, że zakres pracy został przez Doktoranta wypełniony potwierdzając postawioną w pracy tezę przez co osiągnięto cel pracy. Recenzent, mając na uwadze przedstawione w recenzji aspekty stwierdził, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgra inż. Tomasza Kapłona spełnia wymagania stawiane przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2017r., poz. 1789) i może być podstawą do nadania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna. Jednocześnie wniósł o dopuszczenie recenzowanej rozprawy do publicznej obrony przed Radą Naukową Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej.

Po odczytaniu opinii recenzentów nastąpiło otwarcie publicznej dyskusji. Doktorant odpowiedział na przedstawione przez recenzentów pytania i uwagi krytyczne oraz w trakcie publicznej dyskusji, na pytania od publiczności zapisane na zebranych z sali kartkach.

W trakcie publicznej dyskusji Doktorant odpowiedział na następujące pytania recenzentów.

1. dr hab. inż. **Ryszard Jasiński** profesor Politechniki Gdańskiej

Pytanie: W rozdziale 3 (podrozdział 3.3) Autor do pomiaru temperatury wewnątrz przetwornika zastosował termopary. W trakcie badań, w niektórych przypadkach wewnątrz przetwornika były umieszczane nawet trzy termopary. Proszę chociaż dla jednego badania przetwornika przedstawić na wykresie przebiegi temperatury mierzone w kilku miejscach kompozytu silikon-etanol. Proszę przedstawić analizę otrzymanych wyników.

Odpowiedź Autora: Badanie temperatury w trzech punktach przetwornika mieszkowego na bazie kompozytu silikon-etanol przeprowadzono na prototypie przetwornika, określonego jako duży. Trzy termopary umieszczono wewnątrz przetwornika na tej samej wysokości następująco:

- pierwszą termoparę umieszczono centralnie w środku przetwornika
- drugą blisko spiralnej grzałki od jej zewnętrznej strony
- trzecia przylegała do ścianki zewnętrznej mosiężnego mieszka.

Autor wyświetlił na prezentacji przebiegi i wyjaśnił, że niższe wartości temperatury dla jednego przebiegu wynikały z faktu, że termopara przylegała do zewnętrznej ścianki przetwornika, na skutek czego w tym miejscu ciepło było szybciej odprowadzane. Autor wyjaśnił także, że przeprowadzono badania dla kilku przetworników w celu zgromadzenia danych do zbudowania dokładniejszego modelu nagrzewania i chłodzenia przetwornika na bazie kompozytu silikon-etanol. Może to być element przyszłych prac związanych z przetwornikami na bazie kompozytu silikon-etanol.

Pytanie: W podrozdziale 3.6 Autor przedstawił algorytm projektowania przetwornika mieszkowego wykonanego na bazie kompozytu silikon-etanol. Proszę podać zalecane materiały, z których należy wykonać mieszek.

Odpowiedź Autora: Słusznie Pan Recenzent zauważył, że w zaproponowanym algorytmie nie podano zalecanych materiałów do wykonania mieszka. Autor pracy dysponował tylko mieszkaniami wykonanymi z mosiądzu, dlatego pominął to zalecenie w pracy. Zalecane materiały na mieszki powinny być w pierwszym rzędzie nieprzepuszczalne dla gazów, takich jak pary etanolu, dzięki czemu chroniłyby one przed ich ucieczką. Takim materiałem jest np. aluminium, jak również inne metale i ich stopy. Natomiast tworzywa sztuczne okazują się zbyt przepuszczalne dla par etanolu. Powinny także cechować się dobrym przewodnictwem cieplnym (miedź, aluminium, stal), aby był możliwy dobry odbiór ciepła z kompozytu. Dodatkowo, ponieważ moduł Younga materiału mieszka ma wpływ na jego sprężystość, należy unikać materiału o dużym współczynniku Younga. Z tych powodów odpowiednimi materiałami do produkcji mieszków wydają się być stopy miedzi oraz stopy aluminium do obróbki plastycznej.

Pytanie: Czy Doktorant zastanawiał się nad zaprojektowaniem i wykonaniem komercyjnego, kompaktowego serwonapędu wykorzystującego kompozyt silikon-etanol?

Odpowiedź: W mojej ocenie materiał kompozyt silikon-etanol na obecnym etapie badań nie osiągnął jeszcze niezawodności, umożliwiającej zastosowanie go w komercyjnym rozwiązaniu. Nadal nie w pełni satysfakcjonująco rozwiązany jest problem ucieczki par etanolu z materiału, na skutek czego z czasem materiał traci swoje właściwości. Być może w przyszłości modyfikacja materiału pozwoli poprawić jego trwałość. Szczególnie obiecujące mogłoby być wprowadzenie dodatków zmniejszających przepuszczalność gazów do silikonu. Po przewyciężeniu tego problemu można by rozważyć komercyjny serwonapęd na bazie kompozytu-silikon etanol, w zastosowaniu do napędu pomp infuzyjnych. W przypadku tego zastosowania powolne działanie kompozytu byłoby nawet zaletą. Innym zastosowaniem mogłyby być konstrukcje samo rozkładające się, w których czas rozłożenia się nie byłby istotny.

2. dr hab. Marek Płaczek profesor Politechniki Śląskiej

Pytanie: Proszę powiedzieć coś więcej o liczbie egzemplarzy która była testowana.

Odpowiedź: Faktycznie nie było uśrednienia wyników. Na wykresach zostały przedstawione najbardziej charakterystyczne przebiegi. Jednakże przetworniki były wykonywane wielokrotnie. W przypadku przetworników ich wielokrotne wykonywanie było nawet wymuszone przez szybkie zużywanie się przetworników. Ponieważ duży wpływ na przebiegi czasowe, zwłaszcza na czas powrotu miały warunki otoczenia, z tego powodu prób wykonanych w różnych porach roku nie chciałem uśredniać. Natomiast z powodu długotrwałości prób, problemem było wykonanie dużej liczby prób w tym samym czasie.

3. dr hab. inż. Roland Pawliczek prof. Politechniki Opolskiej

Pytanie: W konstrukcji przetworników jako metodę grzania kompozytu wykorzystano spiralę grzejną zatopioną w materiale. Zmiana objętości kompozytu musi pociągać za sobą odkształcenia spirali grzejnej. Czy podczas badań obserwowano efekty odklejania się kompozytu od drutu grzałki? Doktorant nie wspomina też, że ewentualne rozciąganie spirali również wymaga poświęcenia nieco wypracowanej przez przetwornik siły. Czy rozważano te kwestie i czy ewentualnie możliwe jest oszacowanie tej straty?

Odpowiedź: Po prowadzeniu szeregu badań rozmontowano niektóre z przetworników. Rzeczywiście w przypadku części rdzeni kompozytowych wyciągniętych z eksploatowanych przetworników, zaobserwowano na części odcinków utratę kontaktu drutu grzejnego z kompozytem. Mogło to wynikać z lokalnego przegrzania materiału, jego degradacji i „rozsadzenia” pęcherzyków z etanolem. Najczęściej takie wady obserwowano w okolicach przecinania się podwójnego uzwojenia, a więc w

miejscach najbardziej narażonych na lokalne przegrzanie.

Przy rozciąganiu grzałki w temperaturze pokojowej na niewielkie odległości (do 10 mm) siła sprężystości grzałki była mała i wynosiła około 0,2 N. Także współczynnik sprężystości miał znacząco niższą wartość niż współczynniki sprężystości mieszków.

Zastosowane mieszki miały współczynniki sprężystości 0,41 N/mm; 1,31 N/mm oraz 5,53 N/mm. Oznacza to, że współczynnik sprężystości grzałki stanowił maksymalnie około 5% wartości współczynnika sprężystości mieszka.

Podczas pracy w przetworniku grzałka silnie rozgrzewała się, przez co wartość modułu sprężystości materiału, z którego wykonano grzałkę spadała, a sam materiał grzałki także ulegał wydłużeniu termicznemu. Wydaje się, że na skutek tych czynników wartość siły sprężystości generowanej przez rozciąganą grzałkę w trakcie pracy przetwornika była niższa, niż w przypadku jej rozciągania w temperaturze pokojowej. Aby określić wartość siły generowanej przez grzałkę w wyniku jej wydłużenia należałoby sporządzić charakterystykę zmiany jej współczynnika sprężystości w zależności od temperatury. Następnie w trakcie badań należałoby monitorować zmiany jej temperatury, co można by określić poprzez badanie zmiany rezystancji (na podstawie pomiaru napięcia i natężenia prądu zasilającego grzałkę).

W przypadku przeprowadzonych badań na zbudowanych prototypach uznano, że wpływ sprężystości grzałki jest mały, a jego badanie byłoby dodatkową komplikacją wydłużającą prowadzenie prac. Jednakże w przypadku gdyby zbudowano przetwornik z grzałką o większym współczynniku sprężystości, to należałoby faktycznie uwzględnić jej sprężystość.

Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że będący przedmiotem niniejszej rozprawy przetwornik silikon-etanol był elementem tj. silnikiem zastosowanym w napędzie, który posiadał sprzężenie zwrotne i regulator. W związku z tym, zastosowanie odpowiedniego regulatora, wyposażonego w moduł eliminacji uchybu ustalonego i kompensującego nieliniowości, najprawdopodobniej pozwoliłoby na eliminację wyżej wymienionych nieliniowości i wad przetwornika silikon-etanol. W pracy nie podjęto tego zadania.

Pytanie: Na rysunkach 95, 96 i 97 przedstawiono przebieg czasowy opisany jako „sygnał sterujący”, który odpowiada sygnałowi v_2 na rysunku 94 przedstawiającym układ regulacji z forsowaniem napięcia. Wartości tego sygnału osiągają do 3700 na rys. 97. Jest to sygnał sterujący - jaka jest interpretacja wzmocnienia K_{pT} na rys. 94 oraz czy można określić jednostkę? Czy e_T jest uchybem temperatury?

Odpowiedź: Sygnał e_T jest uchybem, tj. różnicą między sygnałem wychodzącym z pierwszego stopnia regulacji przemieszczeniem, a sygnałem z czujnika temperatury. W układzie regulacji cyfrowej, a taki był stosowany, na wejście układu podawana jest liczba U określająca położenie zadane. Od niej jest odejmowana liczba pochodząca z czujnika przemieszczenia, określająca położenie na wyjściu. W rezultacie uzyskujemy uchyb e . Po jego przemnożeniu przez wzmocnienie K_p , którego miano to liczba wyrażająca stopnie [°], sygnał ten tzn. v_1 [°·mm/mm] jest wysyłany do drugiego węzła sumującego, w którym jest od niego odejmowana liczba określająca zmierzoną temperaturę T . Tak jak Pan Recenzent zauważył, sygnał uchybu e_T jest uchybem temperatury. Po pomnożeniu tej różnicy czyli uchybu e_T przez współczynnik K_{pT} którego miano to $1/°$ otrzymujemy sygnał v_2 [°/°] określający stopień wypełnienia sygnału PWM. Generator PWM był bowiem 8 – bitowy, co oznacza, że wartość sygnału v_2 od 255 wzwyż oznaczała wypełnienie sygnału PWM w 100% co można zaobserwować w części rysunku 97 przedstawiającego przebieg sygnału PWM. Schemat napędu mógłby zostać uszczegółowiony poprzez dodanie bloku nasycenia między wyjściem z drugiego stopnia regulatora a wejściem do sterownika mocy PWM.

Doktorant odpowiedział także na następujące pytania jakie padły ze strony publiczności w trakcie publicznej dyskusji.

1) Mgr inż. Michał Zieliński

Pytanie: „Działanie napędu na bazie kompozytu silikon-etanol jest dość powolne, czy przewiduje się możliwość zastosowania go w jakiejś aplikacji w praktyce?”

Zostało stwierdzone, że na to pytanie padła już odpowiedź w trakcie wcześniejszej dyskusji. Mgr inż. Michał Zieliński potwierdził, że odpowiedzi, które padły w toku dyskusji są dla niego satysfakcjonujące.

2) Dr inż. Dariusz Sędziak

Pytanie: Czy rozważano zastosowanie innego alkoholu w kompozycie silikon-etanol, np. metanolu, który ma niższą temperaturę wrzenia?

Odpowiedź: Przy rozważaniach wyboru cieczy należy brać także inne kryteria niż temperatura wrzenia. Ważnym kryterium jest także toksyczność. W przypadku etanolu jest ona bardzo niska, natomiast w przypadku metanolu jest wysoka co mogłoby pociągnąć za sobą niebezpieczeństwo dla osób postronnych podczas testów i wytwarzania kompozytu. Ważnym aspektem jest także cena surowca, ponieważ niska cena wytworzenia kompozytu silikon-etanol jest jednym z jego atutów. Droższe ciecze o niskiej temperaturze wrzenia mogłyby osłabić ten atut. Ponadto zaletą etanolu jest także to, że ma dobra zwilżalność silikonu.

3) Mgr inż. Wojciech Paszkowiak

Pytanie: „Czy było rozważane zastosowanie innej metody nagrzewania kompozytu silikon-etanol niż poprzez grzałkę zatopioną w kompozycie?”

Odpowiedź: Ponieważ zastosowanie grzałki stanowi pewną komplikację konstrukcji przetwornika na bazie kompozytu silikon-etanol, dalszy rozwój przetworników mogłyby polegać na wyeliminowaniu tego elementu. Rozważanym sposobem byłoby zastosowanie pośredniego nagrzewania indukcyjnego. Korzystając z tego, że mieszki są metalowe, można by za pomocą cewki indukcyjnej nagrzewać mieszki a ten przekazywałby ciepło do kompozytu. Można by też rozważyć modyfikację materiału kompozytowego poprzez dodanie cząstek metalowych na przykład w postaci opiłków, w których można by poprzez indukcję generować ciepło.

Po wyczerpaniu pytań i udzieleniu odpowiedzi Przewodniczący zamknął publiczną część obrony doktorskiej, po czym Komisja przeszła do Sali obrad części niejawniej. W części niejawniej udział wzięli:

dr hab. inż. **Andrzej Gessner**

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

dr hab. inż. **Ryszard Jasiński** prof. PG

dr hab. inż. **Marek Płaczek** prof. PŚ

dr hab. inż. **Roland Pawliczek** prof. PO

dr hab. inż. **Rafał Talar**

dr hab. inż. **Bartosz Gapiński** prof. PP

prof. dr hab. **Ewa Stachowska**

dr hab. inż. **Piotr Paczos** prof. PP

Część niejawną otworzył przewodniczący dr hab. inż. **Andrzej Gessner**

Jako pierwszy głos zabrał dr hab. inż. **Ryszard Jasiński** prof. Politechniki Gdańskiej : Stwierdził, że praca mu się bardzo podobała oraz materiał jest przyszłościowy. Ponadto zauważył, że plusem jest to, że doktorant wykonał nie tylko jeden przetwornik, a 9.

Następnie dr hab. inż. **Marek Placzek** prof. Politechniki Śląskiej stwierdził, że rozprawa jest bardzo merytoryczna, jednakże kwestia niestarannej edycji jest rażąca. Podkreślił jednak, że część merytoryczna i tematyka jest ciekawa. Pewną wadę stanowi jednak brak uśrednienia wyników badań Jako kolejny głos zabrał dr hab. inż. **Roland Pawliczek** prof. Politechniki Opolskiej. Przychylił się do opinii pozytywnej o pracy i podtrzymał swoją pozytywną opinie.

Po nim głos zabrała prof. dr hab. **Ewa Stachowska**. Pani Profesor także potwierdziła, że praca jest interesująca, zwróciła także uwagę, że odpowiedzi na pytania doktoranta z części poświęconej na dyskusję wskazywały, że doktoranta zrobił więcej niż zostało zawarte w pracy. Ponadto doceniła zawarcie opisu matematycznego, pomimo dominującego charakteru empirycznego pracy.

Kolejnym wypowiadającym się był dr hab. inż. **Piotr Paczos** prof. Politechniki Poznańskiej. Potwierdził on, że praca była ciekawa i potwierdził pozytywny odbiór pracy, zwrócił jednak uwagę na pewną liczbę usterek redakcyjnych i stylistycznych.

Kolejnym członkiem Komisji wypowiadającym się był dr hab. inż. **Rafał Talar**. Wyraził on zauważalny pewien brak statystyki w pracy.

Jako kolejny wypowiedział się dr hab. inż. **Bartosz Gapiński** prof. Politechniki Poznańskiej. On także potwierdził pozytywny odbiór pracy.

Jako przedostatni wypowiedział się prof. dr hab. inż. **Andrzej Milecki**. Profesor zwrócił uwagę, że niedociągnięcia stylistyczne i redakcyjne faktycznie mogły wynikać z pośpiechu, aby złożyć ją przed końcem terminu studiów doktoranckich.

Jako ostatni wypowiedział się dr hab. inż. **Andrzej Gessner**, stwierdził on, że odpowiedzi na pytania otwarte pokazały dużą wiedzę doktoranta i zaprezentował się odpowiadając na nie lepiej niż przy prezentacji.

Następnie odbyło się tajne głosowanie nad przyjęciem i zgłoszeniem wniosku do Rady Dyscypliny o nadanie kandydatowi stopnia naukowego doktora. Wszystkie z 9 obecnych osób poparły wniosek. Przewodniczący zamknął część niejawną obrony pracy doktorskiej

Po ogłoszeniu wyniku głosowania Komisja powróciła na salę obrad jawnych, gdzie Przewodniczący Komisji zakomunikował wyniki głosowania. Doktorant podziękował Promotorowi, Recenzentom oraz Członkom Komisji i kolegom z Zakładu Urządzeń Mechatronicznych oraz rodzinie.

Poznań 20.10.2023.

Protokołował: mgr inż. Patryk Nowak

