

## PROTOKÓŁ

z posiedzenia Komisji powołanej przez Radę Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej ds. przeprowadzenia przewodu doktorskiego mgr inż. Konrada Łyducha, w dniu 25 czerwca 2024 roku, w sprawie przyjęcia publicznej obrony rozprawy doktorskiej pt. *Automatyzacja procesu interpretacji wyników optymalizacji topologicznej*.

### Skład Komisji:

Przewodniczący:	dr hab. inż. Olaf Ciszak, prof. PP
Członkowie:	prof. dr hab. inż. Piotr Krawiec dr hab. inż. Roman Starosta dr hab. inż. Grzegorz Ślaski dr hab. inż. Maciej Tabaszewski dr hab. inż. Rafał Talar
Promotor:	prof. dr hab. inż. Michał Nowak
Recenzenci:	dr hab. Elżbieta Gawrońska, prof. PCz Politechnika Częstochowska dr hab. inż. Dariusz Bojczuk prof. PŚk Politechnika Świętokrzyska dr hab. inż. Sebastian Koziółek, prof. PWr Politechnika Wroclawska
Sekretarz:	mgr inż. Tomasz Krakowski

### Część jawna

Publiczną część obrony mgr inż. Konrada Łyducha otworzył Przewodniczący Komisji, dr hab. inż. Olaf Ciszak, prof. PP witając wszystkich zebranych uczestników posiedzenia i przedstawiając członków Komisji, Promotora, Sekretarza oraz Recenzentów pracy.

Przewodniczący podał, że otwarcie przewodu doktorskiego Konrada Łyducha, decyzją Rady Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej nastąpiło w dniu 03.06.2022 roku, natomiast praca została przyjęta dnia 22.05.2023 roku. Przewodniczący przedstawił tytuł rozprawy, a następnie poinformował zebranych o spełnieniu przez mgr inż. Konrada Łyducha wymagań formalnych, dotyczących obrony pracy doktorskiej.

Następnie Sekretarz Komisji odczytał życiorys mgr inż. Konrada Łyducha, informując o przebiegu jego pracy zawodowej i naukowej.

W dalszej kolejności Przewodniczący Komisji udzielił głosu Doktorantowi, który przedstawił główne tezy rozprawy, cele badawcze, wyniki badań oraz wnioski końcowe w formie prezentacji.

Po wystąpieniu Doktoranta głos zabrał promotor prof. dr hab. inż. Michał Nowak. Odczytując opinię z dnia 31.08.2023 roku poinformował, że praca mgr inż. Konrada Łyducha została zakończona i przez niego przyjęta. Zdaniem Promotora, praca doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim. Według jego opinii cele, jakie postawiono w pracy zostały osiągnięte. Promotor podkreślił, iż opracowane narzędzie pozwala na istotne przyspieszenie procesu projektowania części maszyn i urządzeń. Ze względu na automatyzację pracy inżyniera w dostosowaniu wyników optymalizacji topologicznej do technik wytwarzania addytywnego,

poprzez dostępność drzewa operacji w systemie CAD. Swoje wystąpienie Promotor podsumował stwierdzeniem, że praca może zostać dopuszczona do publicznej obrony, a otrzymane wyniki stanowią oryginalny i istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna w obszarze inżynierii wirtualnej, a także może zostać użyte w przemysłowym procesie projektowania mechanicznego.

Przewodniczący poprosił Recenzentów pracy o przedstawienie swoich opinii.

W pierwszej kolejności swoją opinię przedstawiła dr hab. Elżbieta Gawrońska, prof. PCz. Recenzja została złożona 4.01.2024 r. Praca została przekazana Pani recenzent z pismem Przewodniczącego Rady Dyscypliny dr. hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. Politechniki Poznańskiej. Pani profesor zwróciła uwagę na trafną identyfikację procesu przetwarzania wyników optymalizacji topologicznej jako pole do automatyzacji procesu projektowego na wczesnym etapie konstrukcyjnym. Kluczowe jest wskazanie istotności w dostępności drzewa operacji jako wygodny sposób zapisu zinterpretowanych wyników, umożliwiających ich edycję i dostosowanie do technologii wytwarzania. Następnie krótko przedstawiła charakterystykę pracy zwracając uwagę na jej strukturę i zawartość poszczególnych rozdziałów. Dr hab. inż. Elżbieta Gawrońska, prof. PCz ocenia, iż koncentracja na środowisku SolidWorks ogranicza uniwersalność metody. Dodatkowo wspominała o szeregu nieścisłości w sposobie cytowania i braku opisu rysunków we wstępie teoretycznym pracy. Podkreśliła, iż mimo zdefiniowania celów pracy, korzystne byłoby lepsze wyjaśnienie różnic pomiędzy opracowanym algorytmem, a istniejącymi rozwiązaniami. Dodatkowo zwróciła uwagę, że udostępnienie opracowanego kodu na licencji Open Source znacząco zwiększyłoby wartość pracy, ze względu na możliwość weryfikacji wyników poprzez innych naukowców. Dr hab. inż. Elżbieta Gawrońska, prof. PCz podsumowała swoją wypowiedź stwierdzeniem, że przedłożona praca doktorska pomimo uwag krytycznych spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki. Według niej dysertacja stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę doktoranta w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna oraz wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia przez nią badań naukowych, a także dojrzałość intelektualną, w związku z czym stawia wniosek o przyjęcie pracy doktorskiej przez Radę Dyscypliny.

Kolejno Przewodniczący Komisji poprosił dr hab. inż. Dariusza Bojczuka prof. PŚk o przedstawienie swojej opinii o pracy doktorskiej mgr inż. Konrada Łyducha. Praca została przekazana Panu recenzentowi z pismem Przewodniczącego Rady Dyscypliny dr. hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. Politechniki Poznańskiej. Na wstępie podkreślił znaczenie optymalizacji topologicznej jako istotnego narzędzia projektowego, z ograniczeniami wynikającymi z trudnościami w bezpośrednim stosowaniu wyników ze względu na ograniczenia technologiczne. Po krótkim przedstawieniu informacji na temat struktury pracy i podaniu liczby stron (131). Uznał, iż rozprawa zawiera dużo drobnych błędów redakcyjnych (puste przestrzenie) i edytorskich (błędne tłumaczenia i stylistyczne). Dodatkowo występują niespójności w metodzie cytowania oraz sposobie odwoływań do rysunków. Podkreślił niejasności związane z przedstawionym sposobem podziału metod optymalizacji i formułowania problemu optymalizacji, a także niespójności wzorów z wartościami przedstawionymi w tabelach. Zasugerował wykorzystanie niezmienników tensora bezwładności jako metryki pozwalającej na porównanie geometrii uzyskanego odwzorowania, względem wyniku optymalizacji topologicznej. W jego opinii pomimo krytycznych uwag, praca stanowi oryginalne rozwiązanie aktualnego i ważnego problemu badawczego. Opracowany autorski algorytm został sprawdzony na czternastu różnych przypadkach geometrycznych, co pozwoliło na

dobrą weryfikacji działania metody. W podsumowaniu dr hab. inż. Dariusza Bojczuk prof. PŚk uznał, że praca doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki. W jego opinii doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego stawiania problemów naukowych i ich rozwiązywania przy wykorzystaniu zaawansowanej znajomości zagadnień z zakresu projektowania inżynierskiego, metod komputerowych w mechanice konstrukcji, teorii optymalizacji topologicznej. Ponadto wykazał wysoką sprawność w przedmiocie samodzielnego opracowania procedur w rozwiązywaniu problemów inżynierskich występujących w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna, w związku z czym stawia wniosek o przyjęcie pracy doktorskiej przez Radę Dyscypliny.

Następnie Przewodniczący Komisji poprosił dr hab. inż. Sebastiana Koziołka o przedstawienie swojej opinii o pracy doktorskiej mgr inż. Konrada Łyducha. Praca została przekazana Panu recenzentowi z pismem Przewodniczącego Rady Dyscypliny dr. hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. Politechniki Poznańskiej. Podkreślił, iż praca zawiera głębokie i obszerne przedstawienie problematyki optymalizacji topologicznej i połączenie teorii z praktyką. Rozprawa jest imponującym i kompleksowym studium w dziedzinie optymalizacji topologicznej. Zauważył, iż praca jest dobrze napisana, lecz zawiera szereg błędów stylistycznych i edytorskich. Zwrócił uwagę na szeroki zakres przeprowadzonych testów metody, jednak podkreślił brak wykonania badań eksperymentalnych, które stanowiłyby istotną weryfikację wyników działania algorytmu. W podsumowaniu dr hab. inż. Sebastian Koziołek, prof. PWr uznał, że praca doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki. W jego opinii doktorant wykazał się znakomitą wiedzą w zakresie przetwarzania wyników optymalizacji topologicznej, szeroko pojętej automatyzacji procesów inżynierskich, a także w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna, w związku z czym stawia wniosek o przyjęcie pracy doktorskiej przez Radę Dyscypliny. Dodatkowo z uwagi na oryginalność metody i wysoki potencjał aplikacyjny metody wnioskuje do Rady Naukowej dyscypliny Inżynieria Mechaniczna o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Przewodniczący Komisji wskazał, że nastąpił czas na odpowiedzi na uwagi recenzentów. dr hab. inż. Elżbieta Gawrońska, prof. PCz poprosiła o odpowiedź na jedną z uwag wskazanych w jej recenzji:

1. *Wyjaśnić w sposób szczegółowy określenie „rozmiar elementu siatki elementów skończonych” używane w dysertacji.*

Mgr inż. Konrad Łyduch udzielił odpowiedzi:

*Do procesu optymalizacji topologicznej wykorzystuję się metodę elementów skończonych, czyli badany model bryłowy jest poddany procesowi dyskretyzacji. Oznacza to reprezentację danej geometrii przez mniejsze, objętościowo, elementy. Natomiast te elementy są reprezentowane przez węzły. W mojej interpretacji „rozmiar elementu siatki elementów skończonych” to była odległość między dwoma, sąsiednimi, najbliższymi węzłami pojedynczego elementu. Następnie w ramach dyskusji z dr hab. inż. Elżbieta Gawrońska, prof. PCz wyniknęło, że to wspomniana przez doktoranta definicja powinna być nazwana „wymiarem charakterystycznym”.*

Dr hab. inż. Dariusza Bojczuka prof. PŚk nie zgłosił pytań do doktoranta w tej części obrony.

Przewodniczący Komisji poprosił doktoranta o odpowiedź na dwa pytania dr hab. inż. Sebastian Koziółka, prof. PWR:

1. *Czy uwzględnił/uwzględni Pan dostosowanie swojej metody do optymalizacji modeli powłokowych?*

Mgr inż. Konrad Łyduch udzielił odpowiedzi:

*Przedstawiona przeze mnie metoda nie będzie do końca współpracować, z modelami powłokowymi. W teorii jest to możliwe. Jednakże nawiązując to tego, co powiedziałem wcześniej, w trakcie prezentacji, jeżeli wynik optymalizacji topologicznej, który jest następnie interpretowany przez opracowaną przeze mnie metodę, charakteryzując się mniejszą objętością niż 15% początkowej objętości optymalizowanego elementu to pojawi się problem występowania cienkich ścianek. W takiej sytuacji mamy do czynienia z elementami, które przypominają swoją budową układy kratownic. Dużą lepszą metodą do współpracy, interpretacji, takich wyników są rozwiązania oparte o szkieletonizację, które były przedstawione w publikacjach naukowych. W moim przekonaniu, modele powłokowe, byłyby znacznie lepiej odwzorowane przez tę właśnie metodę. Aktualnie opracowany przeze mnie algorytm będzie w stanie współpracować z geometrami powłokowymi, ale skuteczność, zmierzona przez parametry prawdziwie pozytywnej frakcji PPF, czy masy nadmiarowej, będzie gorsza, niż przedstawiono to modelach testowych omówionych w trakcie prezentacji. Dlatego sugerowałbym skorzystać, z narzędzi szkieletonizacji, które lepiej sprawdzą się dla takiego przypadku.*

2. *Czy uwzględni Pan różne obciążenia w tej metodzie optymalizacji topologicznej? Na przykład obciążenia termiczne, obciążenia o charakterze udarowym, obciążenia o charakterze zmęczeniowym*

Mgr inż. Konrad Łyduch udzielił odpowiedzi:

*Dla opracowanej przeze mnie metody nie ma znaczenia jaki typ obciążeń zostanie zastosowany, w optymalizowanej geometrii. Opisana metoda się tą kwestią nie zajmuje. Z punktu widzenia stworzonego algorytmu, istotny jest wynik końcowy procesu optymalizacji topologicznej. To jakim narzędziem zostanie zrealizowana optymalizacja topologiczna, czy zostanie wykorzystanie autorskie oprogramowanie, czy rozwiązanie komercyjne jest bez znaczenia. Istotne jest, aby wynik procesu optymalizacji został przedstawiony w postaci siatki elementów skończonych, która będzie opracowana przez omawiany algorytm. W związku z tym optymalizacja topologiczna może być zrealizowana za pomocą różnych typów obciążeń, między innymi wymienionymi przez Pana. Jednakże modele testowe wykorzystane do opracowania opisywanej metody, były obciążone wyłącznie wektorami sił. Dlatego istnieje możliwość, że wyniki optymalizacji, gdzie występują obciążenia termiczne, nie będą w pełni poprawnie zinterpretowane przez opracowany algorytm. Skłaniam się jednak ku temu, że opracowana metoda zapewni ostatecznie wyniki na satysfakcjonującym poziomie.*

Następnie Przewodniczący Komisji otworzył publiczną dyskusję nad przedstawioną rozprawą doktorską, zwracając się z prośbą o sformułowanie pytań w formie pisemnej. Zadano trzy pytania w formie pisemnej i jedno w formie ustnej:

1. Dr hab. inż. Dariusz Bojczuk prof. zadał pytanie w formie pisemnej:

*Czy rozwiązanie uzyskane metodą TOCRIM jest jednoznaczne? Proszę o rozpoczęcie dyskusji*

Mgr inż. Konrad Łyduch udzielił odpowiedzi:

*Uzyskane wyniki były w większości przypadków satysfakcjonujące. Jednakże dla zaprezentowanych 5 skrajnych przypadków, które były porównane pod względem naprężeń pokazało, że proces automatyzacji nie jest idealny. Wyniki dla wspomnianych modeli nie były satysfakcjonujące. Dlatego automatyzacja to jedna kwestia, natomiast drugą jest potrzeba ingerencji użytkownika czy konstruktora. Ponadto pojawiła się sugestia od dr hab. inż. Elżbieta Gawrońska, prof. PCz, odnośnie do uwzględnienia pomiaru charakterystyk drgań uzyskanych geometrii. Jednakże ze względu na brak, cennego dla nas wszystkich, czasu, nie zrobiłem takich analiz. Wyniki uzyskane przez metodę TOCRIM są powtarzalne, będą jednoznaczne i zawsze takie same, dla wybranego wyniku.*

2. Dr hab. inż. Olaf Ciszak, prof. PP zadał pytanie w formie pisemnej:

*Według jakiej hipotezy wytrzymałościowej obliczone zostały naprężenia zredukowane przedstawione w prezentacji (slajd 32/34)? Czy przedstawione wartości to naprężenia dopuszczalne, czy maksymalne?*

Mgr inż. Konrad Łyduch udzielił odpowiedzi:

*To były naprężenia maksymalne, według hipotezy Hubera-Misesa.*

3. Dr hab. inż. Grzegorz Ślaski zadał pytanie w formie pisemnej:

*Które elementy opracowanej metody automatyzacji interpretacji wyników optymalizacji topologicznej (OT) uważa Pan za najbardziej nowatorskie w stosunku do prac innych badaczy w obszarze przenoszenia wyników OT do środowiska CAD?*

Mgr inż. Konrad Łyduch udzielił odpowiedzi:

*Jedna kwestia nasuwa mi się najbardziej, będąca odpowiedzią na Pańskie pytanie. Mam tu na myśli wspomniane dzisiaj, wielokrotnie, drzewo operacji. Metoda, którą dzisiaj przedstawiłem nie jest pierwszym czy jedynym podejściem do kwestii automatyzacji wyników optymalizacji topologicznej. Jest kilka publikacji naukowych, które poruszają to zagadnienie, między innymi jednym z zaproponowanych rozwiązań jest wspomniana wcześniej szkieletonizacja. Jednakże w większości zaproponowanych przypadków są to rozwiązania autorskie, które nie współpracują z komercyjnym oprogramowaniem CAD, czyli Catia, Inventor, czy wykorzystany przeze mnie SolidWorks. Natomiast w moim rozwiązaniu, uzyskany model bryłowy jest od razu przeniesiony do środowiska CAD. W moim przypadku jest to tylko pojedyncze oprogramowanie. Jednakże udało się udowodnić, że możliwe jest odtworzenie wyniku optymalizacji topologicznej z wykorzystaniem komercyjnego oprogramowania CAD. Dlatego, przeznaczając w przyszłości odpowiednią ilość czasu można, opracowaną metodę, poszerzyć liczbę obsługiwanych, komercyjnych programów, definiujących geometrię w środowisku CAD z dostępem do drzewa operacji. Zapewne są firmy, które też korzystają ze swoich wewnętrznych rozwiązań, ale znacząca liczba przedsiębiorstw wykupuje licencję na opracowane przez zewnętrzne firmy, komercyjne rozwiązania. Dlatego najbardziej nowatorskim elementem mojej rozprawy doktorskiej jest dostęp do drzewa operacji CAD, w porównaniu do rozwiązań proponowanych w innych publikacjach naukowych. Pojawiały się już rozwiązania pozwalające na uzyskanie modelu bryłowego.*

4. Dr hab. inż. Roman Starosta zadał pytanie w formie ustnej:

*Ostateczny model CAD ma nieco większą masę od wygenerowanego w procesie optymalizacji? Mimo to naprężenia w modelu zinterpretowanym są większe od interpretowanej struktury, dlaczego tak się dzieje?*

Mgr inż. Konrad Łyduch udzielił odpowiedzi:

*Jest to kwestia związana z pojedynczymi fragmentami ścian czy krawędzi. Fakt, że proces automatyzacji był ograniczony, to skutkowało powstawaniem cienkich ścian oraz krawędzi, w których gromadziły się naprężenia. Pomimo pojawienia się nadmiarowej masy w modelach, utworzonych przez opracowaną metodę, występowały także fragmenty o zdecydowanie mniejszej grubości, w stosunku do tego co sugerował system optymalizacji topologicznej. W tych miejscach pojawiały się naprężenia, które były odpowiedzialne za skok/przyrost uśrednionych wyników zredukowanych naprężeń.*

Odpowiedzi Doktoranta zadowolili w pełni Recenzentów i dyskutantów, wobec czego Przewodniczący Komisji zamknął jawną część posiedzenia.

#### *Część niejawna*

Otwierając niejawną część posiedzenia Komisji, Przewodniczący dr hab. inż. Olaf Ciszak, prof. PP poinformował, że po dyskusji odbędzie się głosowanie nad wystąpieniem do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej na Wydziale Inżynierii Mechanicznej z wnioskiem o nadanie stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno – technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. W dyskusji kolejno głos zabrali:

- Recenzent dr hab. Elżbieta Gawrońska, prof. PCz ponownie podkreśliła liczne błędy stylistyczne i edytorskie występujące w pracy i ograniczające przejrzystość rozprawy. Podkreśliła jednak, że końcowa prezentacja wyników na publicznej obronie rozprawy doktorskiej została przeprowadzona wzorowo i wyjaśniała większość nieścisłości
- Recenzent dr hab. inż. Dariusz Bojczuk prof. PŚk zwrócił uwagę na świetną i zwięzłą prezentację doktoranta, a także przychylił się do uwag odnośnie do strony edytorskiej rozprawy.
- Recenzent dr hab. inż. Sebastian Koziółek, prof. PWr zaakcentował bardzo dobre przygotowanie doktoranta do prezentacji. Podkreślił oryginalność i wysoki poziom merytoryczny badań. Dodatkowo, uwzględniając wysoki potencjał aplikacyjny i możliwości patentowe części algorytmu złożył wniosek o wyróżnienie pracy
- Dr hab. inż. Grzegorz Ślaski stwierdził, że praca jest bardzo dobra, a prezentacja została dopracowana.
- Prof. dr hab. inż. Piotr Krawiec powiedział, że docenia zwięzłość prezentacji i zgodził się z przedmówcami
- Dr hab. inż. Roman Starosta powiedział, że praca zrobiła na nim pozytywne wrażenie. Podkreślił bardzo dobrą prezentację i zwięzłość w odpowiedziach

- Dr hab. inż. Maciej Tabaszewski, prof. PP pokreślił, że praca jest kompletna i stanowi spójną całość. Zgodził się w temacie płynności i precyzji prezentacji
- Dr hab. inż. Rafał Talar uznał, że praca jest kompletna i rozwiązuje postawiony problem naukowy.
- Promotor prof. dr hab. inż. Michał Nowak uznał, że praca jest bardzo przyszłościowa i ma przemysłowy potencjał aplikacyjny oraz zasugerował przyszłe próby zgłoszeń patentowych.
- Przewodniczący komisji dr hab. inż. Olaf Ciszak, prof. PP wyraził opinię, że przedstawiona praca jest na wysokim poziomie naukowym, zaś sama prezentacja była bardzo dobra.

Po wypowiedziach członków Komisji, Przewodniczący zarządził tajne głosowanie w sprawie wniosku do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej na Wydziale Inżynierii Mechanicznej o nadanie mgr inż. Konradowi Łyduchowi stopnia naukowego doktora. W wyniku głosowania na 10 oddanych głosów stwierdzono 10 głosów popierających ten wniosek (TAK).

Dr hab. inż. Olaf Ciszak, prof. PP stwierdził, że głosowanie jest jednomyślne i tym samym, jako Przewodniczący Komisji przedstawi Radzie Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna wniosek o nadanie mgr inż. Konradowi Łyduchowi stopnia naukowego doktora w dziedzinie **nauk inżynieryjno - technicznych** w dyscyplinie naukowej **inżynieria mechaniczna**.

W kolejnej części przewodniczący, zgodnie z prośbą recenzenta, zarządził głosowanie w sprawie wyróżnienia rozprawy doktorskiej ze względu na jej oryginalność i wysoką wartość merytoryczną. W wyniku głosowania na 10 oddanych głosów stwierdzono 9 głosów popierających ten wniosek (TAK). W związku z tym przewodniczący powiedział, że zostanie również sporządzony wniosek o **wyróżnienie rozprawy doktorskiej**.

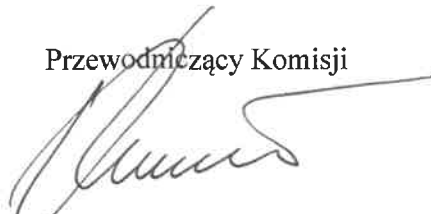
Po zakończeniu obrad części niejawniej Komisja udała się do sali Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej, gdzie Przewodniczący przedstawił wynik głosowania oraz złożył gratulacje mgr inż. Konradowi Łyduchowi. Następnie Kandydat podziękował Promotorowi, Recenzentom, członkom Komisji i wszystkim zebranych. Na tym posiedzenie zakończono.

Sekretarz Komisji



mgr inż. Tomasz Krakowski

Przewodniczący Komisji



dr hab. inż. Olaf Ciszak, prof. PP