

PROTOKÓŁ

z posiedzenia Komisji powołanej przez Radę Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej ds. przeprowadzenia przewodu doktorskiego mgr inż. Natalii Lewandowskiej, w dniu 30 września 2022 roku, w sprawie przyjęcia publicznej obrony rozprawy doktorskiej pt. *Modelowanie numeryczne i analiza przepływu cieczy nie-newtonowskich przez kanały rozgałęzione o ściankach elastycznych w kontekście biomechaniki*.

Skład Komisji:

Przewodniczący:	prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko
Członkowie:	prof. dr hab. Ewa Stachowska prof. dr hab. inż. Ewa Tuliszcza-Sznitko dr hab. inż. Tomasz Stręk, prof. PP dr hab. inż. Michał Rychlik dr hab. inż. Witold Stankiewicz dr hab. inż. Piotr Paczos, prof. PP
Promotor:	prof. dr hab. inż. Michał Ciałkowski
Promotor pomocniczy:	dr inż. Jędrzej Mosiężny
Recenzenci:	dr hab. inż. Sylwia Hożejowska, prof. PŚw. – Politechnika Świętokrzyska prof. dr hab. inż. Dawid Taler – Politechnika Krakowska
Sekretarz:	dr inż. Wojciech Judt

Publiczną część obrony mgr inż. Natalii Lewandowskiej otworzył Przewodniczący Komisji, prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko witając wszystkich zebranych uczestników posiedzenia i przedstawiając członków Komisji, Promotora, Sekretarza oraz Recenzentów pracy.

Przewodniczący podał, że otwarcie przewodu doktorskiego Natalii Lewandowskiej, decyzją Rady Wydziału Inżynierii Transportu nastąpiło w dniu 29.01.2019 roku, natomiast praca została przyjęta dnia 23.05.2022 roku. Przewodniczący przedstawił tytuł rozprawy, a następnie poinformował zebranych o spełnieniu przez mgr inż. Natalię Lewandowską wymagań formalnych, dotyczących obrony pracy doktorskiej i zdaniu egzaminów z przedmiotów:

- kierunku: *Numeryczne modelowanie przepływu*,
- dodatkowego: *Podstawy ekonomii*,
- języka obcego nowożytnego: *Język angielski*.

Następnie Sekretarz Komisji odczytał życiorys mgr inż. Natalii Lewandowskiej, informując o przebiegu jej pracy zawodowej i naukowej.

W dalszej kolejności Przewodniczący Komisji udzielił głosu Doktorantce, która przedstawiła główne tezy rozprawy, cele badawcze, wyniki badań oraz wnioski końcowe.

Po wystąpieniu Doktorantki głos zabrał promotor prof. dr hab. inż. Michał Ciałkowski. W związku sposób poinformował, że praca mgr inż. Natalii Lewandowskiej została zakończona i przez niego przyjęta. Zdaniem Promotora, praca doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim. Według Promotora praca rozwiązuje problem naukowy dotyczący przygotowania narzędzia diagnostycznego pozwalającego na wsparcie pracy chirurgów naczyniowych w rozpoznawaniu choroby miażdżycy u pacjentów. Według jego opinii cele, jakie postawiono w pracy zostały osiągnięte. Swoje wystąpienie Promotor podsumował stwierdzeniem, że praca może zostać dopuszczona do publicznej obrony, zaś dorobek doktorantki jest na bardzo wysokim poziomie.

Przewodniczący poprosił Recenzentów pracy o przedstawienie swoich opinii. W pierwszej kolejności swoją opinię przedstawiła dr hab. inż. Sylwia Hożejowska, prof. PŚw. Praca została przekazana Pani recenzent z pismem Przewodniczącego Rady Dyscypliny dr. hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. Politechniki Poznańskiej. Pani profesor zwróciła uwagę na ważną tematykę pracy, dotyczącą określenia wpływu kształtu tętnicy szyjnej na prawdopodobieństwo występowania zmian miażdżycowych u pacjenta, co ściśle związane jest z charakterem przepływu krwi przez tętnicę. Prof. Hożejowska wyraziła zdanie, że opracowanie narzędzia pozwalającego diagnozowanie miażdżycy jest bardzo ważne, zaś tematyka pracy jest istotna z punktu widzenia mechaniki, biomechaniki oraz medycyny. Recenzent podkreśliła, że praca została przygotowywana w oparciu o rzeczywiste dane pomiarowe, które pozyskano w ramach prowadzonej współpracy z chirurgami naczyniowymi ze szpitala MSWiA w Poznaniu. W opinii Pani recenzent praca mgr inż. Natalii Lewandowskiej jest pracą interdyscyplinarną. Co do układu pracy, został on uznany za prawidłowy. W dalszej części swojej wypowiedzi prof. Hożejowska poruszyła kwestię poczynionych przez nią uwag do pracy, które jednak nie rzutują na całkowity, pozytywny odbiór pracy. Przekazała, że w rozprawie nie zawarto informacji o kryteriach doboru parametrów dotyczących przygotowania siatki obliczeniowej. Ponadto zwróciła uwagę na brak poruszenia w pracy zagadnienia dotyczącego dokładności pomiarowej podczas pozyskiwania danych pomiarowych ze zdjęć medycznych. Według Pani profesor tematyka przedstawionej rozprawy jest interesująca oraz nowatorska, zaś jej największą zaletą jest bardzo wysoka interdyscyplinarność. Dr hab. inż. Sylwia Hożejowska, prof. PŚw. podsumowała swoją wypowiedź stwierdzeniem, że przedłożona praca doktorska 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 doktorantki w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna oraz wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia przez nią badań naukowych, w związku z czym stawia wniosek o przyjęcie pracy doktorskiej przez Radę Dyscypliny.

Kolejno prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko poprosił prof. dr. hab. inż. Dawida Talera o przedstawienie swojej opinii o pracy doktorskiej magister inżynier Natalii Lewandowskiej. Recenzent na wstępie poinformował, że przedstawi jedynie najważniejsze punkty swojej opinii. Recenzent zauważył, że praca ma duże znaczenie poznawcze oraz praktyczne. Powiedział, że głównym celem rozprawy było wyznaczenie parametru diagnostycznego pozwalającego na przeprowadzanie analiz dotyczących określania prawdopodobieństwa wystąpienia zmian miażdżycowych u pacjenta. Według recenzenta praca ma bardzo duże znaczenie naukowe i praktyczne. Prof. Taler przyznał, że ważnym osiągnięciem naukowym zawartym w przedłożonej rozprawie jest propozycja parametru diagnostycznego P , który może być z powodzeniem stosowany w praktyce. Według recenzenta kandydatka potwierdziła postawioną tezę badawczą. Recenzent ocenił wysoko przedłożoną pracę doktorską. W jego opinii doktorantka osiągnęła wszystkie cele stawiane w swojej pracy. Recenzent stwierdził, że praca spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim, określone Ustawą o Stopniach i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w zakresie Sztuki, zatem wnioskuje do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Następnie przewodniczący wskazał, że nastąpił czas na odpowiedzi na uwagi recenzentów. dr hab. inż. Sylwia Hożejowska, prof. PŚw. poprosiła o odpowiedź na jedną uwagę wskazaną w jej recenzji:

W jaki sposób dokonano doboru parametrów siatki obliczeniowej, zapewniającej stabilność i dokładność prowadzonych obliczeń numerycznych.

Mgr inż. Natalia Lewandowska udzieliła odpowiedzi:

Na potrzeby studium zbieżności siatki wykonano trzy siatki obliczeniowe o współczynniku zagęszczenia siatki równym 2. Siatki miały kolejno ilości elementów równe: 250 000, 500 000 (rozmiar użyty w ostatecznej symulacji) oraz 1 000 000. Wyznaczenie wskaźnika zbieżności siatki pozwoliło określić, że błąd wynikający ze zbyt małego rozmiaru siatki jest w zakresie asymptotycznym zbieżności dla wyżej przedstawionych przypadków, w związku z tym rozmiar 500 000 elementów jest prawidłowy.

Następnie przewodniczący poprosił doktorantkę o odpowiedź na pytanie Pana prof. dr hab. inż. Dawida Talera. Pan recenzent poinformował, że otrzymał od doktorantki odpowiedź na wszystkie uwagi w formie pisemnej, w związku z czym jest usatysfakcjonowany i nie oczekuje odpowiedzi na żadne pytanie w formie ustnej.

Następnie Przewodniczący otworzył publiczną dyskusję nad przedstawioną rozprawą doktorską, zwracając się z prośbą o sformułowanie pytań w formie pisemnej. Zadano w sumie piętnaście pytań, zarówno w formie pisemnej jak i ustnej:

1. dr hab. inż. Rafał Ślefarski, prof. PP zadał pytanie w formie pisemnej:

Czy opracowywany przez Panią model numeryczny dla przepływu krwi może być stosowany do obliczeń przepływu innych płynów nienewtonowskich stosowanych w technice? Jeżeli nie, to jakie zmiany należy według Pani wprowadzić do modelu?

Mgr inż. Natalia Lewandowska udzieliła odpowiedzi:

Sam model krwi jest prostą funkcją matematyczną opisującą zależność zmiany lepkości od prędkości odkształcenia. Zmieniając stałe w tym równaniu, można zmodyfikować je tak by odzwierciedlały nienewtonowskie właściwości, np. olejów lub smarów.

2. Prof. dr hab. Ewa Stachowska zadała pytanie w formie pisemnej:

Jakie podstawowe różnice w programowaniu widziałyby Pani za niezbędne, gdyby symulacje dotyczyły rozgałęzień głównych żył?

Mgr inż. Natalia Lewandowska udzieliła odpowiedzi:

Należałoby w tym przypadku rozważyć inny warunek wlotu oraz inny model lepkości krwi. Żył są wymiarowo mniejsze od tętnic, a do tego są kanałami wielokrotnie rozdzielającymi się. Przez to wpływ elastyczności ścianki jest mniejszy - można dla lepszego odzwierciedlenia rozkładu strumienia masy zastosować model drzewek strukturalnych. Stosowany przeze mnie model krwi – Carreau, bardzo dobrze się sprawdza w przypadku tętnic, jednak w przypadku żył należałoby brać pod uwagę inne modele (takie jak model potęgowy, model Cassona, Yasudy itp.)

3. Dr inż. Przemysław Grzymisławski zadał pytanie w formie pisemnej:

Jakiego oprogramowania użyła Pani w ramach prowadzonych badań?

Mgr inż. Natalia Lewandowska udzieliła odpowiedzi:

Geometrię wyekstrahowano z plików DICOM za pomocą oprogramowania 3dSlicer. Geometrię wygładzono oraz przygotowano pod siatkę obliczeniową w dwóch programach: Meshmixer oraz Spaceclaim. Siatkę obliczeniową wykonano w programie Fluent Meshing, natomiast same symulacje w programie Ansys Fluent. Skrypty dla warunków brzegowych napisano w języku C. Do obróbki danych użyto skryptów autorskich napisanych w środowisku Python oraz w otwartoźródłowym programie Paraview. Do drobnych obliczeń na bieżąco był użyty program Excel.

4. Dr inż. Paweł Czyżewski zadał pytanie w formie pisemnej:

Jak można zinterpretować stałe występujące w równaniu opisującym model pulsacji ciśnienia?

Mgr inż. Natalia Lewandowska udzieliła odpowiedzi:

Opór naczyniowy charakterystyczny (r) odpowiada za spadki ciśnień na skutek, m.in. otwarcia i zamknięcia zastawki aortalnej serca. Opór naczyniowy (R) to opór jaki trzeba pokonać, by przetłoczyć płyn przez tętnice. Pojemność naczyniowa (C) jest rozumiana jako przyrost objętości na skutek odkształcenia naczyń do sumarycznego spadku ciśnienia spowodowanego tym odkształceniem. W literaturze pojemność naczyniowa jest często interpretowana jako odwrotność modułu Younga.

5. Dr hab. inż. Michał Rychlik zadał dwa pytania w formie pisemnej:

Na slajdzie nr 10 pokazano modele 3D wykonane na podstawie danych CT. Czy modele pokazują średnice wewnętrzne tętnic, czy też średnice zewnętrzne? Czy sprawdzano jaka jest średnica całkowita tętnic w miejscach przewężenia?

Czy można wnioskować o genetycznych uwarunkowaniach powstawania zmian miażdżycowych w przypadku zbadania przypadków geometrii już zmierzonych (chorych) tętnic dla tak stosunkowo małej grupy badanych?

Mgr inż. Natalia Lewandowska udzieliła odpowiedzi:

W przypadku tętnic obciążonych zlogami dokonano rekonstrukcji do ukształtowania tętnicy zdrowej. Pomiarów dotyczą średnic wewnętrznych tętnic. Tak, dokonano również pomiaru całkowitej średnicy tętnic w miejscach przewężenia.

Proponowany parametr diagnostyczny powstał dla małej grupy pacjentów i został wstępnie skalibrowany pod tą właśnie grupę, co wystarczyło by udowodnić hipotezę badawczą rozprawy doktorskiej. Oczywiście, by parametr był jak najbardziej uniwersalny, należy go zweryfikować i skalibrować dla większej grupy pacjentów - takie są badania na przyszłość.

6. Prof. dr hab. Ewa Tuliszcza-Sznitko zadała pytanie w formie pisemnej:

Jaki charakter przepływu występuje w drzewie naczyniowym? Kiedy przepływ jest laminarny, a kiedy turbulentny? Czy patologiczne zmiany w naczyniu turbulizują przepływ?

oraz ustnej:

Czy skład krwi zmienia się w kierunku prostopadłym do ścianki?

Mgr inż. Natalia Lewandowska udzieliła odpowiedzi:

W przypadku prawidłowych żył i tętnic przepływ krwi jest laminarny. Pod wpływem złożeń dochodzi do lokalnego przewężenia, które może sturbulizować przepływ zwiększając podatność na dalsze odkładanie się złożeń w okolicach ścianek.

Skład krwi zmienia się w kierunku prostopadłym do ścianek - wraz ze zmianą prędkości odkształcenia zmienia się lepkość, a zmiana lepkości jest związana z hematokrytem, czyli ilością czerwonych krwinek.

7. Dr hab. inż. Witold Stankiewicz zadał dwa pytania w formie pisemnej:

W jakim stopniu na zdjęciach z obrazowania medycznego rozróżnialne są tętnice od blaszek miażdżycowych?

Czy kształt przekroju poprzecznego kanału tętniczego pozostaje okrągły wraz z pojawianiem się złożeń?

Mgr inż. Natalia Lewandowska udzieliła odpowiedzi:

Zmiany miażdżycowe są bardzo wyraźnie widoczne, ponieważ tomografia komputerowa została wykonana z kontrastem, więc tętnice można rozpoznać obserwując, w którym miejscu przepływa krew. Jeżeli w danym przekroju przepływ się zwęża albo tętnica staje się niewidoczna, świadczy to właśnie o obecności blaszki miażdżycowej.

W zależności od kształtu złożeń, kształt przekroju poprzecznego kanału tętniczego się zmienia - kołowy pozostaje tylko w przypadku złożeń warstwowych.

8. Dr inż. Radosław Jankowski zadał pytanie w formie pisemnej:

Jakie było kryterium zbieżności symulacji?

Mgr inż. Natalia Lewandowska udzieliła odpowiedzi:

Symulacje uznawano za zbieżne po zbilansowaniu się strumienia masy i po uzyskaniu pożądanego przebiegu prędkości w punktach kontrolnych obecnych głównie w opuszcce i tętnicach wylotowych.

9. Dr inż. Bartosz Ciupek zadał pytanie w formie pisemnej:

W jaki sposób uwzględniła Pani w symulacji właściwości nienewtonowskie krwi? Czym charakteryzuje się ta właściwość płynu w przypadku krwi?

W czasie odczytywania tego pytania dr inż. Bartosz Ciupek zauważył, że odpowiedź na to pytanie padła już wcześniej, dzięki czemu jest usatysfakcjonowany.

10. Dr inż. Bartosz Ziegler zadał pytanie w formie pisemnej:

Czy jako geometryczne parametry modelu były rozważane inne parametry? Takim przykładowym parametrem blisko związanym z gradientem ciśnienia mogłaby być, np. $\frac{\partial A}{\partial x}$ lub jej bezwymiarowa wersja.

Mgr inż. Natalia Lewandowska udzieliła odpowiedzi:

Samej prędkości zmiany przekroju poprzecznego nie uwzględniono w sposób bezpośredni - zrobiono to pośrednio poprzez ustalenie długości opuszki i maksymalnego przekroju poprzecznego w samej opuszce.

11. Dr hab. inż. Tomasz Stręk, prof. PP zadał pytanie w formie pisemnej:

Czy brała Pani pod uwagę możliwość rozwiązywania bezwymiarowych równań CFD, co pozwoliłoby na kolejne uogólnienie wyników i wniosków?

Mgr inż. Natalia Lewandowska udzieliła odpowiedzi:

Brałam pod wagę bezwymiarowe podejście do rozwiązywania równań CFD, jednak ostatecznie zdecydowałam się na podejście bazujące na wielkościach uśrednionych.

12. Prof. dr hab. inż. Tomasz Łodygowski zadał pytanie w formie ustnej:

Jaki związek konstytutywny zastosowano podczas modelowania właściwości ścianki tętnicy, gdyż sztywność tętnicy zmienia się z wiekiem pacjenta. W jaki sposób uwzględniono prędkość deformacji w procesie modelowania.

Mgr inż. Natalia Lewandowska udzieliła odpowiedzi:

Brałam pod uwagę uwzględnienie prędkości deformacji w procesie modelowania, jednak dokonany przegląd literaturowy pokazał, że rozkład naprężeń w przypadku symulacji na sztywnej ściance pokazuje te same tendencje przepływowe oraz takie same obszary spadku naprężeń. Zdecydowano się więc na nieuwzględnienie deformacji ścianki. Elastyczność ścianki uwzględniono tylko w warunku brzegowym wlotu, by odzwierciedlić prawidłowo pulsację ciśnienia.

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

Otwierając niejawną część posiedzenia Komisji, Przewodniczący prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko 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 (poprzednio nauk technicznych), w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. W dyskusji kolejno głos zabrali:

- Recenzent dr hab. inż. Sylwia Hożejowska, prof. PŚw. Według niej doktorantka starała się zastosować zasady mechaniki przy analizie zjawisk medycznych, z czym wcześniej Pani recenzent się nie spotkała. Praca ma w jej opinii charakter nowatorski. Według jej opinii obrona pracy przebiegała na wysokim poziomie.
- Recenzent prof. dr hab. inż. Dawid Taler odbiera pracę pozytywnie, ponadto podtrzymuje wniosek o wyróżnienie pracy. Uważa, że miazdzyca jest bardzo skomplikowanym problemem.
- Prof. dr hab. Ewa Stachowska zgadza się, że poruszona tematyka jest skomplikowana i uważa, że dobrze, że taka praca powstała. Ocenia ją jako wartościową.
- Prof. dr hab. inż. Ewa Tuliszcza-Sznitko jest za przyjęciem pracy, podobała jej się swoboda odpowiedzi doktorantki na pytania. Według niej poruszona tematyka jest ważna. Uważa ponadto poruszone w pracy zagadnienia, jako przyszłościowe.

- Dr hab. inż. Tomasz Stręk, prof. PP poprze wnioszek o nadanie doktorantce stopnia doktora. Profesor powiedział, że sam zajmował się w przeszłości przepływami krwi. Docenia wkład pracy i nakład czasu poświęcony na przygotowanie pracy.
- Dr hab. inż. Michał Rychlik: pracę odbieram pozytywnie. Doktorantka bardzo szczegółowo przedstawiła swoją pracę. Zauważam możliwości dalszej analizy tematu z wykorzystaniem zgromadzonego materiału, które mogłyby być związane z analizą obciążenia genetycznego pacjentów.
- Dr hab. inż. Witold Stankiewicz zauważył, że praca wymagała dużej wiedzy programistycznej doktorantki, gdyż wiele modeli zostało przez doktorantkę zaimplementowane samodzielnie. Zwrócił uwagę na wysokie kompetencję doktorantki.
- Dr hab. inż. Piotr Paczos, prof. PP: praca jest bardzo ciekawa, interdyscyplinarna oraz bardzo przekrojowa. Według niego praca ma wysokie możliwości aplikacyjne. Docenił swobodę wypowiedzi doktorantki podczas odpowiedzi na pytania.
- Promotor pracy prof. dr hab. inż. Michał Ciałkowski przyznał, że praca z mgr inż. Natalią Lewandowską była dla niego dużą przyjemnością.
- Przewodniczący komisji prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko 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. Natalii Lewandowskiej stopnia naukowego doktora. W wyniku głosowania na 10 oddanych głosów stwierdzono 10 głosów popierających ten wniosek (TAK).

Prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko stwierdził, że głosowanie jest jednomyślne i tym samym, jako Przewodniczący Komisji przedstawi Radzie Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna wniosek o nadanie mgr inż. Natalii Lewandowskiej stopnia naukowego doktora w dziedzinie **nauk inżynieryjno - technicznych** (poprzednio **nauk technicznych**) w dyscyplinie naukowej **inżynieria mechaniczna** (poprzednio **budowa i eksploatacja maszyn**).

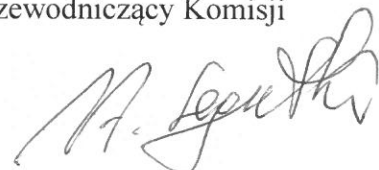
Po zakończeniu obrad części niejawniej Komisja udała się do sali Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, gdzie Przewodniczący przedstawił wynik głosowania oraz złożył gratulacje magister inżynier Natalii Lewandowskiej. Następnie Kandydatka podziękowała Promotorowi, Recenzentom, członkom Komisji i wszystkim zebranym. Na tym posiedzenie zakończono.

Sekretarz Komisji



mgr inż. Wojciech Judt

Przewodniczący Komisji



prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko

