



Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

dr hab. inż. Łukasz Sadowski, profesor Uczelni

Wrocław, 12.06.2021

Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Wybrzeże Wyspiańskiego 27

50-370 Wrocław

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Łukasza Zdanowicza

pt. „Wpływ polimerowego złącza podatnego

na pracę połączonych elementów betonowych”

1. Przedmiot i podstawa opracowania recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgra inż. Łukasza Zdanowicza pt. „Wpływ polimerowego złącza podatnego na pracę połączonych elementów betonowych”, opracowana na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Arkadiusz Kwiecień, a promotorem pomocniczym dr inż. Szymon Seręga. Przedstawiona rozprawa dotyczy problematyki z zakresu budownictwa ogólnego, więc mieści się w zakresie dyscypliny inżynieria lądowa i transport. Przedmiotem oceny, zgodnie z art. 187 ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, jest sprawdzenie, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi prośba Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, sformułowana w piśmie z dnia 24 kwietnia 2021 roku (L0.510.2.1.2021), podpisanym przez Dziekana Wydziału Pana prof. dra hab. inż. Andrzeja Szarotę.

DZIEKANAT	
Wydziału Inżynierii Lądowej	
Wpłynęło dnia...	21.06.2021
L. dz.	L0.510.2.1.2021
podpis...	<i>Naucz</i>

2. Opis ogólny rozprawy

Rozprawa doktorska została przedłożona w formie pliku *pdf i liczy 242 strony. Rozprawa datowana jest na rok 2021 i została napisana w języku polskim, składa się z 6 rozdziałów. Bibliografia liczy kilkaset pozycje literatury, w tym norm. Na końcu rozprawy wymieniono 15 pozycji Autora, w tym 6 współautorskich publikacji w czasopismach i monografiach (w tym 1 w przygotowaniu) oraz 6 publikacji w materiałach konferencyjnych. Prace te były opracowywane i opublikowane podczas realizacji rozprawy. Do tej pory doczekały się wielu cytowań, w tym z czołowych uczelni światowych, do których niewątpliwie można zaliczyć Politecnico di Milano, Delft University of Technology, czy Ghent University.

Treść rozprawy poprzedza streszczenie w języku polskim i angielskim. Następnie Autor przedstawił podziękowania, w których zawarł również drogę przebytą przez Niego do opracowania rozprawy. Zaraz po spisie treści Autor przedstawił spis ważniejszych oznaczeń użytych w tekście Rozprawy zawierający symbole łacińskie i symbole greckie. Rozdział 1 zawiera motywację, cel, zakres oraz założenia i ograniczenia rozprawy. W rozdziale 2 dokonano syntetycznego przeglądu stanu wiedzy w zakresie odkształceń wymuszonych takich jak oddziaływanie temperatury, skurcz betonu oraz osiadanie gruntu i fundamentów. W dalszej części rozprawy Autor omówił występujące między innymi w posadzkach, nawierzchniach betonowych, tunelach, elementach ściennych, dylatacjach, połączeniach elementów uszkodzenia wywołane odkształceniami wymuszonymi. W końcowej części rozdziału 2 Autor omówił popularne w praktyce metody napraw i wzmocnienia betonu, w tym zwrócił uwagę na polimerowe złącze podatne jako na alternatywną metodę naprawczą. Rozdział 3 jest niejako kontynuacją przedstawiania przez Autora istniejącego stanu wiedzy, ale tym razem w zakresie wybranych właściwości materiałów takich jak właściwości mechaniczne oraz odkształcenia termiczne i skurczowe betonu. W kolejnej części tego rozdziału Autor skupił się na omówieniu właściwości mechanicznych i fizycznych polimerów budujących złącza podatne, a także istniejących modeli teoretycznych materiałów polimerowych i miar odkształceń polimerów oraz istniejących wyników badań w zakresie różnych typów polimerowych złącz podatnych. W sumie przegląd literatury zawarty między innymi w rozdziałach 2 i 3 liczy ponad 74 strony. Rozdział 4 to badania własne. W pierwszej części tego rozdziału opisany został program, metodyka i zakres badań, a także charakterystyka elementów badawczych i stanowiska badawczego. Z kolei w drugiej części tego rozdziału zawarto wyniki badań, w tym badania materiałowe betonu i polimeru oraz badania elementów w próbie czteropunktowego zginania i jednoosiowego rozciągania złącza podatnego dla połączenia pierwotnego i wtórnego, a także badania dodatkowe. Rozdział 4 kończy syntetyczne podsumowanie. Z kolei rozdział 5 to analiza numeryczna, w której Autor na początku wprowadza czytelnika w stosowane w rozprawie modele polimeru, miary

odkształcenia, modele hipersprężyste, model skończenie elementowy oraz konstytutywne modele materiałów, a następnie opisuje stosowaną metodologię obliczeń i prezentuje uzyskane wyniki analizy numerycznej i parametrycznej. Rozdział 5 wieńczy syntetyczne podsumowanie przeprowadzonych analiz numerycznych. W rozdziale tym w celu poszerzenia zakresu badań Autor przeprowadził analizę parametryczną geometrii złącza umożliwiającą rozszerzenie zakresu wyników badań eksperymentalnych. W rozdziale 6 dokonano podsumowania i sformułowano wnioski. Wskazano także proponowane kierunki dalszych badań, które zdaniem Autora rozprawy powinny zostać podjęte w celu lepszego zrozumienia pracy polimerowego złącza podatnego. Na końcu rozprawy umieszczono spis ilustracji, spis tabel, bibliografię i listę publikacji Autora w ramach pracy doktorskiej.

Po zapoznaniu się z rozprawą stwierdzam, że przyjęty w rozprawie ogólny układ i sposób uporządkowania treści są czytelne i logiczne, a rozprawa napisana jest poprawną polszczyzną. Również jej strona graficzna nie budzi istotnych zastrzeżeń. Poza nielicznymi wyjątkami dobór pozycji bibliograficznych jest trafny i wystarczający. Po lekturze rozprawy uważam, że w całej pracy, ale przede wszystkim w rozdziałach 2 i 3 w rozdziałach Autor wykazał, się niezbędną ogólną wiedzą teoretyczną kandydata w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Ocena doboru tematu i postawionych celów

Przystępując do oceny doboru tematu i postawionych celów należy na wstępie podkreślić, że tematyka podjęta w recenzowanej rozprawie doktorskiej jest aktualna i wpisująca się w obserwowany w ostatnich latach problem występowania w praktyce budowlanej uszkodzeń powierzchniowych elementów betonowych na skutek odkształceń wymuszonych. Tytuł rozprawy, mimo drobnych uwag z mojej strony sformuowanych w punkcie 4 niniejszej recenzji, jest jednoznaczny i zrozumiały oraz dobrze oddaje problem naukowy przedstawiony w rozprawie. Problem ten nie dotyczy tylko elementów formowanych horyzontalnie takich jak posadzki przemysłowe, czy nawierzchnie betonowe, ale także elementów ściennych, murów oporowych czy obudowy tuneli. Problem ten jest aktualny w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. Z uwagi między innymi na bardzo szybkie tempo prowadzenia prac budowlanych, dużą powierzchnię tego typu elementów, powszechnie znany pośpiech w betonowaniu elementów oraz wykorzystywanie do tego celu betonów o coraz wyższych wytrzymałościach uszkodzenia tego typu są coraz częstsze. Dlatego poszerzanie wiedzy w tym zakresie i wszelkie prace zmierzające do poszukiwania efektywnych metody naprawy uszkodzonych powierzchniowo elementów betonowych są bardzo pożądane zarówno z praktycznego jak

i naukowego punktu widzenia. Naprawa takich elementów bywa w praktyce niezwykle skomplikowana, kosztowna, i czasem niewystarczająca. Wynika to z faktu, że większość powszechnie stosowanych metod naprawczych takich jak np. żywice epoksydowe, masy bitumiczne czy różnego rodzaju zaprawy jest nieskuteczna. Co więcej często jest źródłem powstawania nowych uszkodzeń. Rozwiązaniem, którym poświęcona jest recenzowana rozprawa doktorska jest polimerowe złącze podatne. W wiedzy na temat napraw uszkodzonych powierzchniowo elementów betonowych istnieją pewne luki, które Autor rozprawy wyszczególnił na podstawie przeprowadzonej w rozprawie analizy stanu wiedzy. Autor wykazał w rozprawie między innymi, że brak jest w literaturze informacji o wpływie grubości polimeru na pracę złącza, brak jest wartości modułu ścinania dla polimeru, brak jest wyników badań, które opisywałyby postać oraz mechanizm zniszczenia w okolicy złącza podatnego oraz brak jest badań pracy złącza podatnego poddanego obciążeniu rozciągającemu. Mając powyższe na uwadze problemem badawczym postawionym w rozprawie jest znalezienie odpowiedzi na pytanie jaki jest wpływ polimerowego złącza podatnego na pracę połączonych elementów betonowych, co Autor w rozprawie sformułował jako cel ogólny. Ponadto Autor rozprawy sformułował 3 główne cele. Są one umieszczone w rozdziale 1 na stronie 14. Niniejsza rozprawa miała bowiem na celu przedstawienie opisu zachowania się betonu we współpracy z polimerowym złączem podatnym pod przyłożonym obciążeniem, określenie efektywności połączenia elementów betonowych polimerowym złączem podatnym wraz oceną wpływu geometrii złącza oraz analizę parametryczną wpływu geometrii złącza na efektywność jego naprawy z wykorzystaniem modeli numerycznych. Wyniki badań eksperymentalnych zostały potwierdzone z zadowalającą dokładnością w analizie numerycznej, która pozwoliła na poszerzenie zakresu badań o dodatkową bardzo wartościową analizę geometrii złącza podatnego. Moim zdaniem cel ogólny i cele główne trafnie ujmują istotę podjętych prac naukowo-badawczych i dociekań naukowych Autora. Uważam, że Autor potraktował zagadnienie kompleksowo poprzez zawarcie w rozprawie zarówno studiów teoretycznych, eksperymentalnych, analitycznych i numerycznych w zakresie analizowanego problemu naukowego.

Mając powyższe na uwadze uważam, że podjęty przez Autora rozprawy temat jest aktualny i interesujący zarówno z poznawczego jak i praktycznego punktu widzenia. Podobnie rzecz ma się ze sformułowanymi w rozprawie celami, które są odpowiednio umotywowane i oryginalne. Podsumowując ten fragment recenzji uważam, że ocena doboru tematu i postawionego celu zasługują na pozytywną ocenę.

3.2. Ocena wartości naukowej rozprawy

Pomimo niewielu niedociągnięć, zrealizowane przez Autora rozprawy badania doświadczalne zostały w większości zaplanowane i wykonane właściwie. Na podstawie lektury rozprawy stwierdzam, że brak jest również większych zastrzeżeń do metodyki zrealizowanych badań, które zostały dostatecznie opisane i udokumentowane. Sposób przedstawienia uzyskanych rezultatów badań w formie graficznej w postaci licznych tabel i wykresów jest bardzo czytelny. Poza kilkoma wyjątkami w mojej opinii na podstawie przeprowadzonej interpretacji uzyskanych rezultatów została dokonana poprawna krytyczna analiza, na podstawie której Autor wyciągnął poprawne i wartościowe wnioski.

Uważam, że do głównych osiągnięć naukowych Autora można zaliczyć:

- wykazanie, że rodzaj polimerowego złącza podatnego ma wpływ na pracę elementów betonowych,
- opracowanie oryginalnego, ambitnego i bardzo szerokiego programu badań doświadczalnych i numerycznych oraz konsekwentne jego realizowanie,
- przeanalizowanie zachowania się elementów betonowych przed i po naprawie złączem podatnym w fazie przedkrytycznej oraz w momencie uszkodzenia,
- opisanie pracy betonu w polimerowym złączu podatnym poddanym rozciąganiu i zginaniu,
- określenie na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych efektywności połączenia elementów betonowych polimerowym złączem podatnym wraz z oceną wpływu rodzaju polimeru oraz geometrii złącza,
- przeprowadzenie na podstawie modeli numerycznych analizy parametrycznej wpływu geometrii złącza na efektywność jego naprawy.

Podsumowując ten fragment recenzji pod względem merytorycznym wartość naukową rozprawy oceniam bardzo wysoko.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Recenzowana rozprawa doktorska jest w moim odczuciu niezwykle cenną inicjatywą, która w efekcie nie tylko porządkuje dotychczasową wiedzę w zakresie pracy połączonych elementów betonowych naprawionych za pomocą polimerowego złącza podatnego, ale wytycza również kierunki dalszych badań i analiz.

Podczas lektury rozprawy nasunęły mi się następujące uwagi krytyczne i dyskusyjne oraz sugestie, komentarze i pytania do Autora rozprawy:

- 1) Pewne uwagi można mieć do tytułu rozprawy. W moim odczuciu w wersji angielskiej jest on lepiej sformułowany niż w wersji polskiej jako „Influence of polymer flexible joint

on behaviour of bonded concrete elements". Gdyby pokusić się o literalne przetłumaczenie tego tytułu na techniczny język polski, to moim zdaniem brzmienie byłoby następujące „Wpływ polimerowego złącza podatnego na zachowanie się zespolonych elementów betonowych”. Brzmienie to różni się od zaproponowanego przez autora w odniesieniu do słowa „behaviour”, które autor utożsamiał z „pracą”, ale moim zdaniem lepiej jest mówić „o zachowaniu się”. Z kolei „bonded elements” autor utożsamia z „połączonymi elementami”, a moim zdaniem lepiej byłoby mówić o „zespolonych elementach”. Odnoszę wrażenie, że Autor rozprawy lepiej porusza się w nomenklaturze anglojęzycznej niż krajowej w temacie rozprawy. Proszę o ustosunkowanie się przez Autora rozprawy do tych sugestii podczas publicznej obrony.

- 2) Szkoda, że w spisie ważniejszych oznaczeń użytych w tekście Autor nie zawarł wszystkich skrótów, np. digital image correlation (DIC). Moim zdaniem znacznie ułatwiłoby to lekturę rozprawy. Moim zdaniem w odniesieniu do symboli greckich warto byłoby podać jednostkę.
- 3) Mimo, że rozprawę czyta się bardzo dobrze, to po jej lekturze uważam, że można by lekko zmienić jej układ. Myślę, że rozdziały 2 i 3 mogłyby bez uszczerbku dla czytelnika zostać połączone w jeden rozdział, ponieważ obydwa rozdziały poświęcone są tak naprawdę rozpoznaniu literaturowemu. Podobne wrażenie odnoszę odnośnie do punktów 5.1-5.4, w których zawarto opis modeli polimeru oraz konstytutywne modele materiałów. W odniesieniu do tych punktów uważam, że mogłyby one zostać osadzone w rozpoznaniu literaturowym. Taki układ byłby moim zdaniem bardziej czytelny.
- 4) Nie jest jasne, co oznacza symbol PT i PS w odniesieniu do wykorzystywanych polimerów. Nie wiadomo, czy skrót PT oznacza polimer na bazie politrifluorochloroetyleny, czy może politetrafluoroetyleny. Czy skrót PS oznacza polimer na bazie polistyreny, czy może polisulfonu? Moim zdaniem jest to dosyć kluczowa informacja i wskazane byłoby ją uzupełnić podczas publicznej obrony.
- 5) W rozprawie Autor nie zdefiniował kilku ze stosowanych oznaczeń. Przykładem jest np. skrót LVDT (WA) na str. 102. W jednym miejscu rozprawy na str. 115 Autor definiuje skrót CMOD jako „funkcja naprężenia i rozwarłośc rysy w nacięciu” i jednocześnie na tej samej stronie jako „ugięcie czy rozwarcie rysy”, a w podpisie rys. 4.18 jako „pole pod krzywą naprężenie – ugięcie”. Jak to się ma do definicji podanej w podanym na początku rozprawy spisie ważniejszych oznaczeń, gdzie widnieje definicja „rozwarłość karbu”? Jaka jest poprawna definicja i co oznacza stosowany przez Autora w rozprawie skrót CMOD?
- 6) Pewne uwagi można mieć do strony graficznej rozprawy. Mimo, że nie budzi ona istotnych zastrzeżeń, to jednak wykresy nie zostały przygotowane w jednolity sposób,

a na większości wykresów zaczerpniętych ze literatury anglojęzycznej pozostały również opisy w języku angielskim. Skoro Autor zdecydował się rozprawę zredagować w języku polskim, to również powinno znaleźć to swoje odzwierciedlenie na rysunkach. Między innymi zostało to przez autora chociażby wykonane na rys. 2.7 zaczerpniętego z pracy Silfwerbanda z 2018 roku. Moim zdaniem podczas publicznej obrony warto przedstawić te rysunki w wersji skorygowanej po uwzględnieniu uwag recenzenta.

- 7) Mam uwagi do stosowanych w rozprawie przez Autora niektórych sformułowań, np. „młody beton”, „klasy betonu C1 i C2”, „odkształcenie inżynierskie”. Uważam, że sformułowanie „młody beton” niefortunne. W literaturze anglojęzycznej mówi się o „concrete at early ages”. Może lepiej byłoby używać innego sformułowania jak na przykład „beton we wczesnym stadium dojrzewania”? Jeżeli chodzi o sformułowanie „klasy betonu C1 i C2”, to myślę, że lepiej byłoby mówić o typach betonu, ponieważ w betonie nie można wydzielić klas C1 i C2, tym bardziej, że na stronie podano, że skrót C1 oznacza klasę betonu C30/37, a skrót C2 klasę C40/50. Zupełnie niezrozumiałe jest dla mnie sformułowanie „odkształcenie inżynierskie” w podpisie na osi poziomej rys. 4.10.
- 8) Proszę o ustosunkowanie się do uwag dotyczących receptury betonu użytego w produkcji próbek badawczych. Czym się kierował Autor rozprawy wybierając cement CEM I 52.5 R do wykonania elementów betonowych? Ten rodzaj cementu jest bardzo rzadko stosowany w posadzkach i nawierzchniach, gdzie dominuje przecież CEM I 32.5 R lub co najwyżej CEM I 42.5 R. Jaki był skład chemiczny cementu? Przy podaniu pochodzenia żwiru i grysłu nie jest wystarczające podanie nazwy firmy, ale konkretnej kopalni kruszyw, z której zostały te materiały pozyskane. Co oznacza sformułowanie „Dodatek Mączka” w tab. 4.2? Jaka woda została wykorzystana do wykonania betonu? Jakie były krzywe przesiewu wykorzystanego piasku i kruszyw?
- 9) Mam kilka uwag dotyczących p. 4.2.2, w którym Autor przedstawił charakterystykę elementów badawczych. Proszę o sprecyzowanie temperatury i wilgotności względnej powietrza podczas wykonywania i dojrzewania elementów betonowych. Czy były one kontrolowane? Czy próbki w okresie pierwszych 24 godzin były przykryte folią? Dlaczego badania na próbkach betonowych wykonano dopiero pomiędzy 54 a 64 dniem od zabetonowania?
- 10) W jaki sposób Autor rozprawy ustabilizował temperaturę dokładnie 20°C podczas badania polimeru na rozciąganie i zginanie? Czy podana temperatura dotyczy temperatury powietrza czy temperatury badanej próbki? Czy aby na pewno nie było żadnych zmian temperatury? Moim zdaniem nie jest to możliwe do uzyskania na klasycznej maszynie wytrzymałościowej, której zdjęcie podano na przykład na rys. 4.7,

bez zastosowania np. specjalnej komory do kontroli temperatury powietrza i wilgotności.

- 11) W rozprawie można napotkać również nieliczne nieścisłości z stosowanym nazewnictwem. Co Autor rozprawy rozumie pod pojęciem „obciążenie grawitacyjne” podanym na str. 100? Czy zamiast „interface” bądź „interfejs” na str. 182 nie lepiej byłoby używać innego sformułowania jak np. to strefa zespolenia?
- 12) Proszę o wyjaśnienie jaka jest przyczyna zaobserwowanego przez Autora na str. 107 faktu, że dla najniższej prędkości przyrostu odkształceń równej 0.01%/min średnia wytrzymałość polimeru PT na rozciąganie okazała się niższa niż dla najwyższej prędkości przyrostu odkształceń równej $v = 100\%/min$. Jaka jest natura tego zjawiska?
- 13) Rys. 4.60 i 4.61. Czy aby na pewno statystycznie poprawne jest prowadzenie linii trendu i podawanie równania linii trendu w sytuacji, gdy mamy do dyspozycji jedynie dwa punkty pomiarowe?
- 14) Można w pracy zauważyć drobne nieścisłości w odwoływaniu się do prac literaturowych. Z uwagi na fakt, że praca jest redagowana w języku polskim uważam, że zamiast „et al.” Powinno się używać sformułowania „i inni”. W niektórych miejscach rozprawy Autor „zgubił” nazwisko autora, czego przykładem jest podpis pod rys. 3.9, gdzie widoczne jest odwołanie jedynie do roku publikacji (1978). Zdarza się, że autor zamiast powoływać się na dwóch autorów pracy powołuje się tylko na jednego z nich (np. zamiast „Korsovovs 1978” na stronie 38 powinno być „Kotsovovs i Newman 1978”),
- 15) Nie wszystkie z uszkodzeń nawierzchni betonowej przedstawionych na rys. 2.8 zostały wywołane zostały odkształceniami wymuszonymi. Mam tu na myśli uszkodzenia przedstawione chociażby na fotografii w lewym dolnym rogu rys. 2.8 w pobliżu szczeliny dylatacyjnej. Moim zdaniem ich charakter wskazuje raczej na wyszczerbienie w pobliżu dylatacji spowodowane ruchem pojazdów po nawierzchni, a nie odkształceniami wymuszonymi.
- 16) W tekście rozprawy zauważa się błędy stylistyczne i gramatyczne oraz sporo literówek. Na przykład: na stronie 198 zamiast „Niemniejsza praca” zdaje się, że powinno być „Niniejsza praca”.
- 17) Szkoda jedynie, że nie udało się Autorowi uzyskać reprezentatywnych wniosków na temat wpływu wytrzymałości betonu na pracę złącza podatnego. Moim zdaniem jest to dobry kierunek na przyszłe badania w tym zakresie.

Przedstawione powyżej uwagi nie mają wpływu na moją jednoznacznie pozytywną ocenę jej merytorycznej zawartości. Moim zdaniem rozprawa doktorska posiada spory potencjał, aby opublikować ją jako monografię naukową lub cykl artykułów, co byłoby korzystne dla dalszego rozwoju naukowego Autora.

5. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska autorstwa mgra inż. Łukasza Zdanowicza rozwiązuje postawione zadanie naukowe dotyczące znalezienia odpowiedzi na pytanie jaki wpływ ma polimerowe złącze podatne na pracę elementów betonowych. Stwierdzam, że sformułowane w rozprawie cele są zasadne, oryginalne i zostały osiągnięte.

W tym miejscu chciałbym również zaznaczyć, że liczne uwagi krytyczne zawarte w punkcie 4 recenzji nie obniżają wartości merytorycznej i rozprawy. Zostały podane w celu dyskusji i uporządkowania przedstawionej treści z nadzieją, że w przyszłości zostaną uwzględnione przez Autora podczas przygotowywania artykułów naukowych do czasopism naukowych z tej tematyki. Należy w tym miejscu podkreślić, że zdaniem recenzenta wykonany przez Autora rozprawy niezmiernie szeroki zakres badań laboratoryjnych i uzyskane na tej podstawie wyniki stanowią bardzo mocną podstawę do ich opublikowania w czołowych czasopism naukowych krajowych i zagranicznych. Mając powyższe na uwadze można uznać rozprawę za przygotowaną na odpowiednim poziomie.

Moim zdaniem Autor rozprawy wykazał się wystarczającą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem, a także zadowalającą umiejętnością programowania i prowadzenia badań doświadczalnych. Na szczególnie pozytywną ocenę zasługuje o zrealizowanie bardzo obszernego zakresu badań laboratoryjnych i analiz numerycznych, co umożliwiło otrzymanie wartościowych rezultatów. W efekcie finalnym rezultaty te po krytycznej ocenie i przeanalizowaniu umożliwiły Mu wyciągnąć poprawne wnioski. To świadczy o Jego dobrym przygotowaniu i predyspozycjach do samodzielnego prowadzenia prac naukowo - badawczych.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa wnosi w przedmiotowym temacie wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie uprawianej przez Autora. Poza znaczeniem naukowym rozprawy na szczególną uwagę zasługuje jej wysokie znaczenie praktyczne i aplikacyjne. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata oraz potwierdza umiejętność Autora do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Stwierdzam, że rozprawa doktorska spełnia obecnie obowiązujące wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim. Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

