

Prof. dr hab. inż. Mieczysław Kuczma
Zakład Konstrukcji Betonowych
Instytut Konstrukcji Budowlanych
Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 5, 60-965 Poznań

Poznań, 21.12.2017r.

kom.: 662 140 073
e-mail: mieczyslaw.kuczma@put.poznan.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. **Pawła KISIELA**

Model approach for Polymer Flexible Joints in precast elements joints of concrete pavements

Ujęcie modelowe Polimerowych Złączy Podatnych w połączeniach elementów prefabrykowanych nawierzchni betonowych

1. Podstawa opracowania recenzji

Powołanie na recenzenta przez Radę Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej; pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej dr. hab. inż. Andrzeja Szaraty prof. PK, datowane 04.10.2017r. Promotorem przewodu doktorskiego jest dr hab. inż. Arkadiusz Kwiecień prof. PK. Dokumentację rozprawy stanowi maszynopis liczący 152+39=191 stron. Rozprawa napisana została w j. angielskim i zawiera obszerne streszczenie w j. polskim.

2. Przedmiot i ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa w j. angielskim liczy 152 strony i podzielona jest na 12 rozdziałów: 1. Introduction (Wprowadzenie), 2. The current state of knowledge (Aktualny stan wiedzy), 3. Empirical tests research (Badania empiryczne), 4. Numerical analysis of the Polymer Flexible Joint (Analiza numeryczna polimerowego złącza podatnego), 5. Comparison analysis of the empirical and numerical results (Analiza porównawcza wyników doświadczalnych i numerycznych), 6. Test results for large-sized specimen (Wyniki testów dla wielkowymiarowej próbki), 7. Scale effect (Efekt skali), 8. Average values of shear, flexural and elasticity modules (Średnie wartości modułów na ścinanie, zginanie i sprężystości), 9. Prediction of shear, flexural and



elasticity modulus based on performed research (Przewidywanie modułu na ścinanie, zginanie i sprężystości na podstawie wykonanych badań), 10. The structural analysis of PFJ in practical applications (Analiza strukturalna PZP w zastosowaniach praktycznych), 11. Final conclusions (Wnioski końcowe), 12. Bibliography (Bibliografia), która zawiera 56 pozycji.

Streszczenie rozprawy w j. polskim liczące 39 stron, podzielono na 6 krótkich rozdziałów i jeden długi: 1. Geneza problemu, 2. Tezy naukowe pracy, 3. Cele pracy, 4. Założenia pracy, 5. Metodologia i zakres badań, 6. Wnioski z przeprowadzonych badań (najdłuższy rozdział — 26 stron), oraz 7. Wnioski podsumowujące.

Materiały polimerowe znajdują coraz szersze zastosowanie także w budownictwie jako elementy przenoszące obciążenia, w tym jako niezawodne kleje do łączenia elementów konstrukcyjnych beton-stal, beton-beton, stal-stal. Wprowadzanie materiałów polimerowych jako elementów nośnych do budownictwa nie jest łatwe i takie oczywiste, bowiem wiąże się z przełamywaniem pewnych tradycyjnych postaw i poglądów projektantów oraz inwestorów, a przede wszystkim musi oparte być na solidnych badaniach naukowych potwierdzających użyteczność, skuteczność i trwałość rozwiązań konstrukcyjnych wykorzystujących materiały polimerowe. Praca doktorska mgr. inż. Pawła Kisiela wychodzi naprzeciw tym potrzebom i możliwościom zastosowań praktycznych, stanowiąc ważny przyczynek do naukowych badań w tej dziedzinie. Przedmiotem rozprawy są badania laboratoryjne i analizy numeryczne zachowania się materiałów polimerowych oraz przykłady ich zastosowania w budownictwie jako konstrukcyjne łączniki elementów prefabrykowanych nawierzchni betonowych. Uważam, że przedmiot i zakres ocenianej rozprawy, będący częścią już wieloletnich badań w Politechnice Krakowskiej, dobrze wpisuje się w aktualne potrzeby opracowania modeli obliczeniowych i zaleceń projektowych do modelowania i projektowania podatnych złączy polimerowych w budowie nawierzchni betonowych z elementów prefabrykowanych.

Rozprawa napisana jest w klarowny sposób, i zdaniem recenzenta, zrozumiałym językiem angielskim przy wykorzystaniu, ogólnie biorąc, właściwych terminów technicznych. Układ rozprawy jest logicznie poprawny. Redakcja tekstu jest staranna, aczkolwiek recenzent zauważył pomyłki edytorskie i niekompletne (gramatycznie niepoprawne) zdania. Rozprawa zawiera wiele oryginalnych elementów i dobrze dokumentuje przeprowadzone przez Doktoranta badania — zawiera bardzo liczne zdjęcia z badań doświadczalnych i wykresy graficznie ilustrujące uzyskane wyniki obliczeń numerycznych. Lektura rozprawy wskazuje na dobre przygotowanie Autora do prowadzenia samodzielnych badań naukowych.



3. Treść rozprawy

Omawiam tutaj treść pracy i zamieszczam uwagi i komentarze, w tym także uwagi krytyczne.

Rozdział 1., *Introduction*, zawiera uzasadnienie tematu podjętych badań, sformułowanie celu, przyjętych założeń i zakresu oraz tez pracy. Autor sformułował 3 tezy badawcze: „

1. *Model mechaniczny złącza podatnego w skali średniogabarytowej jest odmienny od modelu złącza podatnego w skali małogabarytowej, a jego zdefiniowanie wymaga analizy i potwierdzenia w badaniach laboratoryjnych.*
2. *Identyfikacja materiałowa polimeru bazująca na badaniach laboratoryjnych, w których polimer poddany jest różnorodnym stanom obciążenia, prowadzi do uzyskania większej niż dotychczas zbieżności wyników otrzymanych w sposób numeryczny i eksperymentalny dla Polimerowego Złącza Podatnego.*
3. *Geometria złącza podatnego i nieliniowa charakterystyka budującego go polimeru wpływa na rozkład naprężeń w złączu w sposób odmienny od znanego z teorii materiałów liniowo-sprężystych i może być on wyznaczony na podstawie empirycznego modelu sztywności połączenia.*”

Doktorant wymienia 11 idealizujących założeń ogólnych, które przyjął w swoich badaniach eksperymentalnych i przy opracowaniu modelu obliczeniowego badanego polimeru. Najważniejsze z założeń to pominięcie efektów reologicznych i wpływu obciążeń cyklicznych, procesów starzenia się materiału i badanie polimeru w stałej temperaturze pokojowej. Doktorant specyfikuje 8 szczegółowym celów prowadzonych badań, które razem mają zapewnić realizację podstawowego celu pracy, który formułuje następująco:

„Opracowanie modelowego ujęcia do projektowania połączeń podatnych w betonowych nawierzchniach prefabrykowanych o prostokątnym przekroju elementów, na podstawie zweryfikowanej doświadczalnie analizy pracy mechanicznej Polimerowego Złącza Podatnego, określonej na krzywej pierwotnej obciążenia polimeru i prędkości deformacji 100%/min.”

Uwagi krytyczne:

1. Zdanie (str. 6 środek): “Structural joints – they transmit forces and stresses ...” – komentarza wymaga użycie łączne „forces and stresses”;
2. Zdanie (str. 6 dół): „The objective is for this research to help in the process of PFJ technology commercialization.” wymaga korekty gramatycznej;



3. Zdanie (str. 7 góra): "... the expansion joint is often responsible pavement damage." wymaga korekty gramatycznej.

W rozdziale 2., *The current state of knowledge*, Autor podaje, że aktualny stan badań polimerowego złącza podatnego odpowiada poziomom 3 i 4 w 9-stopniowej skali gotowości technologicznej TRL (Technology Readiness Levels). Przytacza związki jednowymiarowe liniowej sprężystości, wzory na energię odkształcenia dla czterech modeli hipersprężystości (Mooney'a-Rivlina, wielomianu 2-go stopnia, Marlowa, i wielomianu 3-go stopnia Ogdena), które zastosował do opisu zachowania się polimeru PM i wyznaczył doświadczalnie ich parametry materiałowe (zadanie identyfikacji). Przywołuje jednowymiarowe konstytutywne zależności teoretyczno-eksperymentalne zaproponowane uprzednio przez Promotora rozprawy.

Uwagi krytyczne:

4. Znaczenie pierwszego zdania (str. 12 dół): "Transmission of loads subject to simultaneous deformability is the most important feature of PFJ." jest niejasne.
5. Opis naprężenia normalnego σ_x (str. 15 środek): „ σ_x — standard stress for shearing and compression” jest niepoprawny.

Rozdział 3., *Empirical tests research*, dokumentuje przeprowadzone przez Autora badania doświadczalne, jest najdłuższy (str. 19-62) i stanowi jedną z głównych części rozprawy. Badane próbki polimeru PM, pełniące rolę łącznika prefabrykowanych płyt betonowych, poddano 4 rodzajom obciążenia — ścinania, zginania, rozciągania i ściskania — uwzględniając wariantowo różne wymiary prostopadłościennej warstwy łączącej (grubość, wysokość, szerokość), także by zbadać ewentualny efekt skali. Grubość warstwy złącza wynosiła 10, 20 lub 30 mm, a szerokość warstwy — 40, 80 lub 160 mm w złączach próbek małogabarytowych (szerokość x wysokość: 40x40 – 40x160 mm) oraz 100, 200 lub 400 mm w złączach próbek średniogabarytowych (szerokość x wysokość: 100x100 – 100x400 mm); podobnie wysokość warstwy — 40, 80 lub 160 mm w złączach próbek małogabarytowych oraz 100, 200 lub 400 mm w złączach próbek średniogabarytowych. Badano też złącze polimerowe w jednej próbce wielkogabarytowej o wymiarach 3100x200x20 mm. Liczba próbek w każdej serii z testów wynosiła nominalnie 6 sztuk (elementy małogabarytowe) lub 4 sztuki (elementy średniogabarytowe). Łączone płyty betonowe wykonano z betonu C30/37 za pomocą polimeru typu PM. Badania przeprowadzono w temperaturze pokojowej, po 30 dniach wiązania betonu i 2 dniach wiązania polimeru z odpowiednio przygotowaną powierzchnią



betonową (usunięcie białej warstwy tworzącej się na powierzchni świeżego betonu, piaskowanie) i zagruntowaną.

Testy ścinania wykonano w 7 seriach po 6 próbek małogabarytowych i po 4 próbki średniogabarytowe, łącznie $42+28=70$ próbek było poddanych ścinaniu. Prawie analogiczne liczbowo były też testy zginania - 7 serii po 6 próbek małogabarytowych i po 4 próbki średniogabarytowe (w jednej z serii 2. próbki zamiast 4.), czyli łącznie zginaniu poddano 68 próbek. Testy rozciągania i ściskania przeprowadzono w każdym przypadku w 5 seriach po 6 próbek małogabarytowych i po 4 próbki średniogabarytowe, czyli łącznie na 100 próbkach.

Podkreślić należy dużą liczebność przebadanych próbek – w sumie zbadano 239 szt.. Autor założył ograniczenie współczynnika zmienności poniżej 10% przy obliczaniu średniej z otrzymanych wyników pomiarów. Uzyskane wyniki testów wielu serii cechują się niskim współczynnikiem zmienności, rzędu 2-5%, większość spełnia przyjęte ograniczenie 10%, ale w rozprawie zamieszczono także wyniki serii testów, których współczynnik zmienności osiągnął wartość 12,9% a nawet 29% (zginanie). Testy laboratoryjne zostały przeprowadzone zgodnie z uwzględnieniem procedur normowych lub według pomysłów Autora. Metodologia badań i uzyskane wyniki nie budzą w ogólności zastrzeżeń.

Uwagi krytyczne:

6. Brak w pracy jasnego określenia zakres przemieszczeń, dla którego zostały obliczone wartości współczynnika zmienności CoV podane na rysunkach z wykresami przebiegu zależności siła-przemieszczenie, Fig. 3.10 (str. 29), Fig. 3.17 (str. 33).
7. Konkluzja na str. 28: „the stiffness of the specimens becomes lower with a thinner polymer layer”, jest nieprecyzyjna i wymaga szczegółowego uzasadnienia.
8. Czy brak monotoniczności funkcji sztywności względem grubości warstwy polimerowej widoczny na wykresach, Fig. 3.13 (str. 30), można uznać za pewną regułę i wskazówkę do zastosowań praktycznych?
9. Interesujące i ważne z praktycznego punktu widzenia są stany badanych próbek po cyklu obciążenie—odciążenie, w którym próbki poddane zostały zauważalnie dużym odkształceniom. Czy przeprowadzając badania Autor zaobserwował w tym względzie tendencje w zachowaniu się polimerowego złącza, zebrał dodatkowe informacje?
10. Niejasny jest wpływ efektu Mullinsa na zachowanie się polimerowego złącza. Czy ten aspekt zachowania się badanego polimeru był brany pod uwagę w przygotowaniu i realizacji badań?



Rozdział 4., *Numerical analysis of the Polymer Flexible Joint*, zawiera wyniki nieliniowych analiz numerycznych wykonane w środowisku obliczeniowym pakietu programów Abaqus, który bazuje na metodzie elementów skończonych. Autor najpierw dokonuje identyfikacji parametrów materiałowych czterech modeli hipersprężystości: Mooney'a-Rivlina, wielomianu 2-go stopnia, Ogdena 3-go stopnia, i Marlowa. Podstawą identyfikacji są wyniki dodatkowych badań laboratoryjnych próbek wykonanych z samego polimeru, które poddano testom: osiowego rozciągania w zakresie 0-120%, tarczowego rozciągania w zakresie 0-103%, i osiowego ściskania w zakresie 0-82%. W procedurze identyfikacji rozpatrzono dwie wartości współczynnika Poissona: 0,499 i 0,4. Jak Autor pokazuje na wykresach, Fig. 4.15 – 4.16, występują istotne różnice w przebiegu zależności siła-przemieszczenie dla obu tych wartości współczynnika Poissona. Interesujący jest fakt, że lepsza zgodność z wynikami pomiarów eksperymentalnych wystąpiła w testach ścinania, ściskania, i zginania dla $\nu = 0,4$ (materiał ściśliwy), natomiast w teście rozciągania lepszą zgodność uzyskano dla $\nu = 0,499$ (materiał nieściśliwy). Porównanie wyników numerycznych z zastosowaniem dwóch zestawów parametrów materiałowych modelu hipersprężystości Mooneya-Rivlina z wynikami testów doświadczalnych na wykresach siła—przemieszczenie pokazuje bardzo dobrą ich zgodność dla nowego zestawu parametrów i znaczną różnicę dla zestawu znanych już uprzednio parametrów w testach zginania, ścinania, rozciągania i ściskania. Uzyskana tutaj zgodność wyników obliczeń numerycznych z wynikami testów laboratoryjnych potwierdza adekwatność przyjętych modeli teoretycznych i skuteczność abaqusowskiej procedury identyfikacji parametrów tych modeli.

Uwagi krytyczne:

11. W tekście podano, że liczba próbek w każdej z serii 3 testów wytrzymałościowych (osiowego rozciągania, osiowego ściskania, tarczowego rozciągania) wyniosła 6 (na str. 65: „6 pieces were tested in each series for statistical purposes”), natomiast w Tab. 4.1 i w podsumowaniu podano dla każdej z serii liczbę 12. Z czego wynika ta różnica?
12. W pracy nie podano jasno według jakich miar obliczono odkształcenia i naprężenia pokazane na wykresach zależności naprężenie-odkształcenie, Fig. 4.6 (str. 67-68).
13. W podrozdziale 4.5 podano wyniki symulacji numerycznych próbek poddanych testom doświadczalnym. Autor stwierdza, że „A stress distribution for geometry variants is presented in stress maps in Fig. 4.21. All the specimens presented in the Figure were subjected to bending generated by the same value of nominal strain.



Comparison of those stress maps indicates various stress magnitudes and distributions for particular cases.”. Przedstawione na rysunku Fig. 4.21 wykresy ukazują różnice rozkładu naprężenia Misesa z uwagi na variantowe wymiary geometryczne próbek małogabarytowych. Brak jednak informacji w jakim miejscu próbki występuje to wspomniane odkształcenie nominalne. Interesujące byłoby też zestawienie wartości liczbowych naprężenia w tym samym punkcie wszystkich próbek, np. w środku warstwy polimeru.

W rozdziale 5., *Comparison analysis of the empirical and numerical results*, Autor dokonuje porównania wyników obliczeń numerycznych z wynikami eksperymentów laboratoryjnych na próbkach mało- i średniogabarytowych (z wyjątkiem jednej próbki wielkogabarytowej) o różnych wymiarach geometrycznych, analizując w sumie 48 różnych przypadków: ścinanie – 14, zginanie – 14, rozciąganie – 10, ściskanie – 10. Przyjęto ustalone w rozdziale 4. według własnych badań wartości liczbowe parametrów użytych modeli konstytutywnych badanego polimeru. Przeprowadzone porównania pokazują, że modele obliczeniowe wykazują mniejszą sztywność niż rzeczywiste próbki, co skutkuje narastaniem różnicy wartości siły według modelu i eksperymentu wraz ze zwiększaniem przemieszczeń w ww. przypadkach obciążania próbek. Większą zgodność wyników uzyskano w przypadkach ścinania i zginania aniżeli rozciągania i ściskania, oraz dla próbek średniogabarytowych aniżeli małogabarytowych.

Uwaga krytyczna:

14. W rozdziale 5. nie podano jasno według jakich modeli teoretycznych uzyskano wyniki symulacji komputerowych przedstawione na zawartych tam wykresach.

Rozdział 6, *The results for large-sized specimen*, przedstawia wyniki testów na próbce wielkogabarytowej o wymiarach 3100(3000) x 200 x 20 mm, poddanej ścinaniu polimerowej warstwy łączącej o grubości 20 mm. Uzyskano bardzo dobrą zgodność wyników obliczeń numerycznych z wynikami doświadczalnymi.

Uwaga krytyczna:

15. Autor pisze (str. 94) „16 displacement sensors were used during the tests and an average value was calculated in order to obtain reliable results”. Jaka była lokalizacja czujników przemieszczeń i wartość średnią jakiej wielkości wyznaczono?



W rozdziale 7., *Scale effect*, i rozdziale 8., *Average values of shear, flexural and elasticity modules*, Autor dokonuje wzajemnego porównania wyników testów laboratoryjnych dla próbek mało- i średniogabarytowych na wykresach siła–przemieszczenie dla badanych czterech przypadków obciążania próbek. Uzyskane wyniki pokazują wpływ efektu skali na sztywność materiału (polimeru) i jego wytrzymałość, głównie dla próbek mało-gabarytowych. Uwidacznia się też chyba pewien rozrzut statystyczny wyników, np. wyniki modułów G i E na wykresach Fig. 8.1 i Fig. 8.2 dla próbek 40 x 40 x g, gdzie grubość warstwy polimeru g = 10, 20, 30 mm, nie wykazują tego samego charakteru (monotoniczności) zmiany względem g. Predykcje wartości modułów badanego polimeru, zależnie od tzw. współczynnika kształtu połączenia podane w rozdziale 9., *Prediction of shear, flexural and elasticity modulus based on performed research*, wskazują na względnie mały rozrzut wyników doświadczalnych.

Uwaga krytyczna:

16. Użyty termin “elasticity modules” w kontekście tytułu rozdziału 8., *Average values of shear, flexural and elasticity modules* jest mylący/nieprecyzyjny. Liczba mnoga od rzeczownika ‘modulus’ to ‘moduli’.

Rozdział 10., *The structural analysis of PFJ in practical applications*, przedstawia wyniki numerycznej analizy naprężeń i przemieszczeń w typowym przejeździe tramwajowym z prefabrykowanych betonowych płyt pod wpływem dużych różnic temperatur między górną i dolną powierzchnią płyty. Rozpatrzono 6 wariantów obliczeniowych, zależnie od typu złącza, tj. złącza polimerowe o grubości 1, 2, lub 3 cm i złącze bitumiczne jako złącze odniesienia, jak również od wielkości różnicy temperatur (20°C, 40°C, 55°C). Obliczenia pokazały, że zastosowanie złącza polimerowego prowadzi do ok. 20% obniżenia maksymalnych przemieszczeń i lepszej współpracy łączonych płyt. Wyniki analizy numerycznej nawierzchni tramwajowej jedno- i dwuwarstwowej, poddanej obciążeniom skupionym kołami pojazdu (8 sił 17 kN każda), także pokazuje pozytywny wpływ polimerowego złącza podatnego – znaczną redukcję ugięć nawierzchni, szczególnie przy mniej sztywnym podłożu (ok. 40%). Doktorant bada numerycznie wpływ pustek/przerw w ułożeniu warstwy kleju, rozpatrując pasma o szerokości 10 mm i grubości 20mm ułożone regularnie pionowo lub poziomo (brak informacji o odstępach między pasmami). Zastosowanie pasków skutkuje obniżeniem sztywności połączenia, co jest zgodne z przewidywaniem, może powodować niekorzystne rozkłady naprężeń (spiętrzenie naprężeń).



Uwagi krytyczne:

17. Stwierdzenie (str. 126 drugi akapit od góry) „A displacement reduction for two-layer structure of about 30% was observed, even for structures without PFJ usage” zasługuje na wyjaśniający komentarz co do mechanizmu tego zjawiska.
18. Tytuł podrozdziału 10.3 „The influence of strips usage on stresses stiffness reduction in PFJ” zawiera niepoprawny termin „stresses stiffness” (wymaga uzupełnienia).

W ostatnim rozdziale 11., *Final conclusions*, Autor podsumowuje przeprowadzone badania i uzyskane wyniki w eksperymentach laboratoryjnych i analizach numerycznych oraz formułuje wnioski. Wskazuje także kierunki dalszych badań.

4. Ocena rozprawy

Na podstawie szczegółowej lektury rozprawy chciałbym podkreślić oryginalność i szeroki zakres laboratoryjnych badań wytrzymałościowych – zbadano próbki małogabarytowe (144 szt.), średniogabarytowe (94 szt.) i jedną wielkogabarytową. W sumie wykonano 239 testów, obejmujących: ścinanie (71 prób), zginanie (68 prób), rozciąganie (50 prób), ściskanie (50 prób). Ponadto, przeprowadzono analizy statyczno-wytrzymałościowe według 49 złożonych modeli obliczeniowych analogicznych testów eksperymentalnych badanych próbek, oraz szereg dodatkowych eksperymentów laboratoryjnych i obliczeń pomocniczych, m.in. dokonano identyfikacji parametrów użytych modeli hipersprężystości.

Wysoko oceniam przeprowadzone przez Doktoranta badania laboratoryjne oraz ich wyniki i przydatność dla praktyki inżynierskiej. Podjęty temat badawczy jest aktualny i ważny, ale trudny z uwagi na złożone konstytutywne zachowanie się polimerów. Przeprowadzone 3D nieliniowe analizy numeryczne wymagały dobrej znajomości obsługi zaawansowanego pakietu komputerowych programów, jakim jest Abaqus. Uzyskaną wzajemną zgodność wyników badań eksperymentalnych i modeli obliczeniowych uważam ogólnie za dobrą a w kilku przypadkach za bardzo dobrą.

Chociaż w pełni zrozumiałym jest przyjęcie założeń upraszczających i ograniczających już tak szeroki zakres badań Doktoranta, pewien niedosyt poznawczy budzi jednak brak w rozprawie informacji i wyników choćby pojedynczej serii testów cyklicznego obciążania-odciążania badanego polimeru. Lektura tekstu rozprawy jest trochę utrudniona wskutek



niezupełnie płynnej i precyzyjnej narracji Autora, co spowodowane jest zapewne zapisem rozprawy w języku obcym — j. angielskim.

Pragnę jednak zaznaczyć, że poczynione uwagi krytyczne nie obniżają mojej wysokiej oceny pracy. Uważam, że Doktorantowi udało się pomyślnie zrealizować postawione cele pracy i wykazać sformułowane tezy dotyczące badanego polimeru i polimerowego złącza podatnego łączącego prefabrykowane płyty betonowe, które były przedmiotem Jego badań.

5. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że praca doktorska mgr. inż. Pawła Kisiela stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i potwierdza Jego dużą wiedzę w dziedzinie mechaniki złączy polimerowych, i spełnia tym samym wymogi ustawowe o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Aktualność tematyki pracy, zakres i praktyczną użyteczność badań oceniam wysoko. Wyniki badań doświadczalnych Doktoranta przyczyniają się w sposób istotny do poszerzenia wiedzy w dziedzinie zachowania się nowoczesnych polimerowych złączy podatnych do betonowych elementów konstrukcyjnych poddanych obciążeniom quasi-statycznym. Autor rozprawy wykazał, że posiada dużą wiedzę w zakresie badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki polimerowych złączy podatnych oraz ich modelowania teoretycznego i symulacji komputerowych.

Stawiam wniosek o przyjęcie pracy i dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony i ubiegania się o stopień naukowy doktora w dyscyplinie *Budownictwo*.

