

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

Poznań, 15.11.2017r.

kom.: 662 140 073

e-mail: mieczyslaw.kuczma@put.poznan.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. **Daniela PIETRASA**

pt.: **Opis procesów degradacji i mechanika kompozytów
zbudowanych na matrycach cementowych lub wapiennych**

Podstawa opracowania:

Powołanie na recenzenta przez Radę Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej; pismo Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej – prof. PL dr. hab. inż. Bogusław Szmygina, datowane z 19. czerwca 2017r.

1. Przedmiot i ogólna charakterystyka pracy

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgr. inż. Daniela Pietrasa są badania doświadczalne i symulacje komputerowe nowoczesnych kompozytów zbudowanych na matrycach cementowych lub wapiennych. Autor bada dwa typy mieszanek, tzn. w postaci betonów komórkowych o funkcyjnie gradowanej strukturze (zmiennej porowatości) oraz betonów z dodatkiem okruchów gumowych.

Pozytywnie już tutaj należy ocenić rozległe badania doświadczalne Doktoranta, których wyniki przyczyniają się w sposób wyraźny do poszerzenia wiedzy w dziedzinie zachowania się innowacyjnych i nowoczesnych betonów na matrycach cementowych lub wapiennych, poddanych obciążeniom quasi-statycznym oraz wielokrotnie zmiennym. Dodatkowym atutem pracy jest uzupełnienie testów laboratoryjnych obliczeniami według



modeli analitycznych oraz modeli numerycznych bazujących na metodzie elementów skończonych (MES) i jej wersji rozszerzonej XFEM. Na podkreślenie zasługuje także możliwość bezpośredniego wykorzystania rezultatów badań Autora w praktyce inżynierskiej (np. w budownictwie drogowym).

Rozprawa liczy 203 strony, podzielona jest na 10 numerowanych rozdziałów, 10 rozdział to Spis literatury (167 pozycji), oraz ponadto zawiera Zestawienie oznaczeń, Stosowane akronimy, Streszczenie i Summary (w j. ang.). Rozdziały od pierwszego do czwartego mają charakter pomocniczy, natomiast rozdziały od piątego do dziewiątego zawierają wyniki własnych badań Doktoranta i ich omówienie.

Układ pracy jest klarowny i logicznie poprawny. Praca zredagowana jest starannie (recenzent zauważył tylko nieliczne pomyłki edytorskie). Lektura pracy wskazuje na dobre przygotowanie Autora do prowadzenia samodzielnych badań naukowych.

2. Opis i ocena pracy

W rozdziale 1., zatytułowanym *Wstęp*, Autor przedstawia przedmiot pracy oraz formułuje cel, zakres i tezy pracy. Przedmiotem pracy doktorskiej są badania i opis zachowania się dwóch nowoczesnych materiałów kompozytowych o matrycach cementowych lub wapiennych poddanych działaniu obciążeń mechanicznych. Są to Mieszanka Związana Spoiwem Hydraulicznym (MZSH) oraz Autoklawizowany Beton Komórkowy (ABK). W celu poprawy właściwości tych kompozytów Autor zaproponował zmodyfikowanie ich wewnętrznej struktury poprzez zastosowanie domieszki okruchów gumowych do MZSH, nazywając tak otrzymany materiał Mieszanką Związaną Spoiwem Hydraulicznym + Guma (MZSH+G), oraz poprzez płynną zmianę porowatości w objętości elementu według zadanej funkcji w ABK, nazywając otrzymany materiał Funkcyjnie Gradowany Beton Komórkowy (FGBK). Doktorant definiuje cel rozprawy następująco (cytat ze str.15):

- ”
- *określenie wpływu dodatku okruchów gumowych na właściwości MZSH,*
 - *zbudowanie modelu mezoskalowego MZSH pozwalającego na śledzenie wpływu poszczególnych składników MZSH+G, na jej cechy wytrzymałościowe,*
 - *zbudowanie modelu numerycznego FGBK pozwalającego na określenie jego ekwiwalentnych cech fizycznych istotnych w zastosowaniu do budownictwa.*
- ”



2

W zakres pracy wchodzi testy laboratoryjne kompozytu MZSH+G obejmujące badania nasiąkliwości, mrozoodporności, wytrzymałości jak również badania laboratoryjne (właściwości fizycznych, odporności na pękanie w I oraz II modelu obciążenia, według zmodyfikowanej próby brazylijskiej) elementów murowych wykonanych z czterech klas betonu komórkowego FGBK o zmiennej porowatości w objętości elementu i symulacje komputerowe w środowisku obliczeniowym ABAQUS za pomocą Metody Elementów Skończonych (MES).

Doktorant stawia dwie tezy dotyczące zachowania się zmodyfikowanych materiałów kompozytowych:

Teza 1: *„Dodatek gumy poprawi parametry mechaniki uszkodzenia materiału stosowanego w podbudowach drogowych, przyczyniając się do zwiększenia ich trwałości.”*

Teza 2: *„Stosowanie gradientu porowatości w gazobetonie wpłynie korzystnie na parametry mechaniczne.”*

Analiza literatury, rozdział 2., zawiera przegląd 21 prac innych autorów na temat zagadnień badawczych i zjawisk związanych ze specyfiką zachowania się kompozytów cementowych i materiałów o funkcyjnej gradacji właściwości, oraz ich teoretycznego modelowania. Pozostałe pozycje literaturowe cytowane są w następujących rozdziałach.

W rozdziale 3., *Podstawowe czynniki mające wpływ na powstawanie, rozwój i charakter uszkodzeń w kompozytach o matrycach cementowych lub wapiennych*, Doktorant omawia wpływ materiałów tworzących strukturę początkową badanych kompozytów na ich właściwości oraz prezentuje wyniki własnych symulacji numerycznych zadań brzegowych dla przykładowych periodycznych mikrostruktur. W szczególności wskazuje na ważną rolę jaką odgrywa w aspekcie wytrzymałości warstwa stykowa (łącząca) pomiędzy kruszywem a matrycą cementową, oznaczana skrótowo ITZ od angielskiej nazwy Interfacial Transition Zone (w pracy na str. 25 użyto nazwy Interfacial Transmission Zone). Doktorant zwraca tutaj uwagę na zwiększoną porowatość (30-40%), mniejszy moduł sprężystości (rzędu 50%) warstwy ITZ przy granicy z ziarnami w stosunku do matrycy cementowej w głębi, oraz na niekompatybilność jej parametrów mechanicznych z właściwościami kruszywa oraz zaprawy cementowej. Poprawę ciągłości połączenia warstwy stykowej guma-zaczyn cementowy można uzyskać m.in. traktując powierzchnię gumy wodorotlenkiem sodu. Mikrostrukturę i cechy wytrzymałościowe warstwy ITZ dobrze ukazują badania mikroskopowe, np. za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego (ang. SEM), oraz badania mikro- i nano-twardości. Wskazuje na 4 poziomy (skale) obserwacji i modelowania struktur materialnych: makro,

mezo, mikro, i nano, oraz przytacza związki konstytutywne termosprężystego modelu zhomogenizowanej struktury o uśrednionych własnościach – prawo Hooke’a uogólnione na zagadnienia termosprężyste (związki Duhamela-Neumanna dla ciała izotropowego) i porowatość materiału poprzez skalar n . We wzorze (3.3) brakuje nawiasu, ponadto zdaniem recenzenta używany przez Autora zapis „...skala makro-” na str. 26 i w wielu miejscach pracy jest niewłaściwy, w przeciwieństwie do zapisu skala makro, makro-skala lub makroskala i podobnie, np. skala mikro, mikroskala.

W budownictwie wykonując eksperymenty na makroskopowych próbkach normowych otrzymujemy w sposób naturalny wielkości uśrednione (zhomogenizowane) dla badanego materiału. W ostatnich latach konkurencyjnym sposobem wyznaczania zhomogenizowanych, makroskopowych wartości wielkości opisujących materiał o niejednorodnej strukturze jest homogenizacja komputerowa (obliczeniowa), która jest tańsza od badań doświadczalnych i pozwala na rozległe analizy parametryczne. Doktorant, powołując się na wyniki badań innych autorów, omawia problem homogenizacji kompozytowego materiału jakim jest beton, w aspekcie wyznaczenia ekwiwalentnych właściwości fizycznych Pr_{eq} (modułu sprężystości podłużnej, wytrzymałości) w funkcji początkowej porowatości n dla znanych właściwości matrycy Pr_m (str. 30: poprawić oznaczenie Pr_0) według modeli Blashima, Ryshkevitch’a i in. wzorami analitycznymi dającymi rozkład wykładniczy lub potęgowy jako funkcji porowatości n . Dodatkowego wyjaśnienia wymaga stwierdzenie o średnim promieniu porowatości równym 212 nm w opisie na str. 31: „Dla zaczynu cementowego o $w/c = 0.075$ udział objętościowy porów o średnicach, które nie przekraczają 100 nm w pierwszej fazie wiązania (1 dzień-28 dni) wynosi 90%. Po upływie 60 dni wiązania średnice porów stają się mniejsze i na poziomie 90% objętości nie przekraczają 80 nm. Zaobserwowany średni promień porowatości wynosi 212 nm.”.

Doktorant prezentuje też wyniki własnych badań wpływu porowatości początkowej n na właściwości fizyczne materiału, takie jak: moduł sprężystości podłużnej E , współczynnik Poissona ν , przewodność cieplna λ i wytrzymałość. Analizy numeryczne reprezentatywnego elementu objętościowego RVE (ang. *Representative Volume Element*) przeprowadził dla struktur periodycznych o porowatości $n = 12\%$ i 50% i regularnych sferycznych porach, tutaj dla uproszczenia rozpatrzył zadania dwuwymiarowe, w których występuje tylko jeden rodzaj porów o kształcie kołowym i promieniu równym $\bar{r} = 0,3$ mm, 0,7 mm, 1 mm, i 2 mm. Wzór (3.20) wymaga poprawy. Przeprowadzone analizy dobrze ilustrują badane zagadnienie, a otrzymane wyniki numeryczne nie budzą zastrzeżeń — są zgodne z przewidywaniami. Dla



pełnej informacji jednak, wskazane byłoby, aby Autor podał jakie zastosował w obliczeniach elementy skończone i jaka była gęstość siatki ES.

Rozdział 4., zatytułowany *Wieloskalowe metody opisu procesów degradacji materiałów kompozytowych o kruchych matrycach poddanych działaniu obciążeń mechanicznych i termicznych*, zawiera dyskusję efektywnego wyznaczania parametrów materiału w aspekcie pęknięcia i degradacji struktury betonu, oraz uwzględnienia porów w betonie zależnie od skali opisu i metod wyznaczania rozkładu faz w próbkach betonu. Doktorant omawia też algorytm generowania wielofazowych struktur betonów i ich statystyczne/stochastyczne rozkłady, wykorzystując propozycje z literatury. Następnie dużo miejsca poświęca na omówienie koncepcji i wzorów Mechaniki pęknięcia, najpierw w ujęciu analitycznym a potem z wykorzystaniem do obliczeń metody elementów skończonych, wykorzystując rozwiązania i zalecenia proponowane przez innych autorów, w tym także dotyczące efektu poprzecznych naprężeń \hat{T} , tzw. T-stress (ang. transverse stress) w funkcyjnie gradowanych materiałach. We wzorach (4.12) i (4.13) pojawił się błąd zapisu wskaźnikowego. Autor ilustruje zasadę rozszerzonej metody elementów skończonych XFEM (ang. eXtended Finite Element Method), która uwzględnia nieciągłość materiału ale pozwala uniknąć ponownego siatkowania (koniecznego w tradycyjnej MES) obszaru analizy wokół ostrza rysy/pęknięcia w materiale. Omawia hipotezy inicjalizacji pęknięć i ich rozwoju, zaimplementowane w środowisku obliczeniowym ABAQUS i według innych autorów. Dodać tu należy, że zagadnienie powstawania i rozwoju rys w betonie, który jest materiałem kruchym, jest wyzwaniem z numerycznego punktu widzenia, stąd w celu matematycznej regularyzacji zadania przyjmuje się często kohezyjne zachowanie materiału wokół wierzchołka rysy, dla betonu najczęściej w postaci związków biliniowych $\sigma(w)$ między naprężeniem σ a szerokością rozwarcia rysy w . Funkcja naprężeniowa $\sigma(w)$ jest cechą materiału, związana jest z energią pęknięcia i wyznacza się ją eksperymentalnie, przy czym należy zachować odpowiednią precyzję badań i ostrożność w interpretacji ich wyników, aby usunąć z nich wpływ urządzeń badawczych. Efektywny okazuje się tutaj test półbrazylijski (ang. Half-Brasilian Test lub Semi-Circular Bend), który umożliwia wyznaczenie wszystkich potrzebnych parametrów liniowej mechaniki pęknięcia: tj. współczynników intensywności naprężeń K_I, K_{II} i poprzeczne naprężenia \hat{T} dla materiałów kruchych, lub stosuje się test 3-punktowego zginania ze wstępnym nacięciem.

W rozdziale 5, pt. *Założenia i program badań własnych*, Doktorant przedstawia zakres badań doświadczalnych badanych nowoczesnych betonów: Mieszanki Związanej Spoiwem

Hydraulicznym z domieszką miądu gumowego (MZSH+G), której zakres zastosowań obejmuje podbudowy drogowe, oraz Funkcyjnie Gradowanego Betonu Komórkowego (FGBK) o funkcyjnie gradowanym rozkładem porowatości w objętości elementu. Wyznaczone doświadczalnie wartości mechanicznych i fizycznych parametrów materiałów składowych tych betonów stanowią dane wejściowe do mezoskalowego modelu MZSH+G i makroskopowego FGBK, będących podstawą symulacji numerycznych. Mieszanek MZSH zaprojektowano zgodnie z wymogami technicznymi WT5: Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych i normą PN-EN 14227- 1...5: 2004 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wyniki analizy sitowej dla przyjętego składu mieszanki MZSH podano w tabeli oraz zilustrowano na wykresie. Wyznaczono wilgotność optymalną (5,5%), maksymalną gęstość mieszanki (2370 kg/m^3), oraz porowatość całkowitą próbek MZSH (12,7% wg Tab. 5.4) i porowatość zastosowanego kruszywa (2%).

Rozdział 6., *Badania własne wybranych kompozytów* (str. 93-150), stanowi główną część rozprawy, w której Doktorant przedstawia wyniki rozległych własnych laboratoryjnych badań. Badaniom poddano próbki walcowe 10 cm x 10 cm mieszanki MZSH+G dla czterech przypadków domieszki gumy w postaci granulek lub pasków i w ilości odpowiadającej $\frac{1}{2}$ zawartości porów $V_p = 84 \text{ cm}^3$ oraz $\frac{1}{4} V_p$, tj. odpowiednio 40 cm^3 i 20 cm^3 . Podaje skład badanych mieszanek betonowych, omawia trudności w zagęszczaniu mieszanek MZSH+G i wybór efektywnego sposobu zagęszczania poprzez wibrowanie na stole wibracyjnym wraz z przekładką przeciążeniową. Skuteczność tego sposobu polega na tym, że po zakończeniu zagęszczania próbek i rozformowaniu nie wykazywały wzrostu objętości. Autor omawia specyfikę produkcji betonu komórkowego (ABK) oraz tego z funkcyjnie gradowaną porowatością FGBK. Badania laboratoryjne wykonano zgodnie z zaleceniami normowymi, na serii po sześć próbek dla każdej z mieszanek: MZSH (mieszanka referencyjna) i 4 wariantach MZSH+G. Badania obejmowały wyznaczenie nasiąkliwości, mrozoodporności, modułu sprężystości podłużnej przy ścisaniu w sześciu cyklach obciążania i odciążania, oraz wytrzymałości na ścisanie. Ponadto wykonano także test osiowego ścisania w warunkach wielokrotnego obciążania-odciążania przy narastającej wartości obciążenia (ang. LURP – Loading Unloading Reloading Process), celem wyznaczenia rozwoju degradacji materiału, której skalarną miarą jest obniżający się moduł sprężystości podłużnej wyrażony parametrem D z przedziału od zero do jeden. Otrzymane wyniki, zilustrowane na wykresach, pokazują, że domieszka granulek gumowych (20 cm^3) czyni mieszanek MZSH bardziej odporną na rozwój



6

uszkodzeń, pomimo obniżenia jej wytrzymałości na ściskanie. Badania pokazały również, że dodanie gumy do mieszanki MZSH poprawia jej mrozoodporność.

W rozdziale 7., *Numeryczny model materiału gradowanego FGBK stosowanego jako ochrona cieplna budynków*, Autor dokonuje kalibracji/walidacji modelu numerycznego i przedstawia wyniki symulacji numerycznej betonu komórkowego. Rozpatruje 3-punktowe zginanie belki z wstępnym nacięciem, ścinanie próbek kompaktowych oraz próbki materiału FGBK o funkcyjnym rozkładzie porowatości, stosując podział próbki na warstwy. Otrzymane wyniki dobrze ilustrują zachowanie się badanych materiałów i elementów konstrukcyjnych, potwierdzają wzajemną zgodność przeprowadzonych badań eksperymentalnych i obliczeń numerycznych.

Rozdział 8., *Numeryczny model opisu uszkodzeń mieszanek związanych cementem z domieszką okruchów gumowych*, przedstawia numeryczny mezoskalowy model mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym z domieszką okruchów gumowych. Autor numerycznie symuluje proces trójpunktowego zginania belek z nacięciem, uwzględniając warstwę stykową ITZ guma-cement wokół ziaren gumowych w matrycy MZSH z inicjalizatorami rysy pierwotnej, dokonuje też kalibracji parametrów modelu rysy.

Uwagi i wnioski końcowe, tj. rozdział 9 pracy zawiera zestawienie wyników badań, wskazujące na przypadki korzystnego i niekorzystnego wpływu dodawania gumy do betonu i możliwości wykorzystania opracowanych modeli teoretycznych i obliczeniowych w praktyce projektowej.

Ocena merytoryczna i uwagi krytyczne.

Na podstawie szczegółowej lektury pracy i wyżej przedstawionego opisu wykonanych badań, chciałbym podkreślić oryginalność i innowacyjność pomysłu badawczego, oraz szeroki zakres laboratoryjnych testów wytrzymałościowych i analiz mikrostruktury nowoczesnych betonów z domieszką gumy oraz betonów komórkowych o zadanej funkcji rozkładu porów. Doktorant omawia też wyrafinowane aspekty modelowania teoretycznego, dokonuje numerycznych symulacji programem ABAQUS skomplikowanych zagadnień brzegowych dla materiałów ulegających osłabieniu wskutek powstawania i narastania uszkodzeń (deterioracji) wewnętrznej struktury, przyjmujących postać (mikro-)rys i widocznych gołym okiem pęknięć. Warto także zauważyć, że osłabianie się (zmniejszanie wytrzymałości) materiału

odpowiadające opadającej (o ujemnej pochodnej) części wykresu zależności napężenie-odkształcenie stanowi duże wyzwanie z punktu widzenia analiz numerycznych, ujawniające się w przypadku MES zależnością krzywej napężenie-odkształcenie od gęstości siatki elementów skończonych. Ten niekorzystny efekt pokazują także wyniki symulacji wykonanych przez Doktoranta. Otrzymane wyniki dla MZSH wskazują na **korzystny wpływ domieszki mialu gumowego na nasiąkliwość MZSH+G i na mrozoodporność MZSH+G** (największe podniesienie mrozoodporności, i największe obniżenie nasiąkliwości o 18.2 %, dla MZSH z domieszką 40 cm³ mialu gumowego w kształcie granulek lub pasków); **korzystny wpływ na przebieg procesu uszkodzenia; korzystny wpływ domieszki mialu gumowego na wytrzymałość na ściskanie i na rozciąganie (0.45 %) i modułu sprężystości podłużnej przy ścisaniu** w przypadku zastosowania domieszki 20 cm³ gumy w postaci granulek. Okazuje się jednak, że większe ilości domieszki mialu gumowego lub w postaci pasków mogą powodować obniżenie wytrzymałości (2.7% na ściskanie) i modułu sprężystości podłużnej przy rozciąganiu. Zmiany z zakresu poniżej 3-4% można uznać za pomijalnie małe z praktycznego punktu widzenia, uwzględniając statystyczny rozrzut wyników spowodowany niejednorodnością badanych kompozytów, tym nie mniej wyniki otrzymane przez Doktoranta są ważne, bo określają wpływ, zarówno pozytywny jak i negatywny, proponowanych przez modyfikacji składu i struktury badanych kompozytów betonowych. Badania i modelowanie betonu komórkowego (ABK) oraz takiego betonu z funkcyjnie gradowaną porowatością (FGBK) w zakresie rozwoju uszkodzeń i nośności są użyteczne dla praktyki budowlanej, a opracowane modele teoretyczne i komputerowe mogą być użyte w projektowaniu takich betonów i obliczeniach wytrzymałościowych elementów z nich wykonanych. Pozytywnie oceniam otrzymane wyniki badań eksperymentalnych i ich znaczenie dla praktyki budowlanej. Odnotować też należy ważny fakt, że badania doświadczalne przeprowadzono w nowoczesnym Laboratorium Budownictwa macierzystej jednostki Doktoranta – na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej. Autor swoje badania i analizy przeprowadza w nawiązaniu do wyników badań na świecie, przywołując w naukowym dyskursie prace innych autorów, np. odnośnie dokładności metody (tzw. próby brazylijskiej) wyznaczania modułu sprężystości podłużnej betonu. Lektura pracy wskazuje na dużą samodzielność i pasję badawczą Doktoranta.

Dokładna lektura tekstu rozprawy skłania też do przedstawienia uwag, które wskazują pewne pomyłki edycyjne lub wymagałyby dodatkowego komentarza.



1. Autor dużo miejsca w podrozdziale 4.2 poświęca na omówienie testu półbrazylijskiego (ang. Half-Brasilian Test, nazywanego także SCB – Semi-Circular Bend), podczas gdy w badaniach własnych przedstawionych w podrozdziale 6.4 stosował test brazylijski. Jakże jest tego uzasadnienie?
2. We wzorze (6.14) powinno być D_s^4 .
3. Jak uzasadnić znak plus we wzorze (6.16): $(\sigma_{11} + \nu \sigma_{22})$?
4. Brak opisu znaczenia kilku wielkości, których wartości zestawiono w Tabelach 6.9– 6.11.
5. Porównując rys. 6.20 przedstawiający wykres naprężenie $\sigma_{22} - \varepsilon_{22}$ w teście LURP, gdzie zmienną niezależną jest całkowite odkształcenie ε_{22} , z rys.6.21 przedstawiającym wykres parametru uszkodzenia D jako funkcji odkształcenia resztkowego ε_{22}^{res} widać ich wzajemną niezgodność.

Chcę jednak wyraźnie zaznaczyć, że powyższe i wcześniej poczynione uwagi krytyczne nie obniżają mojej wysokiej oceny rozprawy. Uważam, że Doktorantowi udało się pomyślnie zrealizować podany cel rozprawy i wykazać obie postawione tezy dotyczące proponowanych materiałów kompozytowych, które były przedmiotem Jego badań.

3. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Daniela Pietrasa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i potwierdza Jego dużą wiedzę w dziedzinie mechaniki kompozytów betonowych, i spełnia tym samym wymóg art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Aktualność tematyki rozprawy, zakres i praktyczną użyteczność badań oceniam wysoko. Wyniki badań doświadczalnych Doktoranta przyczyniają się w sposób wyraźny do poszerzenia wiedzy w dziedzinie zachowania się nowoczesnych betonów poddanych obciążeniom quasi-statycznym i cyklicznym. Autor pracy wykazał, że posiada rozległą wiedzę w zakresie badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki kompozytów betonowych i elementów konstrukcji, 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*.


prof. Mieczysław Kuczma