

Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Kiernożycki
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
Katedra Konstrukcji Żelbetowych i Technologii Betonu

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgra inż. Marka Lehmana

„Nośność na ścinanie belek z fibrokompozytu na bazie piasków odpadowych”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Rektora Politechniki Koszalińskiej prof. dra hab. inż. Tadeusza Bohdała (R-66/11/2019) z dnia 20.11.2019 r. informujące o uchwale Rady Wydziału Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji z dnia 24.09.2019 r. powołującej mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim mgra inż. Marka Lehmana.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. „Nośność na ścinanie belek z fibrokompozytu na bazie piasków odpadowych” przygotowana przez mgra inż. M. Lehmana pracownika Katedry Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu Wydziału Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji Politechniki Koszalińskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Wiesławy Głodkowskiej, prof. PK.

Recenzję opracowałem z uwzględnieniem wymagań zawartych w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2016 r. poz. 882) oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. 2018 r. poz. 261).

2. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska Pana M. Lehmana podzielona jest na 9 rozdziałów i wraz z spisem literatury i związanych norm oraz obszernym załącznikiem dokumentującym tabelarycznie i graficznie szczegółowe wyniki badań liczy 246 stron. W rozprawie zamieszczono streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wykaz ważniejszych skrótów, symboli i oznaczeń.

W rozdziałach 1 – *Wprowadzenie* oraz 2 – *Geneza pracy* Pan M. Lehmann wskazuje zalety oraz ograniczenia związane ze stosowaniem w budownictwie konstrukcji fibrobetonowych stanowiących alternatywę zastąpienia konwencjonalnego zbrojenia prętami stalowymi zbrojeniem rozproszonym w postaci stalowych włókien. Wśród wielu ograniczeń, w tym technologicznych, wymienia przede wszystkim późny okres wprowadzenia do praktyki zasad projektowania tego typu konstrukcji, które w świetle wyników wielu badań eksperymentalnych wymagają dalszego doskonalenia. Na tym tle przedstawia dotychczasowe kierunki badań prowadzonych w macierzystej Katedrze Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu

dotyczących zagospodarowania, traktowanych jako produkt odpadowy, drobnoziarnistych frakcji powstałych w procesie hydroklasyfikacji miejscowych naturalnych złóż kruszyw zwirowo-piaskowych zawierających w swoim składzie ok 75 % frakcji piaskowej. Opracowany w Katedrze drobnokruszywowy fibrokompozyt na bazie piasków odpadowych z dodatkiem włókien stalowych był przedmiotem badań materiałowych w zakresie jego charakterystyk fizycznych i mechanicznych oraz badań jako materiał konstrukcyjny belek w strefie zginania. Doktorant, kontynuując prowadzone wcześniej badania, podjął się trudnego zadania analizy zachowania się tego materiału poddanego ścinaniu w strefach przypodporowych zginanych elementów belkowych.

Przedmiot, cel i tezy pracy doktorskiej Pan M. Lehmann przedstawił w rozdziale 3 rozprawy. Recenzent zauważa, że jednoczesne sformułowanie celu i tezy pracy mogło być dla doktoranta kłopotliwe. W istocie, w postaci podanej przez doktoranta, są one tożsame. Jak wynika z dalszej treści pracy można było ograniczyć się tutaj do sformułowania celów naukowych rozprawy, którymi były:

- wykazanie znaczenia zbrojenia rozproszonego na stan graniczny nośności i użyteczności strefy ścinania belek fibrokompozytowych na bazie piasków odpadowych,
- analiza metod obliczeniowych strefy ścinania belek fibrokompozytowych na bazie piasków odpadowych w świetle postanowień Model Code 2010 i RILEM TC-162-TDF.

W obszernym rozdziale 4 – niezbyt fortunnie zatytułowanym „*Stan zagadnienia w zakresie przedmiotu pracy*”, lepiej by było np. „Ścinanie w żelbecie w świetle badań i norm projektowania konstrukcji”, autor w kilku podrozdziałach, w ujęciu historycznym, omawia kolejno: koncepcje teoretyczne i metody projektowania konstrukcji betonowych z uwagi na ścinanie, ze szczególną analizą literatury dotyczącej elementów fibrobetonowych (pkt. 4.1), aspekty stosowania fibrobetonu w budownictwie, charakterystyki materiałowe i mechaniczne stosowanych włókien, mechanizmy propagacji rys w betonie zwykłym i w fibrobetonie oraz metody badań fibrobetonu (pkt. 4.2). W następnym punkcie tego rozdziału doktorant na podstawie danych z literatury omawia mechanizmy warunkujące nośność strefy przypodporowej belek bez zbrojenia na ścinanie, ze zbrojeniem konwencjonalnym strzemionami oraz belek fibrobetonowych. W dalszej kolejności pkt. 4.4 i 4.5 przedstawiono czynniki wpływające na nośność na ścinanie strefy przypodporowej belek oraz charakterystyczne postacie niszczenia tej strefy: ścinająco-zginającą, ścinająco-ściskającą oraz niszczenie w wyniku przecinania. Najważniejszy, w kontekście celów rozprawy i związanych z tym dalszych analiz doktoranta, jest pkt. 4.6 tego rozdziału, w którym omówiono metody analityczne projektowania strefy przypodporowej belek z uwagi na ścinanie w świetle normy Eurokod 2, oraz dokumentów zawierających postanowienia projektowania na ścinanie belek fibrobetonowych zawartych w pre-normie Model Code 2010 oraz w rekomendacji RILEM TC 162-TDF.

W rozdziałach 5 i 6 rozprawy doktorant przedstawił program, zakres i metodykę prowadzonych badań. Przeprowadzone badania własne doktorant opisał z podziałem na dwie grupy: badania wiodące i uzupełniające. Doktorant wyjaśnia, że badania ścinania w elementach zginanych, prowadził w ramach działalności statutowej Politechniki Koszalińskiej oraz imiennej dotacji celowej służącej rozwojowi młodych naukowców uczelni. Zakres badań podstawowych dotyczących stanu granicznego ścinania obejmował 3 serie belek o wymiarach 15x20x165 cm wykonanych z drobnoziarnistego kompozytu betonowego o średniej

wytrzymałości na ściskanie 52,6 MPa oraz 3 serie belek wykonanych z drobnoziarnistego kompozytu betonowego z 1,2 % dodatkiem włókien stalowych EKOMET, o średniej wytrzymałości na ściskanie 64,4 MPa. Poszczególne serie belek różniły się mocą zbrojenia na ścinanie. Obejmowały one: belki bez strzemion oraz belki ze strzemionami z prętów o średnicy 4,5 mm rozmieszczonymi w odstępach co 120 mm i co 90 mm. Badania prowadzono na autorskim stanowisku badawczym, w którym wolnopodparte belki obciążane były siłą skupioną przyłożoną w środku ich rozpiętości. Rejestrowano wartości sił obciążających, ugięcia, odkształcenia strzemion oraz powierzchni bocznych zginanych belek. Pomiary prowadzono systemem czujników SAD 256, tensometrami elektrooporowymi oraz systemem rejestracji optycznej do bezkontaktowych pomiarów zmian składowych stanu przemieszczenia Aramis 4M. Łącznie badaniom poddano zachowanie się, przy wzrastającym obciążeniu, 20 belek: 10 belek bez udziału zbrojenia rozproszonego niezbrojonych i zbrojonych strzemionami oraz 10 belek z udziałem zbrojenia rozproszonego niezbrojonych i zbrojonych strzemionami.

Badania uzupełniające dotyczyły potwierdzenia właściwości mechanicznych, stosowanych w badaniach podstawowych, drobnoziarnistych kompozytów betonowych bez i z udziałem zbrojenia rozproszonego, opracowanych przez zespół kierowany przez prof. W. Głodkowską.

Rozdział 7 rozprawy zawiera analizę wyników badań, których dokumentacje znajdujemy w 7 załącznikach uzupełniających jej treść. W punkcie 7.1 tego rozdziału przeprowadzono analizę statystyczną wyników badań podstawowych właściwości mechanicznych drobnoziarnistych kompozytów betonowych, w tym wytrzymałości resztkowych fibrokompozytu oraz cech wytrzymałościowych stali zbrojeniowej stosowanej do wykonania modeli badawczych. W obszernym, liczącym 38 stron punkcie 7.2 przeprowadzono analizę wyników badań eksperymentalnych stanu granicznego nośności oraz użyteczności – zarysowanej strefy przypodporowej badanych belek. Poza analizą rejestrowanych ciągle wartości odkształceń i przemieszczeń poszczególnych elementów konstrukcji badanych belek autor szczególną uwagę zwrócił na morfologię zarysowania ich strefy przypodporowej – kąt nachylenia rys ukośnych, uznając, że pomierzone kąty ich nachylenia odpowiadają kątom nachylenia krzyżulców betonowych θ .

W wyniku przeprowadzonych badań doktorant stwierdza:

- „wszystkie rzeczywiste wartości kąta θ dla belek serii BF (fibrokompozyt) są mniejsze niż określa to rekomendacja Model Code. W przypadku belek z włóknami i strzemionami (belki serii BFSa) 75 % pomierzonych kątów nie spełnia wymogów wartości kątów minimalnych θ_{min} .”

- „Analizując belki bez zbrojenia rozproszonego zarówno dla belek serii B i BSa (belki nie zbrojone włóknami oraz zbrojone tylko strzemionami) występuje sytuacja odwrotna. Tylko 25 % pomierzonych kątów nie spełnia wymogów minimalnego kąta nachylenia krzyżulców osiągając nachylenie bliskie granicznemu równemu 45° ”

W podsumowaniu doktorant wyciąga wniosek: „stąd wymagana jest odpowiednia weryfikacja i korekta minimalnych wartości kąta θ proponowanych przez Model Code dla badanego drobnokruszywowego fibrokompozytu.”

W dalszej kolejności Pan M. Lehmann podaje i porównuje średnie wartości sił wywołujących zarysowanie strefy przypodporowej – V_{cr} , poszczególnych serii badanych belek oraz odpowiednie wartości sił – V_{ult} powodujące ich zniszczenie w wyniku ścinania. Najważniejsze

wynikające stąd wnioski wskazują na to, że zbrojenie rozproszone w każdym przypadku porównywanych serii belek (belki z mikrokompozytu vs belki z fibrokompozytu oraz belki z mikrokompozytu zbrojone na ścinanie strzemionami vs belki z fibrokompozytu zbrojone strzemionami), powoduje wzrost sił tnących wywołujących ścinanie oraz zarysowanie ich strefy przypodporowej. Podając liczbowe wartości „efektu wzmocnienia” doktorant stwierdza że, cyt.: „*dodatek włókien stalowych w drobnokruszywowym kompozycie wytworzonym przy użyciu piasków odpadowych ma bardzo duży wpływ na przenoszenie sił poprzecznych. Zwiększa nośność przypodporową o ok. 90 % w belkach bez strzemion i o ok. 65 % w belkach ze strzemionami.*”

Po potwierdzeniu znaczenia zbrojenia rozproszonego na stan graniczny nośności i użyteczności strefy ścinanej belek na bazie piasków odpadowych doktorant przeprowadza analizę zgodności metod obliczeniowych tej strefy w świetle postanowień Model Code 2010 i RILEM TC-162-TDF z wynikami badań własnych. Pre-norma Model Code 2010 przedstawia dwie metody obliczeń pozwalające ustalić nośność na ścinanie belek zbrojeniem rozproszonym bez i z udziałem zbrojenia strzemionami. Metoda I, nawiązująca do ustaleń EC2, zastępuje występujące w tej normie wyrażenie określające nośność przekroju betonowego bez zbrojenia na ścinanie - $V_{Rd,c}$ wyrażeniem - $V_{Rd,F}$, opisanym przez charakterystyki mechaniczne fibrobetonu (f_{Ftuk}) -wartością charakterystyczną resztkowej wytrzymałości FRC na rozciąganie przy $w_k=1,5$ mm oraz charakterystyczną wytrzymałością na rozciąganie betonu bez włókien - f_{ctk} . Metoda II Model Code 2010 zaleca obliczanie nośności na ścinanie przekroju fibrobetonowego - $V_{Rd,F}$, opisaną m.in. następującymi wartościami: f_{Ftuk} - która określa tutaj charakterystyczną wartość wytrzymałości FRC na rozciąganie określoną tym razem w badaniu bezpośredniego rozciągania odpowiadającą granicznej szerokości rozwarcia rysy w_u , f_{ctk} - charakterystyczną wytrzymałością na rozciąganie betonu bez włókien, stopniem zbrojenia poprzecznego ρ_w , oraz kątem θ . Ogólnie norma Model Code 2010 ujmuje nośność na ścinanie addytywnie uwzględniając wkład betonu (fibrobetonu) i zbrojenia poprzecznego z ograniczeniem $V_{Rd} < V_{Rd,max}$ - wynikającym z nośności zastrzałów ściskanych. W odniesieniu do Metody II pre-norma MC2010 wskazuje, że „*minimalna ilość zbrojenia powinna być zapewniona albo przez strzemiona albo przez włókna*”. Wytyczne RILEM nośność na ścinanie elementów FRC odnoszą w części również do ustaleń EC2. Nośność na ścinanie tego typu elementów definiują addytywnie m.in.: właściwości mechaniczne betonu bez włókien - f_{ctk} , udział strzemion w przenoszeniu sił poprzecznych wraz z przyjętym kątem θ oraz udział zbrojenia rozproszonego określony w zależności od wytrzymałości resztkowej $f_{Rk,4}$ fibrobetonu. Należy tutaj zauważyć, że omówione krótko ustalenia wymienionych dokumentów dotyczą betonów zwykłych.

Wyniki przeprowadzonych porównawczo analiz metod obliczeniowych strefy ścinanej badanych belek na bazie piasków odpadowych w świetle postanowień Model Code 2010 oraz RILEM TC-162-TDF w odniesieniu do wyników badań własnych, doktorant przedstawił na rys. 7.9 – 7.11 pracy. Obliczenia przeprowadzono przy założeniu minimalnego kąta nachylenia krzyżulców ściskanych w Metodzie II (SMCFT) MC 2010 oraz kąta 30° w Metodzie I MC 2010 i RILEM, co jest zgodne z ich założeniami. Ocenę „zgodności”, wyrażonej przez V_{exp}/V_{cal} , projektowych założeń modelowych z wynikami badań przeprowadzono stosując kryteria Baghi i Barossa (poz.18 spisu lit.). Wyniki analiz przeprowadzonych przez p. M. Lehmana dotyczące przedziałów zgodności wyników badań z wynikami obliczeń można streścić następująco:

- Znakomita większość badanych belek wykazuje przynajmniej zachowawczy przedział bezpieczeństwa według przyjętego kryterium klasyfikacji V_{exp}/V_{cal} (1,15 – 2,0),
- Niezależnie od przyjętej metody obliczeń najlepszą zgodność analiz teoretycznych z wynikami badań uzyskano w przypadku belek mikrokompozytowych zbrojonych strzemionami,
- W odniesieniu do belek wykonanych z fibrobetonu największe niedoszacowanie ich nośności na ścinanie występuje przy stosowaniu metody RILEM.

Analizując wyniki badań eksperymentalnych i przeprowadzonych obliczeń autor szczególną uwagę zwraca na wpływ kąta θ , nachylenia betonowych krzyżulców ściskanych, rekomendowanych do przyjęcia w MC 2010 oraz RILEM. Stosując w analizie V_{exp}/V_{cal} indeks *IAE – całkowitego błędu bezwzględnego*, wiąże występujące różnice z wartościami przyjmowanych do obliczeń kątów θ , tych wynikających z zapisów pre-normy oraz wytycznych RILEM, a także kątów nachylenia rys ustalonych eksperymentalnie. Zestawione w tablicy 7.7 wyniki tych analiz wskazują na to, że obliczenia przeprowadzone po przyjęciu pomierzonych kątów θ prowadzą ogólnie do większych niezgodności z wartościami eksperymentalnymi w porównaniu z przyjętymi minimalnymi wartościami tych kątów zgodnie z ustaleniami analizowanych norm.

Uogólniając wyniki przeprowadzonych analiz metodą SMCFT (metoda wiąże efektywność zbrojenia rozproszonego z wartością kąta θ) doktorant stwierdza, ponownie że „*wskazane jest wykonanie korekty obliczania minimalnej wartości kąta nachylenia krzyżulców ściskanych wg metody SMCFT dla badanego fibrobetonu*”

Odnosząc się do tej części rozprawy recenzent zwraca uwagę na następujące kwestie:

- Jakkolwiek doktorant wyraża wątpliwość czy „*w przypadku elementów konwencjonalnie zbrojonych na ścinanie można korzystać z metody SMCFT (Metoda II MC2010), nie przedstawił własnej opinii w tej kwestii i nie wiadomo jak przeprowadził dalsze analizy porównawcze danych doświadczalnych i wartości ustalonych obliczeniowo. Konieczność wyjaśnienia tej kwestii wynika z zapisu MC 2010 w części dotyczącej metody SMCFT gdzie czytamy „Minimalna ilość zbrojenia poprzecznego powinna być zapewniona albo przez strzemiona , albo przez włókna.”*

- Doktorant nie skomentował przedstawionych w tablicy 7.7 danych dotyczących zgodności wyników badań eksperymentalnych z wynikami obliczeń przeprowadzonych przy ustalonych eksperymentalnie wartościach kąta θ . Czy można stąd wyciągnąć wniosek, sygnalizowany również przez innych badaczy, że kąt nachylenia rys ukośnych nie pokrywa się z kątem nachylenia krzyżulców ściskanych?

- Dalsze wątpliwości wiążą się z właściwym określeniem wartości f_{Fluk} występującej we wzorze podanym w MC 2010 (metoda SMCFT). Doktorant nie badał tej wytrzymałości metodą bezpośredniego rozciągania fibrobetonu, odwołując się do empirycznego wzoru (7.3) podanego przez Amina i Fostera, wiążącego wytrzymałości resztkowe fibrobetonu z jego wytrzymałością na osiowe rozciąganie. Wzór ten nie dotyczy materiału ze zbrojeniem rozproszonym stosowanego w badaniach doktoranta - fibrokompozytu na bazie kruszywa drobnoziarnistego. Stąd też jego uogólnienie budzić może wątpliwości.

- Nośność na ścinanie belek - V_{cal} , jak pisze autor „*obliczono dla średnich cech mechanicznych drobnokruszywowego fibrokompozytu oraz przyjętych współczynników bezpieczeństwa $\gamma_f = \gamma_c = 1$, według metod opisanych w RILEM i Model Code 2010*”. W wymienionych dokumentach jest mowa o betonach zwykłych. W związku z tym nasuwa się pytanie, w jaki sposób ustalono wytrzymałości charakterystyczne na ściskanie i rozciąganie f_{ck} i f_{ctk} stosowanego do wykonania belek mikrokompozytu, które występują we wzorach określających ich nośność na ścinanie ?

W dalszej części tego rozdziału w pkt. 7.2.1.3. - *Odkształcenia powierzchni bocznej oraz odkształcenia strzemion*, doktorant przedstawia analizę znaczenia udziału strzemion oraz zbrojenia rozproszonego na stan graniczny nośności strefy przypodporowej badanych belek, oraz morfologię ich zarysowania. Wyniki badań belek niezbrojonych, zbrojonych włóknami oraz włóknami i strzemionami przedstawiono na licznych wykresach w postaci zależności: $\varepsilon_y = f(V)$ – pionowe średnie odkształcenie powierzchni bocznej – siła poprzeczna, $\varepsilon_s = f(V)$ – średnie odkształcenie strzemion – siła poprzeczna oraz $\varepsilon_d = f(V)$ – średnie odkształcenie powierzchni bocznej w hipotetycznym kierunku nachylenia pod kątem 35 % krzyżulców ściskanych – siła poprzeczna. Wyniki badań potwierdziły zarówno udział strzemion jak i zbrojenia rozproszonego w przenoszeniu sił poprzecznych w strefie ścinania.

Analizy stanu granicznego użyteczności przeprowadzono w pkt. 7.2.2 pracy doktorskiej. Stwierdzono korzystny wpływ zbrojenia włóknami na wartość siły rysującej V_{cr} . Udział zbrojenia rozproszonego wpływa na zmniejszenie rozstawu rys ograniczając jednocześnie szerokość ich rozwarcia. Pan M. Lehmann podjął próbę adaptacji postanowień CEB-FIB z 1978 r. oraz propozycji dotyczącej obliczania szerokości rozwarcia rys ukośnych belek zbrojonych konwencjonalnie podanej przez Zakarię z 2010 r. do analizy zarysowania stref przypodporowych badanych belek fibrobetonowych. Autor na rys. 7.40 oraz w tabelicy 7.10 pracy doktorskiej przedstawia kolejno ustalone doświadczalnie i pomierzone średnie rozstawy rys ukośnych oraz maksymalne wartości ich rozwarcia w badanych belkach serii BSa i BSb. Na tej podstawie, wobec dość dobrej ich zgodności, stwierdza przedwcześnie, że cyt. „*algorytm obliczania rys opisany przez Zakarię może posłużyć do analizy szerokości rozwarcia rys ukośnych w drobnokruszywowych elementach z włóknami rozproszonymi.*” Dopiero w rozdziale 8 pracy przedstawia własną koncepcję oceny szerokości rozwarcia rys ukośnych w strefie przypodporowej belek zbrojonych włóknami i weryfikuje ją wynikami badań własnych.

Ważny jest rozdział 8 rozprawy – *Propozycja wymiarowania strefy przypodporowej zginanych elementów z drobnokruszywowego fibrokompozytu*. Autor wnosi tutaj własne propozycje dotyczące analizy stanu granicznego nośności i użyteczności strefy przypodporowej belek z drobnokruszywowego kompozytu. W części dotyczącej stanu granicznego nośności doktorant słusznie zauważa znaczenie przyjętej w obliczeniach wartości kąta θ . Autor, przyjmując jako podstawową metodę analizy model SMCFT (II Metoda MC 2010), proponuje założenie mniejszych wartości minimalnych tego kąta w porównaniu z wartością referencyjną. Podając wzór (8.1) na wartość θ_{min} nie podaje jednak metody jego kalibrowania z wynikami badań eksperymentalnych. Dopiero później przyjmując kryterium $V_{exp}/V_{cal} > 0,85$ przeprowadza drugi etap „dopasowania” wzorów normowych do wyników badań doświadczalnych. Tym razem w odniesieniu do trzech analizowanych metod obliczeniowych, zwraca uwagę na znaczenie „*efektywnej pracy włókien w elemencie*”, co w pre-normie MC 210 zostało uwzględnione przez wprowadzenie współczynnika K . W tabelicy 8.1 doktorant podaje różne wartości współczynników K w zależności od stosowanej

obliczeniowo metody analizy: RILEM ($K=0,43$), SMCFT ($K=1,31$) oraz metody I MC 2010 ($K=0,45$). Przy takim kalibrowaniu normowych wyrażen określających stan graniczny ścinania badanych elementów belkowych z drobnoziarnistego betonu uzyskano zadawalającą zgodność wyników badań eksperymentalnych z wynikami obliczeń modelowych. Recenzent zauważa, że zgodnie z postanowieniami MC 2010 w rozdziale - *Współczynnik orientacji* cyt.: „zakłada się anizotropowy rozkład włókien, a zatem współczynnik orientacji włókien $K = 1$ ”, ale współczynnik ten może być mniejszy lub większy od jedności. „Dlatego też metoda wytwarzania i konsystencja mieszanki betonowej powinny być brane pod uwagę przez projektanta.” Pre-norma MC 2010 nie wspomina o związku współczynnika K ze stosowaną metodą obliczeń. Jak wynika z treści rozprawy wszystkie badane belki formowane były w podobnych warunkach i z tych samych materiałów, niezależnie od stosowanej analitycznej metody ustalenia ich nośności na ścinanie. W związku z tym można było oczekiwać jednej wartości współczynnika korygującej ustalone doświadczalnie wytrzymałości resztkowe. W treści rozprawy nie znalazłem odpowiedniego wyjaśnienia tej kwestii.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgra Marka Lehmana dotyczy ważnego problemu zagospodarowania drobnych frakcji kruszywa stanowiącego odpad procesu hydroklasyfikacji naturalnych złóż kruszyw żwirowo-piaskowych pochodzenia polodowcowego zalegających w północnej części Polski. Badania dotyczące możliwości stosowania „piaskobetonu” w budownictwie prowadzone są w Politechnice Koszalińskiej od wielu lat, ale dopiero w ostatnim czasie w zespole prof. Wiesławy Głodkowskiej opracowano drobnokruszywowy fibrokompozyt modyfikowany dodatkami mineralnymi i domieszkami chemicznymi, którego właściwości mechaniczne umożliwiają jego stosowanie w elementach konstrukcyjnych obiektów budowlanych. Doktorant podjął się trudnego zadania weryfikacji metod wymiarowania na ścinanie drobnokruszywowych elementów fibrobetonowych na bazie miejscowych piasków odpadowych, podanych w pre-normie Model Code 2010 oraz w postanowieniach RILEM.

Zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 r., o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki, Art. 13 pkt.1 stanowi, że rozprawa doktorska powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Stąd też ocena przedstawionej do recenzji dysertacja dotyczy wymienionych wyżej kompetencji, wiedzy i umiejętności doktoranta.

a). Oryginalne osiągnięcia doktoranta

Doktorant podjął się rozwiązania oryginalnego problemu naukowego – wskazania metody wymiarowania na ścinanie drobnoziarnistego fibrokompozytu z uwagi na stan graniczny nośności i użyteczności. Wykazał, że dodatek włókien stalowych do mikrokompozytu betonowego wykonanego na bazie piasków odpadowych powoduje zwiększenie nośności na ścinanie stref przypodporowych belek oraz ogranicza szerokość rozwarcia rys ukośnych. Wykazał, że zgodnie z postanowieniami analizowanych norm udział zbrojenia rozproszonego wnosi addytywny wkład ze zbrojeniem strzemionami na nośność strefy przypodporowej na ścinanie. Może stanowić również ekwiwalent zbrojenia strzemionami. Przedstawił własne koncepcje modyfikacji wzorów normowych określających nośność na ścinanie elementów wykonanych z zaprojektowanego drobnoziarnistego fibrokompozytu, oraz własną koncepcję obliczania szerokości rys ukośnych w strefie ścinania.

b). Ogólna wiedza teoretyczna Kandydata

Mgr Marek Lehmann był dobrze przygotowany do napisania pracy doktorskiej. Badania związane z tematem pracy doktorskiej prowadził w ramach projektu badawczego – „*Problemy teoretyczne i badawcze konstrukcji z betonu*” oraz projektu badawczego służącemu rozwojowi młodych naukowców – „*Zastosowanie fibrokompozytu na bazie piasku odpadowego do wytwarzania zginanych elementów konstrukcyjnych*”. Jest współautorem 6 publikacji cytowanych w pracy doktorskiej. W bibliografii znajdujemy 207 poz. literatury oraz 25 poz. norm i innych dokumentów związanych z tematem pracy. Z obszernej części studialnej, w której nie zabrakło cytowań ważnych i aktualnych prac, oraz przeprowadzonej przez doktoranta analizy wyników badań, w której powołuje się również na ustalenia innych badaczy, wynika jego dobra wiedza teoretyczna oraz umiejętność praktycznego z niej korzystania.

c). Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Układ pracy doktorskiej oraz program prowadzonych badań uznać należy za poprawny. Pan A. Lehmann prowadził badania eksperymentalne na autorskim stanowisku badawczym korzystając z zaawansowanej technicznie aparatury m.in. systemu optyczno-pomiarowego ARAMIS. Zebrane dane pomiarowe obejmujące wartości sił obciążających oraz odpowiadające im: ugięcia, odkształcenia strzemion oraz powierzchni bocznych zginanych belek zostały czytelnie udokumentowane, stanowiąc podstawę dalszych analiz. Autor przedstawiając własne koncepcje modyfikacji wzorów normowych określających nośność na ścinanie oraz własną metodę obliczania szerokości rozwarcia rys ukośnych w strefie ścinania, w tekście pracy słusznie odnosi je do specyficznego drobnokruszywowego fibrokompozytu, którego zbrojenie rozproszone stanowiło określony typ włókien stalowych dozowanych objętościowo w ilości 1,2 %. Niektóre wnioski końcowe doktoranta sugerują uniwersalny charakter przedstawionych propozycji modyfikacji wzorów podanych w pre-normie MC 2010 oraz RILEM, co w świetle zakresu przeprowadzonych badań jest niuzasadnione. Jak to już podkreślono wcześniej w pkt. 3 recenzji doktorant nie udokumentował w pracy pełnych badań materiałowych stosowanego kompozytu piaskowego i fibrokompozytu określających ich właściwości wytrzymałościowe występujące we wzorach wymienionych norm, które dotyczą notabene betonu zwykłego. Praca zyskałaby na czytelności gdyby doktorant zamieścił w jej treści czytelne algorytmy przyjęte w analizach normowych nośności badanych elementów.

Pomimo wniesionych uwag merytorycznych i tych o charakterze dyskusyjnym wyrażam przekonanie, że rozprawa doktorska mgra Marka Lehmana spełnia wymagania formalne wyrażone w Art. 13 pkt.1 Ustawy. Rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wskazuje na ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa i transport oraz na jego umiejętność prowadzenia pracy naukowej.

4. Inne uwagi

Wniesione przez recenzenta wątpliwości przedstawione w pkt. 3 i 4 opinii wymagają wyjaśnienia w trakcie obrony rozprawy doktorskiej. Poza wniesionymi wątpliwościami o charakterze merytorycznym, recenzent zwraca również uwagę na niezręczności językowe i terminologiczne występujące w treści rozprawy. Przykładowo:

- str. 11 „*używanie zbrojenia*” - lepiej np. „*stosowanie*”,

- str. 13 „*niewygodne uwarunkowania geologiczne*” - lepiej np. „niekorzystne”,
- str. 17 „*pomimo dużej wiedzy literaturowej*” - lepiej np. „pomimo wielu publikowanych wyników badań”,
- str.17 „mechanizm ścinania jest trudny do całkowitego zrozumienia” - rzeczywiście trudno zrozumieć co miał na myśli autor,
- str. 19 „było stworzenie uniwersalnej metody do wymiarowania ...” – lepiej np. „było opracowanie ogólnej metody wymiarowania....”,
- str. 19 i inne „*dla betonu,do określenia,.. posiadały zbrojenie* - „bez dla i bez do, poprawnie „były zbrojone”
- str. 31 „układ włókien w masie betonowej” – lepiej „w betonie”

Podobne błędy językowe i terminologiczne występują na dalszych stronach dysertacji. Praca przed jej opublikowaniem w części lub w całości – po uwzględnieniu wniesionych uwag merytorycznych, wymaga wnikliwej korekty redakcyjnej.

5. Wniosek końcowy

Reasumując stwierdzam, że pomimo wniesionych uwag merytorycznych dotyczących treści rozprawy oraz jej redakcji, wyrażam przekonanie, że rozprawa doktorska mgra Marka Lehmana spełnia wymagania formalne wyrażone w Art. 13 pkt.1 Ustawy. Wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Lehmana i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

