

## RECENZJA

### ROZPRAWY DOKTORSKIEJ MGR INŻ. MONIKI KASZUBSKIEJ

#### pt.: „ANALIZA WPŁYWU ZBROJENIA GŁÓWNEGO NA NOŚNOŚĆ ŚCINANIA BETONOWYCH BELEK BEZ ZBROJENIA POPRZECZNEGO ”

#### 1. Podstawa formalna recenzji

Podstawą opracowania niniejszej recenzji stanowi uchwała Rady Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej nr 744 oraz pismo nawiązujące do tej uchwały podpisane przez Prodziekana ds. Nauki WB,A i IS dr hab. inż. Artura Zaguły z dn. 5.09.2018.

#### 2. Przedmiot, treść pracy i układ redakcyjny pracy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Kaszubskiej pt. „*Analiza wpływu zbrojenia głównego na nośność ścinania betonowych belek bez zbrojenia poprzecznego*”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Renata Kotynia, prof. PŁ.

Praca doktorska składa się z dwóch części opracowanych w dwóch tomach. Część pierwsza (223 s.) stanowi zasadniczą część rozprawy doktorskiej. Zawarto w niej, w kolejności: streszczenie w języku polskim i angielskim, spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń stosowanych w pracy, zasadniczą treść pracy podzieloną na 10 rozdziałów, piśmiennictwo, a także spis rysunków, tabel i tablic. W Załączniku (117 s.) stanowiącym drugą część pracy doktorskiej zamieszczono szczegółowe wyniki badań i analiz.

W rozdziale 1 zatytułowanym *Wstęp* (liczącym 5 stron, w tym 1 rysunek i 1 tabelę), Autorka wprowadza czytelnika do zagadnień związanych ze ścinaniem w elementach prętowych. Podaje również cel badań oraz trzy tezy pracy. Sformułowane tezy pracy doktorskiej dotyczą wpływu rodzaju i stopnia zbrojenia zbrojenia podłużnego (szklane, stalowe) oraz przyczepności prętów do betonu na nośność i sposób zniszczenia, elementów bez poprzecznego zbrojenia. Wstęp zakończono podaniem podstawowej terminologii z zakresu ścinania stosowanej w pracy.

W rozdziale 2 ( liczącym 50 stron, 68 rysunków, 2 tabele) Autorka przedstawia stan wiedzy dotychczas przeprowadzonych badań eksperymentalnych elementów zbrojonych prętami kompozytowymi bez zbrojenia poprzecznego. Autorka na podstawie literatury opracowała bazę danych doświadczalnych 234 belek bez zbrojenia poprzecznego, z czego 101 belek miało zbrojenie podłużne z prętów GFRP. Wszystkie badania dotyczyły belek jednoprzęsłowych o przekroju prostokątnym i miały zróżnicowane parametry zmienne. Szczegółowe dane zawarto w Załączniku), natomiast w tekście drugiego rozdziału zamieszczono tabele z wymienionymi parametrami zmiennymi w zebranych badaniach obcych. W odrębnym podrozdziale Autorka przedstawiła sposoby zniszczenia na ścinanie

elementów z zbrojonych podłużnymi prętami kompozytowymi. W dalszej części opisane zostały badania belek bez zbrojenia poprzecznego z niemetalicznym zbrojeniem podłużnym prowadzone w różnych laboratoriach w latach 2001 do 2014. Rozdział drugi zakończono analizą wyników opisanych badań obcych uwzględniającą wpływ poszczególnych parametrów na nośność ścinania i sposób zniszczenia. Wyodrębniono wpływ smukłości ścinania, zbrojenia podłużnego (w tym jego rodzaju i osiowej sztywności  $\rho_l E$ ), wpływ wytrzymałości betonu, wysokości przekroju oraz rodzaju i uziarnienia kruszywa.

Kolejny rozdział trzeci (10 stron, 12 rysunków, 2 tabele) rozpoczyna autorską część pracy doktorskiej. Przedstawiono w nim program własnych badań eksperymentalnych. Program obejmował jednoprzęsłowe 33 belki o rozpiętości 180 cm (i długości całkowitej 220 cm). Belki miały przekrój teowy o wysokości 40 cm, szerokości średnicy 15 cm. Grubość półki wynosiła 6 cm, szerokość 40 cm. Belki obciążone były jedną siłą skupioną usytuowaną w odległości 110 cm od osi podpory. Na tym odcinku belki nie miały zbrojenia poprzecznego. Zbrojenie poprzeczne (strzemiona i pręty odgięte) umieszczone było natomiast na drugim odcinku pomiędzy siłą obciążającą belkę i przeciwległą podporą.

Belki podzielono na dwie serie, które planowo miały różnić się pomiędzy sobą wytrzymałością betonu na ściskanie (dla serii I C25/30 i C50/60 dla serii II). Ostatecznie wytrzymałość ta była niewiele zróżnicowana (średnio wynosiła ok. 32 MPa w serii I i 36 MPa w serii II). Beton różnił się natomiast strukturą (w serii II była mniejsza zawartość frakcji kruszywa grubego). Podstawowym parametrem zmiennym, związanym z głównym celem badań był rodzaj podłużnego zbrojenia głównego. Stanowiły go pręty kompozytowe z włókien szklanych GFRP i (dla porównania wyników) pręty stalowe. W serii I zaplanowano 13 belek zbrojonych prętami GFRP i 5 prętami stalowymi, zaś w serii II 9 belek z podłużnym zbrojeniem GFRP i 6 ze zbrojeniem stalowym.

Założono trzy stopnie zbrojenia podłużnego  $\rho_l = 1\%$ , 1,4 i 1,8%. Dla dwóch pierwszych wartości  $\rho_l$  zróżnicowano liczbę i średnicę prętów. W serii I dla stopnia zbrojenia najniższego (1%) i najwyższego (1,8%) pręty podłużne układano w jednej lub dwóch warstwach. W każdej serii belek przyjęto dwie wartości otuliny prętów zbrojenia podłużnego 15 mm i 35 mm. W trakcie badań rejestrowano rozwój zarysowania, pionowe przemieszczenia belki, odkształcenia betonu. Do pomiaru odkształceń betonu w obszarze po jednej stronie belki wykorzystano czujniki indukcyjne LVDT ułożone w kształcie równobocznych rozet, po drugiej, przeciwległej stronie belki deformacje powierzchni betonu monitorowano za pomocą systemu ARAMIS (system cyfrowej korelacji obrazów DIC).

Wyniki przeprowadzonych przez Autorkę badań zamieszczono w rozdziale 4 (38 stron, 38 rysunków, 10 tabel). Podano wyniki badań materiałowych (betonu, zastosowanych prętów kompozytowych GFRP i stalowych). Szczegółowo opisano proces zarysowania poszczególnych belek ilustrując go obrazami rys rejestrowanych w trakcie badań i uzyskanych za pomocą systemu ARAMIS). Dla badanych belek przedstawiono pomierzone odkształcenia betonu i przemieszczenia pionowe belek. W tabelaryzowanej formie podano wartości odkształceń głównych uzyskanych na podstawie pomiarów z czujników LVTD umieszczonych w kształcie rozet a także zestawiono wartości sił niszczących, rysujących, maksymalnych naprężeń ścinających oraz sposób zniszczenia, podając rodzaje rys, które przekształcały się w rysę niszczącą. W 4 z 33 badanych belkach nastąpiła utrata przyczepności zbrojenia do betonu (niszczenie typu B- *bond loss*). Pozostałe belki zniszczyły się od ścinania (niszczenie *ścianająco-rozciągające* ST). Rozdział zakończono zwięzłym podsumowaniem.

Rozdział 5 (24 strony, 30 rysunków) recenzowanej rozprawy doktorskiej zawiera analizę wyników badań przeprowadzonych przez Autorkę. Doktorantka dokonała oceny wpływu stopnia i rodzaju zbrojenia podłużnego, wpływu liczby warstw i średnicy prętów oraz wpływu grubości otuliny na zarysowanie, kąty rysy niszczącej, ugięcia i maksymalne naprężenia ścinające. Zaproponowany układ rozdziału piątego koresponduje z głównymi parametrami zmiennymi w badaniach Autorki. Rozdział zakończono wnioskami, podsumowującymi uzyskane wyniki przeprowadzonych analiz.

W rozdziale 6 (30 stron, 25 rysunków, 143 wzory) przedstawiono teorie ścinania. Rozdział podzielony został na dwie główne części. W pierwszej części rozdziału zwięźle opisano teorie w ujęciu historycznym od klasycznej teorii kratownicowej Mörscha poprzez badania Kani, Godyckiego-Ćwirko, modyfikację teorii kratownicowej Leonhardta i Walthera oraz koncepcje Rüscha.

Wybrane współczesne modele teoretyczne opisujące ścinanie w przypodporowej strefie elementów prętowych zamieszczono w drugiej części rozdziału. Autorka opisała zmodyfikowaną teorię pola naprężeń ściskających Collinsa i Vecchio, Model Mariego wraz z modyfikacją dla elementów ze zbrojeniem kompozytowym FRP, model Zhanga, model Muttoniego oraz model Yanga.

W kolejnym rozdziale 7 (17 stron, 15 rysunków, 12 tabel, 3 wzory) Autorka porównała wyniki obliczone według wybranych modeli teoretycznych z eksperymentalnymi wynikami z badań własnych. Do szczegółowej analizy porównawczej wybrano cztery modele opisane w poprzednim rozdziale a mianowicie model Mariego, Zhanga, Muttoniego i Yanga. Wyniki analiz zamieszczono w tabelach i w formie graficznej na wykresach. Do oceny wyników teoretycznych posłużono się współczynnikiem  $\eta$  będącym stosunkiem maksymalnej siły poprzecznej uzyskanej w badaniach eksperymentalnej do obliczonej nośności na ścinanie według danego modelu. Rozdział zakończono podsumowaniem, w którym dokonano porównania wyników w zależności od zastosowanych w badaniach wartości stopnia zbrojenia podłużnego.

W dalszej części pracy Autorka dokonała przeglądu procedur normowych oraz przeprowadziła weryfikację wyników obliczonych według wybranych norm z wykorzystaniem wyników doświadczalnych.

W rozdziale 8 (7 stron, 47 wzorów, 1 rysunek) opisano procedury obliczeniowe dla strefy przypodporowej belek żelbetowych według normy europejskiej EC2, amerykańskiej ACI 318 i Model Code 2010. W dalszej części rozdziału przytoczono główne zasady wymiarowania na ścinanie elementów ze zbrojeniem podłużnym kompozytowym, bez zbrojenia poprzecznego. Uwzględniono 7 norm (bądź projektów norm): projekt normy EC2 CEN z 2017 roku, normę japońską JSCE z 1997r, amerykańską ACI 440 z 2015 roku, włoską CNR-2006r., modyfikację normy brytyjskiej BS według Biuletynu *fib* nr 40, normę kanadyjską CSA –S806-12 z 2012 roku i wytyczne projektowe według ISIS-M03-07 z 2007 roku.

W następnym rozdziale 9 (13 stron, 7 rysunków, 3 tabele) Autorka przeprowadziła weryfikację uprzednio przytoczonych procedur normowych z wykorzystaniem wyników doświadczalnych z badań własnych, uwzględniającą rodzaj zbrojenia podłużnego. Zweryfikowała również procedury normowe wykorzystując wyniki doświadczalne z badań obcych zgromadzone w sporządzonej przez siebie bazy danych 234 belek (opisanej w rozdziale 2 i Załączniku). Weryfikację Autorka wykonała dla belek zbrojonych prętami szklanymi GFRP (101 elementów) i prętami węglowymi CFRP (99 belek). W weryfikacji

uwzględniono podział elementów z uwagi na smukłość ścinania. Ostatni, 10 rozdział rozprawy doktorskiej, liczący 4 strony, zawiera wnioski z przeprowadzonych badań i analiz, uzasadnienie zrealizowanych celów i też rozprawy a także kierunki dalszych prac badawczych.

Pracę doktorską kończy spis piśmiennictwa obejmujący 150 pozycji, oraz spis rysunków i tabel.

Integralnie związana z rozprawą doktorska jest druga część pracy stanowiąca Załącznik (117 stron). Zawarto w nim szczegóły opracowanej przez Autorkę bazy danych z badań 234 belek (realizowane w latach 1995 do 2013) oraz szczegółowe wyniki badań własnych. Obejmują one wyniki badań materiałowych, obrazy zarysowań uzyskane z wykorzystaniem systemu Aramis, odkształcenia betonu, przemieszczeń pionowych belek. Ostatnia część Załącznika zawiera szczegółowe dane dotyczące przeprowadzonej weryfikacji procedur normowych z wykorzystaniem badań własnych i obcych.

### 3. Ocena merytoryczna pracy

Recenzowana praca doktorska ma charakter eksperymentalno-teoretyczny. Treść pracy ściśle odpowiada jej tytułowi.

Podjęty przez Doktorantkę temat pracy dotyczący problemu ścinania w belkach z podłużnym zbrojeniem kompozytowym i kierunek jego realizacji uważam za aktualny i ważny. Szczególnie, że obecnie są opracowywane europejskie zalecenia normowe w tym zakresie a zbrojenie kompozytowe jest coraz częściej stosowane w praktyce.

Problem ścinania elementów prętowych, mimo wielu lat prowadzonych badań w odniesieniu do elementów żelbetowych nadal nie jest jeszcze w pełni wyjaśniony i jest przedmiotem prowadzonych prac w różnych ośrodkach badawczych. Badań ukierunkowanych na wyjaśnienie ścinania belek ze zbrojeniem kompozytowym (GFRP) jest zdecydowanie mniej. Należy również podkreślić, że Autorka swoje badania przeprowadziła na belkach o przekroju teowym w skali naturalnej. Dotychczas prowadzone badania dotyczyły wyłącznie belek o poprzecznym przekroju prostokątnym często o małych wymiarach, co w świetle badań m.in. Leonhardta i Walthera, Rüscha czy Reinhardta może budzić pewne wątpliwości.

Podstawowym warunkiem poznawczego charakteru badań naukowych jest poprawnie przyjęty program badawczy. Autorka po przeanalizowaniu stanu wiedzy na temat badań i modeli teoretycznych opracowała program badań własnych, który spełnia ten warunek. Program uwzględnia najważniejsze parametry, związane ze zbrojeniem podłużnym, wpływające na nośność ścinania. Zastosowanie w badaniach nowoczesnego optycznego systemu bezstykowej rejestracji odkształcenia i zarysowania *Aramis* dodatkowo umożliwiło wnikliwą analizę procesu zarysowania.

Z tematem pracy doktorskiej są ściśle skorelowane przyjęty cel naukowy badań oraz sformułowane przez Autorkę trzy tezy badawcze.

Wszystkie części rozprawy doktorskiej są merytorycznie spójne. Dotyczy to zarówno rozdziałów przedstawiających przegląd literatury, modeli obliczeniowych, procedur normowych jak i rozdziałów dotyczących badań oraz analiz Autorki.

Badania zostały przeprowadzone bardzo starannie. Wyniki badań i przeprowadzonych analiz zostały szczegółowo udokumentowane w obu częściach rozprawy doktorskiej.

Układ pracy jest merytorycznie poprawny. Główny cel badań został osiągnięty, a sformułowane przez Autorkę tezy zostały udowodnione.

Jednoznacznie stwierdzam, że opiniowaną rozprawę doktorską mgr inż. Moniki Kaszubskiej oceniam jako bardzo dobrą o dużym znaczeniu poznawczym. Poniżej wymienione argumenty stanowią uzasadnienie tej oceny.

### Główne osiągnięcia pracy

Za najważniejszy oryginalny dorobek poznawczy Autorki uważam:

- Przeprowadzenie doświadczalnych badań 33 belek o przekroju teowym i wymiarach w skali naturalnej zbrojonych prętami kompozytowymi GFRP ukierunkowanych na rozpoznanie wpływu zbrojenia na podłużnego na nośność ścinania belek bez zbrojenia poprzecznego. Poza smukłością ścinania, zbrojenia główne jest parametrem istotnie wpływającym na tę nośność. Autorka do realizacji tematu trafnie z merytorycznego punktu widzenia przyjęła szczegółowe parametry zmienne: zróżnicowany stopień zbrojenia, usytuowanie prętów, liczby i średnicy prętów, grubość otuliny a także w celach porównawczych uwzględnienie belek ze stalowym zbrojeniem podłużnym. Tak zaplanowany program badań umożliwił rozpoznanie wpływu tych czynników na zarysowanie i nośność ścinania strefy przypodporowej.
- Zastosowanie w badaniach doświadczalnych nowoczesnej metody badawczej polegającej na rejestracji deformacji powierzchni betonu belek w strefie przypodporowej (odkształcenia i zarysowania) za pomocą bezstykowego optycznego systemu pomiarowego cyfrowej korelacji obrazu *Aramis*. Umożliwiło to Autorce uzyskanie doświadczalnych precyzyjnych map odkształceń wraz z ich kumulacją obrazującą powstawanie i rozwój zarysowania. Wnikliwe śledzenie propagacji rys pod obciążeniem monotonicznym z kolei przyczyniło się do precyzyjnego określenia mechanizmów zniszczenia belek z podłużnym zbrojeniem kompozytowym.
- Dokonanie oceny wpływu przyjętych w programie badań poszczególnych parametrów zmiennych na zarysowanie i nośność ścinania.
- Analizę wybranych, proponowanych w literaturze światowej, teoretycznych modeli ścinania, umożliwiających ocenę nie tylko ich zgodności z wynikami doświadczalnymi i poziomu bezpieczeństwa ale także określenie (stosownie do założeń dla poszczególnych modeli) roli poszczególnych składowych sił w całkowitej nośności ścinania (udział siły klockującej, siły wynikającej z ząbienia się kruszywa, siły przenoszonej przez beton).
- Podjęcie własne próby modyfikacji modelu Muttoniego na podstawie wyników badań własnych i wybranych belek ze stworzonej przez siebie bazy danych belek ze zbrojeniem kompozytowym GFRP (propozycja zmiany wzoru 6-127 na 7-2)
- Przeprowadzenie w szerokim zakresie weryfikacji istniejących procedur normowych jak dla belek żelbetowych (EC2, ACI 318 i MC2010) oraz 9 innych procedur normowych opracowanych dla zbrojenia kompozytowego, w tym propozycji Eurokodu 2 CEN (z uwzględnieniem zróżnicowanej wartości współczynnika  $C_{Rd,c}$  z 2014), normy amerykańskiej ACI 440 (2015), norm japońskiej, włoskiej, kanadyjskiej, brytyjskiej i wytycznych ISIS. W weryfikacji Autorka wykorzystała wyniki badań własnych i obcych z opracowanej przez siebie

bazy danych badań 234 belek. Uzyskane wyniki podzielone zostały według rodzaju zbrojenia i wartości smukłości ścinania. Rezultaty tej weryfikacji pozwalają ocenić trafność proponowanych w normach procedur i zasadność uwzględniania w nich poszczególnych parametrów.

Na wyróżnienie zasługuje również wnikliwie przeprowadzony przez Autorkę przegląd stanu wiedzy dotyczący badanego zagadnienia, usystematyzowanie wyników dotychczas zrealizowanych badań i opracowanie dużej bazy danych doświadczalnych (234 belki) z wyszczególnieniem parametrów zmiennych. To pierwsza taka baza w odniesieniu do belek ze zbrojeniem kompozytowym bez zbrojenia poprzecznego.

W odniesieniu do belek żelbetowych bez zbrojenia poprzecznego, stworzona baza danych przez Reinecka i Kuchmę, obejmowała 439 belek w wersji podstawowej (rozważano 933 belki, z czego 231 miała smukłość ścinania poniżej 2,4 (ACI 2/2003).

## Uwagi o charakterze dyskusyjnym

### Uwagi ogólne

W elementach zginanych bez zbrojenia poprzecznego dla smukłości ścinania  $a/d < 2,5$  (czy też 2,8 w przypadku zbrojenia kompozytowego) schemat pracy łukowo-ściągowy występuje w przypadku obciążenia równomiernego. Dla sił skupionych obciążających belkę jest to praca rozporowo-ściągowa.

Autorka na początku pracy podjęła próbę usystematyzowanie sposobów zniszczenia na ścinanie. Podczas studiów literaturowych Autorka zauważyła, że opisy rozwoju zarysowania i niszczenia wielu badaczy są zgodne natomiast istnieją w literaturze duże rozbieżności w przyjętym nazewnictwie. Opisu charakteru zniszczenia dokonał już Godycki-Ćwirko w swojej książce Ścinanie w żelbecie (1968 r wydanie polskie, 1972 wydanie francuskie, 1973 wydanie niemieckie) wprowadzając pojęcia zniszczenia ścianająco-zginającego, ścianająco-ściskającego, niszczenia ścianająco-poślizgowego i niszczenia od przecinania. Należałoby tę pracę w tym miejscu zacytować.

Dla wyjaśnienia nie jest prawdą zacytowane według pracy Słowik (2016) stwierdzenie, że zniszczenie *diagonal tension* występuje w elementach o smukłości ścinania powyżej 2,5. W elementach krępych występuje również, jest stosowane w wielu publikacjach i określa zniszczenie wzdłuż rysy ukośnej z jednoczesnym uplastycznieniem zbrojenia głównego. Zniszczenie wzdłuż rysy ukośnej bez uplastycznienia zbrojenia określa się jako *diagonal splitting*.

W rozdziale opisującym stan wiedzy, w części poświęconej wpływowi smukłości ścinania powinna być przytoczona praca Kani, jako jedna z pierwszych uwypuklająca znaczenie tego parametrów i wartości  $a/d=2,5$  orientacyjnie rozdzielającej charakter pracy belki. Ta sama uwaga dotyczy kolejnego podrozdziału o wpływie zbrojenia podłużnego.

Autorka prowadziła w badaniach wnikliwą rejestrację procesu propagacji zarysowania, rejestrowała również obraz deformacji betonu za pomocą systemu Aramis. Jörg Schlaich w swoich badaniach stwierdził, że kąt nachylenia krzyżulców (pól) ściskanych, a co za tym idzie rys ukośnych po zarysowaniu zmienia się o około 12÷15° w stosunku do tzw. fazy I, niezarysowanej. Czy Autorka może to potwierdzić?

Na przeciwległej powierzchni względem tej monitorowanej przez optyczny system Aramis, umieszczono czujniki LVDT w kształcie równobocznych trójkątnych rozet. Rejestrowano odkształcenia po przecięciu rozety rysą. Czy wzór (4-1) na odkształcenia wzdłuż kierunków głównych dla materiału izotropowego dla betonu jest ważny również w fazie po zarysowaniu? Czy można uzyskać takie dane (odkształcenia główne) z pomiarów Aramisem?

W rozdziale 7, rozpoczynając analizę wybranych modeli obliczeniowych na podstawie badań własnych użyła sformułowania, że: *Wyniki  $\eta < 1$  świadczą o obliczeniowym przeszacowaniu nośności, ponieważ zawyżają wyniki doświadczalne.* W opinii recenzenta wartości doświadczalne są faktem i nie zmieniają się wskutek jakichkolwiek obliczeniowych wyników.

#### **Uwagi szczegółowe (w kolejności czytania tekstu pracy)**

s. 73, na rysunku 3.9 powinien być dodany oznaczenie siły obciążającej belkę F (symbol używany w dalszej części pracy)

s. 84, rys. 4.7 powinna być na rysunku zaznaczona podpora i działające obciążenie

s. 102, 9 w. od góry powinno być (4-1)

s. 111, 14 w. od dołu - powinno być ...ściągowym, 7 w. od dołu – powinno być uśrednionych

s. 114 – 4 w. od dołu- powinno być ... naprężeń

s. 139, 19 w. od dołu – powinno być ...pierwsi

s. 158, rys. 6.18, siła równoległa i prostopadła do ukośnej płaszczyzny jest opisana identyczną zależnością ?

s. 160, wzór (6-119) powinno być  $\phi_s$  jak poniżej w wyjaśnieniu oznaczeń

s. 162, objaśnienie symbolu  $d_{g0}$  należałoby przenieść ze strony 163 poniżej wzoru (6-121)

s. 185 do wzoru (8-9) powinno być wyjaśnienie dotyczące jednostek (czy wzór jest dostosowany do jednostek imperialnych czy do układu SI, podobnie jak do wzoru (8-34) s. 190

s. 211 pozycja Knauff (2008) usunąć należy literę w przez słowem Konferencja

#### **4. Wniosek końcowy**

Recenzowana rozprawa doktorska jest wartościową pracą eksperymentalno- teoretyczną o znaczeniu poznawczym i praktycznym dotyczącą tematyki ścinania w belkach z podłużnym zbrojeniem kompozytowym bez zbrojenia poprzecznego. Podjęta przez Doktorantkę tematyka jest - w odniesieniu do zbrojenia kompozytowego - nowa, porównując liczbę badań w tym zakresie dotyczących belek żelbetowych. Ponadto po raz pierwszy badania prowadzone były na belkach o przekroju teowym. Do realizacji badań zastosowane zostały nowoczesne metody badawcze.

Autorka swoje badania i analizy ukierunkowała na wyjaśnienie wpływu zbrojenia podłużnego na zarysowanie, nośność ścinania belek zbrojonych prętami kompozytowymi i sposób ich niszczenia. Wykonała również badania belek z tradycyjnym zbrojeniem stalowym, co umożliwiło Jej rozszerzenie analiz o porównania tego wpływu pomiędzy różnymi rodzajami zbrojenia.

W badaniach przyjęto szereg parametrów zmiennych pozwalających na ocenę wpływu na zarysowanie i nośność stopnia zbrojenia, usytuowania, liczby i średnicy prętów, oraz grubości otuliny. Wyniki badań zostały bardzo starannie przeanalizowane pod kątem oceny

wpływu poszczególnych parametrów zmiennych a także zostały skonfrontowane z wynikami teoretycznymi uzyskanymi według wybranych modeli obliczeniowych.

Przeprowadzone studia literatury zaowocowały opracowaniem przez Doktorantkę bazy danych doświadczalnych 234 dotychczas zbadanych belek zbrojonych prętami GFRP, CFRP lub prętów aramidowych badanych na ścinanie.

Autorka wykonała również analizy obliczeniowe według aktualnych procedur normowych (europejskiej, amerykańskiej i Model Codu) oraz dziewięciu innych procedur normowych dotyczących belek zbrojonych prętami kompozytowymi (w tym wg projektu normy europejskiej). Wyniki porównała z wynikami eksperymentalnymi własnymi i z opracowanej przez siebie bazy danych badań obcych. Taka szeroka weryfikacja procedur normowych umożliwiła jej ocenę zarówno poprawności poszczególnych metod normowych w aspekcie bezpieczeństwa jak również ocenę celowości uwzględnianych w tych procedurach parametrów i ich wpływu na obliczaną nośność ścinania.

Praca doktorska jest bardzo starannie opracowana, program badań bardzo czytelnie przedstawiony, uzyskane wyniki są udokumentowane licznymi wykresami, tablicami i zdjęciami.

Cel pracy został osiągnięty a sformułowane przez Autorkę tezy badawcze zostały w pełni udowodnione.

Zasygnalizowane uwagi w niczym nie umniejszają merytorycznej wartości pracy i bardzo dobrej oceny rozprawy doktorskiej przedłożonej do recenzji.

Podsumowując niniejszą opinię stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Kaszubskiej pt. „*Analiza wpływu zbrojenia głównego na nośność ścinania betonowych belek bez zbrojenia poprzecznego*” spełnia wszystkie warunki merytoryczne i formalne, którym powinna odpowiadać rozprawa doktorska określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 – oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dn. 22.09.2011 w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora wraz z późniejszymi zmianami.

Na podstawie powyższego wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Monikę Kaszubską do publicznej obrony pracy doktorskiej.

Po zapoznaniu się z załączonym do dokumentacji spisem recenzowanych publikacji Doktorantki i treścią załączonych pięciu prac, (3 prac z AMCM 2017 i dwóch artykułów w Structural Concrete 2018) oraz biorąc pod uwagę starannie przeprowadzone badania eksperymentalne i analizy wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej pracy doktorskiej mgr inż. Moniki Kaszubskiej.

*Krzyszto Nagrodzko-Godycko*