

Dr hab. inż. Arkadiusz Madaj, prof. PP

Poznań, 14.04.2018

Politechnika Poznańska

Instytut Inżynierii Lądowej

Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych

Opinia o rozprawie doktorskiej mgr. inż. Dawida Kisaly:
„Nośność i ugięcia belek zespolonych typu stalowa blacha - beton.”

1. Podstawa formalna opracowania

Opinię opracowano na prośbę Rady Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej (pismo Dziekana Wydziału z dnia 22.01.2018).

2. Wprowadzenie

Opinia została opracowana w oparciu o dostarczony egzemplarz rozprawy, po zapoznaniu się z którym, z uwagi na pewne braki i błędy edytorskie, niejasności w definicjach stosowanych pojęć oraz często ich niejednoznaczności, co bardzo utrudniało, a niekiedy wręcz uniemożliwiało opracowanie opinii i stwarzało zagrożenie innej od zamierzonej przez Autora rozprawy interpretacji określonych zapisów, nie zdefiniowanych jednoznacznie pojęć oraz ujednolicenia używanych oznaczeń, poprosiłem Autora rozprawy o przesłanie stosownego pisemnego wyjaśnienia w tym zakresie. Poprosiłem również o przesłanie zestawienia używanych oznaczeń literowych, wraz z ich opisem. W konsekwencji w opracowywanej recenzji wykorzystałem zarówno zasadniczy tekst rozprawy jak i przesłane wyjaśnienia, a także uwzględniłem poprawione błędy. W ocenie opierano się o dołączone do pisma z wyjaśnieniami zestawienie oznaczeń parametrów i zmiennych.

Jakkolwiek przesłane wyjaśnienia, w tym podane definicje niektórych stosowanych pojęć oraz dodanie spisu oznaczeń, istotnie poprawiło obiór treści rozprawy, jednak w dalszym ciągu redakcja pracy, a przede wszystkim opis wyników przeprowadzonych badań powoduje, że nie wszystko jest dla mnie zrozumiałe. Będzie o tym szczegółowo mowa w

dalszej części recenzji
Wydziału Inżynierii Lądowej
Wpłynęło dnia. 14.04.2018
L. dz. 10.510.4.2018
podpis. [signature]

3. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa dotyczy konstrukcji betonowych, zbrojonych w strefie rozciąganej blachę stalową. Połączenie (zespolecie) blachy z elementem betonowym zrealizowane zostało za pomocą stalowych sworzni (prętów zakończonych główkami, spawanymi do blachy). W pracy Autor przedstawił wyniki własnych badań eksperymentalnych, badań analitycznych i numerycznych belek o opisanej konstrukcji. Wyniki te odniósł do zaczerpniętych z literatury wyników badań pięciu belek o podobnej konstrukcji. Jednak przedstawione tezy jak i ich dowód zostały oparte w zasadzie jedynie o własne badania.

Opiniowana rozprawa składa się z części zasadniczej, mającej 173 strony, oraz aneksu mającego 7 stron + 4 strony zestawienia symboli i oznaczeń. Część zasadnicza składa się z ośmiu rozdziałów, spisu literatury, rysunków i tablic oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Rozdział 1 – „Wprowadzenie” omawia w sposób bardzo ogólny (2 strony) przedmiot rozprawy.

Rozdział 2 – „Przegląd literatury” to bardzo pobieżna charakterystyka dźwigarów będących przedmiotem rozprawy, z krótkim omówieniem zaczerpniętych z literatury wyników badań pięciu belek, które stały się inspiracją do podjętego tematu rozprawy oraz z bardzo skrótowego omówieniem dotychczasowych badań analitycznych i numerycznych dotyczących zagadnienia zespolenia belki stalowej i betonowej płyty, w tym nośności i sztywności łączników wiotkich oraz wpływu podatności zespolenia na nośność i sztywność belki składającej z kształtownika stalowego zespolonego z płytą betonową.

Rozdział 3 – „Cel, tezy i zakres pracy” zawiera zgodnie z tytułem cel i tezy pracy oraz planowany zakres badań: doświadczalnych, analitycznych i obliczeń numerycznych metodą elementów skończonych (MES).

Rozdział 4 – „Badania doświadczalne” to opis przeprowadzonych badań eksperymentalnych. W pierwszej części opisano dość szczegółowo jedną z metod badania przemieszczeń, a mianowicie metodę optyczną, a następnie badania materiałów, z których wykonano modele (betonu i stali – zbrojeniowej i konstrukcyjnej oraz stali, z której wykonano łączniki w postaci sworzni), badania nośności zespolenia (za pomocą łączników sworzniowych) oraz opis badań empirycznych sześciu belek zespolonych, składających się z blachy stalowej, połączonej za pomocą stalowych sworzni z belką żelbetową (opis: geometrii belek, stanowiska badawczego, aparatury pomiarowej). Rozdział ten zawiera również wyniki badań eksperymentalnych.

Rozdział 5 – „Analiza teoretyczna” zawiera opis badań analitycznych dotyczących nośności, zarysowania oraz ugięcia belek badanego typu belek zespolonych. W oparciu o zaprezentowane rozwiązania analityczne przedstawiono wyniki obliczeń nośności, stanu odkształcenia oraz ugięcia belek poddanych badaniom eksperymentalnym. W części opisowej podano w oparciu o studia literaturowe oraz własne analizy wzory na obliczanie sztywności i nośności przedmiotowych belek oraz wzory na obliczanie ugięcia. Następnie wykorzystując przedstawione w pierwszej części rozdziału wzory podano wyniki obliczeń nośności na zginanie, ugięcia oraz poślizg blachy stalowej na końcu badanych elementów, a także obliczenia odkształceń w blasze i betonie. Wyniki te częściowo (obliczenia nośności i ugięcia) zestawiono z zaczerpniętymi z literatury wynikami badań pięciu belek podobnego typu.

Rozdział 6 – „Analiza numeryczna” zawiera opis badań numerycznych badanych belek, przy wykorzystaniu komercyjnego programu metody elementów skończonych (program ANSYS). W rozdziale opracowano model numeryczny metody elementów skończonych badanych belek, a następnie przedstawiono wyniki obliczeń nośności i ugięcia badanych belek, obliczono poślizg na końcu blachy stalowej raz odkształcenia w blasze stalowej i elemencie betonowym. Podobnie jak w poprzednim rozdziale uzyskane wyniki częściowo porównano zaczerpniętymi z literatury wynikami badań pięciu belek podobnego typu.

Rozdział 7 – „Analiza porównawcza” to porównanie wyników badań eksperymentalnych z wynikami obliczeń za pomocą wzorów analitycznych i przy zastosowaniu metody elementów skończonych. Dokonano również analizy parametrycznej wpływu na badane wielkości zmiany wartości takich parametrów jak: wytrzymałość betonu i stali konstrukcyjnej, średnicy i rozstawu łączników (sworzni).

Rozdział 8 – „Wnioski i uwagi końcowe” zawiera wnioski z przeprowadzonych badań oraz planowany program dalszych badań.

Na końcu zasadniczej części rozprawy zamieszczono spis literatury (86 pozycji), spis rysunków, spis tablic oraz streszczenie (w języku polskim i angielskim).

Istotnym mankamentem rozprawy jest posługiwanie przez Doktoranta mało precyzyjnym językiem lub językiem o charakterze potocznym, nie wspominając o błędach stylistycznych. Przykładem takich mało precyzyjnych sformułowań może być kilka wybranych fragmentów zdań: „W przypadku ugięć sytuacja jest mniej jednoznaczna...” (str. 74), „Porównanie wyników metody tradycyjnej i optycznej wypada bardzo korzystnie” (str. 74), „...wyniki...należy rozważać z pewną dozą nieufności” (str.75), „...obliczenia analityczne

stawiają projektanta po bezpiecznej stronie...(str.105), „Pozostałe elementy badawcze nie uświadczły tego problemu...” (str. 126) czy „W większości belek można zaobserwować również efekt uzyskania większej nośności na zginanie niż miało to w rzeczywistości...” (str. 136). Przykłady takie można by mnożyć.

4. Analiza merytoryczna treści rozprawy.

Układ rozprawy to w założeniu kompleksowe rozwiązanie problemu naukowego, z odniesieniem do możliwych praktycznym wykorzystaniem wyników badań. Treść rozprawy zawiera wprowadzenie do tematu badań, następnie zaprezentowane są dotychczasowe osiągnięcia z zakresu przedmiotu rozprawy, dalej opisane są wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych, rozwiązania analityczne wybranych zagadnień związanych z przedmiotem badań, poparte analizą numeryczną, przy zastosowaniu metody elementów skończonych (MES). Całość pracy zakończona jest podsumowaniem uzyskanych rezultatów badań eksperymentalnych i analitycznych, z próbą wykorzystania uzyskanych rezultatów do analizy wpływu zmiany wybranych parametrów na zachowanie się belek składających się z blachy stalowej zespolonej za pomocą sworzni z belka żelbetową. Jest to moim zdaniem jak najbardziej prawidłowy układ rozprawy doktorskiej.

Przegląd literatury jest dość ubogi. Odnosi się w bardzo małym zakresie do przedmiotu rozprawy, a głównie do omówienia zagadnienia zespolenia dźwigarów stalowych z płytą betonową za pomocą stalowych sworzni: sztywności i nośności sworzni oraz wpływu poślizgu pomiędzy elementem stalowym (belką) a elementem betonowym (płytą), na nośność i ugięcie konstrukcji zespolonych, przy czym należy podkreślić, że przedstawione wyniki dotyczą zupełnie innego typu konstrukcji, niż konstrukcji będących przedmiotem rozprawy, co rodzi wątpliwości odnośnie możliwości bezpośredniego wykorzystania podanych wzorów i wyników badań do analizy belek będące przedmiotem rozprawy. Wydaje się, że w rozdziale tym powinno znaleźć się również omówienie pewnych zagadnień dotyczących belek żelbetowych, a których zachowanie się pod obciążeniem w niektórych aspektach może być bliższe badanym belkom niż wyniki uzyskane z badania względnie sztywnych, samonośnych belek stalowych zespolonych za pomocą sworzni z płytą betonową. Moim zdaniem studia nad zachowaniem się belek żelbetowych, ułatwiłoby Autorowi rozprawy np. analizę wpływu zarysowania na sztywność (ugięcie) analizowanych belek.

Analizę treści rozprawy i uzyskanych wyników utrudnia stosowana terminologia dotycząca opisu parametrów przyjętych do scharakteryzowania np. podatności łączników czy

podatności zespolenia. Pewne uporządkowania stosowanej terminologii Autor rozprawy wprowadził w przesłanym wyjaśnieniu, jednak w dalszym ciągu mam do opisu niektórych stosowanych pojęć zastrzeżenia, o czym będzie mowa w uwagach szczegółowych. Problem ten pojawia się niestety w całej rozprawie, co niekiedy bardzo utrudnia analizowanie jej treści. Nie ułatwia tego również stosowanie różnych oznaczeń na te same wielkości np. nośność łącznika oznaczana jest raz jako P_{rd} (wzór 4.6), by we wzorze (4.7) opisać to jako Q_n , a we wzorze (4.8) N_v^C . Przy czym nie wiadomo, czy wartości obliczone wzorami (4.7) i (4.8) to wartości charakterystyczne czy obliczeniowe. Nie wyjaśnia tego również dołączony później do pracy spis oznaczeń.

Krytycznie należy odnieść się do wykorzystywania, w kontekście badanych belek, wzorów na wpływ poślizgu (w domyśle – pomiędzy dźwigarem stalowym a elementem betonowym) na nośność i sztywność analizowanych belek. Zaprezentowane w rozdziale 2.3.3 do 2.3.5 analizy i wzory odnoszą się do „klasycznych” belek zespolonych stalowo-betonowych, w których element betonowy (płyta) jest na ogół w przeważającej części lub w całości ściskany.

Moim zdaniem nie jest również trafne odniesienie belek będących przedmiotem rozprawy do belek Möllera, których konstrukcja i praca w sposób zasadniczy odbiega od belek będących przedmiotem rozprawy (np. ukształtowanie belki i „zbrojenia”, sposób współpracy części stalowej i betonowej – m.in. brak elementów zespalających część stalową i betonową na długości belki).

Odnosnie też rozprawy, to ich postawienie nie znajduje moim zdaniem uzasadnienia w początkowej części rozprawy, w tym zaprezentowanym przeglądzie literatury. Ich postawienie w takiej formie na początku rozprawy musiałoby świadczyć o dużej tzw. intuicji Autora. Tzw. tezy rozprawy, są moim zdaniem wnioskami z przeprowadzonych badań.

W rozdziale 4 zawarto wyniki badań eksperymentalnych. Badania te zostały przeprowadzone bardzo starannie. Badania belek zostały poprzedzone podstawowymi badaniami materiałów konstrukcyjnych (stali zbrojeniowej i konstrukcyjnej oraz betonu), a także badaniem łączników sworzniowych w teście typu push-out. Pewnym mankamentem badań betonu, jest ustalenie wytrzymałości betonu nie chwili badania belek, a po standardowym okresie 28 dni. Ponadto zbędne przy opisie parametrów materiałów konstrukcyjnych jest podawanie deklarowanych parametrów przez producentów – zarówno stali jak i betonu. To nie są miarodajne wartości, wykorzystywane w badaniach eksperymentalnych, tym bardziej jeśli przeprowadzone zostały badania własne. W rozdziale tym pojawia się dodatkowo dość szczegółowy opis badań przemieszczeń metodami

optycznymi. Jest to rzadko stosowana metoda badań przemieszczeń i zapewne z tego powodu poświęca jej Autor rozprawy dość dużo uwagi. Jednak umieszczenie opisu metody w tym miejscu zaburza nieco czytelność pracy. Moim zdaniem, jeśli szczegółowo nie opisujemy innych metod badań, to lepiej rozdział ten byłoby przenieść do załącznika, podobnie jak np. podany zakres akredytacji Laboratorium Badawczego Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowlanych Politechniki Krakowskiej (str. 71 rozprawy). W ewentualnym załączniku można by podać stosowane przez akredytowane laboratorium procedury badawcze. Z kolei w opisie wyników badań pojawiają się mało precyzyjne lub nie zdefiniowane wcześniej pojęcia, jak np. poziom zespolenia (str. 73 i 74).

Przeprowadzone badania zachowania się belek będących przedmiotem rozprawy metodami analitycznymi, są próbą opisu zależności jakie zachodzą pomiędzy określonymi parametrami mającymi wpływ na zachowanie się badanych belek pod wpływem obciążenia (zarysowanie, poślizg zespolonej blachy, ugięcia czy nośność graniczna). Analiza wyników tych badań zawarta w rozdziale 5 jest jednak trudna do interpretacji, ze względu na brak jednoznaczności wprowadzonych oznaczeń, jakkolwiek przesłany na moja prośbę spis oznaczeń nieco ułatwia interpretację poszczególnych wzorów, jednak nie do końca. Istotnym utrudnieniem interpretacji uzyskanych rezultatów badań jest nie zdefiniowanie pojęcia faz pracy belki omawianego typu. Dopiero podana w przesłanym piśmie wyjaśniającym definicja faz pracy belek omawianego typu ułatwia interpretację podanych wzorów, jakkolwiek w dalszym ciągu zastosowany opis budzi wątpliwości interpretacyjne. Dotyczy to zwłaszcza zdefiniowanej w III fazie pracy: „Faza III – oznaczająca fazę zniszczenia przekroju zakończona zmiążdżeniem przekroju”. Tak zdefiniowana faza III jest bardzo nieprecyzyjna. Co oznacza określenie „faza zniszczenia przekroju”. Jeśli faza III to zniszczenie przekroju, to jak określić sztywność belki w tej fazie? Pomimo tego Autor rozprawy wprowadza pojęcie „zastępczy moment bezwładności belki w III fazie” (wzór 5.20). Jak go wyznaczyć, skoro to faza „zniszczenia przekroju”? Czy wprowadzony do wzoru (5.20) moment bezwładności belki I_{III} to np. uśredniony moment bezwładności belki obejmujący strefy będące w strefie sprężystej, sprężystej zarysowanej i sprężysto plastycznej? W tym miejscu rodzi się pytanie, jak w oparciu o przedstawione wzory w rozdziale 5.6 Autor rozprawy obliczał ugięcie belki w zakresie pracy sprężysto-plastycznej. W rozdziale tym podany jest jedynie wzór na określenie ugięcia belki w I fazie (wzór 5.45). W odniesieniu do II fazy podany jest wzór na uśrednioną sztywność belki (B_0 – patrz spis oznaczeń), natomiast dla III fazy brak jest wzoru na uśrednioną sztywność belki, a jedynie podany jest wzór na moment bezwładności belki w funkcji momentu zginającego (wzór 5.53). W związku z tym należy wyjaśnić, przy

wykorzystaniu jakich wzorów lub procedur (algorytmów) obliczono wartości ugięć, które zestawiono na rys. 5.5 do 5.15.

W rozdziale 5-tym podane są wyniki obliczenia nośności belek na zginanie oraz porównanie uzyskanych obliczeń metodą analityczną z wynikami badań (tablica 5.1). Jednak w przypadku obliczania nośności na zginanie badanych belek (rozdz. 5.7.1) brak jest wskazania, przy wykorzystaniu jakiej zależności (wzoru) nośność ta była obliczana, w tym w jaki sposób uwzględniano to, że belka „zbrojona” jest nie tylko za pomocą zespolonej blachy, ale również za pomocą prętów zbrojeniowych (dołem i góra). Ponadto nie podano, jakie do obliczeń przyjęto np. wartości granicy plastyczności stali konstrukcyjnej, zbrojeniowej czy betonu ściskanego.

Obliczenia nośności i ugięcia metodami analitycznymi zostały uzupełniono metodami numerycznymi – metodą elementów skończonych (MES). I w tym przypadku analizę treści rozdziału utrudnia mało precyzyjny opis modelu numerycznego oraz brak opisu niektórych wprowadzonych oznaczeń np. parametru F_d we wzorze (6.1). Z treści poprzedzających wzór można domyślić się, że odnosi się on do łączników i „charakteryzuje zachowanie się łączników”. Ale co kryje się pod pojęciem „zachowanie łączników”? Innym przykładem są sformułowane na stronie 122 i 123 zdania: „W tym celu od drugiego kroku obciążenia zrezygnowano z wykorzystania kryterium siły na rzecz kryterium przemieszczeń. Parametry te (tzn. jakie – przypis recenzenta) dobrane zostały tak, aby otrzymać najmniejszą możliwą wartość (czego? - przypis recenzenta)”. Ponadto w podsumowaniu Autor pisze, że w rozdziale tym „szczegółowo opisano” model betonu, model stali oraz mechanizm poślizgu, czego ja nie znajduję.

Szczególnie trudny do oceny merytorycznej jest rozdział 7. Wynika to m.in. z mało precyzyjnego języka i posługiwania się niejednoznacznymi określeniami. Nieco czytelność tego rozdziału „poprawiły” przesłane wspomniane w pkt. 2 opinii wyjaśnienia, jednak nie do końca (np. dopiero w piśmie wyjaśniającym, o czym już pisałem, podano co Autor rozumie pod pojęciem „trzecia faza pracy belki” czy „stopień zespolenia”). Przykładem braku jasnego formułowania myśli jest np. takie zadanie: „W większości belek można zaobserwować również efekt uzyskania większej nośności na zginanie niż miało to w rzeczywistości, jednak w głównej mierze jest to prawdopodobnie spowodowane niepełnymi wynikami badań doświadczalnych zastosowanych blach stalowych.” (str. 136) O jakich „niepełnych badaniach” blach pisze Autor?

Nie zrozumiałym jest posługiwanie się w opisie wyników badań się pojęciem „klasa betonu” czy „klasa stali konstrukcyjnej”. Przecież są to pojęcia, które wprowadzone są np. do

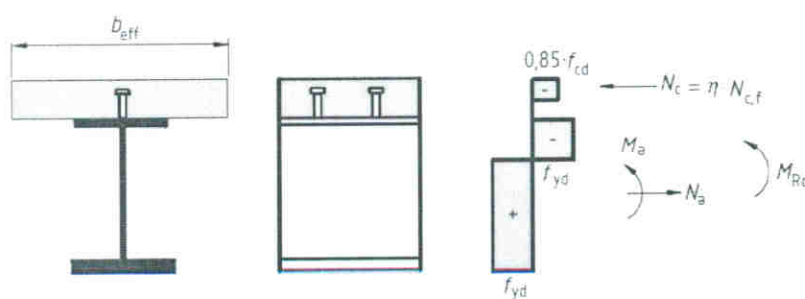
norm projektowania, a w obliczeniach związanych z badaniami musimy posługiwać parametrami, które opisują materiał np. wytrzymałość na ściskanie czy rozciąganie, moduł sprężystości itd.

W kontekście wspomnianego pisma wyjaśniającego, które moim zdaniem, o czym już pisałem, nie wyjaśnia wszystkich zgłoszonych Autorowi ustnie wątpliwości, chciałbym zwrócić np. uwagę na problem posługiwania się często w rozprawie określeniem „stopień zespolenia”, bez jego definicji lub odwołania się do pozycji bibliografii, definiującej to pojęcie. (W pracy np. pojawia się takie określenie, jak „stopień zespolenia na poziomie 150%” - str.149). Próba zdefiniowania stopnia zespolenia, która pojawiła się dopiero w piśmie wyjaśniającym, jest odwołaniem się do EC4, który definiuje stopień zespolenia, przez wprowadzenie współczynnika η , który jest miarą zespolenia:

$$\eta = \frac{N_c}{N_{c,f}} \leq 1,0$$

($N_{c,f}$ – obliczeniowa siła normalna w płycie betonowej belki zespolonej z pełnym zespoleniem, N_c - obliczeniowa siła normalna w płycie betonowej belki zespolonej)

Moim zdaniem, tak zdefiniowanego współczynnika zespolenia nie można stosować do belek będących przedmiotem rozprawy. W EC 4 odnosi się on do stalowych belek połączonych z płytą a nie belek żelbetowych „zbrojonych” blachą (patrz rysunek poniżej zaczerpnięty z PN-EN 1994-1-1). Jeśli byśmy przyjęli taką definicję stopnia zespolenia, to w badanych belkach będzie on zawsze mniejszy od jedności, ponieważ nigdy „cały” przekrój betonowy nie będzie uwzględniany obliczeniu nośności granicznej przekroju (przy „pełnym” uplastycznieniu stali i betonu).



Rysunek 6.4: Rozkład naprężeń plastycznych od zginania momentem dodatnim przy częściowym zespoleniu

(rysunek wg PN-EN 1994-1-1)

Analizując rozdział 8 chciałbym odnieść się do pojawiającego się często w rozprawie pojęcia „poślizg w płaszczyźnie zespolenia”. Autor rozprawy analizując wpływ tego parametru na pracę badanych belek wyciąga bardzo daleko idące wnioski dotyczące nośności i sztywności konstrukcji omawianego typu i dochodzi do konkluzji, że poślizg w płaszczyźnie

zespoleń nie ma istotnego wpływu na nośność konstrukcji, ma natomiast istotny wpływ na sztywność (w ujęciu Autora rozprawy – na ugięcia belek). Moim zdaniem opisywany wpływ „poślizgu w płaszczyźnie zespoleń” na nośność i sztywność to nie efekt „poślizgu” lecz efekt tego, że badane belki to nie belki zespolone w „klasycznym” rozumieniu tego typu konstrukcji, a otrzymane wyniki wynikają z faktu, że badane belki to w istocie belki żelbetowe, ze zbrojeniem w postaci blachy, a zespolenie „zbrojenia” (blachy) nie jest wynikiem przyczepności prętów zbrojeniowych do elementu betonowego, jak ma to miejsce w „klasycznych” konstrukcjach żelbetowych, a wynikiem współpracy „zbrojenia” za pomocą łączników – sworzni przyspawanych do blachy i utwierdzonych w części betonowej przekroju („zespolenie lokalne- punktowe”). W związku z tym wpływ definiowanego przez Autora tzw. poślizgu na nośność i sztywność belki zespolonej, to w głównej mierze jest wpływem zarysowania belek, tak jak ma to miejsce w „klasycznych” belkach żelbetowych. W przypadku nośności zgodność wyników badań i obliczeń wynika w sposób bezpośredni ze sposobu obliczania nośności omawianych belek – wzór (5.6). A więc jakkolwiek wyciągnięte prawidłowe wnioski z przeprowadzonych badań analitycznych i eksperymentalnych, to wynikają one moim zdaniem z zupełnie innych przesłanek.

5. Wybrane (ważniejsze) uwagi szczegółowe (pytania)

Str. 20 – Jak Autor definiuje: „nieliniową sieczną sztywność”?

Str. 22 – Co Autor miał na myśli pisząc „...wyprowadzenie wzorów na poślizg belki zespolonej”? O jakim „poślizgu belki zespolonej” jest mowa?

Str. 23 – Co to jest „współczynnik zależny od sztywności połączenia poprzecznego”? Jak ten współczynnik jest zdefiniowany?

Str. 78 – Prośba o wyjaśnienie, na jakiej podstawie uznano, że zależności (w domyśle „pomiędzy przyłożonym obciążeniem a odkształceniami w górnych włóknach części betonowej”) dobrze ze sobą korelują. O jakiej „korelacji” jest mowa? Jaki był współczynnik korelacji?

Str. 97 Co oznacza pojęcie „efekt nieliniowy” w zdaniu? „W związku z tym efekt nieliniowy można w takim przypadku pominąć i pomimo tego otrzymać zadowalające wyniki”.

Str. 98 – Objaśnienia do wzorów (5.11) do (5.13) – na jaką siłę podłużną F wskazuje Autor, kontekście rys. 5.2?

Str. 118 – Prośba o wyjaśnienie zdania: „ Współczynnik przenoszenia sił tnących przez ryse otwartą został przyjęty na wartość 0,2, aby uniknąć problemów z uzyskaniem zbieżności



rozwiązania, przez rysę zamknięta na 0,8". Jaka jest interpretacja fizyczna wspomnianego współczynnika oraz co Autor rozumie pod pojęciami „rysa otwarta” i „rysa zamknięta”?

Str. 119 Co to jest „podkładka obciążeniowa” oraz co oznacza pojęcie „wypaczenie odkształceń”?

Str. 119 Prośba o wyjaśnienie pojęcia „model multiliniowy” i jak został on opisany w analizowanym zadaniu?

Str. 120 – Obliczenia jakiej wielkości dotyczy wzór (6.1). Czego dotyczy obliczony parametr F_d ? O jakim „zachowaniu łączników” jest mowa?

Str. 133 Prośba o wyjaśnienie merytoryczne sensu zdania: „Porównanie osiągniętej nośności na zginanie w przypadku belek zaprojektowanych na zbliżoną wartość potwierdzone zostały w dużej mierze przez przeprowadzone analizy”.

Str. 155 – Prośba o wyjaśnienie opisanego w pkt. 4 kierunku dalszych badań.

5. Ocena końcowa rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca pt: „Nośność i ugięcie belek zespolonych typu stalowa blacha-beton.” ma moim zdaniem, pomimo wielu zastrzeżeń związanych przede wszystkim z mało precyzyjnym opisem prowadzonych badań i uzyskanych wyników oraz pewnych elementów dyskusyjnych w opisie rezultatów przeprowadzonych badań eksperymentalnych i analitycznych oraz przedstawionych wniosków końcowych, wartość pracy naukowej i spełnia wymagania stawiane rozprawie doktorskiej. W pracy został przedstawiony problem naukowy oraz zaprezentowano jego oryginalne rozwiązanie. Wartościowe są przede wszystkim badania eksperymentalne, w tym skuteczne zastosowanie metody optycznej do pomiaru przemieszczeń elementów badanych belek. Doktorant wykazał się również umiejętnością programowania i prowadzenia badań. Tym samym praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w stosownych przepisach. W związku z powyższym przedkładam Wysokiej Radzie wniosek o dopuszczenie rozprawy pana mgr. inż. Dawida Kisała do publicznej obrony.

Załącznik. Wyjaśnienia do rozprawy doktorskiej pod tytułem: „Nośność i ugięcia belek zespolonych typu stalowa blacha-beton” – Autor. Dawid Kisała