

Recenzent:

dr hab. inż. Wit Derkowski, prof. PK
Katedra Konstrukcji Żelbetowych i Sprężonych L-01
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechnika Krakowska
e-mail: wit.derkowski@pk.edu.pl

Kraków, 5 stycznia 2026 r.

Adresat Recenzji:

prof. dr hab. inż. Jarosław Jędrzyak
Przewodniczący Rady Dyscypliny Naukowej
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport
Politechniki Łódzkiej
al. Politechniki 6, 90-924 Łódź

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Konrada Szczepańskiego, pt.: *„Redystrybucja momentów zginających w dwuprzęsłowych belkach i płytach ciągłych ze zbrojeniem typu FRP”*

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania niniejszej recenzji stanowi pismo dr hab. inż. Artura Wirowskiego, prof. Uczelni, Dziekana Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej, z dnia 13 października 2025 roku przesłane wraz z egzemplarzem rozprawy doktorskiej i umową o dzieło nr D/8/2025/W6 z dnia 24 października 2025 r.

Podstawą prawną wykonania recenzji jest Ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. 2018 poz. 1668) wraz z późniejszymi zmianami.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Konrada Szczepańskiego, pt.: *„Redystrybucja momentów zginających w dwuprzęsłowych belkach i płytach ciągłych ze zbrojeniem typu FRP”*. Praca została napisana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Renaty Kotyni, jako promotora.

Opiniowana praca, napisana w języku polskim, zawarta jest w dwóch tomach, na które składają się Rozprawa doktorska oraz Załącznik. Rozprawa doktorska liczy 212 stron, w tym 2 strony streszczeń, 7 stron zawierających spis treści i spis użytych oznaczeń, 185 stron zasadniczej części pracy, 8 stron zawierających wykaz 104 pozycji literatury, a także 10 stron zawierających spisy rysunków i tabeli. Załącznik, o objętości 404 stron, podaje jedynie wartości liczbowe rejestrowanych w trakcie eksperymentów wielkości.

Szeroko rozumianą tematyką dysertacji jest analiza zjawiska redystrybucji sił wewnętrznych w dwuprzęsłowych betonowych belkach i płytach ciągłych, zbrojonych prętami z ciągłych włókien niemetalicznych, głównie kompozytów GFRP i CFRP.

W dobie, kiedy rośnie presja na lepsze i szybsze wpisywanie się sektora budowlanego w gospodarkę o obiegu zamkniętym, a przede wszystkim przez dekarbonizację nowotworzonych obiektów budowlanych, przy jednoczesnym zwiększeniu ich trwałości, coraz częściej poszukuje się efektywnych sposobów zmniejszania objętości wbudowywanego betonu oraz zastępowania zbrojenia stalowego odpowiednikami z włókien niemetalicznych, głównie włókien szklanych, bazaltowych, aramidowych czy węglowych. Jednym ze sposobów oszczędnego projektowania jest wykorzystywanie możliwej redystrybucji momentów

w zginanych, wieloprzęsłowych elementach belkowych i płytowych, na skutek tworzenia się przegubów plastycznych, co może być wątpliwe w przypadku prętów zbrojeniowych wykonanych z materiałów idealnie liniowo-sprężystych, jakimi są kompozyty FRP. Należy zatem podkreślić, że przyjęta tematyka doktoratu bardzo dobrze wpisuje się w aktualne trendy w budownictwie, prawidłowo identyfikując obszary niedostatecznie rozpoznane i opisane.

Samo zagadnienie redystrybucji momentów zginających w ciągłych elementach żelbetowych już od wielu lat było przedmiotem licznych badań i analiz naukowych, których wyniki zostały opisane w literaturze i znalazły odzwierciedlenie w różnorodnych wytycznych obliczeniowych. Doktorant w swojej dysertacji podejmuje jednak próbę opisu zjawiska redystrybucji w konstrukcjach zbrojonych prętami kompozytowymi FRP, a nie prętami stalowymi.

Można stwierdzić, że recenzowana praca ma charakter głównie doświadczalno-obliczeniowy, przy czym głównym źródłem wnioskowania są ograniczone, co do zakresu, własne badania eksperymentalne oraz analizy parametryczne na bazie modelu numerycznego.

3. Treść rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z siedmiu rozdziałów silnie zróżnicowanych pod względem objętościowym.

Rozdział 1, liczący 3 strony, zawiera bardzo krótkie wprowadzenie do problemu badawczego, z precyzyjniejszym nakreśleniem specyfiki zbrojenia kompozytowego FRP, po czym prezentuje trzy cele pracy oraz jedną tezę badawczą.

Rozdział 2 zawiera studia literaturowe nad zagadnieniami redystrybucji momentów zginających w dwuprzęsłowych elementach betonowych. Przedstawia on rys historyczny badań żelbetowych belek ciągłych (p. 2.1) oraz betonowych belek ze zbrojeniem FRP (p. 2.2). Podpunkty 2.3 – 2.7, liczące łącznie 64 stron, czyli prawie 35% pracy, prezentują dotychczasowe badania eksperymentalne nad redystrybucją w belkach zbrojonych prętami kompozytowymi, wraz z zestawieniem wniosków płynących z tych badań. Ta część pracy została opracowana bardzo sumiennie i z pewnością stanowi dużą wartość w tej dysertacji.

W rozdziale 3, liczącym 19 stron, przedstawiono analizę sześciu różnych norm i wytycznych podejmujących tematykę projektowania konstrukcji betonowych zbrojonych prętami kompozytowymi. Autor skupił się jedynie na szczegółowym przytoczeniu zasad określania obliczeniowej wytrzymałości na rozciąganie prętów FRP oraz procedur obliczania nośności na zginanie, co jest raczej drugorzędne dla osiągnięcia ustanowionego celu pracy oraz udowodnienia tezy naukowej. Podrozdziały 3.1.3, 3.2.3, 3.4.3 oraz 3.5.3 można byłoby sprowadzić do jednego zdania: *Każda z analizowanych norm nie przewiduje możliwości redystrybucji momentów zginających w konstrukcjach zbrojonych prętami typu FRP.*

Rozdział 4 na 12 stronach przedstawia program zaplanowanych przez Doktoranta własnych badań eksperymentalnych, realizowanych na czterech dwuprzęsłowych elementach w skali zbliżonej do rzeczywistej, przy czym dwa z nich są zbrojone tradycyjnymi prętami stalowymi, a dwa pozostałe zbrojone prętami z włókien szklanych GFRP.

Rozdział 5, liczący 49 stron, choć zatytułowany „Wyniki badań”, to przedstawia zarówno wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań eksperymentalnych, jak i częściowo własne analizy uzyskanej redystrybucji sił wewnętrznych, określonej w oparciu o te wyniki. Należy tu dodać, że szczegółowe wyniki badań w postaci zarejestrowanych wartości liczbowych znajdują się w bardzo obszernym Załączniku.

Rozdział 6 poświęcony jest analizom parametrycznym, zrealizowanym na bazie modelu numerycznego skalibrowanego i zwalidowanego badaniami własnymi, i liczy on 29 stron. Doktorant zamodelował elementy badawcze metodą elementów skończonych w programie ATENA. W swoich analizach, podjął próbę określenia wpływu na redystrybucję momentów zginających następujących parametrów: stosunek sprowadzonych stopni zbrojenia w przeszle i nad podporą (pięć wartości w przedziale od 0,67 do 1,50), rodzaj

kompozytowych prętów zbrojonych (GFRP oraz CFRP), klasa betonu (C25/30 oraz C50/60), geometria elementu (belka lub płyta).

Rozdział 7 zawiera 3 strony szczegółowych wniosków oraz 1 stronę proponującą kierunki dalszych badań w analizowanym obszarze. Wnioski zostały podzielone na dwie grupy: te wynikające z analizy literatury oraz te, które są efektem prowadzonych badań eksperymentalnych i analiz parametrycznych. Rozdział ten nie zawiera wniosku końcowego, bezpośrednio odnoszącego się do celu dysertacji oraz tezy naukowej, jednak należy stwierdzić, że szereg wniosków szczegółowych częściowo daje rozwiązanie postawionego problemu badawczego.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Po dogłębnym zapoznaniu się z rozprawą doktorską Pana mgr inż. Konrada Szczepańskiego stwierdzam, że przyjęty układ i sposób prezentacji treści jest dość logiczny i typowy dla prac o charakterze doświadczalno-obliczeniowym.

Strona edytorska rozprawy znajduje się na wysokim poziomie, choć nie uniknięto pewnych niedociągnięć. Dobór pozycji literaturowych, odpowiednich dla podjętego tematu, uważam za właściwy i wystarczający.

Przyjęty tytuł dysertacji wydaje się być prawidłowo dobrany, przy czym zakres pracy nie w pełni go odzwierciedla. Powstaje zatem otwarte pytanie, czy lepiej było zawęzić tytuł, np. jedynie do analizy belek, czy też poszerzyć rozważania w pracy o elementy płytowe, w tym dwukierunkowo pracujące. Podobne pytania mogą dotyczyć elementów z, lub bez, zbrojenia poprzecznego (strzemion), elementów zbrojonych wszystkimi dostępnymi typami zbrojenia FRP lub tylko GFRP czy CFRP, elementów pracujących pod monotonicznym obciążeniem doraźnym lub poddanych obciążeniom cyklicznym i długotrwałym, itp.

Główną osią recenzowanej dysertacji są sprecyzowane rozdziale 2 - jak przypuszczam na podstawie dogłębnych studiów literaturowych - trzy cele oraz teza naukowa. A zatem, ich treść i sposób sformułowania powinny być przedmiotem analizy recenzenta.

W rzeczywistości, pierwszy z celów stanowi faktyczne określenie zamierzenia Doktoranta, sprowadzającego się do weryfikacji możliwości redystrybucji momentów zginających w betonowych płytach i belkach zbrojonych prętami typu FRP, a pozostałe dwa są raczej określeniem sposobu dochodzenia do postawionego celu.

Tezę pracy sformułowano w następujący sposób:

„Płyty oraz belki ciągle zbrojone prętami typu FRP są zdolne do redystrybucji momentów zginających, przy czym można wyodrębnić parametry jednoznacznie decydujące o stopniu redystrybucji”.

Należy stwierdzić, że jej pierwsza część tezy, cyt.: „Płyty oraz belki ciągle zbrojone prętami typu FRP są zdolne do redystrybucji momentów zginających”, choć jest dość ogólna, to prawidłowo sformułowana pod względem naukowym i jej udowodnienie z pewnością poszerzy stan wiedzy i może przyczynić się do przyszłego udoskonalenia procedur projektowych. Druga część tezy, mówiąca o możliwości wyodrębnienia jakichś parametrów wpływających na redystrybucję, jest oczywista – parametry te przecież już zostały częściowo określone we wcześniejszych badaniach realizowanych na świecie, szeroko opisywanych przez Doktoranta w rozdziale 2.3. Również użycie w hipotezie określenia „jednoznacznie decydujące” wprowadza niejednoznaczność interpretacji, której należy unikać w formułowaniu tez naukowych.

Pojawia się zatem pytanie, czy nie lepszym rozwiązaniem była rezygnacja z podawania tez naukowych – w tym wypadku, jednej tezy badawczej – a w zamian, dokładnego opisu problemu badawczego, precyzyjnego dotychczasowe niejasności, czy kontrowersje, w zakresie możliwości uzyskiwania redystrybucji momentów w elementach betonowych zbrojonych prętami FRP.

Niezależnie od wspomnianych wątpliwości, co do sformułowania celu i tezy pracy, jednoznacznie stwierdzam, że podjęta w pracy tematyka jest ważna i ma rosnące znaczenie praktyczne. Jednocześnie stanowi ona bardzo interesujący problem naukowy, który wciąż nie doczekał się odpowiedniej ilości badań i analiz, umożliwiających stworzenie miarodajnych modeli obliczeniowych - dlatego właśnie wybór tego tematu

zasługuje na wysoką ocenę. Postawione zagadnienie badawcze jest ważne i ciekawe z naukowego punktu widzenia, a jego rozwiązanie na drodze naukowej stanowiłoby pożądane poszerzenie aktualnego stanu wiedzy.

Poza wcześniej wymienionymi argumentami, na korzystną ocenę przedmiotowej rozprawy doktorskiej wpływają przede wszystkim następujące argumenty:

- **Dobre rozpoznanie przez Doktoranta problemu, do tej pory nieopracowanego naukowo, który ma bezpośrednie odniesienie do praktyki inżynierskiej.** Zarówno tematyka i cel dysertacji potwierdzają dobre rozeznanie Pana Konrada Szczepańskiego, zarówno w aktualnych problemach projektowania nowoczesnych konstrukcji z betonu, jak i – co najważniejsze – w roli naukowców, jaką powinni pełnić dla społeczeństwa. Należy w tym miejscu wysoko ocenić zamiar realizacji pracy badawczej nad praktycznymi zagadnieniami o charakterze naukowo-poznawczym.
- **Prawidłowo zrealizowane, dogłębne studia literaturowe w zakresie zrealizowanych badań doświadczalnych nad redystrybucją momentów zginających w belkach zbrojonych prętami FRP.** Dzięki przeanalizowaniu bardzo licznych pozycji bibliograficznych Doktorant właściwie zidentyfikował problem naukowy oraz stworzył szeroką bazę danych uzyskanych w eksperymentach realizowanych na całym świecie;
- **Dobra umiejętność prowadzenia analiz parametrycznych,** pozwalających na określenie wpływu danych czynników na wielkość redystrybucji momentów w elementach betonowych ze zbrojeniem FRP.
- **Staranność w udokumentowaniu wyników własnych badań doświadczalnych i ich otwarte udostępnienie** w Załączniku pracy doktorskiej, a dzięki temu umożliwienie innym badaczom wykorzystania i rozpowszechnienia efektów swojej pracy.

Podczas studiowania rozprawy nasunął się również szereg poważnych uwag krytycznych, wątpliwości lub pytań, które powinny zostać wyjaśnione. Uwagi te podzieliłem na następujące pięć grup:

I. Uwagi ogólne

- Zakres i konstrukcja Rozdziału 2, bardzo cennego dla całości pracy, budzi pewne wątpliwości.

Podrozdział 2.1, podaje pewien rys historyczny rozwoju wiedzy w zakresie redystrybucji momentów zginających w zginanych elementach żelbetowych, jednakże nie daje realnego przeglądu modeli teoretycznych i obliczeniowych w tym zakresie. Moim zdaniem pożądane byłoby poświęcenie oddzielnego podrozdziału dotyczącego zasadom prowadzenia analizy sprężystej z ograniczoną redystrybucją oraz analizy plastycznej belek żelbetowych. Dobre zrozumienie mechanizmów pracy belki w tym stanie, w tym przede wszystkim idei powstawania przegubów plastycznych, pomogłoby w dalszym samodzielnym wnioskowaniu i tworzeniu nowych modeli dla elementów betonowych ze zbrojeniem pracującym jedynie w zakresie liniowo-sprężystym, jakim jest zbrojenie FRP. Brak tej części, moim zdaniem, realnie zmniejsza wartość rozdziału 2, prezentującego stan wiedzy w analizowanej tematyce.

Podrozdziały 2.2 i 2.3 mogły zostać z powodzeniem połączone, nie tylko z uwagi na rażącą ich dysproporcję pod względem objętości, ale przede wszystkim, z uwagi na fakt, iż dotyczą one dokładnie tych samych badań opisywanych na podstawie tych samych źródeł literaturowych.

Podobnie, wskazane wydaje się być połączenie podrozdziałów 2.4 – 2.7, ponieważ wszystkie one skupiają się analizie danych z badań opisanych wcześniej. Tym bardziej, że p. 2.7 „Podsumowanie wiedzy oraz wnioski na podstawie przeglądu literatury” dotyczy jedynie tej części przeglądu literatury, która zajmuje się belkami zbrojonymi prętami FRP, a pomija wnioski dotyczące tradycyjnie zbrojonych elementów żelbetowych.

- W pracy często występuje zbyt pochopne i słabo uzasadnione wnioskowanie.

Wnioskowanie i formułowanie sądów uogólniających na podstawie badań realizowanych na bardzo małej liczbie elementów powinno być obarczone bardzo dużą ostrożnością. Uwaga ta dotyczy zarówno

formułowania wniosków na podstawie badań obcych (niejednokrotnie realizowanych jedynie na dwóch do pięciu elementach danego typu), jak i wniosków z badań własnych. Ma ona szczególne znaczenie w sytuacji, kiedy wyniki są niejednoznaczne, np. wskazujące na jedno- lub kilkuprocentowe zmiany stopnia redystrybucji, a dokładność wyniku badania nie została w ogóle określona. Przykładem zbyt odważnego wnioskowania z pojedynczego programu badawczego może być stwierdzenia Doktoranta (str. 79), że stopień zbrojenia poprzecznego o wartości 0,4% może mieć „kluczowe znaczenie dla uzyskania wysokiego stopnia redystrybucji”.

Autor zamieszcza w pracy wnioski banalne, oczywiste, lub na tyle mało precyzyjne, że są one niewiele mówiące. Przykładem wniosku oczywistego jest sformułowanie na str. 81: „Im niższy jest stosunek $\rho_f E_f / E_s / \rho_s$, tym wyższy jest procentowy udział zbrojenia stalowego w danym przekroju.”, natomiast zbyt mało precyzyjnego – drugi z wniosków w p. 2.7, cyt. w całości: „Głównym najczęściej analizowanym parametrem zmiennym był stopień zbrojenia przy jednoczesnym założeniu przezbrojenia przekroju.”

Wnioskowanie w pracy doktorskiej powinno mieć charakter stwierdzeń udowodnionych przy zastosowaniu różnych metod naukowych, częstokroć podpartych analizami teoretycznymi, a nie tylko prawdopodobnych sądów, wnioskowanych na bazie pojedynczych eksperymentów (uwaga dotyczy przede wszystkim końcowego rozdziału dysertacji prezentującego wnioski). Przykładowo, wskazane byłoby uprawdopodobnienie (bądź przynajmniej podanie interpretacji) faktu, że np. na Rys. 5.11, w zakresie 75 – 85 kN, uzyskano stosunkowo dużą „redystrybucję nad podporą” i niemalże zerową „redystrybucję w przęśle” (gdzie zatem moment podporowy jest redystrybuowany?). Innym przykładem może być potrzeba interpretacji naukowej dużej, cyklicznej zmienności redystrybucji, w miarę monotonicznego narastania obciążenia, pokazanej na Rys. 5.14 dla elementu B2-G-R.

- Zbyt ograniczony program własnych badań eksperymentalnych.

* Doktorant na wstępie rozdziału 4 deklaruje chęć badania „*innowacyjnych w tej dziedzinie elementów płytowych*” (samo określenie „*innowacyjne*” chyba nie jest tu najszcześniejsze). Otóż, taki plan działania wynika z przeświadczenia, że elementy płytowe będą się inaczej zachowywały, niż zazwyczaj do tej pory badane elementy belkowe – taki plan należy zatem ocenić, jako wysoce uzasadniony w badaniach naukowych. Tyle, że do badań przyjęto elementy o przekroju poprzecznym 800x180 mm². Płyty to jednak zazwyczaj elementy powierzchniowe, mające dwa wymiary (długość i szerokość) znacznie większe niż grubość, które przenoszą obciążenie jako płaszczyzna. Duża szerokość rzeczywistych płyt żelbetowych powoduje, że w płaszczyźnie poziomej występuje skrępowanie betonu, które w badaniach Doktoranta zostało praktycznie wyeliminowane (nie zastosowano “zamknięcia” krawędzi bocznych przekroju prętami w kształcie litery C, które mogłyby jakoś symulować to skrępowanie). A przecież skrępowanie betonu ma wpływ na możliwość powstawania przegubów plastycznych w betonie. Ponadto płyty o dużej szerokości są w rzeczywistości poddane dwukierunkowej pracy, podczas gdy w tych badaniach pozostawiono czysto jednokierunkowy schemat pracy elementów, taki sam jak w belkach.

* Za główny cel pracy przyjęto weryfikację możliwości redystrybucji momentów zginających w betonowych płytach i belkach, zbrojonych prętami typu FRP. Tak więc badania powinny być tak zaprojektowane, aby umożliwiały wnioskowanie w tym zakresie. Zasadniczym przedmiotem badań pozostają zatem elementy zbrojone prętami kompozytowymi, natomiast elementy zbrojone prętami stalowymi (o ile konieczne były przy tak ograniczonym programie eksperymentów) są pewnego rodzaju elementami referencyjnymi. Doktorant w swoim programie badań przewidział jedynie dwa elementy zbrojone FRP (a w zasadzie jedną parę elementów pozwalającą na określenie redystrybucji momentów), co uważam za zbyt drastyczne okrojenie programu badań. W takiej sytuacji, zakładając nawet w pełni bezbłędne przeprowadzenie całości badań eksperymentalnych, uzyskać można praktycznie wyłącznie zdolność walidacji modelu numerycznego zbudowanego w celu rozwiązania problemu naukowego. A więc, środek ciężkości rozprawy doktorskiej powinien być przesunięty z badań doświadczalnych na zastosowanie innych metod naukowych.

Dodatkowo, w paru miejscach pracy (np. na str. 119), Doktorant wspomina, że przewidywanym modelem zniszczenia belek zbrojonych prętami GFRP było „*zniszczenie na ścinanie*” – pojawia się zatem pytanie, czy dla weryfikacji możliwości redystrybucji momentów zginających nie lepiej było zaprojektować elementy, w których model zniszczenia związany jest z wyczerpaniem nośności na zginanie, ponieważ przy przedwczesnym zniszczeniu na ścinanie, może nie dojść do powstania przegubu plastycznego.

To wszystko powoduje, że ambitny plan badania „*innowacyjnych elementów płytowych*” został bardzo znacząco okrojony, a same badania doświadczalne nie wprowadziły za dużej ilości nowych informacji do światowej nauki.

- Brak zdefiniowania w pracy kryterium osiągnięcia nośności oraz nieprecyzyjny opis pracy badanych elementów.

Przy realizacji badań doświadczalnych elementów konstrukcyjnych w pełnym zakresie obciążenia, należy zdefiniować kryterium osiągnięcia nośności. Ma to duże znaczenie w sytuacji porównywania wyniku eksperymentu z planowanym/obliczeniowym kryterium nośności. W stosunku do badanych elementów, Doktorant używa określenia „*mieszane zniszczenie*” (np., cyt.: „*rozpoczęte przez zmiążdżenie betonu w strefie ściskanej ..., duże ugięcia płyty, powodujące zniszczenie na zginanie oraz ostatecznie utratę nośności na ścinanie*” (str. 117) lub „*sposób mieszany wynikający z połączenia początkowego zmiążdżenia betonu i zginania z decydującym zniszczeniem w ostatniej fazie ścinania, co uniemożliwiło osiągnięcie maksymalnej nośności na zginanie*” (str. 195)). Przytoczony model osiągnięcia nośności jest zarówno mało precyzyjny (brak prawidłowego określenia lokalizacji poszczególnych uszkodzeń), jak i częściowo nieprawidłowy (błędne określenie zniszczenia: „*duże ugięcia płyty, powodujące zniszczenie na zginanie*”). Ponadto, opis pracy i zniszczenia badanego elementu betonowego najlepiej jest prezentować w postaci dobrze opisanego wykresu, np. obciążenie – przemieszczenie lub moment zginający – ugięcie w miarodajnych przekrojach obliczeniowych, oraz obrazu/inwentaryzacji zarysowań, a nie w postaci pojedynczych zdjęć i mało precyzyjnego opisu (str. 117 – 121). Wykres ugięcia elementu w punkcie zbliżonym do położenia maksymalnego momentu przeszłowego (Rys. 5.78), w funkcji obciążenia, znaleźć można w pracy dopiero około 45 stron dalej niż opis pracy belek, i jest to jedynie wykres dla belki B2-G-R (dla pozostałych trzech z czterech badanych belek takich wykresów nie podano). Z wykresu tego jednak nie wynika, aby już po zarysowaniu belki, doszło w pewnym momencie do przyspieszonego przyrostu ugięć – wręcz przeciwnie, można odnieść wrażenie, że końcowa część wykresu ma lekko bardziej pionowe nachylenie, a więc pokazuje mało prawdopodobną zwiększoną sztywność elementu.

- Brak określenia niedokładności pomiarów i analizy błędów w opracowywaniu wyników badań (dotyczy to zarówno badań eksperymentalnych, jak i numerycznych). Szkoda, ponieważ dopiero wynik podany z zakresem możliwego błędów stanowi wiarygodną informację z badań, która może służyć do wyciągania rzetelnych wniosków, szczególnie w sytuacji, kiedy badane są pojedyncze elementy badawcze i nie jest możliwa analiza statystyczna rozrzutu wyników.

II. Uwagi dotyczące badań doświadczalnych i analizy ich wyników

- Informacje dotyczące badań betonu są niepełne i mogą prowadzić do błędnego obrazu.

Tab. 4.2 (str. 108) podaje wyniki uzyskane w badaniach betonu poszczególnych elementów - zastanawiające, że wyniki wszystkich typów badań dla 3 z 4 elementów (badania po 92, 96 i 98 dniach) są w pełni identyczne, jedynie wyniki badania dla wieku 61 dni, są inne. W pracy brak jest informacji, czy podany wiek dotyczy momentu badania betonu, czy chwili badania elementu.

W tekście na str. 107 mowa jest o tym, że podawana jest wartość średnia po 90 dniach – nie ma informacji, na ilu próbkach badania były realizowane, jakie były odchylenia standardowe lub współczynniki zmienności wyników, czy mowa jest o średniej z próbek dla danego elementu, czy średniej dla grupy elementów, itp.

Za błąd metodologiczny prowadzenia eksperymentu uważam brak badania modułu sprężystości betonu, który determinuje sztywność elementu badawczego, od której to zależy przecież stopień redystrybucji momentów.

W badaniu nie określono również granicznej odkształcalności betonu, mówiącej o jego plastyczności wpływającej na możliwość tworzenia przegubów plastycznych - w pracy znajdują się odniesienia do normowej wartości granicznej 3,5 ‰, podczas gdy na Rys. 5.26 czy Rys. 5.27 pomierzone odkształcenia dochodzą nawet do 6 ‰.

Wyniki badania wytrzymałości wskazują, że beton nie spełnia założonych wymagań dla planowanej klasy betonu (mierzonej po 28 dniach), a więc i nie jest uzasadnione przyjmowanie normowej wielkości modułu sprężystości, czy granicznej odkształcalności, podawanej dla klasy C25/30 (w przypadku modułu sprężystości i tak nie byłoby to możliwe bez brakującej informacji o rodzaju zastosowanego kruszywa).

- Dla prętów stalowych nie podano, ani nie określono na podstawie wyników badań, klasy ciągliwości stali zbrojeniowej, która ma zasadnicze znaczenie dla zdolności redystrybucji momentów. Zastanawiający jest stosunkowo niski moduł sprężystości prętów #12mm, wynoszący jedynie 193 GPa,
- Brak stabelaryzowanych wyników badań prętów GFRP, ale przy próbie odczytania wielkości z Rys. 4.11 wydaje się, że moduł sprężystości jest wyraźnie większy od 50 GPa, podczas gdy w tekście mowa jest o wartości poniżej 50GPa,
- Na str. 110 Autor stwierdza, cyt.: „... ze względów technicznych dane ugięcia płyt określone na podstawie czujników LVDT okazały się błędne i musiały zostać usunięte z dalszych rozważań”. Należałoby dodać wyjaśnienie takiego sądu – na jakiej podstawie stwierdzono, że badania ugięć prowadzone systemem DIC dają lepsze wyniki niż czujnikami LVDT? Jak to jest możliwe, że pomiary pionowych przemieszczeń realizowane czujnikami LVDT „okazały się błędne” w badaniach wszystkich elementów programu badawczego (choć badania te były rozciągnięte w czasie), podczas gdy badania przemieszczeń poziomych takimi czujnikami uważa się za prawidłowe?
- Jaka jest logika określania ugięć w punktach A, B, i C pokazanych np. na Rys. 5.75? Czy informacja o przemieszczeniu punktu A, położonego przy górnej krawędzi elementu, jedynie o 100 mm od osi podpory środkowej, rzeczywiście określa ugięcie elementu w tym przekroju poprzecznym? Przy założeniu szerokości podpory 100 mm (nie znalazłem tej informacji w pracy), punkt A położony jest ok. 50 mm od lica podpory, czyli ugięcie (rozumiane jako pionowa odległość od pierwotnego położenia danego punktu na osi elementu, do nowego położenia tego punktu w elemencie odkształconym na skutek obciążenia) powinno być minimalne. Przemieszczenia pionowe punktu A, określone w pracy metodą DIC, uwzględniają deformację podporowej podkładki z elastomeru, a także składową pionową przemieszczenia tego punktu na skutek obrotu (w wyniku powstania rysy dużej rozwartości w bezpośrednim sąsiedztwie punktu pomiarowego) – te dwa dwie składowe pomierzonej wartości są zapewne porównywalne, o ile nie większe, od realnego ugięcia elementu w analizowanym przekroju. Dlaczego nie zweryfikowano tak obliczonych ugięć wykorzystując dane z pomiarów FOS (światłowody) lub pomiarów reakcji?
- Na str. 111 pojawia się informacja, że pomiary DIC mogą służyć do pomiaru ciągłego – jaka była zastosowana częstotliwość klatkowania (wykonywania zdjęć)? Czym było podyktowane inne położenie obszaru objętego pomiarami DIC dla elementów typu E (Rys. 4.14) i dla elementów typu R (Rys. 4.15)? Czy określono dokładność pomiaru ugięcia systemem DIC w przypadku analizy punktów położonych na krawędzi fotografowanego obszaru?
- Na str. 113 pojawia się informacja, że światłowody klejone były do elementów „żywicą epoksydową o parametrach mechanicznych zbliżonych do betonu” – czy ta informacja jest prawidłowa? Moduł sprężystości żywicy epoksydowej wynosi zwykle kilka MPa, a moduł betonu około 20 GPa. Szkoda, że nie zastosowano pomiarów światłowodowych DFOS, które umożliwiają pomiar niemalże ciągły w czasie. Dlaczego decydując się na badanie elementów płytowych nie wykorzystano czujników światłowodowych

(praktycznie nie zwiększając ceny pomiaru) do pomiaru odkształceń poziomych w kierunku prostopadłym do osi elementu, chociażby dla udowodnienia jednokierunkowej pracy elementu)?

- W pracy nie znajduje się jednoznaczna informacja czy tensometry naklejane na pręty zbrojeniowe umiejscowione były w miejscu występowania rys, czy też ich położenie względem umiejscowienia rysy było losowe. Najprawdopodobniej nie zastosowano inicjatorów rys w miejscach położenia tensometrów na prętach, choć uwaga na str. 143, cyt.: „rysa powstała sztucznie przed badaniem”, nie pozwala mieć takiej pewności. Wyjaśnienie tego ma zasadnicze znaczenie dla interpretacji pomierzonych wielkości odkształceń prętów. Nie znając położenia rysy względem tensometru, nie jest uprawnione formułowanie kategoriycznych wniosków typu: „W prętach nie doszło do osiągnięcia odkształceń maksymalnych” (str. 138), „Odkształcenia prętów ... osiągają maksymalnie 11,1 ‰” (str. 139), „... maksymalne wartości odkształceń były zbliżone do 3 ‰ nie osiągając przy tym uplastycznienia się stali prętów zbrojenia dolnego” (str. 154), itp. Nie jest również zrozumiałe, dlaczego „Miejsca gdzie rysa nie przeszła przez czujnik lub tensometr ... oznaczono na wykresach dopiskiem „brak danych”” – być może wartości pomierzone były mniejsze, niż oczekiwania Doktoranta, ale to nie znaczy, że wyniki te były błędne lub zbędne. Pojawia się zatem pytanie o wartość naukową analiz prowadzonych na bazie tych pomiarów.
- Jaki był sens wykonywania pomiarów odkształceń poziomych betonu w strefie podpory środkowej czujnikami LVDT o bazie pomiarowej 20 cm (Rys. 4.21)? W rejonie umiejscowienia czujników występuje silne zarysowanie betonu, więc pomierzone wartości dają jakoś uśrednioną wartość z odkształcenia betonu w przekrojach między rysami i szerokości rozwarcia rys. Wyniki te są jednak trudno interpretowalne, ponieważ w zakresie pracy poszczególnych czujników występuje różna intensywność zarysowania. Do czego zatem, w analizie naukowej rozważanego problemu redystrybucji momentów, wyniki te były wykorzystywane?
- Na str. 114 podana jest informacja: „Przy każdym pomiarze zapisywano dane dotyczące aktualnego obciążenia elementu w momencie wyzwolenia pomiaru.”, co przy sterowaniu siłą w ogóle nie jest potrzebne (bo wartość siły po każdym kroku obciążenia jest utrzymywana na stałym poziomie). W pracy nie znajduje się jednak informacja o przebiegu obciążenia w czasie, co może mieć znaczenie dla stabilizacji odkształceń po każdym kolejnym kroku obciążenia (szczególnie w zakresach dużych obciążeń, gdzie mógł nastąpić niestabilizowany przyrost odkształcenia).
- Na str. 115 pojawia się informacja, że „Z przyczyn niezależnych dla płyty B3-S-E nie wykonano pomiarów reakcji w podporach skrajnych”, a to w praktyce uniemożliwiło bezpośrednie określenie stopnia redystrybucji momentów zgodnie z przyjętą metodologią, wg wzoru (5.1). Dodatkowo na str. 116 pojawia się informacja, że dla tej samej płyty, ze względu na błąd systemu pomiarowego, utracono wszystkie dane z lokalnego systemu akwizycji danych SAD powyżej siły 168kN, a w przypadku systemu ARAMS zgromadzono dane ugięcia płyty do siły 200 kN. W praktyce oznacza to, że przydatność badania elementu B3-S-E została znacząco ograniczona.
- Jaki typ kształownika HEB przyjęto jako trawers przekazujący obciążenie? Autor wspomina o zastosowaniu podlewek betonowych oraz podkładek elastomerowych między kształownikiem stalowym, a płytą betonową (choć nie są one widoczne na żadnych zdjęciach – np. Rys. 4.23), w których jednak pozostawiono przestrzeń na przepuszczenie czujnika światłowodowego. Najprawdopodobniej jednak pod trawersem nastąpił nierównomierny docisk, który przyczyniał się miażdżenia betonu (słabej klasy), co zostało opisane jako początek utraty nośności. Taki nierównomierny docisk jest wyraźnie widoczny na Rys. 5.20. A zatem, opisany początek utraty nośności w postaci lokalnego miażdżenia betonu, opisany na str. 117, został wymuszony przez przyjęty w badaniach sposób obciążania elementów.
- W jaki sposób kontrolowano zarysowanie, które ma zasadniczy wpływ na zmianę sztywności elementów, a zatem i na redystrybucję momentów? Na str. 119 pojawia się informacja: „pierwsze rysy widoczne gołym okiem były widoczne przy sile 40 kN” – dlaczego mając do dyspozycji system ARAMIS, obserwacja

zarysowań bazowała na obserwacji okiem nieuzbrojonym? Jaka zatem była dokładność takich obserwacji? Dlaczego, dysponując systemem DIC, w całej pracy nie zamieszczono ani jednego obrazu zarysowania zarejestrowanego tym systemem?

- Czy spróbowano nałożyć wykresy odkształceń mierzonych światłowodami (na których piki wartości rozumiane są jako efekt powstania rysy) z wykresami wielkości odkształcenia zbrojenia - np. dla elementu B1-G-E: Rys. 5.20 z Rys. 5.38? Na Rys. 5.20 w okolicy długości pomiarowej 2,0 m nie występują żadne rysy (odkształcenia betonu są praktycznie zerowe), podczas gdy w odkształcenia w zbrojeniu z obu stron punktu oznaczonego jako 2,0 m, wynoszą ok. 9-10 % - jak to jest możliwe?
- Czy wykonano pomiary geometrii elementów badawczych oraz dokładnego usytuowania podpór i trawersów, czy do analiz przyjęto jedynie wartości projektowe?
- Wszystkie analizy dotyczące redystrybucji momentów w badanych elementach wykonano w oparciu o pomiary reakcji na skrajnych podporach, jednak wyników tych pomiarów nie zamieszczono w pracy. Co prawda, w p. 2 Załącznika znajduje się Tabela „Siły w podporach” jednak i tam nie zamieszczono wyników bezpośrednich pomiarów, a jedynie wartość średnią dla obu podpór skrajnych. Doktorant wielokrotnie stwierdza w pracy, że belki pracowały niesymetrycznie, pomimo zaprojektowanej symetrii. A zatem należy domniemywać, że i wartości reakcji nie były identyczne dla obu podpór skrajnych. Czy, przy prezentowanych współczynnikach redystrybucji, niejednokrotnie na poziomie jedynie kilkuprocentowym, fakt ten nie mógł zasadniczo wpłynąć na wyniki i wnioski końcowe?
- Do określania współczynnika redystrybucji użyto wzoru (5.1), w którym $M_{u,cal}$ jest „momentem obliczonym z tablic Winklera”, a więc przy założeniu, że sztywność giętna jest stała na długości elementu. Tak więc, obliczony współczynnik redystrybucji uwzględnia zarówno zmianę rozkładu momentów zginających z uwagi na zmiany sztywności poszczególnych odcinków elementu na skutek zarysowania, jak i zwyczajowo rozumianą redystrybucję w wyniku powstawania przegubów plastycznych (na skutek uplastyczniania betonu lub zbrojenia). Analizując możliwość redystrybucji momentów w elementach betonowych zbrojonych materiałami liniowo-sprężystymi, dobrze byłoby rozdzielić te dwa człony redystrybucji.

III. Uwagi dotyczące analiz numerycznych

- Doktorant zbudował model numeryczny badanych elementów w programie ATENA, z wykorzystaniem preprocesora GID. Jak sam stwierdza, analizy wykorzystujące FEM były już wielokrotnie wcześniej wykorzystywane do analizy elementów betonowych zbrojonych materiałami FRP. Wartość rozdziału 6 polega, jednak nie tyle na samym fakcie stworzenia modelu numerycznego i jego skalibrowania na podstawie wyników zrealizowanych badań, ale na umiejętnym jego wykorzystaniu do analiz wpływu poszczególnych parametrów na wielkość redystrybucji momentów. Aby móc stwierdzić prawidłowość modelu, w celu późniejszego jego wykorzystania do badań parametrycznych, konieczne jest przeprowadzenie walidacji modelu wykorzystując badania eksperymentalne różnych typów elementów (z pewnością innego, niż tego użytego do kalibracji modelu). Ponieważ w programie badań eksperymentalnych zrealizowano jedynie dwa elementy zbrojone prętami GFRP, to jeden z nich przeznaczono do kalibracji modelu, a drugi do jego walidacji. Elementy te różniły się jednak jedynie rozkładem zbrojenia (wszystkie inne parametry były jednakowe), tak więc walidacja modelu tak zrealizowana jest, siłą rzeczy, ograniczona.
- Czy model FEM, stosowany do dalszych analiz w pracy, został prawidłowo zwalidowany? Pytanie to może być uzasadnione w kontekście szeregu informacji podawanych w pracy, np.:
 - * Jak przyjęto w modelu niepomiernie parametry betonu – na str. 166 mowa jest jedynie, że zostały one przyjęte za pomocą wewnętrznego generatora, w oparciu o wytyczne normy EC2, choć wiadomo, że beton zastosowany w badaniach nie w pełni wpisywał się w klasę C25/30. Dodatkowo, informacja ze str. 171, że przyjęto moduł sprężystości betonu równy 205 GPa, jest z pewnością błędna.
 - * W pracy pojawia się informacja o rozbieżności wyników, podczas walidacji modelu, pomiędzy obliczeniami dla „sterowania siłą” i „sterowania przemieszczeniem”, co jest tłumaczone faktem, że płyty

zostały zarysowane przed rozpoczęciem badania. Dlaczego zatem nie uwzględniono w modelowaniu faktu wcześniejszego zarysowania elementów? Jeśli ma to znaczenie dla wyników walidacji, to należało wstępnie zarysowanie uwzględnić.

- * Rys. 6.9 pokazuje maksymalną siłę, odpowiadającą nośności elementu, na poziomie poniżej 100 kN, podczas gdy w eksperymencie uzyskano nośność o 10 % wyższą, ale pomimo tego stwierdzono, że model dobrze odwzorowuje obciążenie niszczące.
- * Walidacja w zakresie maksymalnego ugięcia nie jest możliwa, ponieważ pomiary zaprzestano na poziomie obciążenia 85 kN.
- * Rys. 6.9 podaje bardzo nieprecyzyjną informację w zakresie wyników eksperymentu. Nie wiadomo, którego punktu ugięcie wykorzystano do walidacji – żaden z punktów nie był zlokalizowany w środku rozpiętości, a pewnie to właśnie maksymalne ugięcie w przęśle określono w obliczeniach numerycznych. Ponadto, na Rys. 6.9 nie wyświetlono wszystkich punktów wykresu ugięcia podanego w rozdziale 5.5 (np. z pewnością brakuje punktów dla wartości między 4,5 a 11 mm) – dlaczego?
- * Podobnie, problem nieprecyzyjnej informacji dotyczy Rys. 6.10 oraz Rys. 6.11 – mowa jest jedynie odkształceniu pręta, zarejestrowanym tensometrem, ale nie ma informacji którym z tensometrów (a przecież w każdym elemencie zainstalowano ich aż 24). Wiedząc, że rozrzut wyników pomiędzy poszczególnymi tensometrami w danej belce był praktycznie od 0, aż do 17%, nie jest jasne jakie kryterium doboru punktu pomiarowego zostało przyjęte.
- * Skoro model skalibrowany na elemencie zbrojonym prętami GFRP, ma być wykorzystany do analiz płyt zbrojonych prętami z innych materiałów – patrz p. 6.3.4 – to dlaczego nie wykorzystano możliwości dodatkowej walidacji modelu, zbadanymi elementami ze zbrojeniem stalowym?
- * Poprawność modelu Autor potwierdza na str. 176, stwierdzając „bardzo zbliżone” wyniki obliczeń elementów B1-G-E i B2-G-R, uzyskane dla współczynnika redystrybucji momentów, w trakcie numerycznych badań parametrycznych i badań doświadczalnych. Jednakże porównując wartości z Tab. 5.2 oraz Tab. 6.2 różnice te sięgają 27% dla B1-G-E (7,58% w stosunku do 5,95%) oraz ok. 100% dla B2-G-R (24,39% w stosunku do 12,13%). Dwukrotna różnica w wynikach dla belki, na bazie której przeprowadzono kalibrację modelu, nie powinna być uważana za potwierdzenie poprawności tego modelu.

IV. Wybrane merytoryczne uwagi szczegółowe

- Tytuły bardzo dużej liczby tabel, cyt.: „*Parametry wytrzymałościowe oraz geometryczne badania [...]*” są błędnie sformułowane. Nie można mówić parametrach wytrzymałościowych oraz geometrycznych badania – prędzej mogą to być parametry elementów badawczych wykorzystywanych w badaniu [...].
- Numeracja Tab. 2.3 jest powtórzona dwukrotnie: na str. 24 dla badań [23] oraz na str. 27 dla badań [24]. Fakt ten oznacza konieczność ponownego przenumerowania wszystkich pozostałych tabel w rozdziale 2.
- Str. 13 – Tab. 1.1. prezentuje podstawowe właściwości prętów stalowych, GFRP, AFRP i CFRP, pomijając coraz powszechniej stosowane pręty BFRP. To pominięcie jest tym bardziej niezrozumiałe, że na Rys. 1.1. znajdującym się bezpośrednio pod wspomnianą tabelą, materiał BFRP został uwzględniony. Należałoby również zweryfikować możliwe zakresy zmienności poszczególnych właściwości, w kontekście informacji podawanych w dalszej części pracy (np. w badaniach [29] używano prętów GFRP o module sprężystości 68 GPa, czyli o 13% wyższym niż podany w Tab. 1.1).
- Str. 13 – Rys. 1.1. ma źle opisaną oś rzędnych. Na tej osi pokazane są wartości naprężenia w prętach zbrojeniowych, a nie ich wytrzymałość. Nie jest również jasne, co prezentują poszczególne wykresy/linie, skoro właściwości danego typu materiału mogą się znajdować w szerokich przedziałach wartości.
- Str. 14 – błędna definicja redystrybucji, cyt.: „*Redystrybucja momentów zginających polega na zmianie rozkładu sił wewnętrznych pod wpływem zmiany obciążenia i sztywności elementu.*” – w szczególności trudno się zgodzić z definicją mówiącą, że redystrybucja jest efektem zmiany obciążenia.

- Str. 20 – wniosek z badań [26], cyt.: „wykazano również, że na skutek utraty przyczepności zbrojenia do betonu należy uwzględnić wpływ przyczepności” nie ma logiki naukowej.
- Str. 72 – w tekście pierwszego akapitu jest: „... na rysunkach 2.25 – 2.34” oraz „na rysunkach 2.25 – 2.32”, podczas gdy powinno być: „... na rysunkach 2.27– 2.36” oraz „... na rysunkach 2.27– 2.33”.
- Str. 79 – w tekście pierwszego akapitu jest: „Rysunek 2.30”, podczas gdy powinno być: „Rysunek 2.32”.
- Str. 79 – w tekście drugiego akapitu jest: „Jednak wyższy stosunek ρ_{sp}/ρ_{su} nie gwarantuje wyższego stopnia redystrybucji momentów”, podczas gdy na stronie wcześniejszej jest informacja przeciwna: „belki z wyższym stosunkiem stopni zbrojenia ρ_{sp}/ρ_{su} charakteryzowały się wyższym stopniem redystrybucji”.
- Str. 92 – błędnie podano wzór (3.25) w pierwszej jego części.
- Str. 94 – błędnie wykonano Rys. 3.4 – słowo „rozciąganie” nie powinno być użyte dwukrotnie.
- Str. 98 – błędne sformułowanie „w przypadku gdy obliczeniowa wytrzymałość przekroju jest 1,6 razy większa niż wartość obciążenia.” – wytrzymałość (czyli graniczne naprężenie) nie może być porównywane z obciążeniem!
- Str. 101 – błędnie podano wzór (3.50) – w mianowniku powinna być suma, a nie różnica odkształceń, co wynika z Rys. 3.10 (odkształcenia prętów FRP mają wartość dodatnią, co można wywnioskować z poprzednich wzorów).
- Str. 101 – błędne określenie „sytuacje obliczeniowe ULS/SLS” – mowa tu jest o stanach granicznych; „sytuacja obliczeniowa” ma zwykle inne znaczenie. Ponadto, jeśli cała praca doktorska pisana jest w języku polskim, a nie angielskim, lepiej jest używać skrótów polskich nazw: SGU/SGN.
- Str. 105 – niejednoznaczne wymiarowanie na Rys. 4.2 – nie wiadomo czego dotyczą wymiary z prawej i lewej strony przekroju poprzecznego.
- Str. 106 – nośność elementu badawczego oszacowano, jako 150 kN nośności na zginanie (!) i 50 kN nośności na ścinanie – jak należy zinterpretować te wartości? Czy jeśli 150 kN jest wartością obciążenia zewnętrznego, to 50 kN jest również taką wartością?
- Str. 117 – błędny tytuł p. 5.1 „Siła model zniszczenia oraz siła niszcząca”.
- Str. 127 – Doktorant w nieuprawniony sposób stwierdza, że normowe oszacowania nośności na ścinanie są „bardzo konserwatywne”, uzasadniając to pojedynczymi wynikami badania belki ze zbrojeniem stalowym (nośność z badania przewyższała nośność obliczeniową o 37.98%) i zbrojeniem GFRP (25,56%). Oczywiście jest, że wynik normowych obliczeń nośności w SGN nie może być bezpośrednio porównywany z wynikiem eksperymentu. Uzyskane w badaniach „zapasy nośności” są stosunkowo niewielkie i, z pewnością, nie uprawniają stwierdzenia o bardzo konserwatywnych zasadach normowych. Niestety, ten sam wniosek został powtórzony w końcowych wnioskach pracy doktorskiej na str. 195.
- Str. 137 – zamiast „na bokach prętów” winno być „na pobocznicach prętów”.
- Str. 183 – niepoprawne określenie „zniszczenie na zginanie”.

V. Uwagi dotyczące wniosków końcowych

Uwagi dotyczące wniosków przedstawionych w p. 7.1 podaję z godnie z przyjętym przez Doktoranta ich podziałem na dwie grupy. Dla uniknięcia powtórzeń, komentarze tu zawarte mają charakter uzupełniający do uwag podanych wcześniej.

- Wnioski wynikające ze studiów literaturowych są powtórzeniem wniosków szczegółowych z p. 2.7 (str. 82-83) – jedyna różnica polega na pozbawieniu ich oceny ilościowej, pozostawiając jedynie ocenę jakościową obserwowanych zjawisk. Pomimo tego pojedyncze sformułowania, użyte w tych wnioskach, świadczą o barku próby uogólnienia informacji na temat danego zjawiska, a wręcz sugerują odwołanie się do

konkretnych badań, np. cyt.: „Zdecydowana większość elementów w badaniach uległa zniszczeniu w przęśle”.

- Wnioski wynikające z własnych badań i analiz

- Używanie we wnioskach określeń takich, jak „znacznie”, „znacząco”, „zdecydowanie”, „bardzo dobrze”, itp., bez podparcia ich jakimikolwiek miarami, uważam za niewskazane (szczególnie kiedy, wnioski oparte są na badaniach pojedynczych elementów, a wyniki niejednokrotnie pokazały paroprocentowe wielkości redystrybucji momentów).
- Wniosek 2, mówiący o tym, że „badanie elementów płytowych jest zdecydowanie bardziej problematycznym niż badanie belek” z uwagi na „duże gabaryty płyty” nie ma charakteru naukowego.
- Wnioski 6, 7, 9 i 14 dotyczą wpływu właściwości betonu na redystrybucję, przy czym wszystkie one są napisane dość ogólnie. Wnioski te często odnoszą się do zarysowania betonu, które nie podlegało szczególnej analizie w tej pracy doktorskiej. Czy wniosek 6, wskazujący na korzystny wpływ właściwości plastycznych betonu, nie jest w jakiś sposób przeciwstawny do wniosku 14 mówiącego, że wyższa klasa betonu powoduje wyższą redystrybucję (a przecież betony niższych klas są bardziej plastyczne)? Wskazane jest sformułowanie jednego, spójnego wniosku dotyczącego tej grupy parametrów.
- Wnioski 8 i 11 dotyczą wpływu stopnia zbrojenia na redystrybucję. Uważam, że zmiana stopnia zbrojenia bezpośrednio (a nie, jak wskazano we wniosku 8 – pośrednio) wpływa na redystrybucję. Wskazane jest sformułowanie jednego, spójnego wniosku w tym zakresie.
- Wnioski 10 i 14 dotyczą różnic w wynikach eksperymentu numerycznego, w którym obciążenie zadawane było przez „sterowanie siłą” lub „sterowanie przemieszczeniem”, jednakże z obu tych wniosków trudno wyczytać zarówno uzasadnienie naukowe, jak i praktyczne wskazówki dla przyszłych badaczy. I w tym wypadku wskazane jest sformułowanie jednego, spójnego wniosku.
- Sformułowanie mówiące, że „Redystrybucja ... przebiega w sposób bardzo dynamiczny” jest niefortunne.

VI. Uwagi edytorskie

- Wykaz stosowanych oznaczeń, znajdujący się na początku pracy, jest niekompletny – przykładowo, nie jest jasne, dlaczego w wykazie znajduje się wytrzymałość f_{ck} , a nie znajduje się wytrzymałość f_{cd} . Jednocześnie, szczególnie w rozdziale 3, wielokrotnie powtarzane są wyjaśnienia poszczególnych oznaczeń użytych we wzorach, nawet jeśli znajdują się one w wykazie oznaczeń.
- W tekście pracy znajduje się dużo błędów interpunkcyjnych, stylistycznych i gramatycznych, co znacząco utrudnia zrozumienie poszczególnych zdań. Końcowa wersja pracy doktorskiej nie powinna mieć tak znaczących błędów językowych,
- W pracy zebrano stosunkowo szeroką literaturę tematu, jednakże nie zawsze jest ona prawidłowo podawana, np.:
 - * nie jest jasny sposób numeracji bibliografii – nie wnika on z kolejności cytowania (patrz np. str. 20), ani z układu alfabetycznego,
 - * wiele pozycji w Bibliografii jest podanych niezgodnie ze sztuką tworzenia spisu literatury – mają one niepełne dane bibliograficzne (np.: [43], [61], [63], 67], [79], [80], [84], [94]),
 - * w tekście prac, najnowsza wersja EC2 podawana jest jako, cyt: „FprEN 1992-1-1 [63]” (co oznacza litera F?), podczas gdy od 2023 roku norma ta ma już status EN 1992-1-1. W Bibliografii, poz [63] nie posiada praktycznie żadnych danych bibliograficznych (nawet tytułu),
 - * niespójna strona edytorska Bibliografii – nie ma zasad, co do używania drukowanych liter lub kursywy.
- Przy podawaniu wzorów, niezachowujących fizycznej poprawności, do których należy podstawić wartości danych wielkości, bez podawania jednostek (np. wzór (3.19), należy zachować precyzję w zakresie definicji poszczególnych symboli.

5. Podsumowanie recenzji

Mgr inż. Konrad Szczepański poświęcił swoją rozprawę doktorską zagadnieniu redystrybucji sił wewnętrznych w dwuprzęsłowych elementach płytowych z betonu zbrojonego prętami kompozytowymi typu FRP. Jest to problematyka bardzo interesująca i nieoczywista – możliwość wytworzenia przegubu plastycznego, analogicznie jak w elementach żelbetowych, może budzić wątpliwości, ponieważ materiał FRP charakteryzuje się liniowo-sprężystą pracą, a warunki skrępowania betonu w płytach różnią się od tych, występujących w belkach. W literaturze przedmiotu trudno znaleźć odpowiednio zaawansowane analizy naukowe dotyczące tego zagadnienia, mimo że ma ono istotne znaczenie zarówno poznawcze, jak i praktyczne. Zatem wybór tematu dysertacji oceniam bardzo wysoko.

Jak już wspominałem wcześniej, do ewidentnie pozytywnych aspektów pracy należy zaliczyć także dogłębny przegląd literatury w zakresie zrealizowanych badań doświadczalnych dotyczących analizowanego zagadnienia, dobrą umiejętność prowadzenia analiz parametrycznych w oparciu o model FEM oraz staranność w dokumentowaniu wyników własnych badań doświadczalnych i ich otwarte udostępnienie. Cechy te, w mojej opinii, dobrze świadczą o przygotowaniu Kandydata w tym zakresie.

Należy jednak podkreślić, że od recenzenta oczekuje się przede wszystkim weryfikacji spełnienia przez przedłożoną dysertację wymogów stawianych pracom doktorskim, zawartych w Ustawie – *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*. W przypadku prac z zakresu inżynierii lądowej, sprowadza się to do sprawdzenia czy:

- rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej (Art. 187. p. 1.),
- przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej (Art. 187. p. 2.).

W odniesieniu do punktu 1, art. 187, należy stwierdzić, że na podstawie zawartości przedstawionej rozprawy doktorskiej nie można jednoznacznie potwierdzić ani wymaganej wiedzy teoretycznej Kandydata, ani jej braku. Zakres zaprezentowanych studiów literaturowych sprowadził się przede wszystkim do starannego wyszukania, zestawienia i pogrupowania dotychczasowych badań eksperymentalnych w analizowanej tematyce. Nie przedstawiono jednak możliwych modeli teoretycznych redystrybucji momentów zginających w betonowych belkach ciągłych ani zasad analizy plastycznej przekrojów żelbetowych, co stanowi sedno samego zagadnienia od strony teoretycznej.

Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, rozumiana jako dobór i zastosowanie odpowiednich metod i narzędzi naukowych oraz właściwe wnioskowanie na podstawie wyników prac cudzych i własnych, w przypadku niniejszej pracy również nie została wykazana. Doktorant zdecydował się na przeprowadzenie własnych badań eksperymentalnych w bardzo ograniczonym zakresie, które mogły zostać wykorzystane głównie do walidacji modelu numerycznego zbudowanego w jednym z komercyjnych programów opartych na metodzie elementów skończonych, z użyciem wbudowanych, gotowych narzędzi. Samo stworzenie takiego modelu numerycznego nie nosi zatem znamion własnej pracy naukowej. Dowód postawionej tezy oraz całe wnioskowanie miały być realizowane przede wszystkim na podstawie analiz parametrycznych przeprowadzonych przy użyciu tego modelu.

W sytuacji, gdy program badań doświadczalnych obejmuje jedynie jedną parę elementów zbrojonych prętami GFRP, szczegółowe rozwiązania w zakresie realizacji badań i pomiarów nie zawsze prowadziły do rozwiązania podjętego problemu naukowego, a dodatkowo w trakcie realizacji badań popełniono szereg błędów, nie można stwierdzić umiejętności Doktoranta w zakresie stosowania tej metody naukowej. Liczne, szczegółowe uwagi krytyczne dotyczące badań eksperymentalnych zawarłem w I i II grupie uwag krytycznych w rozdziale 4 niniejszej recenzji. Dodatkowo zakwestionowanie poprawności walidacji modelu (patrz III grupa uwag krytycznych rozdziału 4) prowadzi do podważenia wyników analizy parametrycznej, a w konsekwencji do uznania wniosków z niej płynących za nieuzasadnione na drodze naukowej.

Należy również dodać, że umiejętność prowadzenia pracy naukowej wiąże się z umiejętnością prawidłowego prezentowania jej efektów, a zatem także z umiejętnością sporządzania tekstów naukowych zgodnie z zasadami warsztatu, tj. z zachowaniem właściwej terminologii, zasad cytowania oraz reguł językowych. Również w tym zakresie przedstawiona dysertacja wykazuje szereg znaczących niedociągnięć. Podsumowując, uważam, że Pan mgr inż. Konrad Szczepański nie spełnił wymogu Art. 187. p. 1. Ustawy - *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*.

W odniesieniu do punktu 2 art. 187 Ustawy należy zauważyć, że Doktorant nie podejmował próby zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej, a jego zamierzeniem było oryginalne rozwiązanie dobrze sformułowanego problemu naukowego. W tym zakresie należy stwierdzić brak oryginalności recenzowanej pracy doktorskiej. Badania nad redystrybucją momentów zginających w elementach zbrojonych prętami FRP były wcześniej prowadzone na świecie, co Doktorant poprawnie opisał w rozdziale 2 pracy. Zastosowane metody pomiarowe, nawet przy uwzględnieniu prób wykorzystania nowoczesnych technik, takich jak DIC czy czujników światłowodowych, same w sobie nie mogą być uznane za oryginalne osiągnięcie naukowe Doktoranta. Kandydat zrealizował badania podobne do wcześniej prowadzonych, różniące się jedynie zmianą proporcji wymiarów przekroju poprzecznego elementów. Przy braku próby stworzenia własnych modeli teoretycznych lub obliczeniowych, oraz przy uwzględnieniu wcześniejszych uwag dotyczących realizacji eksperymentów i walidacji modelu, należy stwierdzić, że wymóg art. 187 ust. 2 również nie został spełniony.

Chciałbym podkreślić, że przy prowadzeniu tak trudnych badań naukowych, jakich podjął się Pan Konrad Szczepański, pewne potknięcia i błędy są nieuniknione; nawet najbardziej doświadczonym naukowcom zdarza się je popełniać. Jednakże w niniejszym przypadku, sumaryczny efekt niedociągnięć i błędów doprowadził do niespełnienia wymogów ustawowych.

Dostrzegając dotychczasowy wkład pracy Doktoranta w przygotowanie rozprawy oraz biorąc pod uwagę doświadczenie zdobyte w trakcie jej realizacji, oceniam, że niniejsza rozprawa doktorska mogłaby zostać ponownie przedłożona po wprowadzeniu niezbędnych uzupełnień (w tym uzupełnień w zakresie badań) oraz korekt wynikających z recenzji.

Biorąc powyższe pod uwagę, stwierdzam, że aktualnie przedłożona przez mgr inż. Konrada Szczepańskiego rozprawa pt. „Redystrybucja momentów zginających w dwuprzęsłowych belkach i płytach ciągłych ze zbrojeniem typu FRP” nie spełnia wymogów stawianych pracom doktorskim, określonych w Ustawie – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz.U. 2018, poz. 1668), wraz z późniejszymi zmianami, w związku z czym wnioskuję o niedopuszczenie do publicznej obrony rozprawy w jej obecnym kształcie.



.....
dr hab. inż. Wit Derkowski, prof. PK