

WPLYNEŁO DNIA

18.12.2025

prof. dr hab. inż. Wojciech Radomski dr h.c. multi
emerytowany profesor zwyczajny
Politechnik Warszawskiej
e-mail: Wojciech.Radomski@pw.edu.pl
tel. k.: 603 647 863

Warszawa, dnia 15 grudnia 2025 roku

RECENZJA
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ PANA
MGR INŻ. KONRADA SZCZEPAŃSKIEGO
PT. „REDYSTRYBUCJA MOMENTÓW ZGINAJĄCYCH
W DWUPRZESŁOWYCH BELKACH I PŁYTACH CIĄGLYCH
ZE ZBROJENIEM TYPU FRC”

1. Podstawa formalna i przedmiot recenzji

Niniejszą recenzję opracowałem na skierowaną do mnie pisemną prośbę Dziekana Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej, Pana dr hab. inż. Artura Wirowskiego, profesora uczelni (pismo datowane 13 października 2025 roku)

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Konrada Szczepańskiego, zatytułowana „*Redystrybucja momentów zginających w dwuprzęsłowych belkach i płytach ciągłych ze zbrojeniem typu FRC*”. Pracę tę otrzymałem za pośrednictwem tradycyjnej poczty w formie dwóch zbroszurowanych tomów wydruku komputerowego formatu A4. Zasadnicza jej część, tom pierwszy, liczy 215 stron, natomiast w tomie drugim, liczącym łącznie 404 strony, zamieszczone są załączniki, zawierające szczegółowe wyniki pomiarów uzyskanych w trakcie badań przeprowadzonych przez Doktoranta. Opiniowana tu rozprawa została przygotowana pod kierunkiem Pani prof. dr hab. inż. Renaty Kotyni z Politechniki Łódzkiej.

2. Tematyka, treść i sposób zredagowania rozprawy – wstępne elementy jej oceny

Redystrybucja, czyli zmiana układu sił wewnętrznych w różnego rodzaju konstrukcjach w stosunku do ich układu projektowanego, ma bardzo duże znaczenia zarówno w fazach wykonawczych, jak i eksploatacyjnych. Dotyczy to szczególnie konstrukcji betonowych, statycznie niewyznaczalnych. Redystrybucja ta jest zjawiskiem fizykalnym, powstającym w wyniku różnych przyczyn. Jako jej główne źródła można wymienić zjawiska reologiczne (np. skurcz, a zwłaszcza pęczanie betonu), powstanie lokalnych uszkodzeń (np. pęknięć materiału wskutek przeciążenia konstrukcji), lokalnego lub rozległego ubytku sztywności elementów wskutek uszkodzeń (np. odprysków lub innych ubytków materiału), zmiany schematu statycznego konstrukcji (np. wskutek zablokowania łożysk) oraz przeciążenia konstrukcji prowadzące na przykład do lokalnego uplastycznienia stali zbrojeniowej lub zmiężdżenia betonu w niektórych przekrojach. Skala efektów wymienionej redystrybucji może być różna – od mało istotnej do bardzo poważnej, prowadzącej nawet do katastrofy obiektu, czego przykładem są budowle mostowe (choćby zawalenie mostu Korrór-Babelthaub, Oceania, 26 września 1996 rok). Wspomniane zjawisko redystrybucji wobec jego złożoności i zależności od wielu czynników, nie jest jeszcze wystarczająco kompletnie poznane i dlatego warte jest

prowadzenia badań doświadczalnych i analiz teoretycznych. Jest to szczególnie istotne w odniesieniu do konstrukcji lub jej elementów (np. belek, płyt), w których użyte są materiały nowej generacji (tzw. materiały niekonwencjonalne) i których dobrym przykładem są kompozyty polimerowe z włóknami, najczęściej szklanymi lub syntetycznymi i – jeszcze stosunkowo najrzadziej – mineralnymi (np. bazaltowymi). Materiały tego rodzaju znajdują ostatnio coraz szerszy zakres zastosowań w różnych działach budownictwa, zwłaszcza w mostownictwie. Na redystrybucję sił wewnętrznych w elementach betonowych ze zbrojeniem kompozytowym niepomijalny wpływ mają jego cechy mechaniczne, przede wszystkim to, że pręty z kompozytów polimerowych z włóknami poddane próbie rozciągania aż do zerwania, nie wykazują uplastycznienia tylko ulegają zniszczeniu w sposób tożsamy lub bliski kruchemu pękaniu. Dlatego wybór przez Doktoranta tematyki rozprawy uważam za bardzo trafny, godny poszukiwań naukowych, bo nośny poznawczo.

Tytuł rozprawy brzmi „*Redystrybucja momentów zginających w dwuprzęsłowych belkach i płytach ciągłych ze zbrojeniem typu FRP*”. Do tytułu tego wnoszę dwie uwagi – językową i merytoryczną. Językowa dotyczy sformułowania „*ze zbrojeniem typu FRP*”. Można odnieść wrażenie, że to układ zbrojenia jest typu *FRP*, co oczywiście nie jest prawdą. Ponadto, razi mnie użycie słowa *typu* w odniesieniu do materiału. Przecież do zbrojenia betonu stosowane jest zbrojenie z różnego rodzaju stali, ale nie mówimy ani nie piszemy o zbrojeniu *typu stali*. Kompozytowe polimerowa z włóknami (ang. *Fibre Reinforced Polymer* – oznaczane powszechnie stosowanym skrótem *FRP*) są już dostatecznie rozpowszechnione, że analogicznie do innych od dawna stosowanych materiałów, słowo *typu* jest po prostu zbędne. Uwaga merytoryczna jest taka, że tytuł obiecuje znacznie szerszy zakres rozprawy od rzeczywistego. Po przestudiowaniu rozprawy stwierdzam, że zawarte w niej opisy doświadczeń i analiz wykonanych przez Doktoranta nie dotyczą w ogóle płyt. Podstawowym kryterium odróżniających belki od płyt jest to, że belki są zginane zawsze jednokierunkowo, natomiast płyty dwukierunkowo – w kierunku wzdłużnym i poprzecznym. Inaczej nieco rzecz ujmując, jeżeli wartości momentów zginających występujących w kierunku poprzecznym danego elementu nie mogą być pominięte jako nieistotnie małe, to element ten jest płytą, natomiast jeżeli ich wartości są pomijalnie małe – to jest belką. Ukształtowanie przekroju poprzecznego elementu nie ma tu żadnego znaczenia. Wystarczy się o tym przekonać zginając dwuręcznie zwykłą linijkę – będzie to zginanie jednokierunkowe i dlatego nikomu nie przyjdzie do głowy nazwać linijkę płytą, choć jej przekrój poprzeczny ma wysokość zwykle minimum kilkakrotnie mniejszą od jej szerokości, a więc przypominający przekrój płyty. Elementy nazwane przez Doktoranta płytami były w rzeczywistości belkami o szerokości większej od wysokości, czyli były przywołanymi tu „linijkami”. Takie elementy niektórzy nazywają pasmami płytowymi sugerując się kształtem ich przekroju poprzecznego, ale z punktu widzenia mechaniki budowli są to belki, bo gdzie tu zginanie poprzeczne, charakteryzujące płyty? Tytuł ocenianej tu rozprawy powinien zatem być nieco inaczej sformułowany. Według mojej propozycji mógłby na przykład brzmieć „*Redystrybucja momentów zginających w dwuprzęsłowych belkach betonowych ze zbrojeniem stalowym i ze zbrojeniem niemetalicznym – studium porównawcze*” lub „*Redystrybucja momentów zginających w dwuprzęsłowych belkach betonowych ze zbrojeniem stalowym i ze zbrojeniem kompozytowym z FRP – studium porównawcze*”. Jestem świadomy, że nie są to propozycje wykluczające inne, zapewne lepsze możliwości zatytułowania rozprawy.

Zasadniczą część rozprawy poprzedzają jednostronicowe streszczenia w językach polskim i angielskim, czterostronicowy spis treści (błędna numeracja – opuszczono punkt 2.5., *Analiza bazy danych*, który występuje w tekście rozdziału 2, str. 65÷66) oraz wykaz oznaczeń obejmujący trzy strony. Treść rozprawy ujęto w siedmiu rozdziałach.

Rozdział 1, liczący niespełna 2,5 strony (strony 13 ÷15), nosi tytuł *Wstęp*. Przedstawiono w nim syntetycznie wprowadzenie do tematyki rozprawy, oraz jej cele i tezę, która brzmi (str.

15): „Płyty oraz belki ciągle zbrojone prętami typu FRP są zdolne do redystrybucji momentów zginających, przy czym można wyodrębnić parametry jednoznacznie decydujące o stopniu redystrybucji”. Pomijając poprzednio sformułowaną uwagę dotyczącą nazewnictwa (płyty, które są w istocie belkami) oraz lepszy stylistycznie zwrot „...decydujące o jej stopniu” lub lepiej: „... determinujące jej stopień”, a także zbędne słowo jednoznacznie (domyślnie: są inne parametry, które wpływają na redystrybucję, ale niejednoznacznie), tezę tę można zaakceptować.

Rozdział 2 (69 stron, strony 15÷83), zatytułowany „Stan wiedzy w dziedzinie badań redystrybucji momentów zginających w dwuprzęsłowych belkach i płytach zbrojonych prętami kompozytowymi” jest podzielony na pięć części. Pierwsza (punkty 2.1. i 2.,2.) obejmuje rys historyczny badań redystrybucji momentów zginających w betonowych belkach ciągłych ze zbrojeniem prętami stalowymi oraz ze zbrojeniem prętami kompozytowymi FRP. Część druga (punkt 2.3.) jest szczegółowym opisem badań przeprowadzonych przez innych autorów, przy czym zamieszczone są rozszerzone opisy niektórych prac już wymienionych w punkcie 2.2. Część trzecia (punkty 2.4. i 2.5. – por. poprzednia uwaga dotycząca spisu treści) jest poświęcona analizie i opracowaniu bazy danych na podstawie zreferowanych poprzednio publikacji innych autorów. Część czwartą (punkt 2.6.) stanowią informacje na temat wpływu stopnia i innych parametrów (charakterystyk, wielkości) zmiennych na redystrybucję momentów zginających. Wreszcie część piąta (punkt 2.7.) jest syntetycznym podsumowaniem wiedzy, wynikającej z przedstawionych przez Doktoranta badań przeprowadzonych w różnych światowych ośrodkach badawczych.

Rozdział 3 (19 stron, strony 84÷103) o tytule „Przegląd norm projektowych” zawiera syntetycznie przedstawione informacje o aspektach projektowania betonowych elementów konstrukcyjnych zbrojonych prętami z kompozytów FRP ma podstawie norm i zaleceń: Eurokodu 2, normy włoskiej CNR DT 203/2006, *fib* Bulletin 40, ACI 440.1R-15, CSA S 806-12/ISIS Canada 2007. Zwraca uwagę końcowa uwaga, przedstawiona na str. 101 (punkt 3.5.3.) i dotycząca norm kanadyjskich, że: *Normy nie podejmują tematyki redystrybucji momentów zginających w belkach lub płytach*. Treść rozdziału odzwierciedla stan normalizacji krajowych i międzynarodowych, dotyczących stosowania w praktyce zbrojenia kompozytowego, ze wskazaniem na podobieństwa i różnice między tymi przepisami. Nie ma jednak informacji z czego wynikają występujące różnice (por. punkt 3.6. rozprawy). Rozdział ten szczególnie interesujący dla projektantów.

Rozdział 4 (14 stron, strony 103÷116) jest zatytułowany „Program badań własnych” i zawiera opis badanych na zginanie elementów dwuprzęsłowych oraz charakterystykę użytego do ich wykonania materiałów: betonu, stali zbrojeniowej i zbrojenia z polimerowych prętów kompozytowych z włóknem szklanym (GFRP), następnie przedstawienie oprzyrządowania badanych elementów, stanowiska badawczego oraz przebiegu badań. Dlatego tytuł rozdziału mógłby być albo nieco rozszerzony i brzmieć na przykład „Program i przebieg badań własnych” lub - do czego się bardziej przychylam – skrócony i być po prostu sformułowany jako „Badania własne”. Treść rozdziału jest ujęta dość zwięźle, ale z wystarczającą szczegółowością do merytorycznej oceny doświadczałnej części rozprawy.

Rozdział 5 (49 stron strony 117÷165) ma tytuł „Wyniki badań”. Zamieszczono w nim udokumentowane fotografiami i wykresami informacje o modelu zniszczenia badanych elementów i wartościach sił niszczących, redystrybucji momentów zginających, odkształceniach elementów podczas badań – w betonie i w prętach zbrojeniowych stalowych i kompozytowych oraz ugięciach tych elementów. Słowem szczegółowo przedstawiony został i zanalizowany plon wykonanych badań.

Rozdział 6 (29 stron, strony 165 ÷ 193) został zatytułowany „Badania parametryczne z wykorzystaniem analizy numerycznej”. Wolalbym, aby zamiast z wykorzystaniem użyć zwrotu z zastosowaniem. Rozdział ten zawiera opis modeli betonu i zbrojenia oraz opis

analizowanego modelu badanych belek w ujęciu metody elementów skończonych. Przedstawiono w nim także walidację przyjętych modeli obliczeniowych na podstawie wyników uprzednio przeprowadzonych badań doświadczalnych. Obszerną część rozdziału stanowią badania parametryczne, obejmujące efekty stopnia zbrojenia w przeszle i nad podporą w zależności od rodzaju zbrojenia badanych na zginania elementów ciągłych oraz klasy betonu użytego do ich wykonania.

Rozdział 7 (4 strony, strony 193 ÷ 196) nosi tytuł „*Wnioski i kierunki dalszych badań*” i zawiera ujęte w syntetycznej formie podsumowanie rozprawy oraz propozycje jej Autora, dotyczące dalszych poszukiwań badawczych w obszarze jego zainteresowań naukowych zaprezentowanych w ocenianej tu dysertacji.

Rozprawę wieńczy *Bibliografia* licząca 104 pozycje (wszystkie cytowane w tekście, co skrupulatnie sprawdziłem) oraz spisy rysunków (jest ich w sumie 173) i tabel (jest ich w sumie 61).

Jak już wspomniano w punkcie 1 tej recenzji, zasadniczą część rozprawy uzupełniają bardzo obszernie załączniki zawierające szczegółowe wyniki wszystkich pomiarów dokonywanych przez Doktoranta w trakcie badań doświadczalnych.

Przedstawione pokrótce układ i treści poszczególnych jej rozdziałów pozwala na stwierdzenie, że jest ona generalnie dobrze zredagowana. Dalej sformułowane, dość liczne uwagi szczegółowe (por. punkt 4 recenzji), mają na celu wskazanie uchybień, które mogą być usunięte podczas przygotowywanie niektórych fragmentów rozprawy do publikacji.

3. Ocena rozprawy

Już na samym początku jednoznacznie stwierdzam, że rozprawę doktorską Pana mgr inż. Konrada Szczepańskiego oceniam pozytywnie. Merytoryczną wartość tej pracy motywuję następującymi, sformułowanymi w punktach argumentami.

3a) Jak już nadmieniałem tematyka pracy jest dobrana trafnie – jest ona ważna zarówno ze względów poznawczych, naukowych, jak i z uwagi na bardzo istotne potrzeby praktyki, zwłaszcza dotyczące projektowania betonowych elementów konstrukcyjnych ze zbrojeniem niemetalicznym, w tym przypadku z kompozytów polimerowych FRP. Redystrybucja sił wewnętrznych w elementach z takim właśnie zbrojeniem jest w gruncie rzeczy mało jeszcze poznana, głównie dlatego, że FRP jako materiał nie wykazuje cech plastycznych i zniszczeniu ulega w sposób kruchy lub niemal kruchy, co ma oczywiście wpływ na ową redystrybucję. Znajduje to nawet odzwierciedlenie w dotychczasowych normach i zaleceniach (por. rozdział 3). Badania Doktoranta pozwalają na inne, dokładniejsze spojrzenie na zagadnienie redystrybucji sił wewnętrznych, głównie momentów zginających, w elementach ze zbrojeniem niekonwencjonalnym, podlegających zginaniu.

3b) Autor przeprowadził szeroką kwerendę publikacji dotyczących tematyki jego rozprawy oraz dokonał szczegółowego przeglądu norm i zaleceń stosowanych w różnych krajach świata, także w Polsce. Plonem tych działań są rozdziały 2 i 3, świadczące o rozległej wiedzy Doktoranta, a także o jego krytycyzmie naukowym i technicznym. Bazując na należycie rozeznany, aktualnym i dobrze w rozprawie zaprezentowanym stanie owej wiedzy, sformułował on dość obszerny program własnych badań doświadczalnych, obejmujący jednokierunkowo zginane dwuprzęsłowe, ciągłe elementy betonowe z dwojakiego rodzaju zbrojeniem – jedną część stanowiły elementy z tradycyjnym zbrojeniem prętami stalowymi, drugą zaś ze zbrojeniem kompozytowym z FRP. Badania takich elementów należą do rzadkości w skali nie tylko krajowej.

3c) Program badań Doktoranta obejmował (por. rys. 4.1. i 4.2.) w sumie cztery elementy, nazwane przez niego płytowymi, o wymiarach przekroju poprzecznego 0.8 m (szerokość) i 0,18m (wysokość) oraz rozpiętości teoretycznej przęseł 2 x 2,3 m. Dwa z tych elementów uzbrojono prętami kompozytowymi z włóknami szklanymi GFRP i dwa – tradycyjnymi

prętami stalowymi. W przypadku zbrojenia prętami kompozytowymi, w jednym z elementów (z oznaczeniem E) nie redukowano uzbrojenia wzdłużnego ani górną, ani dolną, natomiast w drugim elemencie (z oznaczeniem R) zbrojenie redukowano nad podporą środkową i zwiększono w przeszle, motywując to dążeniem do ułatwienia redystrybucji momentów zginających (por. rys. 4.1.). Podobnie postąpiono w przypadku zastosowania zbrojenia z prętów stalowych (por. rys. 4.2.). Szczegółowy sposób uzbrojenia wszystkich czterech badanych elementów przedstawiono w Tabeli 4.1. Mimo pewnych zastrzeżeń co do układu zbrojenia w badanych elementach (por. 3I), przyznać trzeba, że jest to program relatywnie obszerny i pozwalający na orientacyjne rozpoznanie różnic w przebiegu zjawiska redystrybucji sił wewnętrznych w zależności od rodzaju materiału prętów oraz procentu uzbrojenia. Można uznać, że jest to program o dużym stopniu oryginalności i jest wartościowy pod względem poznawczym.

3d) Doktorant skrupulatnie wyznaczył doświadczalnie rzeczywiste właściwości wszystkich materiałów składowych, a więc betonu oraz stalowych i kompozytowych (GFRP) prętów zbrojeniowych. Nie zawierzył, jak to się obecnie często zdarza, danym przedstawionym przez producentów, co dobrze świadczy o jego rzetelności badawczej. Warto nadmienić, że po 90 dniach dojrzewania beton wykazywał średnią wytrzymałość na ściskanie określoną na próbkach cylindrycznych równą 32,8 MPa oraz 37,7 MPa - na próbkach sześciennych, jego średnia wytrzymałość na rozciąganie, wyznaczana przez rozłupywanie, to 3,05 MPa, przy czym rozrzuty wyników dotyczących poszczególnych próbek były kilkuprocentowe. Zastosowany beton był więc pod względem wytrzymałościowym jednorodny. Dolna granica plastyczności prętów stalowych wynosiła średnio 606 MPa (pręty #12) i 535 MPa (#8), wytrzymałość na rozciąganie - odpowiednio 726 MPa i 626 MPa oraz moduł Younga 193 GPa i 209 GPa. Średnia wytrzymałość na rozciąganie prętów kompozytowych (GFRP ComRebars) była równa 1258 MPa (#10) i 933 MPa (#6), a moduł Younga - odpowiednio 48,2 GPa i 49,7 GPa. Jak wynika z doświadczalnych wykresów zależności $\sigma(\epsilon)$ - rys. 4.10. i rys. 4.11 - pręty te nie wykazywały przy rozciąganiu tzw. półki plastycznej. Dane te wskazują, że do wykonania badanych elementów użyto materiałów stosowanych we współczesnym budownictwie. Zbliży to przeprowadzone badania do praktyki.

3e) Badania zostały zrealizowane z zastosowaniem dość rozbudowanego oprzyrządowania pomiarowego, obejmującego metody tradycyjne i najnowsze. Do pomiarów ugięć i odkształceń badanych elementów zastosowano system cyfrowej korelacji obrazu ARAMIS, odkształcenia prętów zbrojeniowych mierzono za pomocą tensometrów elektrooporowych, natomiast odkształcenia betonu na powierzchni elementów, na całej ich długości - za pomocą światłowodów. Ponadto, do pomiaru pionowych i poziomych (element oznaczony B3-S-E) przemieszczeń elementów służyły czujniki przemieszczeń liniowych LVDT (ang. *Linear Variable Differential Transformer*). Autor wykazał dobre opanowanie tych metod pomiarowych i należycie je zastosował. Świadczy to o stojącym na wysokim poziomie przygotowaniu do prowadzenia badań doświadczalnych.

3f) Badania doświadczalne Doktorant przeprowadził w sposób bardzo rzetelny. Nie krył nawet wystąpienia pewnych niepowodzeń (por. np. strony 119 i 129), które w tak złożonych eksperymentach zawsze mogą wystąpić. Ich ujawnienie dobrze świadczy o jego uczciwości badawczej. Ponadto, jak już sygnalizowano, sporządzone zostały szczegółowe protokoły dokumentujące badania. Protokoły te stanowią bardzo obszerny załącznik do zasadniczej treści rozprawy, pozwalający - jeśli z jakichkolwiek powodów zaszłaby taka potrzeba - na kontrolę analizowanych w rozprawie wyników.

3g) Oprócz badań doświadczalnych, Doktorant przeprowadził obszerną analizę numeryczną pozwalającą na wyznaczenie stopnia wpływu różnego rodzaju parametrów na skalę i przebieg redystrybucji sił wewnętrznych w dwuprzęsłowych elementach nazwanych w rozprawie płytowymi i belkowymi. Wymiary tych pierwszych odpowiadały elementom

badanym przez niego eksperymentalnie (tj. 180 mm x 800 mm x 4,60 m (2 x 2,30 m), natomiast wymiary tych drugich, to 200 mm x 300 mm x 4,60 m (2 x 2,30 m). Analizie poddano wpływ następujących parametrów na wspomniana redystrybucję: sprowadzony stopień zbrojenia odniesiony do stopnia zbrojenia nad podporą; rodzaj zbrojenia kompozytowego z włóknami szklanymi i węglowymi (GFRP i CFRP) w elementach nazwanych płytami oraz klasy betonu z jakiego zostały wykonane; klasy betonu w belkach. Walidację modeli obliczeniowych dotyczących elementów nazwanych płytami wykonano na podstawie własnych badań eksperymentalnych i uzyskano dobrą zbieżność wyników obliczeń i rezultatów pomiarów – zastosowane modele betonu oraz zbrojenia stalowego i kompozytowego oraz warunki brzegowe i rozmiary siatki elementów skończonych przyjęto zatem właściwie. Co do walidacji obliczeń dotyczących belek – patrz uwaga 3f)).

3h) Badania doświadczalne i analizy numeryczne wykonane przez Doktoranta pozwoliły na rozszerzenie zakresu poznania zjawiska redystrybucji w betonowych, ciągłych elementach zginanych ze zbrojeniem kompozytowym. Za najważniejsze ze stwierdzeń uważam następujące:

- mimo nie wykazywania przez pręty kompozytowe z FRP zdolności do uplastycznienia, występuje w ciągłych elementach zginanych z takim zbrojeniem zjawisko redystrybucji sił wewnętrznych, głównie momentów zginających, spowodowana przede wszystkim odkształcalnością betonu;

- decydującą cechą wpływającą na przebieg i skalę wspomnianej redystrybucji jest zarysowanie betonu, a następnie jego zmiążdżenie;

- ze względu na sposób zbrojenia, skala redystrybucji zależy także od relacji stopnia kompozytowego zbrojenia wzdłużnego w przęśle i nad podporą;

- wzrost klasy betonu, z którego wykonany jest zginany element, wpływa na przebieg redystrybucji sił wewnętrznych (zwiększa redystrybucję „do przęśla”);

- w przypadku elementów zbrojonych prętami stalowymi, o skali i przebiegu redystrybucji sił wewnętrznych jest stopień i lokalizacja tego zbrojenia – zmiana klasy betonu nie wpływa w sposób istotny na to zjawisko;

- wyniki badań doświadczalnych i analiz numerycznych ze względu na możliwe różnice w sposobie obciążania elementów (sterowanie siłami lub starowanie przemieszczeniami), nie zawsze mogą być wzajemnie porównywalne.

3i) Warto podkreślić, że Doktorant podsumowując swą rozprawę bardzo wyraźnie oddziela wnioski badawcze zaczerpnięte z innych, przestudiowanych przez niego prac, od tych które wynikają z jego własnych badań i analiz. Zasluguje to na uznanie.

Wszystkie przedstawione wyżej stwierdzenia (**3a**) ÷ **3i**), subiektywnie wybrane spośród wielu jeszcze innych, które można by sformułować odnośnie do wartości merytorycznej rozprawy, pozwalają na wyrażenie opinii, że może ona stanowić podstawę do dalszych poszukiwań badawczych, bo jej tematyka na to zasługuje.

Z obowiązku recenzenta muszę także sformułować kilka uwag krytycznych lub dyskusyjnych. Tego rodzaju uwagi, kierowane zawsze *ad rem* nie *ad personam*, są niezbędną przesłanką rozwoju nauki i dlatego – jak mierniam – mogą być przydatne do dalszych poszukiwań naukowych Doktoranta. Są one następujące.

3j) Nawiązując do uwag terminologicznych przedstawionych w punkcie 2 niniejszej recenzji warto wyjaśnić, co wpłynęło na wybór badanych jednokierunkowo zginanych elementów dwuprzęsłowych jako tak płaskich, mających wymiary, 800 mm x 180 mm x (2 x 2300 mm). Czy chciano na przykład zastosować deskowanie z jakichś poprzednich badań? Jaki był cel merytoryczny tego wyboru?

3k) Doktorant używa jak sądzę jakiegoś skrótowego myślowego, pisząc o zaprojektowaniu jednych elementów z założeniem braku dystrybucji, a drugich z założeniem jej wystąpienia. W istocie różnica polega na tym, że w tych drugich zbrojenie jest wzdłużnie zróżnicowane,

a w tych pierwszych – nie. Otóż nie wiem, jak można zaprojektować element bez redystrybucji sił wewnętrznych, skąd wiadomo, że ona nie nastąpi wbrew intencji projektanta (por. także uwagi dotyczące redystrybucji, umieszczone na początku punkt 2 recenzji)?

3l) Z rys. 4.1. wynika, że w przekroju A1-A1 występuje zbrojenie górne w postaci 5 prętów kompozytowych o średnicy 10 mm, dołem zaś 4 takie pręty, natomiast w przekroju A2-A2 – na dole jest 6 takich prętów, a na górze 4, też wszystkie o średnicy 10 mm. Otóż taki układ prętów o takiej średnicy sugeruje, że wymienione przekroje są podwójnie zbrojone, a nie pojedynczo. Nie znalazłem, mogłem jednak to przeoczyć, aby fakt ten znalazł odzwierciedlenie w opisach efektów doświadczalnych oraz analizach zamieszczonych w rozprawie. To samo dotyczy rys. 4.2., na którym pokazano zbrojenie z prętów stalowych – w przekroju A3-A3 jest 8 prętów średnicy 12 mm i dołem 7 prętów o tej samej średnicy, zaś w przekroju A4-A4 na górze jest 7 prętów średnicy 12 mm, a na dole 8 prętów o tejże średnicy. Czyż zatem nie są to elementy o przekrojach podwójnie zbrojonych? Będę zobowiązany za wyjaśnienie tej kwestii. Poza tym, czy nie można było tak dobrać średnice prętów kompozytowych i stalowych, aby procent zbrojenia był możliwie bliski w obu przypadkach?

3l) O ile walidacja modeli obliczeniowych dotyczących badanych przez Doktoranta elementów została dokonana przez wyniki tych badań, to nie znalazłem (mogłem to przeoczyć) sposobu walidacji modeli obliczeniowych dotyczących belek *sensu stricto* (wymiar: 200 mm x 300 mm x 4,60 m (2 x 2,30 m)). Jak zatem sprawdzono poprawność tych modeli?

Być może podniesione tu kwestie (**3j**) ÷ **3l**) polegają na jakimś ich nie zrozumieniu przeze mnie. Warto jednak, jak sądzę, jednoznacznie je wyjaśnić.

4. Uwagi szczegółowe

Uwagi szczegółowe, głównie natury redakcyjnej i językowej, choć nie tylko, przedstawiono wyłącznie w celu usunięcia wskazanych usterek podczas przygotowywania fragmentów dysertacji do publikacji.

4.1. Uwagi do rozdziału 1

4.1.1. Str. 13, w3g: Zwrot *typu FRP* – patrz punkt 2 recenzji. W dalszym jej tekście nie będę już tej sprawy podnosił.

4.1.2. Str. 13, w6g: Słowo *dla* jest zbędne

4.1.3. Str. 13, podpis rys.1.1. – Lepiej jest napisać: *Porównanie zależności naprężenie-odkształcenie*, bo na wykresach są proste nie krzywe (z wyjątkiem prostej łamanej dotyczącej stali).

4.1.4. Str. 14, w2g i w11g – Nie *gdzie*, tylko *w których*. Ponadto, w9g – Słowo *się* należy skreślić.

4.2. Uwagi do rozdziału 2

4.2.1. Str. 16, w7d – Badano *wpływ skrepowania betonu...na co?* Poza tym, w15g – Nie *rozkładu sił dla betonu*, tylko *rozkładu sił w betonie*. I jeszcze, w13g i w6d – Nie *poprzez*, tylko *przez* oraz, w2d – *równania* czy *wzory?*.

4.2.2. Str. 17, w2d – Chyba przy *...różnych stopniach zbrojenia...*, a nie *...przy różnych stosunkach stopnia zbrojenia...* To samo, str. 19, w15d i w16d.

4.2.3. Str. 18, w10d – Jakże to były te *kluczowe parametry konstrukcyjne?*

4.2.4. Str.19, w8d – Pominięto nazwisko drugiego autora (Davooda) w cytowaniu pozycji [22]. Ponieważ ta pozycja to praca doktorska, to czy miała dwóch (dwoje) autorów? A może Davood jest imieniem w pełnym brzmieniu? Jeśli tak, to wystarczy pierwsza litera imienia.

4.2.5. Str. 20, w1g – jest źle *prętami typu FRP*, w7g – jest dobrze *ze zbrojeniem FRP*.

4.2.6. Str. 21, w 1od, w11d; str.22. w3g – Słowo *dla* jest zbędne (np. nie ... *zbrojenie dla belek...*, tylko ... *zbrojenie belek...*).

4.2.7. Str. 22, tytuł Tab. 2.1. – Nie *parametry wytrzymałościowe oraz geometryczne badania*, tylko *parametry wytrzymałościowe i geometryczne badanych belek*. Badania nie mają żadnych parametrów.

4.2.8.. Str. 24, w2g – Nie *gdzie*, tylko *w których* i w5g – nie *wykorzystano*, tylko *zastosowano*. Poza tym, w obu nawiasach *stal*, nie *Stal*). Poza tym, tytuł Tab. 2.3 – patrz uwaga 4.2.7.

4.2.9. Str. 26, w13g – Nie *skutkowało*, tylko *powodowało* oraz w14 – nie *gdzie*, tylko *w której* i w13d – nie *dla GeUO*, tylko *w belce GeUO*.

4.2.10. Str. 27, tytuł Tab. 2.3. – patrz uwaga 4.2.7.

4.2.11. Str. 28, w7d – Nie *dla belki*, tylko *w belce*.

4.2.12. Str. 29, tytuł Tab. 2.4. oraz str. 31, tytuł Tab. 2.5., str. 32, tytuł Tab. 2.6., str. 35 tytuł Tab. 2.7., str. 36, tytuł Tab. 2.8., str. 38, tytuł Tab. 2.10., str. 40, tytuły tab. 2.12. i Tab. 2.13. - patrz uwaga 4.2.7.

4.2.13. Str. 62, w8g – Nie *badanych pod kątem zginania*, tylko *badanych na zginanie*. Ponadto, w14g – nie ...*przedstawiono przykładową redystrybucję...*, tylko ...*przedstawiono przykład redystrybucji...* I jeszcze, w10d – nie *publikacji [29]*, tylko *publikacja [29]*.

4.2.14. Str. 65, w2d – Czy rys. 2.22. jest właściwie przywołany?

4.2.15. Str. 66, w1g – Lepiej jest napisać *postać* lub *forma zniszczenia*, niż *sposób zniszczenia* (nie upieram się, że mam rację!). Poza tym, w12d i w11d – słowo *dla* przez numerem rysunku jest zbędne. Trzeba albo ten numer ująć w nawias, albo napisać *przedstawiony na rys. ...*

4.2.16. Str. 68, w1g – Powinno być: *Oznaczenia w kolumnach model zniszczenia oraz miejsce zniszczenia: F -....* I jeszcze, w5g – nie *gdzie nie podano*, tylko *w których nie podano*.

4.2.17. Str. 72, w4d i w3d – ... *zaprojektowano dla rozkładu z założeniem braku redystrybucji...* - patrz punkt 3 opinii.

4.2.18. Str. 74, w14d – jak uwaga 4.2.17.

4.2.19. Str. 75, podpis rys. 2.30. – Nie *dla stopnia zbrojenia na ścinanie z zakresu...*, tylko *przy stopniu zbrojenia na ścinanie w zakresie ...* Poza tym, w9d, na rys. 2.30. nie ma żadnych krzywych i (w1d) nie *skutkowało zwiększeniem*, tylko *powodowało zwiększenie*. Wyrazu *skutkowanie* nie będą już dalej wytykać.

4.2.20. Str. 76, w12d – Nie *dla elementów*, tylko *w elementach*.

4.2.21. Str. 77, w3d – *zależności* od czego? Wyraz *dla* jest zbędny. Dalej już nie będę na to *dla* zwracać uwagi,

4.2.22. Str. 81, ostatni akapit i kilka poprzednich stron – Jaki jest sens podawania wartości procentowej z dokładnością do setnych części procenta?

4.2.23. Str. 83, w8g – Lepiej *zalecane jest, aby...*, niż *zaleca się*.

4.3. Uwagi do rozdziału 3

4.3.1. Str. 84, wdg – FprEN 1992-1-1, czy str. 201, [63], prEN 1992-1-1:2023 (E)? Ponadto, str. 89, w9d – *fib* Bulletin 40, czy str. 201, [64], FIB Task Group 9.3 oraz str. 97, w1g – czy CSA S806-12/ISIS Canada 2007, czy str. 201, [61], CSA S806-12 i str. 202, [72], ISIS-M03-07?

4.3.2. Mimo podawania tytułów norm i zaleceń, warto podpisy rysunków uzupełnić o numer pozycji spisu bibliograficznego.

4.3.3. Zgodnie z zapowiedzią (4.2.19. i 4.2.21.) błędów językowych tego rodzaju nie będę już wymieniać.

4.4. Uwagi do rozdziału 4

4.4.1. Str. 103, tytuł punktu 4.1. – Nie *elementy badawcze*, tylko *badane elementy*. Co do użycia nazwy *plyty* – patrz komentarz dotyczący tytułu rozprawy, zamieszczony na stronie 2 tej recenzji.

4.4.2. Str. 104, podpis rys. 4.1. – Powinno być: *Wymiary płyty ze zbrojeniem GFRP*.

4.4.3. Str. 105, podpis rys. 4.2. – Powinno być: *Wymiary płyty ze zbrojeniem stalowym*.

4.4.4. Str. 106, rys. 4.3. – Ten rysunek jest tożsamy z rys. 2.23 na str. 62, ma tylko nieco inny podpis. Ponadto, w1g – opuszczono słowo *zbrojenia* przed słowem *podpory*.

4.4.5. Str. 107, podpis rys. 4.7. – Lepiej jest napisać *do badań* niż *do testów*.

4.4.6. Str. 106. w6d – Nie *wykorzystano*, tylko *zastosowano*. Poza tym, w3d, niepotrzebne jest słowo *po*. Podpis rys. 4.8 – znów to nieszczęsne *dla badania* zamiast *na podstawie badań...* lub krócej: *z badań*.

4.4.7. Str. 108, tabela 4.2. – Dlaczego właściwości jednego z betonów, służących do wykonania elementu B3-S-e zbadano po 60 dniach, a pozostałych trzech po około 90 dniach?

4.4.8. Str. 110, w3d ÷ w1d – Warto przedstawić powody błędnych wskazań czujników LVDT.

4.4.9. Str. 111, podpis rys. 4.12. – Nie *rozkład tensometrów*, tylko *lokalizacja tensometrów*. Ponadto, w4g – tekstach naukowych trzeba unikać języka handlowego, zatem wystarczy napisać *po sześć tensometrów*, a nie *po 5 sztuk tensometrów...*(to samo: w5g). Straszna jest ta współczesna polszczyzna – w10d: system DIC ARAMIS jako rzeczownik nieożywiony nie może być za nic odpowiedzialny, może natomiast *służyć* do czegoś. Nie wiem dlaczego w ostatnim akapicie na tej stronie użyty jest raz czas przeszły (*był*), a drugi raz przyszły (*będą*).

4.4.10. Str. 114, w7d – Zawsze *odnośnie do czegoś*, nigdy *odnośnie czegoś*. Dlatego powinno być *odnośnie do godziny...*, a nie *odnośnie godziny...*

4.4.11. Str. 116, w1g – Płyn jest zawsze hydrauliczny i dlatego poprawnym pod względem językowym jest: *...ciśnienia płynu w siłownikach*, a nie *...ciśnienia płynu hydraulicznego w siłownikach*.

4.5. Uwagi do rozdziału 5

4.5.1. Str. 117, tytuł punkt 5.1. rozprawy – Pierwsze słowo *Siła* należy usunąć. Ponadto, w1d, określenie *...pod siłownikami w przeszle od strony podpory środkowej* jest nieściśle, bo warto napisać czy to od strony lewej, czy prawej owej podpory środkowej (a może po obu jej stronach?).

4.5.2. Str. 118, w4d – Określenie *...pod siłownikiem od strony podpory wewnętrznej* jest nieściśle, bo w ustrojach ciągłych dwuprzęsłowych jest tylko jedna podpora wewnętrzna, więc przytoczone określenie niczego nie wyjaśnia o lokalizacji zniszczenia przez ścinanie.

4.5.3. Str. 120, w1g – O *założonej redystrybucji* – patrz punkt 3 recenzji.

4.5.4. Str. 121, w1g – Nie *dane odnośnie siły*, tylko *dane odnośnie do siły* (por. uwaga 4.4.9.), najlepiej zaś jest napisać *dane dotyczące siły*. I jeszcze, w2d, aby zachować spójność terminologiczną należało napisać: *...siły wewnętrzne (siły poprzeczne lub ścinające lub tnące i momenty zginające)* lub prościej: *siły wewnętrzne od ścinania i zginania, a nie ...siły wewnętrzne (ścianie i momenty)*.

4.5.5. Str. 122, wzór (5.1.) – $M_{u,cal}$ - *moment obliczony (?) czy przyjęty z tablic Winklera?*

4.5.6. Str. 123 ÷ 127 – Błędów stylistycznych i interpunkcyjnych nie będę już wytykał.

4.5.7. Str. 129, w2g – *Odkształcenia betonu nie w betonie*. I jeszcze, tytuł podpunktu 5.4.1., powinno być: *Odkształcenia betonu w phycie B1-G-E*, a nie: *Odkształcenia w betonie dla płyty B1-G-E*.

4.5.8. Str. 130, w1g – *Odkształcenia betonu, nie w betonie* oraz, w5g – nie *wyróżnić* tylko *odróżnić*.

4.5.9. Str. 131, w3d – Jest: *...beton zaczął się miażdżyc pod podporą środkową*. Z opisu, rysunków i zdjęć wynika, że **pod podporą środkową** nie ma żadnego badanego elementu. Może **nad podporą**, jak jest na str. 132, w3d?

4.5.10. Str. 133 – stylu nie już poprawiam. Jest natomiast chyba jakaś pomyłka – na przywołanym rysunku 5.27. *pik* sięga 26%, pojedynczy *pik* sięga 31%, ale na rysunku 5.26.

4.5.11. Str. 134, tytuł 5.4.3. – patrz uwaga 4.5.7. W pierwszy akapicie jest zła kolejność przywoływania rysunków – rys. 5.31 . jest przywołany przed rys. 5.28. i rys. 5.29. Ponadto na rys. 5.28. są rzeczywiście trzy *piki*, natomiast na rys. 5.29, można się dopatrzeć czterech.

4.5.12. Str. 135, w5d – Nie: *nie posiadało możliwości*, tylko: *nie miało możliwości* oraz, w2d, nie: *...zniszczenia betonu na ścinanie*, tylko: *...zniszczenia betonu przez ścinanie*.

4.5.13. Str. 136, tytuł 5.4.4. - patrz uwaga 4.5.7.

4.5.14. Str. 137, tytuł 5.4.5. – patrz uwaga 4.5.7.

4.5.15. Str. 137, w10d – Może lepiej napisać: *...przy sile 161 N wykazywać do końca odczytów rozciąganie.*

4.5.16. Str. 141, w1g – Może lepiej w *poszczególnych obszarach* niż *sekcjach*.

4.5.17. Str. 143, tytuł 5.4.6. – patrz uwaga 4.5.7. Ponadto, w8d i w7d, odkształcenia nie mogą być *wyższe* lub *niższa*, tylko *większe* lub *mniejsze* (to samo str. 158 w1d). I po raz kolejny, tym razem strony 143 i 144 – *odkształcenia prętów*, nie *odkształcenia dla prętów*. To samo dotyczy podpisów rysunków, np. rys. 5.49 i dalszych.

4.5.18. Str. 149, tytuł 5.4.7. – patrz uwaga 4.5.7. Poza tym, nie *uplastycznienia się zbrojenia*, tylko *uplastycznienia zbrojenia*. To samo str. 153, w1d i str. 159, w1d (nad rys. 5.72.).

4.5.19. Str. 154, tytuł 5.4.8. – powinno być: *Odkształcenia zbrojenia w płycie B4-S-E.*

4.5.20. Str. 157, w3d – Nie *dla punktu A1/375*, tylko *w punkcie A1/375*.

4.5.21. Str. 161, w9d – Sztywność może być *mniejsza* lub *większa*, ale nie *wyższa* lub *niższa*. To samo dotyczy ugięć – str. 162, w3d oraz str. 163, w3d.

4.6. Uwagi do rozdziału 6

4.6.1. Str. 164, w1d – Od lat walczę, niestety jak widać bezskutecznie, z błędnym zwrotem *obliczenia numeryczne*. Mogą być: *analiza numeryczna*, *obliczenia komputerowe*, *działania na liczbach ogólnych*, ale innych obliczeń niż numeryczne po prostu nie ma. Błąd ten powielają także osoby z wieloma literami przed nazwiskiem, dając zły przykład niechlujstwa językowego młodszym pracownikom naukowym. Poza tym, też w1d, zamiast błędnego *dedykowanym do nieliniowej ...*, trzeba pisać poprawnie *przeznaczonym do nieliniowej...*

4.6.2. Str. 166, w2g – Nie *w oparciu o wytyczne*, tylko *na podstawie wytycznych* lub *zgodnie z wytycznymi*. To samo w1d – *funkcją opartą o niepublikowane materiały*.

4.6.2. Str. 167, w4d – Jest: „... *dopasować ugięcia na podporach do wyników z badań.*”. Myślałem, że ugięcia na podporach są zerowe lub przyjmowane za zerowe. Nie rozumiem tego, może czegoś nie doczytałem.

4.6.3. Str. 169, ostatnie zdanie – Co wpłynęło na ostateczną decyzję o przyjęciu sześciennego elementu skończonego o boku długości 5 cm.

4.6.4. Str. 173, w7g i dalsze – Niepotrzebnie jest dwukrotne GFRP, zbrojenie za nic nie odpowiada – drugi blok *dotyczy* zbrojenia nad podporą i nie *ilość*, tylko *liczba*, bo pręty są zbiorem policzalnym (powinno być: *pierwsza cyfra oznacza liczbę prętów, a druga ich średnicę*).

4.6.5. Str. 175, w1d – Nie *wyższy*, tylko *większy stopień zbrojenia* (a może lepiej: *procent zbrojenia*).

4.6.7. Str.182, w1d – Uległy zniszczeniu *przez zginanie*, nie *na zginanie*.

4.6.8. Str. 185, w6g – Powinno być: *...Rozstaw strzemion (stalowych oraz z GFRP) we wszystkich belkach jest stały w kierunku wzdłużnym...* Obecna budowa zdanie sugeruje, że to belki są *stalowe oraz z GFRP*).

4.7. Uwagi do rozdziału 7

4.7.1. Str. 193, w15g – Może zamiast *gabaryty*, lepiej jest napisać *wymiary* i nawiązać do *efektu skali*.

4.7.2. Str. 195, w9d – *sterowanie* nie *serowanie*

4.7.3. Str.196, w2d – Nie bardzo rozumiem na czym ma polegać zaprojektowanie płyt *w sposób zniszczenia na zginanie*.

5. Wniosek końcowy

Generalnie rozprawę doktorską Pana mgr inż. Konrada Szczepańskiego pt. „*Redystrybucja momentów zginających w dwuprzęsłowych belkach i płytach ciągłych ze zbrojeniem typu FRP*” oceniam pozytywnie, co uzasadniłem w punkcie 3 recenzji. Uważam, że spełnia ona warunki ustawowe dotyczące tego rodzaju dysertacji. Wnoszę przeto o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

