

Recenzja pracy doktorskiej
mgr inż. PIOTRA ANDRZEJA TURKOWSKIEGO
pt. „, ODPORNOŚĆ OGNIOWA BELEK ŻELBETOWYCH
WZMOCNIONYCH NA ZGINANIE DOKLEJANYMI TAŚMAMI Z
WŁÓKIEN WĘGLOWYCH”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną recenzji stanowi Uchwała nr 6/1112020 Rady Naukowej Instytutu Techniki Budowlanej, z dnia 15 października 2020 r.

2. Ogólna ocena wartości pracy wraz z komentarzem krytycznym do każdego z rozdziałów

Przedmiotem recenzji jest praca doktorska mgr inż. Piotra Andrzeja Turkowskiego pt. „Odporność ogniowa belek żelbetowych wzmocnionych na zginanie doklejanymi taśmami z włókien węglowych”. Praca ma charakter doświadczalny z elementami analizy numerycznej i obejmuje zaledwie 138 stron podstawowego tekstu bez załączników. Pracę podzielono na 7 rozdziałów, poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz wykazem skrótów, oznaczeń i symboli. Zestawieniem bibliografii obejmuje wykaz cytowanej literatury i norm – łącznie 128 pozycji. Brak załącznika z precyzyjnym przedstawieniem wyników badań jest dużym mankamentem pracy z jakim Recenzentka, jak dotąd nie spotkała się we wszystkich recenzowanych pracach doktorskich.

Recenzentka postanowiła w jednym rozdziale opisać zawartość pracy i jednocześnie wyrazić swoje uwagi krytyczne do omawianych rozdziałów. To znacząco pomoże Autorowi odnieść się krok po kroku do komentowanych rozdziałów i uniknie powielania treści.

Rozdział 1

Rozdział pierwszy prezentuje wstęp opisujący genezę tematu oraz opis problemu naukowego z metodą jego rozwiązania. Autor nie sprecyzował jasno **właściwej tezy ani celów pracy**, co stanowi w tego typu rozprawach podstawowy element oceny pracy, który na ogół w końcowej części obejmującej wnioski, spina klamrą zasadniczą część pracy. To właśnie tezę i cele pracy powinny potwierdzać wnioski końcowe.

Krótki fragment w Rozdziale 1.2 w postaci opisu:

„Problemem naukowym, jaki podjęto w niniejszej pracy doktorskiej, jest po pierwsze analiza odporności ogniowej cechującej belki żelbetowe wzmocnione na zginanie za pomocą zewnętrznie doklejanego zbrojenia w postaci taśm z włókien węglowych, po drugie zaś ewaluacja możliwości zabezpieczania ogniochronnego tychże belek”

nie spełnia oczekiwań dotyczących opisu właściwego dla tezy pracy. Opis problemu jest na tyle ogólny, że nie charakteryzuje podjętego tematu.

Z kolei określenie: *„Oryginalność rozprawy doktorskiej polega na opracowaniu autorskiej metody badawczej i metody szacowania skuteczności zabezpieczenia ogniochronnego belek żelbetowych wzmocnionych na zginanie EBR CFRP. W tym celu przeprowadzono badania oraz analizy numeryczne przepływu ciepła”*, opisuje zakres pracy, a nie właściwe rozwiązanie problemu w postaci jasno sprecyzowanych celów.

Autor w rozdziale 1.2 opisuje w ogólny sposób zakres pracy i sposób prowadzenia badań, kończąc rozdział cennym wnioskiem o autorskiej propozycji: *„parametru powierzchniowej grubości równoważnej betonu, który może być wykorzystany do szacowania temperatury zabezpieczonej ogniochronnie powierzchni betonu i grubości izolacji wymaganej do jej utrzymania poniżej temperatury krytycznej”*.

Rozdział 1.3 powtarza poniekąd rozdział 1.2, uszczegóławiając zakres każdego z rozdziałów o właściwe opisy obejmujące zakres rozdziału pierwszego, który prezentuje genezę i istotę poruszanego problemu naukowego wraz ze wskazaniem na nieanalizowane do tej pory przypadki wzmocnień EBR CFRP w konstrukcjach żelbetowych, w których zachowanie nośności w warunkach pożaru wymaga zabezpieczenia ogniochronnego systemu wzmocnienia z uwagi na ich temperaturę zeszklenia.

Rozdział 2

W rozdziale drugim Autor opisał zasadnicze sposoby wykorzystywania wzmocnień przy użyciu materiałów CFRP wraz z technikami ich montażu oraz właściwości termiczne i mechaniczne stali zbrojeniowych, kompozytów i klejów w podwyższonych temperaturach, wraz z systemami zabezpieczenia ogniochronnego. Przegląd literaturowy został opracowany na podstawie nieaktualnego już opracowania CEB-FIP, *Fib Bulletin 14 „Externally bonded FRP reinforcement for RC structures”, Task Group 9.3 (2001)*, który od 2019 nie ma już mocy prawnej i został wydany w postaci *Fib Bulletin 90 „Externally applied FRP reinforcement for concrete structures. Task Group 5.1 (2019)*. Dotyczy to w szczególności zasad projektowych, które uległy zdecydowanej modyfikacji, dlatego zalecenia wskazane w rozdziale 2.2.7 nie powinny być przywoływane i treści pracy.

Interesujący jest rozdział 2.3. - Właściwości materiałów w podwyższonej temperaturze, w którym Autor opisał zachowanie się konstrukcji żelbetowych w podwyższonej temperaturze ze szczególną uwagą na materiały składowe takiej konstrukcji, jak beton, stal zbrojeniowa, kompozyty polimerowe oraz systemy zabezpieczenia ogniochronnego. W ten sposób szczegółowo opisane zostały badania betonów w zakresie temperatur od 100 °C do nawet 1350 °C. Betony,

charakteryzują się pewną wewnętrzną odpornością na działanie ciepła, a z uwagi na swoje właściwości termiczne, wykazują bezwładność oraz opóźnienie w reagowaniu na wzrost temperatury. Autor opisał degradację betonu w postaci eksplozywnego odpryskiwania betonu, które wywołane jest m.in. wysokim ciśnieniem pary wodnej w porach i wysokim gradientem temperatury w przekroju elementu. Powoduje to dosyć poważną degradację betonu, fizyczne zmniejszenie przekroju wraz z drastycznymi skutkami odsłonięcia zbrojenia stalowego. Działaniu ognia towarzyszy spadek wytrzymałości betonu na ściskanie w podwyższonej temperaturze, który przy temperaturze od 80 do 90°C wynosi od 10 do 35% początkowej wartości, ale za to temperaturze ok. 200 °C wzrasta ponownie do swojej początkowej wartości, a następnie znów maleje wraz ze wzrostem temperatury. Nieco bardziej wrażliwy jest beton na rozciąganie, w warunkach wysokiej temperatury. Tutaj spadek wytrzymałości drastyczny po przekroczeniu 300 °C.

W rozdziale 2.3.3 Autor opisał wpływ wysokiej temperatury na spadek wytrzymałości stali zbrojeniowych w funkcji temperatury określony szczegółowo współczynnikiem $k_s(\theta)$ na podstawie *CEN, PN-EN 1992-1-2:2008. Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-2: Reguły ogólne – Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe*.

Wpływ wysokiej temperatury na kompozyty polimerowe został opisany w rozdziale 2.3.4, jednak brak wyjaśniania zależności ciepła właściwego, przewodności cieplnej i gęstości FRP dla włókien węglowych i matrycy epoksydowej w funkcji temperatury jest trochę zaskakujący. Informacja o zalecanych zależnościach określania wytrzymałości, sztywności i modelu przyczepności–poślizg kompozytów CFRP według Kodura [48], zamieszczona w tablicy 6 w postaci wzorów nie znalazła w tekście pracy żadnego komentarza, przez co sprawia trudność w interpretacji i zrozumieniu. Należałoby rozwinąć treść tego podrozdziału o stosowny opis różnic w prezentowanych podejściach wg Bisby [43] i Dai i innych [67]. W odniesieniu do konstrukcji żelbetonowych wzmocnionych doklejanymi kompozytami, które należy chronić z uwagi na wyjątkowo niską temperaturę zeszklenia kleju (od 50 do 90°C), problem izolacyjności termicznej jest bardzo kłopotliwy, gdyż zwiększanie grubości izolacji przestaje wymiennie zwiększać izolacyjność termiczną, przez co utrzymanie tak niskiej temperatury na powierzchni betonu jest na ogół niemożliwe. Podobnie niska jest skuteczność materiałów biernych w postaci natrysków i płyt, ponieważ powstanie tzw. półki wilgotnościowej podczas wzrostu temperatury zatrzymuje się w okolicach 100°C do czasu pełnego odparowania związanej w materiale wody. Ten etap niestety następuje po osiągnięciu temperatury zeszklenia kleju mocującego kompozyt, co nie spełnia warunku pełnej ochrony termicznej, nie mówiąc o wpływie ognia.

Systemy zabezpieczenia ogniochronnego prezentowane w r. 2.3.5 zostały opisane z przywołaniem wykresów 16-18, ale nie ma do tych rysunków właściwego komentarza, który uzasadniałby cechy jakościowe i różnice płyt krzemianowo-wapniowych, gipsowych oraz płyt ze skalnej wełny mineralnej.

Autor przywołuje również propozycję zastosowania farb pęczniących, które aktywują się w temperaturach nawet od 200 do 300°C, jednak nie są rekomendowane do wzmocnień przy użyciu przyklejanych kompozytów polimerowych, ale raczej mogą znaleźć zastosowanie tylko

w konstrukcjach żelbetonowych zbrojonych prętami FRP, chroniąc je w zakresie temperatur od 350 do 600°C.

W podsumowaniu rozdziału 2.3.5 Autor formułuje trzy wnioski:

- Wielowarstwowe płytowe systemy ogniochronne mocowane mechanicznie do podłoża betonowego wydają się być szczególnie predysponowane do zabezpieczania doklejanych do belek żelbetonowych kompozytów polimerowych z uwagi na temperaturę zeszklenia klejów je mocujących.
 - Reaktywne systemy zabezpieczenia ogniochronnego i natryski ogniochronne posiadają szereg cech utrudniających lub wręcz uniemożliwiających ich zastosowanie w tych samych warunkach.
 - Zastosowanie klejów o temperaturze zeszklenia powyżej 115°C może pozwolić na znaczącą redukcję wymaganych grubości izolacji poprzez wykorzystanie tzw. półki wilgotnościowej materiałów izolacyjnych, których skuteczność wynika ze związania w nich wody.
- Brakuje jednak właściwego uzasadnienia tych wniosków, które wskazywałyby na zalety i wady każdego z proponowanych systemów.

W rozdziale 2.4 zostały przedstawione metody badań i oceny odporności ogniowej obejmujące:

- krzywą standardową temperatura/czas, na podstawie której wykonuje się ponad 95% badań;
- krzywe parametryczne z fazą studzenia, ale wzywające do wdrożenia inżynierii bezpieczeństwa pożarowego Fire Safety Engineering (FSE);
- pożar przemieszczający się Travelling Fire (TF).

Powyższe informacje wiele wnoszą w rozwoju dziedziny, szkoda jednak, że Autor nie opisał dokładnie tych metod, co pozwoliłoby nabrać pewności do ich stosowania i wniosłoby duży wkład poznawczy w rozwój przyszłych prac w tym zakresie, szczególnie w kontekście prac badawczych będących podstawą recenzowanej pracy doktorskiej. Metody te zostały opisane w dalszej części pracy.

W rozdziale tym omówione zostały również przepisy techniczno-budowlane zawarte w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, Poz. 690), z późniejszymi zmianami [95], zwanym dalej „Rozporządzeniem”. Przedstawione klasy odporności ogniowej i wymagania w zakresie każdej z klas. Autor opisuje również typy krzywych nagrzewania, dostosowanych do scenariuszy pożarowych przewidzianych dla budownictwa ogólnego, drogowego, kolejowego oraz petrochemicznego. Prezentuje nawet zestawienie tych krzywych: standardowej (N), zewnętrznej (E), powolnego nagrzewania (S), węglowodorowej (H), węglowodorowej modyfikowanej (HCM), dla tuneli drogowych RWS (RWS), dla tuneli kolejowych EUREKA (EUREKA) na rysunku 21. Jednak poza ich graficzną prezentacją Autor nie formułuje żadnych wniosków, nie wskazuje na różnice oraz wynikające z tego porównania wady i zalety każdej z krzywych.

Zaskakuje nieco wypowiedź: *„Obecnie prowadzone są dyskusje i analizy zasadności stosowania krzywej celulozowej (inna nazwa krzywej standardowej), jako że jej przebieg nie odzwierciedla rozwoju pożaru we współczesnych obiektach, których wyposażenie stanowią przede*

wszystkim materiały ropopochodne, cechujące się wysokim parametrem szybkości wydzielania ciepła HRR (ang. Heat Release Rate) [88]”, co w kontekście rozprawy doktorskiej nie wnosi żadnej nowości ani wartości poznawczej.

Podobnie kolejne sformułowanie: „Szczególnie zwraca się uwagę na początkową fazę wzrostu temperatury, która dla krzywej standardowej jest wolniejsza, niż to się dzisiaj obserwuje w pożarach rzeczywistych, a co przy definiowaniu tej krzywej było podyktowane głównie możliwościami badawczymi laboratoriów z początku XX wieku [98]”, które bez rozwinięcia nie pozwala Recenzentce na weryfikację krzywych nagrzania, a tym samym uniemożliwia jakościową ich ocenę w kontekście różnic oraz płynących z nich wad i zalet.

Metody badań odporności ogniowej belek opisane w (rozdziale 2.4.6.) nie precyzują jasno różnic badawczych między procedurami prezentowanymi przez wskazane normy, a tylko skrótowo formułują ich zakres. Niejasne jest również sformułowanie nr 5 w spisie najważniejszych założeń metody badawczej wg PN-EN 1365-3 [104]: „*pomiary temperatury i inne są fakultatywne, bez wpływu na ocenę*”.

Zdaniem Recenzentki opis metody badawczej przedstawiony w rozdziale 2.4.7 - Skuteczność systemów zabezpieczenia ogniochronne nie znajduje uzasadnienia i powinien zdecydowanie znaleźć się w rozdziale 3 – Metoda i przygotowanie badań. Taki układ pracy sprawia wrażenie chaotycznej i pisanej w pośpiechu.

Stan wiedzy w dziedzinie dotychczasowych badań belek żelbetowych wzmocnionych metodą EBR przy użyciu materiałów kompozytowych CFRP powinien stanowić całkiem odrębny rozdział, w którym Autor opracowałby skrupulatny przegląd literatury na temat podjętej tematyki oraz sprecyzował wnioski i uzasadnił propozycję własnych badań w tym zakresie. Taki stan wiedzy w dziedzinie omawianych badań na ogół obejmuje trzy części: badania doświadczalne, procedury badawcze, nomenklatury normalizacyjne. W tym rozdziale Autor zaprezentował jedynie tabelaryczne zestawienie kilku wybranych badań. Jest ich o wiele więcej niż zostało przedstawionych w niniejszej pracy. W szczególności dotyczy to prac najbardziej uznanego w świecie ośrodka badań ogniowych ośrodka Queen's University, gdzie najwięcej badań wykonywali: L. Bisby (110 publikacji), M. Green (35 publikacji), Wight, A. Fam, Kim i szereg innych publikacji.

Autor nie odniósł się ponadto do wyników prezentowanych w badaniach z punktu widzenia własnych doświadczeń badawczych, co stanowi w tego typu pracach podstawowy element wkładu własnego w rozwój dziedziny. Zadziwiająco krótkie podsumowanie (r. 2.5) jest bardzo ogólnikowe i nie formułuje żadnych wniosków z przeprowadzonej analizy stanu wiedzy w omawianym zakresie badań. Dziwi przy tym sformułowanie: „*pomimo rozpoznania wielu obszarów tego zagadnienia, inne wciąż wymagają dalszych badań*”, w którym Autor nie formułuje własnej opinii na temat przyszłych badań, ani nie precyzuje sposobu ich przeprowadzenia we własnej pracy doktorskiej. W podsumowaniu tego rozdziału brakuje przede wszystkim:

- jasno sprecyzowanej tezy oraz celu badań własnych
- sposobu ich realizacji.

Rozdział 3

W rozdziale trzecim Autor scharakteryzował metodę badań oraz sposób ich przeprowadzenia wraz z opisem konstrukcji elementów próbnych, użytego sprzętu, metody badania i kryteriów ich oceny. Opis podany na stronie 65 „*Obciążenie elementów próbnych realizowane było za pomocą zestawów siłowników hydraulicznych pracujących w zakresach od 5 do 30 kN, od 20 do 60 kN, od 10 do 120 kN, od 30 do 300 kN, od 50 do 500 kN, od 300 do 1250 kN, od 300 do 2500 kN*”, jest mało precyzyjny i niezrozumiały, w szczególności, że nie ma powołania na schemat belki zaprezentowany na rysunku 23.

Podobnie opis: „*Obciążenie przykładano za pomocą centralnie umieszczonych siłowników hydraulicznych w rozstawie 1,20, 1,30 lub 1,40 m. W ten sposób środkowa część belek, równa od 25 do 30% ich rozpiętości, poddana była działaniu stałego momentu zginającego.*”, nie precyzuje położenia tych sił. Co tradycyjnie przedstawia się w postaci takiego schematu statycznego, który definiuje wszystkie parametry geometryczne układu (pokazanego wcześniej na rys. 23). Autor powinien przenieść opis badań wraz z pomiarami do rozdziału 3, następnie rozdzielić rysunki odrębnie na:

- schemat statyczny,
- układ zbrojenia,
- punkty pomiaru temperatury,
- punkty pomiaru odkształceń i ugięć
- precyzyjnie opisać techniki badawcze.

Co Autor rozumie formułując stwierdzenie, że „*Z powodu charakteru badania odporności ogniowej i związanej z nim trudności w ilościowym określeniu niepewności pomiaru odporności ogniowej nie było możliwe określenie ustalonego poziomu dokładności wyników – za PN-EN 1363-1 [102].*” Czy to oznacza, że brak tej pewności może budzić zastrzeżenia interpretacji wyników badań? Ponadto należałoby doprecyzować o jakie trudności zgodnie ze wskazanymi normami [119, 120] chodzi.

Brakuje rysunku przedstawiającego opis (str. 69): „*Na górnej powierzchni belek wykonano tzw. konstrukcję stowarzyszoną z płyt z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) o nominalnej gęstości 600 kg/m³, szerokości 600 mm, długości 250 mm i grubości 150 mm. Płyty były łączone tylko z górną powierzchnią belki żelbetowej, a od siebie wzajemnie były rozdzielone wełną ceramiczną o gr. 25 mm*”.

Opis zbrojenia elementów wraz układem czujników do pomiaru temperatury zamieszczony w tabeli 10 nie budzą zastrzeżeń. Podobnie sposób wzmocnienia elementów opisano właściwie. Układ izolacji ogniochronnych wykonano w kilku wariantach materiałów, liczby warstw i ich grubości, realizując w każdej sytuacji izolowanie wszystkich betonowych powierzchni w sposób i chroniąc wzmocnienie przed nagrzewaniem także wskutek przepływu ciepła wewnątrz betonu. Izolację ogniochronną wykonano w następujących czterech wariantach, pokazanych na rysunkach 29 i 30 w postaci:

1. płyty gipsowe o grubości izolacji: 1×25 mm po bokach belki i 2×25 mm na spodzie belki,

2. płyty gipsowe o grubości izolacji: 6×25 mm po bokach i na spodzie belki,
3. płyty krzemianowo-wapniowe o grubości izolacji: 1×50 mm po bokach i na spodzie belki,
4. płyty krzemianowo-wapniowe o grubości izolacji: 3×50 mm po bokach i na spodzie belki.

W rozdziale 3.4 Doktorant przedstawił autorską metodę pomocniczą, której efektem było opracowanie „Procedury badania i oceny skuteczności ogniochronnej zabezpieczeń taśm z włókien węglowych stanowiących zewnętrzne doklejane zbrojenie elementów z betonu” – PB LP-054/1/11-2012. Główną nowością w tej metodzie było wprowadzenie tzw. elementów częściowych, belkowych lub płytowych, o zmniejszonych wymiarach i niepoddanych obciążeniu, co umożliwiło badanie nawet 12 różnych układów jednocześnie. Elementy odizolowuje się od siebie skalną wełną mineralną o wysokiej gęstości w celu wyeliminowania znaczącego przepływu ciepła między nimi. Powierzchnie betonowe elementów płytowych nie były w pełni izolowane, co umożliwiło obserwację dodatkowego strumienia ciepła w betonie, który z reguły jest materiałem o wyższej przewodności cieplnej niż izolacja ogniochronna. Taki sposób realizacji badania umożliwił ocenę wpływu szerokości zakładu bocznego izolacji ogniochronnej wokół taśmy CFRP wraz z oceną jej skuteczności ogniochronnej.

Rozdział 4

Rozdział czwarty opisuje zakres badań doświadczalnych wraz z analizą izolacji ogniochronnej z płyt gipsowych opracowaną w listopadzie 2012 roku w Zakładzie Badań Ogniowych ITB, która polegała na wdrożeniu opracowanej przez autora procedury badań i oceny skuteczności ogniochronnej zabezpieczeń taśm i mat z włókien węglowych stanowiących zewnętrzne zbrojenie elementów z betonu PB LP-054/1/11-2012, opisanej w pracy [122]. Głównym celem tych badań było zarejestrowanie temperatur na styku kolejnych warstw izolacji ogniochronnej i na powierzchniach betonowych. W ramach badań pomocniczych zbadano cztery belki żelbetowe o przekroju 450×150 mm i długości 900 mm z izolacją ogniochronną ze skalnej wełny mineralnej o gęstości 150 kg/m³ i płyt gipsowych o grubościach: 25, 50, 100 i 150 mm. Uzyskane wyniki stanowiły dolne oszacowanie granic temperatur i stały się podstawą doboru grubości izolacji w belkach B1 - B6. Kolejny etap badań pomocniczych obejmował belki z izolacją ogniochronną wykonaną z płyt krzemianowo-wapniowych o tych samych grubościach, jak w przypadku płyt gipsowych. Z porównani obu badań wynika, że największą różnicą w zachowaniu płyt krzemianowo-wapniowych w stosunku do płyt gipsowych był brak ich odpadania i bardzo małe odkształcenia. Wprowadzenie zaś dodatkowej izolacji między elementami pozwoliło uniknąć podłużnego przepływu ciepła w badanych elementach, co ponadto wykorzystano przy doborze grubości izolacji w belkach kolejnej serii B7 - B10 w głównym programie badawczym.

W rozdziale 4.2. Autor powołał się na obliczenia nośności belek żelbetowych na zginanie przed i po wzmocnieniu opracowane przy użyciu metod obliczeniowych, których jednak nie zaprezentowano w pracy. Należałoby taki przykład szczegółowo zaprezentować w pracy, aby przedstawić dokładny tok obliczeń. Bez takiego przykładu Recenzentka nie ma możliwości weryfikacji poprawności obliczeń nośności belek i to zarówno niewzmocnionych, jak i wzmocnionych, gdyż samo zestawienie wyników tabeli 13 nie jest wystarczające. Dziwi fakt zestawienia ugięć w porównaniu z momentami zginającymi, a nie z wartościami sił obciążających,

jak to odbywa się we wszystkich tego typu badaniach. Podobnie, prezentacja wyników badań w układzie moment zginający – oś pozioma oraz ugięcie – oś pionowa również należą do rzadkości. Na ogół wartości przemieszczeń i odkształceń stanowią oś x, a momenty i obciążenia na osi y.

Autor prezentuje w tabeli 13 wartość zmierzonej nośności na zginanie belki niewzmocnionej oraz wzmacnionej. Budzi to wątpliwość ponieważ należałoby momenty zginające przeliczyć na siły i porównanie wykonać na podstawie pomierzonych w badaniu wartości tych obciążeń.

W rozdziale 4.3 Autor opisał charakterystykę elementów badawczych w zakresie zastosowanego systemu zabezpieczenia ogniochronnego, wzmacnienia taśmami CFRP 50×1,2 mm i wielkości obciążenia (choć wartości tych w tabeli nie ma, ponieważ zostały przeliczone na momenty). Trzy grupy belek obejmują:

1. B-1 i B-10 – belki wzmacnione taśmami CFRP, bez izolacji ogniochronnej, wyęteżone poniżej nośności na zginanie przed wzmacnieniem,
2. B-2, B-3 i B-9 – belki wzmacnione CFRP i bez wzmacnienia, z izolacją ogniochronną, wyęteżone poniżej nośności na zginanie przed wzmacnieniem,
3. belki od B-4 do B-8 – belki wzmacnione CFRP, z izolacją ogniochronną lub bez, wyęteżone powyżej nośności na zginanie przed wzmacnieniem.

Badania przeprowadzano przy użyciu komory K1 o wymiarach 4,30×3,30×3,70 m pieca CHIMERA wyposażonej w 10 palników gazowych umieszczonych na krótszych odcinkach ścian. Maksymalna moc komory K1 wynosi 6,2 MW i pozwala zrealizować nagrzewanie według wszystkich nominalnych i specjalnych krzywych nagrzewania. We wszystkich badaniach, w chwili osiągnięcia ocenianych kryteriów, odchylenie procentowe pomiędzy polem powierzchni pod krzywą temperatury zarejestrowanej w piecu a polem powierzchni pod krzywą nominalną nagrzewania wynosiło 0±0,1%. Ciśnienie w piecu było utrzymywane w wymaganym zakresie ±5 Pa od piątej do dziesiątej minuty badania i ±3 Pa w dalszej jego części.

Obciążenie elementów realizowano za pomocą zestawów siłowników hydraulicznych utrzymujących obciążenie na stałym poziomie, przyjętym w badaniach na poziomach: 44 kNm (belki B-1, B-2 i B-3); 46 kNm (belka B-10); 56 kNm (belka B-9); 71 kNm (belki B-4, B-5 i B-6) oraz 78 kNm (belka B-7).

Zaskakująca jest decyzja o wprowadzeniu czterech różnych poziomów obciążenia (62%, 65%, 79% i 100%), które można byłoby ograniczyć do dwóch: 62 % i 100 % nośności elementu przed wzmacnieniem. Co było powodem tych rozbieżności?

Na podstawie analizy elementów badawczych zestawionych w tabeli 14, Recenzentka ma wątpliwość dotyczącą braku wzrostu nośności na zginanie w elementach B1-B3, niezależnie od tego, czy wzmacnienie było zastosowane (B-1 i B-3) czy nie (B-2) oraz niezależnie od obecności czy braku izolacji ogniochronnej. Dla przykładu belki B1 i B4 wzmacnione taśmami CFRP bez izolacji ochronnej wykazują na rysunku 41 niespójne wyniki. Mianowicie, skoro temperatura

zeszklenia kleju wynosi poniżej 100 ° C, to jak należy zinterpretować wykres dla belki B-1, który kończy się po 60 min. na poziomie 950 ° C, podczas gdy w tabeli 15 zniszczenie tej belki określone jest po czasie 1,07 min. w temperaturze 75,4 °. Zaskakujące jest, że belka B-4 wytrzymała powyżej nośności na zginanie przed wzmocnieniem uległa zniszczeniu po 1,07 min. w temperaturze 75,4 ° C od pełnego obciążenia, podczas gdy w belka B-1 wytrzymała na poziomie 62% nośności na zginanie przed wzmocnieniem, zniszczyła się po 2,25 min. w temperaturze kompozytu 196,5 ° C, co z racjonalnego punktu widzenia nie jest możliwe, gdyż temperatura zeszklenia kleju wynosi poniżej 100 ° C.

Jak to możliwe, że belki B-1 i B-10 badane pod tym samym obciążeniem, które zniszczyły się po tym samym czasie 2,25 min. nie zostały przedstawione na rysunku 40?

Zdaniem Recenzentki, należałoby wykresy belek rozdzielić na grupy odpowiadające planowanemu podziałowi z uwagi na obciążenie i zastosowane systemy izolacji ogniochronnej, to zdecydowanie poprawiłoby interpretację wyników i uniknęłoby żmudnego wyszukiwania różnic między wykresami. W tym momencie Recenzentka znów wnioskuje o konieczność opracowania Złącznika dla każdej belki osobno, co powszechnie należy do dobrych praktyk prac doktorskich. Interesujący jest pomysł zastawienia skrótowych raportów z badań wszystkich belek zamieszczonych w podrozdziale 4.3.4.- Przebieg badań i obserwacje. Taka relacja pokazuje w skali czasu przebieg badań i dość dobrym stopniu pozwala na porównanie różnic między elementami.

W rozdziale 4.4. – Porównania i podsumowanie – Autor porównuje podobne belki ze sobą, co znacząco ułatwia interpretację wyników badań.

Wyniki badań belek B-1 i B-10 wzmocnionych taśmami CFRP i obciążonych do poziomu 62-62% nośności (bez zabezpieczenia ogniochronnego) potwierdzają:

1. narażona na bezpośrednie oddziaływanie ognia taśma CFRP uległa niemal natychmiastowemu odspojeniu po 2,25 min od rozpoczęcia nagrzewania,
2. w chwili odspojenia taśmy CFRP belka wykazała szybki wzrost ugięcia, lecz zachowała nośność ogniową bez przekroczenia wartości granicznej,
3. po odspojeniu taśmy belka osiągnęła nośność belki żelbetowej na oczekiwanym poziomie.

Wyniki badań belek B-2, B-3 i B-9 potwierdziły sformułowane w p. 4.4.1 wnioski, na to wskazuje porównanie czasu awarii izolacji ogniochronnej, czasu nośności ogniowej i temperatury zbrojenia. Badania te potwierdziły również, że awaria wzmocnienia CFRP osłoniętego zabezpieczeniem ogniochronnym nastąpiła po przekroczeniu temperatury zeszklenia kleju, a ugięcie belki w chwili awarii wzmocnienia CFRP wyniosło od $L_{sup}/300$ do $L_{sup}/250$, co stanowi ok. 10-krotnie mniejszą wartość ugięcia granicznego.

Autor wskazuje, że najistotniejszą część programu badawczego stanowiły badania dwóch serii belek żelbetowych wzmocnionych CFRP i zabezpieczonych ogniochronnie dwoma różnymi systemami – płytami gipsowymi „GB” (belki B-5 i B-6) oraz płytami krzemianowo-wapniowymi „CSB” (belki B7 i B8), a także jednej belki bez zabezpieczenia ogniochronnego (belka B-4). Obciążenie belek w badaniach wywoływało przeszłowy moment zginający równy obliczeniowej nośności na zginanie w warunkach normalnych tych belek po wzmocnieniu CFRP ($M_{Rd,FRP}$). To jednoznacznie potwierdza, że obciążenie w badaniu przekroczyło rzeczywistą nośność belek przed

wzmocnieniem. Aby więc potwierdzić faktyczny wpływ wzmocnienia, Autor zbadał belkę B-4, bez izolacji ogniochronnej, co potwierdziło, że po upływie 1,07 minuty średnia temperatura kleju przekroczyła temperaturę zeszklenia, osiągając 70,4°C, co doprowadziło do gwałtownego odspojenia kompozytu i utraty nośności ogniowej belki. To sprawiło, że prędkość narastania ugięcia ponad pięciokrotnie przekroczyła wartość graniczną. W ten sam sposób przebiegało zniszczenie pozostałych belek z tej grupy. Wykresy szybkości narastania ugięcia i porównanie z przyjętym kryterium nośności ogniowej prezentuje dla tej grupy belek rysunek 56.

Wyniki badań przedstawione w rozdziale 4 Autor zestawił w postaci algorytmu doboru izolacji ogniochronnej dla elementów żelbetowych wzmocnionych na zginanie materiałami CFRP na podstawie Eurokodu 2 część 1-2. W ten sposób elementy żelbetowe zdolne do przeniesienia kombinacji wyjątkowej oddziaływań albo w ogóle nie wymagają stosowania izolacji ogniochronnej, albo służy ona jedynie ochronie zbrojenia stalowego. Nie jest wymagane w tym scenariuszu uwzględnianie zachowania doklejanych kompozytów z włókien węglowych. W pozostałych przypadkach niezbędne jest zastosowanie zabezpieczenia ogniochronnego w postaci izolacji ogniochronnej zabezpieczającej kompozyt przed osiągnięciem temperatury zeszklenia kleju.

Rozdział 5

W rozdziale 5 - Analizy numeryczne przepływu ciepła – Autor prezentuje program komputerowy MSC.Marc 2017.1 amerykańskiej firmy MSC.Software [123], który został użyty do obliczeń numerycznych przepływu ciepła. Oprogramowanie to umożliwia prowadzenie obliczeń jedno-, dwu- i trójwymiarowych elementów, w ustalonych oraz nieustalonych warunkach wymiany ciepła. Program umożliwia stosowanie własnych procedur w odniesieniu do warunków brzegowych np. nieliniowych strumieni ciepła, kierunkowych strumieni ciepła, konwekcji i promieniowania. Program ten stanowi podstawę opinii i ekspertyz naukowo-technicznych wydawanych przez ITB. Szczegółowy opis podziału elementów skończonych, oddziaływań i warunki brzegowych zamieszczono w opisie tego rozdziału i zestawiono w tabelicy 18 dla wszystkich elementów badawczych, zaś na rysunkach 63 – 69 porównanie obliczeniowych i doświadczalnych wykresów temperatury w funkcji czasu. Dobra zbieżność wyników obliczeniowych i doświadczalnych została potwierdzona dla belek B1 i B10 (rys. 63), podczas gdy wyniki te dalece odbiegają od siebie w pozostałych belkach.

Recenzentka zwraca uwagę na brak wykresów dla belki B-5, mimo, że w legendzie rys. 64 są one zestawione. Wykresy obliczeniowe temperatury w belkach grupy BN-4 i BN-5 pokazane na rysunkach od 67 do 69 dalece odbiegają od tych doświadczalnych, co potwierdza, że właściwości termiczne materiału nie są wystarczające do opisu zachowania całego systemu ogniochronnego, więc wskazane byłoby zastosowanie bardziej zaawansowanych programów do analizy numerycznej typu ATENA, ABAQUS czy DIANA.

Rozdział 6

Zagadnienie szacowania grubości izolacji ogniochronnej w postaci autorskiej metody obliczeniowej umożliwiającej szacunkową ocenę grubości izolacji potrzebnej do ochrony

kompozytów i klejów przed osiągnięciem temperatury zeszklenia Autor opisał w rozdziale 6. Metoda ta polega na wprowadzeniu nowego parametru – powierzchniowej grubości równoważnej betonu $\varepsilon_{\text{surf}}$ dla każdego czasu odporności ogniowej t i grubości zabezpieczenia d_p , ustaleniu wartości temperatury charakterystycznej $\theta(d_p, t)$ na spodniej powierzchni belki zabezpieczonej ogniochronnie w środku jej szerokości, a następnie ustaleniu na głębokości d_{cc} w belce niezabezpieczonej ogniochronnie tej samej wartości temperatury.

W dalszych badaniach skuteczności ogniochronnej Autor zaleca umieszczenie dodatkowych, termoelementów na styku izolacji i betonu niż te uwzględnione w zaleceniach normowych, ze szczególnym uwzględnieniem miejsc połączeń czołowych płyt, które mogą być mostkami termicznymi. Miejsca te nie mają istotnego wpływu na wartości temperatury rejestrowane wewnątrz betonu, ale decydują przy ocenie przyczepności izolacji ogniochronnej.

W p. 6.4. Autor zaproponował zależności pomiędzy grubością równoważną betonu ε a powierzchniową grubością równoważną betonu $\varepsilon_{\text{surf}}$, określoną na podstawie analiz numerycznych przepływu ciepła w 120 żelbetowych belkach o wymiarach przekroju 450×150 mm i grubości izolacji w postaci : płyt gipsowych; krzemianowo-wapniowych, płyt skalnej wełny mineralnej; materiałów o stałych właściwościach termicznych: $c_p = 900 \text{ J/kgK}$; $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ oraz $\lambda = 0,10 \text{ W/mK}$; $\lambda = 0,30 \text{ W/mK}$; $\lambda = 0,50 \text{ W/mK}$; $\lambda = 1,00 \text{ W/mK}$, oraz betonu.

W podsumowaniu Autor dokonał porównania wartości grubości równoważnej betonu ε ; powierzchniowej grubości równoważnej betonu $\varepsilon_{\text{surf}}$ i grubości izolacji d_p potwierdzając istnienie relacji między tymi trzema wielkościami. Możliwość upowszechnienia tych zależności dla wszystkich możliwych przypadków wymaga jednak analitycznego rozwiązania zagadnienia nieliniowego dwuwymiarowego przepływu ciepła przez dwa i więcej różnych materiałów oraz jednoczesnego uwzględnienia wspomnianych wcześniej pominiętych czynników. Na podstawie zebranej wiedzy Autor przedstawił następujące wnioski:

1. wraz ze wzrostem grubości izolacji ogniochronnej d_p rosną wartości grubości równoważnej betonu ε i powierzchniowej grubości równoważnej betonu $\varepsilon_{\text{surf}}$, w zakresie temperatur punktu referencyjnego większych od 50°C, i w obu przypadkach jest to wzrost prawie liniowy,
2. w związku z powyższym możliwa jest interpolacja liniowa wartości grubości równoważnej betonu ε i powierzchniowej grubości równoważnej betonu $\varepsilon_{\text{surf}}$ w zakresie wartości ustalonych dla badanej grubości minimalnej izolacji $d_{p,\text{min}}$ i jej badanej grubości maksymalnej $d_{p,\text{max}}$,
3. nie da się określić przebiegu funkcji w zakresie grubości izolacji mniejszych od jej badanej minimalnej grubości $d_{p,\text{min}}$,
4. wartość powierzchniowej grubości równoważnej betonu $\varepsilon_{\text{surf}}$ wynosi od 90 do 110% wartości grubości równoważnej betonu ε , a wraz ze wzrostem grubości izolacji d_p , stosunek ten maleje;
5. dla grubości izolacji d_p większych niż 100 mm, różnica między powierzchniową grubością równoważną betonu $\varepsilon_{\text{surf}}$ i grubością równoważną betonu ε nie przekracza 10%.

Ponadto w rozdziale 6.6 Autor wskazał na ograniczenia metody polegające na:

1. czasie zachowania przyczepności przez system ogniochronny; maksymalny czas odporności ogniowej ogranicza się do czasu zachowania przyczepności przez materiał ogniochronny. Autor proponuje wobec tego kryterium czasu awarii izolacji ogniochronnej t_{FP} zdefiniowane jako czas, w którym przyrost temperatury na spodniej powierzchni betonowej belki, w dowolnym jej punkcie, po raz pierwszy przekroczył 50 K/min. Uszkodzenie izolacji ogniochronnej jest jednoznaczne z wystawieniem doklejanego wzmocnienia kompozytowego na oddziaływanie temperatury pożarowej, skutkującym natychmiastową utratą jego współpracy w przenoszeniu obciążeń.
2. zakresie wartości temperatur granicznych, które powinny zawierać się pomiędzy 50°C a 90°C. Im niższa wartość temperatury granicznej, tym większego znaczenia nabiera nierównomierny rozkład pól temperatury na powierzchni betonowej związany z nierówną grubością izolacji lub nawet niewielką jej degradacją. W praktyce nie spotyka się rozwiązań z zastosowaniem klejów o niższej niż 50°C temperaturze zeszklenia. Z kolei przy temperaturze zeszklenia kleju wyższej niż 100°C możliwe jest wystąpienie dodatkowych zjawisk na powierzchni betonu związanych z odparowywaniem wody z betonu, które nie były w niniejszej pracy analizowane.
3. wyborze typów materiałów ogniochronnych. W sytuacji rzeczywistej zwiększanie grubości izolacji tynków, zapraw i innych materiałów natryskiwanych zwiększa ryzyko ich odpadania. Z tego też powodu analizowaną metodę ekstrapolowanego szacowania grubości izolacji ogranicza się tylko do płytowych systemów ogniochronnych, i tylko tych mocowanych mechanicznie. Jednocześnie grubość płyt składających się na izolację ogniochronną powinna być nie mniejsza niż grubość płyt zastosowana w badaniach skuteczności ogniochronnej.

Rozdział 7

Wnioski końcowe w rozdziale 7 Autor sprecyzował następująco:

1. Możliwe jest zabezpieczenie ogniochronne belek żelbetowych wzmocnionych zewnętrznym zbrojeniem doklejanym, obciążonych ponad swoją nośność na zginanie przed wzmocnieniem i uzyskanie ponad 4-godzinnej odporności ogniowej.

Zdaniem Recenzentki opinia ta jest zbyt ogólna, ponieważ nie precyzuje jasno, których belek to dotyczy.

2. Niezależnie od długości czasu nagrzewania (w zakresie od 1 do 300 minut) awaria wzmocnienia EBR CFRP związana była z osiągnięciem i przekroczeniem temperatury zeszklenia kleju, skutkiem czego następowało nagłe i całkowite odspojenie kompozytu. W przypadku belek obciążonych ponad ich nośność na zginanie przed wzmocnieniem oznaczało to natychmiastowe osiągnięcie kryterium nośności ogniowej, tj. przekroczenie szybkości narastania ugięcia, a nierzadko złamanie belki. Natomiast w przypadku belek o niższym stopniu wyczerpania obserwowano jedynie niewielki chwilowy wzrost ugięć, bez wpływu na dalsze zachowanie elementu.

Wniosek jest konstruktywny i ma duże znaczenie poznawcze.

3. Do czasu awarii wzmocnienia doklejanego belki wykazują niewielki przyrost ugięcia względem ugięcia w chwili rozpoczęcia nagrzewania – ok. 5 mm, co stanowi ok. 3% dopuszczalnej wartości dla badanego układu (zgodnie z nowelizacją europejskich metod badań odporności

ogniowej z 2020 r. jest to nawet mniej niż 2%). Jednocześnie zaobserwowano wyższe wartości ugięcia dla dłuższych czasów nagrzewania.

Jasno sprecyzowany wniosek, chociaż mógłby być rozwinięty w kontekście całego procesu nagrzewania, ze wskazaniem kiedy doszło do odspojenia kompozytu.

4. Bazując na porównaniu z wynikami badań stwierdza się, że przedstawiony model numeryczny może właściwie przewidywać wartości temperatur w przekrojach belek żelbetowych wzmocnionych EBR CFRP i zabezpieczonych ogniochronnie. Analiza parametryczna różnych typów materiałów izolacyjnych o grubościach w zakresie od 20 do 300 mm i dla temperatur ekspozycji powierzchni betonowej powyżej 50°C, wykazała prawie liniową zależność przyrostu izolacyjności i grubości materiału ogniochronnego.

Zadaniem Recenzentki porównanie wykresów obliczeń numerycznych w czasie w wielu przypadkach znacząco odbiega od wykresów doświadczalnych.

5. Istnieje zależność między grubością izolacji ogniochronnej a nośnością ogniową belek. Im większa grubość izolacji tym wyższa odporność ogniowa. Wymaganą grubość izolacji można wyznaczać według autorskiej metody badawczej na częściowych elementach próbnym lub według metody obliczeniowej, która materiał izolacyjny opisuje za pomocą nowego parametru – powierzchniowej grubości równoważnej betonu. Podana metoda szacowania określa dwie drogi wyznaczenia tego parametru – albo bezpośrednio na podstawie wyników badań odporności ogniowej, albo poprzez przekształcenie parametru grubości równoważnej betonu.

Wniosek wnosi duże znaczenie poznawcze.

6. Sformułowana metoda obliczeniowa posiada określony zakres zastosowania. Odnosi się tylko do płytowych systemów ogniochronnych o wykazanym czasie zachowania przyczepności w warunkach pożaru. Reaktywne systemy ogniochronne (np. farby pęczniejące) czy tynki ogniochronne nie są w niej uwzględnione. Pierwsza grupa materiałów została wykluczona z uwagi na sposób ich działania – izolująca piana wytwarza się dopiero po osiągnięciu w materiale temperatury rzędu 200–300°C, a więc zbyt wysokiej, by skutecznie chronić ekspozowane wzmocnienie CFRP.

3. Uwagi terminologiczne, braki objaśnień symboli i przywołań literaturowych

3.1. Uwagi terminologiczne:

- Powinno się używać określenia **elementy badawcze** zamiast **elementy próbne**.
- Termin **wyężenie** powinien być pozostawiony dla analizy naprężeń, a nie stosowany dla stopnia wykorzystania nośności elementu lub całej konstrukcji podczas badania.
- Bardzo kłopotliwe w interpretacji są opisy: : „*B-1 i B-10 – belki wzmocnione taśmami CFRP, bez izolacji ogniochronnej, wyężone poniżej nośności na zginanie przed wzmocnieniem*”
- „*B-2, B-3 i B-9 – belki wzmocnione CFRP i bez wzmocnienia, z izolacją ogniochronną, wyężone poniżej nośności na zginanie przed wzmocnieniem*”,

Opisy te są niejasne i wprowadzają w błąd. Powinny być zastąpione określeniami: **belki wzmocnione taśmami CFRP, bez izolacji ogniochronnej, badane pod obciążeniem równym (danego) % nośności elementu niewzmocnionego na zginanie.**

- „belki od B-4 do B-8 – belki wzmocnione CFRP, z izolacją ogniochronną lub bez, wytężone powyżej nośności na zginanie przed wzmocnieniem”

W tym wypadku powinno być: **belki wzmocnione taśmami CFRP, bez lub z izolacją ogniochronną, badane pod obciążeniem równym nośności elementu niewzmocnionego na zginanie.**

Zwracam uwagę na zawarte w pracy „sztuczności językowe”, które zaczynają od niedawna być w obiegu wielu publikacji w naszej dziedzinie. Choćby przez szacunek dla pamięci polskich profesorów Hubera lub Burzyńskiego, powinniśmy dbać o poprawność w tym zakresie, bowiem to oni rozwijali hipotezy wytężeniowe w wytrzymałości materiałów w zakresie kombinacji naprężeń normalnych i stycznych.

3.2. Uwagi dotyczące symboli:

d – wysokość użyteczna przekroju (str. 10) – podwójnie ten sam symbol

d – odległość od skrajnego włókna zimnej obliczeniowej strefy ściskanej do skrajnego włókna zimnej obliczeniowej strefy rozciąganej przekroju

d_{cc} – nie wiadomo jakiego poziomu na wysokości przekroju dotyczy ten symbol (należałoby dodać rysunek obrazujący to położenie)

f_{cm} – Powinno być: średnia wytrzymałość betonu na ściskanie

t_{FRP} – Powinno być: czas odspojenia kompozytu

$t_{FRP,num}$ – Str. 11 - czas analizy numerycznej do uzyskania temperatury wzmocnienia FRP w badaniu w chwili awarii belki w badaniu ogniowym – niejasne sformułowanie

$M_{R,FRP}$ – Str. 11 zmierzona w badaniu nośność na zginanie po wzmocnieniu kompozytem FRP w warunkach normalnych;
Powinno być: Określona w badaniu nośność elementu wzmocnionego na zginanie w warunkach normalnej temperatury

$M_{R,RC}$ – Str. 11 zmierzona w badaniu nośność na zginanie przed wzmocnieniem w warunkach normalnych.
Powinno być: Określona w badaniu nośność elementu niewzmocnionego na zginanie w warunkach normalnej temperatury

$N_{fa,max}$ – Str. 11 maksymalna siła zakotwienia
Powinno być: Maksymalna siła przyczepności

Str. 27, opis rys. 8

Powinno być: Możliwe miejsca utraty przyczepności przyklejonego kompozytu FRP

Opis pod rys. 8

Powinno być: mechanizm zniszczenia, zamiast tryb zniszczenia

Str. 30: ε_f - odkształcenie kompozytu [mm], Powinno być: odkształcenie kompozytu w chwili odspojenia

W tabelicy 6, str. 40 – brakuje objaśnień do parametrów: $a_\sigma, b_\sigma, c_\sigma, h, b_E, c_E, a_E, G_{f,T}, G_{f0}, c_2, c_3, d_3, d_1, d_2, B_T, B_0, \beta_w$ i szereg pozostałych.

3.3. Braki przywołań literaturowych:

Str. 42 i 43, Rys. 16-18 - źródła badań ITB (raporty, czy opinie techniczne?)

Str. 45, Rys. 19-20 – brak źródeł

Str. 51, Rys. 21 – brak źródeł oraz stosownego komentarza

Str. 53, Rys. 22 – brak źródła

Str. 57, Rys. 24 – brak źródła

Str. 57, Rys. 25 – brak źródła i komentarza na jakiej podstawie określono wykresy krzywych do

4. Uwagi do interpretacji wyników badań nośności (w połączeniu z załącznikiem Z1 do niniejszej recenzji)

Niestety z uwagi na brak procedury obliczeniowej w pracy nie miałam możliwości sprawdzenia poprawności obliczeń nośności elementu przed i po wzmocnieniu. Po kontakcie z Autorem pracy, obliczenia metodą uproszczoną zostały dosłane i w obecnej formie są poprawne. Mam pewien kłopot z ich interpretacją, ponieważ obliczenia wykonano na podstawie danych normowych stali oraz charakterystyki taśm CFRP na podstawie danych producenta, a nie na podstawie wyników badań wytrzymałościowych. Mimo tych nieścisłości, Autor w zadowalający sposób uzupełnił braki formalne, co pozwala zaakceptować tę część badań bez uwag.

5. Uwagi do analizy obliczeniowej

Jak wspomniałam wcześniej, zastosowanie programu (SIKA CarboDur Calculation Software) nie było adekwatne do wyników badań z uwagi na zastosowanie współczynników obliczeniowych. W tym celu Autor wykonał samodzielne obliczenia bez uwzględnienia współczynników obliczeniowych.

Praktycznie w analizie tej nie ma podstawowych założeń odwołujących się choćby do norm (przywołanych na końcu recenzji): JSCE, CNR-DT 200, ISIS Canada, ACI 440.2R-08, DAfStb-Guideline, CNR DT 200/R1 oraz *fib* Bulletin 14 (w 2019 został opublikowany nowy *fib* Bulletin 90). Należałoby wybrać przynajmniej dwie z tych norm i na ich podstawie opracować własną

weryfikację obliczeń nośności w stosunku do obliczeń wg programu SIKA CarboDur Calculation Software.

6. Uwagi redakcyjne

Praca jest napisana bardzo zwięźle, widać, że była pisana w ogromnym pośpiechu i powinna być poddana szczegółowej korekcie edycyjnej. Szereg rysunków prezentujących zbiorcze wyniki badań wszystkich belek powinno być podzielonych na odrębne rysunki prezentujące grupy belek stosownie do podziału przedstawionego w p. 4.3.1.

7. Opinia o dorobku naukowym i praktycznym Autora

Pan dr inż. Piotr Andrzej Turkowski jest specjalistą ds. analiz odporności ogniowej konstrukcji budowlanych w zakresie: analiz numerycznych przepływu ciepła w warunkach pożarowych; prowadzenie badań odporności ogniowej i skuteczności systemów zabezpieczenia ogniochronnego. Z Instytutem Techniki Budowlanej, Zakładem Badań Ogniowych związany jest od 2011 roku, na początku, jako specjalista inżynieryjno-techniczny, następnie asystent, a obecnie pełni funkcję Kierownika Pracowni Odporności Ogniowej Elementów Konstrukcyjnych i Zabezpieczeń Ogniochronnych.

Działalność naukowo-techniczna Autora zaowocowała 24 publikacjami o łącznym wskaźniku cytowań h-index = 4. Doktorant jest współautorem 6 wydawnictw książkowych ITB oraz MACS+. Brał udział lub pełnił naukowy nadzór nad 16 pracami naukowo-technicznymi, badaniami i oceną odporności ogniowej belek żelbetowych oraz pracami w zakresie oprogramowania metod oceny skuteczności ogniochronnej systemów zabezpieczeń konstrukcji stalowych. To w wystarczającym stopniu spełnia wymagania publikacyjne, szczególnie, że mają one podłoże czysto praktyczne.

8. Podsumowanie recenzji

Praca stanowi oryginalne badania prowadzone przez Autora w okresie prawie 10 lat. Takie badania są bardzo pracochłonne i wymagają odpowiednich warunków laboratoryjnych, takie jak dotąd ma w Polsce jedynie Zakład Badań Ogniowych ITB, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych Krakowie. Zatem tematyka badań jest bardzo interesująca, zwłaszcza, że potrzeba takich wyników jest niezwykle wymagana na rosnącym we wzmacnienia rynku budowlanym. Szczególnie w kontekście wymagań pożarowych w budynkach użyteczności publicznej.

Doślane przez Autora poprawione obliczania nośności pozwalają zaakceptować wskazane wcześniej braki. Ponadto, brak Załącznika został częściowo zrekompensowany doślanymi przez Autora Raportami z badań każdego z elementów.

Wyrażam przekonanie, że dzięki takiemu uzupełnieniu, rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Andrzeja Turkowskiego zatytułowana „Odporność ogniowa belek żelbetowych wzmocnionych na zginanie doklejającymi taśmami z włókien węglowych”, spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U.z 2003 r., Nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami) oraz w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym

i nauce” (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668). W związku z tym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Dodatkowa bibliografia normalizacyjna:

1. fib Bulletin 14. Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures. Technical Report, 2001, Lusanne, Switzerland.
2. JSCE. Recommendations for the upgrading of concrete structures with use of continuous fiber sheets. Journal of Concrete Engineering, 2001, Series 41, Japanese Society of Civil Engineers, Tokyo.
3. CNR-DT 200. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structure. National Research Council, 2004, Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction.
4. ISIS Canada Research Network. Design Manual No. 3, 2007. Reinforcing Concrete Structures with Fibre Reinforced Poly-mers.
5. ACI 440.2R-08. American Concrete Institute, Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. 2008, MI, USA.24.
6. DAfStb-Guideline: Strengthening of concrete members with adhesively bonded reinforcement. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2012, English version, Beuth, Berlin, 2014.
7. CNR DT 200/R1. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures, Advisory Committee on Technical Recommendation for Construction of National Research council, Rome, Italy, 2013.
8. Fib Bulletin 90, externally applied FRP reinforcement for concrete structures, International Federation for Structural Concrete, Lausanne, 2019.