

Prof. dr hab. inż. Krystyna Nagrodzka-Godycka
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Konstrukcji Inżynierskich

Gdańsk, 7 września 2023

Prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz

DZIEKAN
Wydziału Inżynierii Lądowej

prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz

WPLYNEŁO
11.09.2023
480 2023

RECENZJA

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ Kostiantyna Protchenko, M.Sc.

pt.: "Fire behaviour of HFRP Bars in Concrete Bent Elements"

1. Podstawa formalna recenzji

Podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowi Uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, Politechniki Warszawskiej nr 773/2023 z dnia 4.07.2023 oraz pismo W TBD.521.DR.123.2023 z dn. 13.07.2023 nawiązujące do tej Uchwały, podpisane przez Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport dr hab. inż. Konrada Lewczuka, profesora Uczelni.

2. Przedmiot, treść pracy i układ redakcyjny pracy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska (Ph.D. Thesis) mgr inż. Kostiantyna Protchenko pt. "Fire behaviour of HFRP Bars in Concrete Bent Elements". Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Elżbieta Szmigiera z Politechniki Warszawskiej.

Rozprawę doktorską stanowi cykl powiązanych tematycznie dziesięciu opublikowanych w języku angielskim prac naukowych, których Doktorant jest autorem bądź współautorem (z udziałem od 25% do 100%). Pięć artykułów opublikowano w czasopiśmie *Archives of Civil Engineering* w latach 2019 – 2023 (w których udział Doktoranta wynosi: 40%, 60%, 50%, 50% i 100%). Trzy artykuły zostały opublikowane w czasopiśmie *Materials* w latach 2020 – 2022 (z udziałem Doktoranta: 50%, 50% i 100%). Natomiast dwie prace są opublikowane w materiałach międzynarodowych konferencji: *International Congress on Polymers in Concrete 2018* oraz *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2021* (z udziałem Doktoranta 25% i 50%).

Praca doktorska została wydana przez Politechnikę Warszawską w 2023r. w formie jednego tomu opracowania w języku angielskim. Treść rozprawy podzielono na dwie zasadnicze części. Pierwsza część ma charakter zwartej, merytorycznej przewodnika będącego rozszerzeniem i uzupełnieniem drugiej części pracy doktorskiej zawierającej kopie wszystkich dziesięciu publikacji składających się na cykl powiązanych tematycznie artykułów. W dalszej części niniejszej recenzji pierwsza część rozprawy nazywana będzie *Przewodnikiem*.

Przewodnik liczący 88 stron, poza zasadniczą jego treścią i spisem literatury obejmuje również streszczenie w języku angielskim i polskim, spis ważniejszych skrótów, pojęć i symboli używanych w treści opracowania, spis tabel i rysunków.

W opracowaniu zawarto ponadto szczegółowy opis udziału Doktoranta - mgr inż. Kostiantyna Protchenko w przedmiotowych dziesięciu publikacjach stanowiących podstawę dysertacji a także oświadczenia wszystkich współautorów tych prac.

Treść *Przewodnika* podzielono została na 6 rozdziałów.

Rozdział 1 stanowi Wprowadzenie i zawiera tezę rozprawy oraz trzy główne cele badawcze jakimi są: opracowanie składu prętów hybrydowych o określonych właściwościach, rozpoznanie zachowania się tak zbrojonych belek poddanych oddziaływaniu wysokich temperatur oraz określenie nośności resztkowej belek ze zbrojeniem HFRP w fazie po pożarze i standardowej odporności ogniowej.

Tezą pracy jest stwierdzenie, że niemetaliczne pręty hybrydowe HFRP zastosowane jako wewnętrzne zbrojenie zginanych belek istotnie zwiększają odporność ogniową tak zbrojonych belek w porównaniu do zbrojenia prętami bazaltowymi BFRP.

Układ pracy został przedstawiony (z podziałem na poszczególne rozdziały) w bardzo czytelnej formie graficznej. Na końcu rozdziału zamieszczono spis przedmiotowych 10 publikacji oraz spis dodatkowych 12 opublikowanych prac, tematycznie związanych z pracą doktorską, których Doktorant był autorem lub współautorem.

W **Rozdziale 2** Doktorant przedstawił dotychczasowy stan wiedzy dotyczący rodzajów prętów FRP, ich składu, właściwości i technologii wytwarzania, rodzajów matrycy ze szczególnym uwzględnieniem badań dotyczących odporności ogniowej prętów FRP i elementów zbrojonych tymi prętami.

Rozdział 3 – został poświęcony pierwszemu etapowi badań Doktoranta, dotyczących opracowania składu nowego rodzaju prętów kompozytowych - pręta hybrydowego. Założono pręty składające się z mieszanki włókien bazaltowych B oraz węglowych C i matrycy epoksydowej. Wykorzystując metodę analityczną ROM i analizę numeryczną z wykorzystaniem programu ANSYS przebadano 5 składów włókien w proporcji (C:B objętościowo) wynoszącej 1:1; 1:2; 1:3; 1:4; 1:9. Z zastosowaniem tych samych proporcji przeanalizowano także pręty złożone z włókien G i G (*glass fibre*). Dodatkowym parametrem zmiennym w analizie numerycznej było usytuowanie włókien węglowych: w środku przekroju pręta lub na zewnętrznym obwodzie. Wyniki analiz teoretycznych były podstawą ustalenia optymalnego składu prętów hybrydowych. Ostatecznie do dalszych badań właściwości mechanicznych prętów hybrydowych oraz badań odporności ogniowej przyjęto skład prętów hybrydowych HFRP w proporcji C:B wynoszącej 1:4, w których włókna węglowe C zlokalizowane były w środku przekroju. W celu polepszenia własności termomechanicznych kleju epoksydowego Doktorant opracował także alternatywny skład pręta o identycznych proporcjach C:B, w którym matryca została dodatkowo wzmocniona nanokrzemionką w ilości (wagowo) 25% do 30%. Pręty te zostały oznaczone jako nHFRP. Hybrydowe pręty o ustalonym przez Doktoranta składzie zostały wyprodukowane w procesie pultruzji. Ta teoretyczna część pracy doktorskiej została szczegółowo udokumentowana w artykułach nr 1 i 2.

Badania doświadczalne prętów hybrydowych (H i nH) i w celach porównawczych prętów bazaltowych (B) o zróżnicowanych średnicach obejmowały badania na rozciąganie (6 rodzajów średnic) i ścinanie (7 średnic). Natomiast do badań na ściskanie przyjęto pręty o średnicy $\phi 8$ ze zróżnicowaną długością próbek (stosunek długości próbki L_f do średnicy pręta d_b wynosił od 6 do 26; natomiast długość próbki od 50 do 220 mm). Podczas badań określano także zależność σ - ε oraz moduł sprężystości. Badania w odniesieniu do rozciągania i ścinania zostały opisane w artykułach nr 3 i 4. Kolejne dwie publikacje nr 5 i 6 dotyczą badań na ściskanie wraz z określeniem zależności pomiędzy wyboczeniowym obciążeniem a długością próbki.

Uzyskane w badaniach eksperymentalnych wyniki były wyższe od wartości z analiz teoretycznych.

W **Rozdziale 4** przedstawiona została metodyka badawcza oraz wstępny etap badań – związanych z odpornością ogniową zginanych belek ze zbrojeniem FRP (B, H, nH).

Badania obejmowały 15 wolnopodpartych belek o rozpiętości w osiach podpór 300 cm i prostokątnym przekroju poprzecznym $h \times b = 26 \times 14$ cm. Otulina z wszystkich stron belki wynosiła 3 cm. Zbrojenie belek w strefie rozciąganej stanowiły dwa pręty $\phi 14$ mm i było zróżnicowane co do rodzaju prętów. Zastosowano pręty bazaltowe BFRP, hybrydowe HFRP opracowane na podstawie wyników wcześniejszych badań Doktoranta oraz hybrydowe ze wzmocnioną matrycą nHFRP. Podczas badań mierzono temperaturę (zastosowano 3 wersje usytuowania termopar w przekroju) oraz ugięcie. Belki podzielone zostały na dwie serie badawcze w zależności od metody badania: *Residual testing* i *Standard testing*.

W pierwszej serii (6 belek) określano resztkową nośność belek po fazie nagrzewu i studzenia według procedury *Residual testing*. Trzy belki w tej serii były obciążane do 50% ich nośności (określonej w normalnej temperaturze otoczenia), następnie odciążane i nagrzewane przez 60 minut w środkowej części belki z trzech stron od dołu i po obu bokach a potem następowała faza studzenia. Po nagrzewaniu i ostudzeniu (w tych fazach belki nie były obciążane) badano nośność belek na zginanie w schemacie czteropunktowego zginania. Trzy kolejne belki nie były poddawane działaniu temperatury tylko obciążano je do zniszczenia. Belki te stanowiły elementy porównawcze (referencyjne) dla belek z serii pierwszej. Ta część badań szczegółowo została opisana w publikacji nr 7.

Druga seria badań obejmowała łącznie 12 belek (9+3 belki referencyjne z poprzedniego etapu) o zróżnicowanym stopniu zbrojenia. W tym etapie badań określano standardową odporność ogniową belek o zróżnicowanym stopniu zbrojenia rozciąganego. Belki A miały zbrojenie w strefy rozciąganej $4\phi 8$ ($\rho = 0,652$) wykonane z prętów jak poprzednio: BFRP, HFRP i nHFRP, natomiast belki B zbrojone były 2 prętami $\phi 14$ mm ($\rho = 1,013$). Belki były jednocześnie obciążone (do ok. 50% nośności belek referencyjnych) i nagrzewane bez limitu czasowego aż do zniszczenia. Wykonywano pomiary temperatury oraz ugięcia. Z tą częścią badań merytorycznie powiązany jest artykuł nr 8.

Rozdział 5 Przewodnika dotyczy głównych badań odporności ogniowej belek. Program badań przyjęty przez Doktoranta uwzględniał wyniki poprzednio wykonanych badań wstępnych opisanych w rozdziale 4. Obejmował badania 15 belek swobodnie podpartych w skali naturalnej o rozpiętości w osiach podpór 300 cm. Belki miały przekrój prostokątny ($h \times b = 28 \times 14$ cm) Większa wysokość belek wynikała ze zwiększonej otuliny do 6 cm (od strony rozciąganej) i 4 cm po obu bocznych stronach belki. Zbrojenie rozciągane stanowiły dwa pręty $\phi 14$ mm: bazaltowe BFRP i hybrydowe HFRP. Belki podzielono na dwie grupy według dwóch metod badawczych: *Residual testing* i *Standard testing*. Schemat obciążania i procedura badawcza były podobne jak w seriach wstępnych badań, z tą różnicą, że w metodzie *Residual Testing* wydłużono czas nagrzewu do 120 cm). Każda grupa belek podzielono została na 3 serie (jedna z prętami BFRP, druga ze zbrojeniem HFRP oraz seria belek referencyjnych). W każdej serii badano po trzy jednakowe belki. Wytrzymałość betonu była podobna jak w poprzednio badanych belkach.

Badania umożliwiły określenie wpływu rodzaju zbrojenia, stopnia zbrojenia, wielkości otuliny, czasu nagrzewu na ugięcia i odporność ogniową belek (nośność resztkową i standardową).

Rozdział 5 dotyczący głównego etapu badań odporności ogniowej belek ze zbrojeniem HFRP i BFRP merytorycznie jest związany z samodzielnymi artykułami Doktoranta nr 9 i 10.

Rozdział 6 Przewodnika dotyczy podsumowania zrealizowanych badań związanych z opracowaniem składu prętów hybrydowych z włókien bazaltowych i węglowych oraz badaniami odporności ogniowej zginanych belek zbrojonych tymi prętami. Wnioski stanowią jednocześnie uzasadnienie założonych celów badawczych i tezy pracy. Rozdział zakończony został sformułowaniem dalszych planów badawczych Doktoranta.

Przewodnik zakończony został spisem literatury obejmującym łącznie 135 pozycji (artykuły naukowe, normy) merytorycznie powiązanych z tematyką pracy doktorskiej.

3. Ocena merytoryczna pracy

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

Tematyka rozprawy dotyczy konstrukcji betonowych zbrojonych prętami niemetalicznymi i została ukierunkowana na opracowanie przez Doktoranta nowego rodzaju prętów kompozytowych – hybrydowych HFRP oraz na rozpoznanie odporności ogniowej zginanych belek zbrojonych tymi prętami.

Podstawę do analizy porównawczej zachowania się belek ze zbrojeniem HFRP poddanych działaniu temperatur pożarowych stanowiły belki zbrojone prętami bazaltowymi BFRP jak również belki badane w warunkach zwykłych (w temperaturze otoczenia).

Pręty niemetaliczne są stosunkowo nowym materiałem stosowanym w obiektach budowlanych. Niepodważalną zaletą tego typu zbrojenia jest m.in. ich wysoka odporność na korozję, niska waga, odporność chemiczna, wysoka wytrzymałość na rozciąganie. Istotnym problemem jest sporo niższy moduł sprężystości tych prętów powodujący mniejszą w porównaniu do zbrojenia stalowego sztywność, zróżnicowany współczynnik rozszerzalności termicznej, spadek wytrzymałości prętów i ich przyczepności do betonu wraz ze wzrostem temperatury.

Rodzaj włókna użytego do wytworzenia prętów kompozytowych (węglowe, aramidowe, szklane czy bazaltowe) determinuje pewne ich właściwości mechaniczne i fizyczne.

Dostępne w literaturze badania elementów zbrojonych prętami niemetalicznymi są nieliczne. W przeważającej części dotyczą zachowania się tak zbrojonych elementów (płyty, belek, słupów) w złożonych stanach naprężeń. Zdecydowanie mniej jest badań dotyczących zachowania się elementów ze zbrojeniem niemetalicznych pod wpływem temperatur pożarowych. Jednym z powodów tak małej liczby badań eksperymentalnych w tym zakresie jest skomplikowany proces badawczy.

Doktorant postawił sobie dwa ambitne, główne cele badań. Pierwszy to opracowanie nowego rodzaju pręta - hybrydowego HFRP (wraz z jego odmianą nHFRP w której matrycę dodatkowo wzmocniono nanokrzemionką) stanowiącego połączenie włókien węglowych oraz bazaltowych. Jest to optymalny wybór nie tylko z uwagi na koszty produkcji i technologiczne możliwości wykonania tych prętów, ale również na możliwość wykorzystania zalet i wyeliminowania pewnych wad obu rodzajów włókien.

Włókna węglowe (CFRP) są odporne na działanie agresywnego środowiska, mają niską odkształcalność na zerwanie, zniszczenie materiału jest nagłe i kruche. Koszt produkcji CFRP jest wysoki, przewyższający przykładowo wykonanie włókien szklanych 10-30 krotnie, ich

wytrzymałość spada wraz ze wzrostem wysokiej temperatury oraz mają dużo niższą wytrzymałość na ściskanie.

Włókna bazaltowe BFRP są tańsze od włókien węglowych, uważa się, że są bardziej odporne na wysokie temperatury i chemiczne środowisko agresywne.

Kolejny, drugi główny cel badań Doktoranta to rozpoznanie zachowania się zginanych belek zbrojonych tymi nowatorskimi prętami hybrydowymi HFRP (a także jego odmianą nHFRP) pod wpływem wysokiej temperatury. Uwzględnienie w programie badawczym elementów porównawczych ze zbrojeniem bazaltowym BFRP a także belek referencyjnych zbrojonych prętami HFRP i BFRP, lecz zginanych w warunkach normalnej temperatury otoczenia bez nagrzewu nadało badaniom spójny wręcz unikalny charakter.

Podjęty przez Doktoranta temat rozprawy jak i kierunek jego realizacji uważam za ważny i bardzo aktualny. Łączy się bowiem z fundamentalnym zagadnieniem trwałości zbrojonych konstrukcji betonowych. Rezultaty badań Doktoranta istotnie poszerzają ograniczony zakres wiedzy na temat niemetalicznego zbrojenia, poprzez propozycję nowego rodzaju prętów hybrydowych oraz rozpoznanie wpływu wysokiej temperatury na zachowanie się zginanych belek zbrojonych prętami kompozytowymi.

Przyjęta metodyka badań jest właściwa do realizacji postawionych celów pracy. W pierwszej części rozprawy o charakterze teoretycznym Doktorant przeprowadził metodą analityczną i za pomocą analizy numerycznej z wykorzystaniem programu ANSYS rozpoznanie prętów kompozytowych o zróżnicowanym objętościowo składzie włókien (węglowych C i bazaltowych B oraz węglowych C i szklanych G). Należy podkreślić, że wpływ usytuowania włókien węglowych C (centralnie bądź zewnętrznie) był możliwy do określenia jedynie dzięki przeprowadzonym analizom numerycznym. Tak opracowane przez siebie pręty HFRP i nHFRP zostały wykonane i następnie przez Doktoranta eksperymentalnie zbadane - na rozciąganie, ścinanie i ściskanie. Badaniom materiałowym objęto także pręty bazaltowe BFRP o porównywalnych średnicach.

Druga część pracy doktorskiej obejmująca badania zginanych belek wymagała opracowania odpowiedniego stanowiska badawczego umożliwiającego zarówno nagrzew środkowej części belki oraz jej obciążenie w schemacie czteropunktowego zginania.

Doktorant poprawnie dobrał odpowiednie oprzyrządowania badanych elementów umożliwiające pomiary temperatury oraz ugięcia belki. Zastosowanie dwóch metod badawczych *Residual testing* i *Standard testing* umożliwiło Doktorantowi wnikliwą i precyzyjną analizę procesu destrukcji w czasie przyczyniając się do wyjaśnienia mechanizmów zniszczenia i wyodrębnienia różnic w zakresie odporności ogniowej w wyniku zastosowania prętów HFRP i BFRP.

Badania według obszernego programu badawczego zostały przeprowadzone bardzo starannie.

Układ pracy w postaci opracowanego Przewodnika do rozprawy doktorskiej wraz z załączonymi dziesięcioma artykułami będącymi podstawą rozprawy tworzy merytorycznie spójną całość. Założone przez Doktoranta cele badawcze zostały osiągnięte, a sformułowana przez Autora teza rozprawy doktorskiej została udowodniona.

Jednoznacznie stwierdzam, że opiniowaną rozprawę doktorską mgr inż. mgr inż. Kostiantyna Protchenko oceniam jako bardzo dobrą o dużym znaczeniu poznawczym i możliwościach jej aplikacji do praktyki inżynierskiej. Doktorant wykazał się właściwym poziomem wiedzy ogólnej w zakresie realizowanej tematyki, umiejętnością prowadzenia naukowych badań a zrealizowana praca stanowi oryginalne rozwiązanie innowacyjnego problemu naukowego związanego z opracowaniem nowego rodzaju zbrojenia

kompozytowego HFRP i określeniem zachowania się zginanych belek zbrojonych HFRP w temperaturach pożarowych.

3.1. Główne oryginalne osiągnięcia pracy

Za najważniejszy dorobek poznawczy o oryginalnym charakterze naukowym Autora uważam:

- Teoretyczne analizy związane z ustaleniem optymalnego składu hybrydowego pręta do zbrojenia konstrukcji betonowych oraz doświadczalną weryfikację właściwości nowo opracowanego pręta HFRP oraz jego odmiany pręta nHFRP (z dodatkowym wzmocnieniem matrycy epoksydowej nanaokrzemionką)
- Analizę porównawczą właściwości prętów: HFRP, nHFRP i BFRP
- Badania eksperymentalne związane z określeniem wpływu wysokich temperatur na zginane belki o zróżnicowanym rodzaju zbrojenia (HFRP, nHFRP, BFRP), stopniu zbrojenia, wielkości otuliny i czasu nagrzewu belek.
- Określenie nośności resztkowej (po fazie studzenia) i standardowej odporności ogniowej zginanych belek ze zróżnicowanym zbrojeniem z zastosowaniem dwóch procedur badawczych (*Residual testing* i *Standard testing*).
- Analizę porównawczą odporności ogniowej zginanych belek zbrojonych HFRP i BFRP w aspekcie przyjętych parametrów zmiennych z jednoznacznym wykazaniem większej skuteczności prętów hybrydowych HFRP.

3.2. Uwagi /pytania/ o charakterze dyskusyjnym

Uwagi ogólne

1. W pracy doktorskiej nie ma informacji o odkształcalności zastosowanego w belkach betonu, zależności σ - ϵ . W odniesieniu do betonu podana została (w artykułach) wytrzymałość betonu na ściskanie (na kostkach o boku 100 mm), wytrzymałość betonu na rozciąganie (brak sprecyzowanej metody) oraz moduł sprężystości (zapewne sieczny). Badane przez Doktoranta belki poddane działaniu temperatur pożarowych zniszczyły się wskutek zniszczenia prętów kompozytowych, natomiast w belkach referencyjnych (bez nagrzewu) doszło do zniszczenia betonu. Czy zróżnicowana odkształcalność betonu (determinująca współpracę między betonem a zbrojeniem kompozytowym, w tym ugięcia) mogłaby mieć wpływ na uzyskane końcowe wyniki?
2. Wielkość otuliny zbrojenia w strefie rozciąganej w badaniach była zmienna. W seriach badań początkowych wynosiła 3 cm (przy wysokości belki 24 cm), w seriach badań głównych została zwiększona 6 cm (przy $h = 28$ cm stanowi to nieco ponad 20% wysokości belki). Oczywiście wpłynęło to korzystnie na odporność ogniową belek szczególnie tych zbrojonych prętami HFRP.

Jak przenieść tę korzystną relację do praktyki inżynierskiej?

Zbyt duża otulina w zginanych belkach może powodować przedwczesne zarysowanie w normalnej temperaturze a w wysokich temperaturach szczególnie przy jednocześnie wysokiej wytrzymałości betonu nawet gwałtowne jej odpryskiwanie.

3. Badania właściwości mechanicznych prętów kompozytowych (w tym opracowanych przez Doktoranta prętów HFRP i nHFRP) w testach na rozciąganie i ścinanie wykonywane były na prętach o zróżnicowanych średnicach, natomiast badania na ściskanie realizowano jedynie na prętach $\phi 8$ mm. Czym Doktorant uzasadniłby ten wybór?

Obecnie normy nie zalecają stosowania prętów kompozytowych jako zbrojenia ściskanego. W celu rozpoznania jego przydatności do zastosowania jako zbrojenia w słupach wybór tak małej średnicy pręta do tego rodzaju badania ogranicza możliwości aplikacyjne uzyskanych wyników w tym zakresie.

Uwagi szczegółowe

- W rozdziale 4 *Przewodnika* opis metodologii badawczej jest zbyt ogólnikowy nie uwypukla różnic w zakresie obciążenia.
- W badaniach metodą *Residual testing* zginane belki były obciążane do zniszczenia po fazie schłodzenia. Czy czas tej fazy był porównywalny dla wszystkich belek? Jaki parametr decydował o rozpoczęciu obciążania belki w celu określenia nośności resztkowej, która decyduje o ewentualnie możliwym jej dalszym użytkowaniu?
- s. 61 *Przewodnika* – nie ma w spisie literatury poz. [140], a poz. [125] dotyczy artykułu z ACI a nie normy ISO, w której opisywana jest krzywa standardowa (zależność temperatura-czas)

Druga część pracy – 10 publikacji będących merytoryczną podstawą rozprawy doktorskiej zmniejszonych do formatu całego opracowania, jest w wielu miejscach mało czytelna – dotyczy to głównie opisów na rysunkach.

4. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. mgr inż. Kostiantyna Protchenko jest wartościową pracą eksperymentalno - teoretyczną o dużym znaczeniu poznawczym i praktycznym, twórczo rozwijającą wiedzę z zakresu nowoczesnych i innowacyjnych metod zbrojenia prętami kompozytowymi oraz zachowania się tak zbrojonych elementów zginanych w warunkach pożarowych.

Przeprowadzone badania i analizy zarówno dotyczące opracowania składu pręta hybrydowego HFRP (oraz jego odmiany nHFRP z modyfikacją matrycy za pomocą nanokrzemionki) jak również druga część rozprawy obejmująca badania odporności ogniowej zginanych belek ze zbrojeniem kompozytowym (BFRP, HFRP i nHFRP) łącznie stanowią merytorycznie oryginalne rozwiązanie naukowego problemu.

Doktorant jednoznacznie wykazał korzystniejsze parametry zaproponowanego przez siebie hybrydowego zbrojenia oraz ich korzystniejszy wpływ na ugięcia i nośność zginanych belek ze zbrojeniem hybrydowym w warunkach pożarowych w porównaniu do już istniejących, stosowanych w praktyce prętach bazaltowych. W przypadku porównania zbrojenia HFRP i nHFRP nieco korzystniejsze okazały się pręty HFRP.

Szeroki zakres badań eksperymentalnych i stopień ich trudności całkowicie uzasadnia zespołowy charakter współautorskich publikacji. Przy czym należy podkreślić, że główne

badania dotyczące zachowania się belek w warunkach pożarowych są merytorycznie związane z samodzielnymi artykułami Doktoranta (nr 9 i 10) a w zdecydowanej większości współautorskich publikacji udział Doktoranta wynosił 50% ÷ 60%.

Założone trzy główne cele pracy zostały osiągnięte a sformułowana przez Doktoranta teza badawcza została w pełni udowodniona. Zasygnalizowane uwagi w niczym nie umniejszają merytorycznej wartości pracy i bardzo dobrej oceny rozprawy doktorskiej przedłożonej do recenzji.

Podsumowując niniejszą opinię stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. mgr inż. Kostiantyna Protchenko pt. *"Fire behaviour of HFRP Bars in Concrete Bent Elements"* stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego związanego z opracowaniem nowego rodzaju zbrojenia kompozytowego – niemetalicznego pręta hybrydowego i możliwości jego zastosowania w zginanych elementach poddanych działaniu wysokich temperatur.

Recenzowana rozprawa doktorska spełnia wszystkie warunki merytoryczne i formalne, którym powinna odpowiadać rozprawa doktorska określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 – oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dn. 22.09.2011 w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora wraz z późniejszymi zmianami.

Na podstawie powyższego wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Kostiantyna Protchenko do publicznej obrony pracy doktorskiej.

Jednocześnie biorąc pod uwagę nowatorski charakter i innowacyjność przedmiotu rozprawy, oraz duży zakres wykonanych prac naukowo – badawczych, składam wnioszek o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Kostiantyna Protchenko

K. Nagrodzie - Godycho