

**prof. dr hab. inż. Wojciech Radomski, dr h.c.**  
profesor zwyczajny  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy  
emerytowany profesor zwyczajny  
Politechniki Warszawskiej i Politechniki Łódzkiej

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy  
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska  
al. prof. Sylwestra Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz  
e-mail: [w.radomski@il.pw.edu.pl](mailto:w.radomski@il.pw.edu.pl); tel. k.: 603 647 863

---

Warszawa, dnia 8 listopada 2019 roku

**RECENZJA**  
**ROZPRAWY DOKTORSKIEJ PANA MGR INŻ. NORBERTA OLCZYKA**  
**PT. „ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI ELEMENTÓW BETONOWYCH ZBROJONYCH**  
**PRĘTAMI GFRP”**

### **1. Podstawa formalna i przedmiot recenzji**

Niniejszą recenzję opracowałem na prośbę Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Pani dr hab. inż. Marii Kaszyńskiej, prof. ZUT, wyrażoną w skierowanym do mnie piśmie, noszącym datę 15 października 2019 roku i opatrzonym numerem WBiA-SD/319/2019. W piśmie tym zostałem poinformowany, że Rada wymienionego Wydziału, na posiedzeniu w dniu 30 września 2019 roku, powołała mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim Pana mgr inż. Norberta Olczyka.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Norberta Olczyka, nosząca tytuł „*Analiza właściwości elementów betonowych zbrojonych prętami GFRP*”. Jej promotorem jest Pani dr hab. inż. Maria Kaszyńska, prof. ZUT, natomiast promotorem pomocniczym – Pan dr inż. Jarosław Błyszko. Praca ta liczy łącznie 171 stron wydruku komputerowego formatu A4 i została mi przekazana w postaci zbroszurowanej, w twardej okładce.

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

Jednym z głównych, współczesnych kierunków rozwoju budownictwa są zastosowania nowych, niekonwencjonalnych materiałów konstrukcyjnych, zwanych także materiałami nowej generacji. Do takich właśnie materiałów należą kompozyty polimerowe z różnego rodzaju włóknami – najczęściej węglowymi, szklanymi, syntetycznymi oraz bazaltowymi. Kompozyty te określane są w skrócie FRP od ich angielskiej nazwy *Fibre Reinforced Polymer*, który jest powszechnie na świecie przyjęty, także w Polsce. Dlatego będzie on stosowany w niniejszej recenzji. Gdy kompozyt polimerowy zawiera włókna

szklane, to taki materiał nazywany jest GFRP, od angielskiego *Glass Fibre Reinforced Polymer*. Oczywiście i ten skrót jest obecnie powszechny i będzie tu używany.

GFRP należy do stosunkowo najczęściej stosowanych w budownictwie kompozytów polimerowych, a to głównie z uwagi na stosunkowo niską cenę włókien szklanych. Z kompozytu tego wytwarzane są różnego rodzaju wyroby, między innymi pręty do zbrojenia elementów betonowych w sposób analogiczny do tradycyjnych i od dziesiątków lat stosowanych prętów stalowych, tworzących wraz z betonem żelbet. Pręty z GFRP mają tę przewagę nad stalowymi, że nie ulegają tak jak one korozji, co wpływa dodatnio na trwałość elementów konstrukcyjnych. Pewną barierę stanowi jednak cena, wyższa od stali zbrojeniowej, oraz nie usankcjonowane jeszcze wystarczająco przepisy projektowania, także w naszym kraju.

Mimo, że wymienionego rodzaju zbrojenie niemetaliczne jest stosowane, choć dość jeszcze incydentalnie w porównaniu ze zbrojeniem stalowym, od mniej więcej początków lat 1970-tych, to wiele zagadnień dotyczących zachowania betonowych elementów z takim właśnie zbrojeniem pod różnego rodzaju obciążeniami i oddziaływaniami, nie jest jeszcze dostatecznie poznanych od strony jakościowej i od strony ilościowej. Dotyczy to zwłaszcza różnic ze sposobem zachowania klasycznych elementów żelbetowych. Dlatego wybór tematyki badawczej przez Doktoranta, który podjął problematykę bliższego określenia wspomnianych różnic na gruncie badań doświadczalnych i w aspekcie projektowania betonowych elementów zginanych ze zbrojeniem prętami z GFRP, oceniam bardzo pozytywnie. Jest to problematyka niewątpliwie nośna pod względem naukowym i jednocześnie ważna i potrzebna praktycznie, szczególnie dla projektantów.

Tytuł rozprawy, a mianowicie „*Analiza właściwości elementów betonowych zbrojonych prętami GFRP*”, w zasadzie dobrze oddaje jej treść. Napisałem w zasadzie, bo moim zdaniem lepszym słowem od *analiza* byłoby słowo *badania*. Ponadto w anglojęzycznej wersji tytułu „*Characteristics of pre-cast concrete elements with GRRP reinforcement*” zupełnie niepotrzebne jest słowo *pre-cast*, bo określa ono w angielskim elementy *prefabrykowane*, np. wyprodukowane w wytwórni. Uważam, że anglojęzyczny tytuł powinien brzmieć: „*Testing of concrete elements properties with GFRP reinforcement*”.

Zasadnicza treść opiniowanej tu pracy ujęta jest w 10. rozdziałach. Rozdział 1., zatytułowany *Wstęp*, zawiera wprowadzenie w tematykę rozprawy. Przedstawiona jest geneza jej podjęcia, przedmiot przeprowadzonych badań i analiz oraz cel i teza oraz zakres i sposób zredagowania przedkładanej dysertacji. Najbardziej istotna jest oczywiście teza, która brzmi: „*Stopień zbrojenia, klasa betonu i geometria elementu w większym stopniu wpływa (powinno być wpływają) na nośność, postać zniszczenia oraz odkształcalność zginanych elementów betonowych pod obciążeniem krótkotrwałym, zbrojonych prętami kompozytowymi z włókna szklanego (powinno być z włóknem szklanym) w porównaniu do elementów zbrojonych prętami stalowymi*. Pomijając wskazane w nawiasach oraz inne jeszcze niezręczności stylistyczne tak sformułowanej tezy, stwierdzić trzeba, że od strony merytorycznej jest to teza śmiała i o poważnych konsekwencjach. To bardzo dobrze, że teza nie jest „nijaka”, co się zdarza w wielu innych pracach doktorskich. Warto by tylko uzasadnić, na jakiej podstawie Doktorant postawił swoją tezę. Skąd wie (lub może podpowiada mu to tylko intuicja badacza, co też należałoby pochwalić), że tak może być jak głosi jego teza. Rozdział 2. o tytule *Charakterystyka zbrojenia kompozytowego*, obejmuje podstawowe informacje o kompozytach polimerowych, rodzajach prętów zbrojeniowych z tego materiału oraz sposobach ich wytwarzania, a także o poznanych dotychczas podstawowych właściwościach tych prętów.

Informacje te podane są w sposób zwięzły, ale wystarczający, świadczący o dobrym przygotowaniu merytorycznym Doktoranta. Rozdział 3. jest przeglądem zastanego stanu wiedzy na temat stanowiący przedmiot rozprawy. Mimo kilku zastrzeżeń (por. punkt 4. recenzji – *Uwagi szczegółowe*) uważam, że stan ten przedstawiony jest w sposób wystarczający, oddający wszystkie najbardziej istotne zagadnienia o zbrojeniu kompozytowym betonem. W rozdziale 4. przedstawiono procedury projektowania zginanych elementów konstrukcyjnych z betonu zbrojonego prętami kompozytowymi, oparte na normach, raportach i zaleceniach opracowanych w Japonii, Kanadzie, Stanach Zjednoczonych, Włoszech oraz na podstawie aneksu do Eurokodu 2 i biuletynu *fib*. Autor zaprezentował pewne ograniczenia tych procedur, które są w istocie modyfikacjami stosowanych w odniesieniu do klasycznego żelbetu. Rozdział ten ma duże znaczenie ze względu na to, że Doktorant zastosował je do określenia ich przydatności projektowej w świetle wyników własnych badań doświadczalnych. Rozdziały 5. ÷ 10. stanowią oryginalną część rozprawy. W rozdziale 5 przedstawiony jest zakres własnych badań Autora, w rozdziale 6. – podano charakterystykę materiałów użytych do tych badań, rozdział 7. – to opis zastosowanych metod doświadczalnych, rozdział 8. – to wyniki badań oraz ich analiza, rozdział 9. – to podsumowanie i wnioski końcowe, wreszcie rozdział 10 poświęcony jest wskazaniu kierunków dalszych badań.

Bibliografia obejmuje 76 pozycji oraz oddzielnie zestawionych 15 różnego rodzaju norm i instrukcji (oznaczonych [N...]) oraz 8 stron internetowych (oznaczonych [S...]). Ponadto dołączony jest spis rysunków oraz tablic zamieszczonych w rozprawie oraz załączniki w liczbie 19, zawierające szczegółowe wyniki wykonanych przez Doktoranta pomiarów. Do samej bibliografii i cytowania jej pozycji mam kilka drobnych uwag krytycznych, które przedstawię w punkcie 4. niniejszej recenzji.

Generalnie układ redakcyjny rozprawy jest logiczny i przejrzysty. Bez trudu można w niej odróżnić, co jest oryginalnymi osiągnięciami Autora, a co jest zaczerpnięte z prac innych badaczy. Zasluguje to na uznanie. Opiniowana dysertacja jest napisana poprawną na ogół polszczyzną, do czego przywiązuję duże znaczenie. Napisałem „na ogół”, bo w uwagach szczegółowych (punkt 4. recenzji) wskażę na niektóre usterki natury językowej.

### **3. Merytoryczna ocena rozprawy**

Już na samym wstępie tego punktu recenzji stwierdzam, że rozprawę doktorską Pana mgr inż. Norberta Olczyka oceniam pozytywnie. Uzasadniam to następującymi, ujętymi w punktach, argumentami (oznaczonymi przez A i kolejne numery).

**A1.** Jak już wspomniano, dużą wartością pracy jest sam wybór jej tematyki. Badania betonowych elementów konstrukcyjnych zbrojonych prętami GFRP w dalszym ciągu należą do raczej rzadko prowadzonych, co dotyczy przede wszystkim naszego kraju. A tematyka ta jest ważna choćby z uwagi na powszechne dziś dążenie do zwiększenia trwałości obiektów, czemu właśnie sprzyja zbrojenie niemetaliczne. Tendencja ta jest szczególnie wyraźna w odniesieniu do budowy mostowych.

**A2.** Zaplanowany przez Doktoranta program badań jest szeroki. Można w nim wyodrębnić trzy części. Pierwsza obejmuje badania cech wytrzymałościowych zastosowanych betonów oraz prętów GFRP, a także ich pełzania. Druga – to badania odporności próbek betonowych zbrojonych prętami stalowymi i kompozytowymi oraz we

samych prętów z obu materiałów na agresję chemiczną (chlorkową, siarczanową oraz pod wpływem działaniu kwasu solnego). Trzecia – to badania elementów betonowych zbrojonych prętami stalowymi i prętami GFRP, które to elementy badano na zginanie (jednopunktowe i dwupunktowe) aż do ich zniszczenia. Tę trzecią część badań realizowano na elementach o stałej geometrii i stałym stopniu zbrojenia oraz na elementach o różnej geometrii i różnym stopniu zbrojenia. Z tego zwięzłego zestawienia wynika, że Doktorant potraktował swe badania dość wszechstronnie tak, aby uzyskać możliwie pełny obraz różnic między efektami zastosowania zbrojenia tradycyjnego i zbrojenia kompozytowego GRFP.

**A3.** Autor przedstawił dość szeroki i krytycznie potraktowany przegląd światowych procedur i zaleceń projektowania elementów zginanych ze zbrojeniem kompozytowym (rozdział 4.). Zwrócił uwagę, że procedury te są w znacznej mierze modyfikacją stosowanych do projektowania elementów zginanych ze zbrojeniem stalowym. Musiał dobrze je poznać i opanować, ponieważ posłużyły mu one do obliczeniowej analizy porównawczej z rezultatami przeprowadzonych przez niego badań doświadczalnych (rozdział 8.).

**A4.** Doktorant, choć uczynił to nie w pełni konsekwentnie (por. też uwaga **B5.** i dalsza treść niniejszej uwagi), wykonał badania sprawdzające podstawowe właściwości materiałów, zastosowanych do zasadniczych badań elementów belkowych na zginanie. Sprawdzenie to dotyczyło zamówionej w wytwórni mieszanki M2. Stwierdził, że otrzymany z tej mieszanki beton nie spełnia deklarowanej klasy C35/40, tylko odpowiada klasie C30/37 (str. 66/67). Podobnie, sprawdzał też wytrzymałość na rozciąganie prętów GFRP (str. 97/98). Podał uczciwie i szczegółowo dlaczego te badania nie były do końca udane (por. też uwaga **A7.**). Te sprawdzenia, czy deklarowane przez producentów cechy ich wyrobów odpowiadają rzeczywistości, świadczą o odpowiedzialności badawczej Autora rozprawy. Wspomniana wyżej niekonsekwencja polega między innymi na tym, że w odniesieniu do stali zbrojeniowej B500A, zawierzył całkowicie producentowi (str. 69, tabela 6.4.) i żadnych jej badań nie przeprowadził. Rozgrzesza go trochę powszechność stosowania tej stali, ale badania naukowe wymagają sprawdzeń cech także konwencjonalnych materiałów.

**A5.** Doktorant przeprowadził dość szerokie badania odporności próbek betonowych ze zbrojeniem stalowym i kompozytowym oraz samych prętów na agresję chemiczną – chlorkową i siarczanową oraz na działanie kwasu solnego. Do procedury tych badań nie wnoszą zastrzeżeń, są wykonane należycie i dobrze skomentowane. Wykazały one, że agresja ta jest znacznie groźniejsza w przypadku zbrojenia stalowego niż w przypadku zbrojenia GFRP. Niby można się było tego spodziewać od strony jakościowej, ale od strony ilościowej badania te przyniosły konkretne informacje, które istotnie przybliżają sens i warunki uzasadnionego stosowania prętów kompozytowych w praktyce budowlanej.

**A6.** Badania elementów belkowych na zginanie, zwłaszcza dwupunktowe, Doktorant potraktował bardzo rzetelnie od strony doświadczalnej. Myślę tu przede wszystkim o zastosowaniu oprócz tensometrii elektrooporowej (co należy do dobrze rozumianej rutyny), także oprogramowania Aramis, pozwalającego na wyznaczanie przemieszczeń na podstawie bezkontaktowych, trójwymiarowych pomiarów odkształceń za pomocą metody optometrycznej. Dzięki temu Autor rozprawy zbadał oddziaływanie obciążenia nie tylko na samą belkę, ale także na cały układ służący do wywierania tego obciążenia, a więc trawers, rolki oraz stół i podpory prasy. Elementy te doznawały odkształceń wraz z badaną belką, co zostało szczegółowo udokumentowane w rozdziale 8. Przeprowadzanie tego rodzaju pomiarów nie jest częste i dlatego należy się tu Doktorantowi pochwała – pokazał on jak złożonym w istocie procesem jest proste zdawać by się mogło badanie belek na zginanie.



**A7.** Wiodącą intencją Doktoranta jest ukierunkowanie badań, zwłaszcza dotyczących zginania belek, na potrzeby praktyki projektowej, a także i w pewnych fragmentach wykonawczej (np. zwrócenie uwagi na potrzebę zabezpieczenia lekkich prętów GFRP przed „wypływaniem”). Udokumentowane i opisane szczegółowo różnice w zachowaniu belek zbrojonych prętami stalowymi i kompozytowymi oraz wyniki pomiarów stanowią podstawowy materiał do weryfikacji procedur projektowania ujętych w normach oraz wytycznych opracowanych i stosowanych w różnych krajach. Zaprezentowana w rozprawie analiza obliczeniowa została oparta na pięciu różnych procedurach. Nie wdając się w szczegółowy opis tych analiz stwierdzić trzeba, że doktorant wniósł dzięki wykonanym badaniom kilka ważnych postulatów dotyczących zmian w procedurach projektowania (np. str. 124, wniosek 13 dotyczący PN-EN 1992-1-1.). W zależności od wyznaczonej obliczeniowo wielkości, otrzymywano różny stopień zgodności wyników badań z normami lub wytycznymi czy zaleceniami. Na przykład rzeczywiste położenie osi obojętnej w belce K3 najlepiej odzwierciedlał wynik obliczeń wykonanych według zaleceń kanadyjskich (str. 127). Generalnie jednak pełnej zgodności w którąkolwiek procedurą trudno było znaleźć. Na przykład w przypadku belki K2 Maksymalny moment niszczący był równy 15.88 kNm i był zbliżony do wyznaczonych na podstawie procedur amerykańskiej, japońskiej i kanadyjskiej, natomiast znacznie odbiegał od normy europejskiej (str. 121). To pokazuje jaki wiele jest jeszcze do zrobienia w temacie, stanowiącym przedmiot ocenianej tu pracy.

**A8.** Za jedno z najistotniejszych osiągnięć Autora można uznać to, że swoimi badaniami wykazał, że: *„Stan graniczny użyteczności (SGU) odgrywa w przypadku elementów zbrojonych kompozytami znacznie większą rolę niż przy zbrojeniu stalowym. Jednak z uwagi na odporność chemiczną i brak korozji prętów GFRP należy skodyfikować graniczną rozwartość rysy w elementach bez zbrojenia stalowego. Postuluje się jej zwiększenie”* (str. 133). Stwierdzenie to jest jednocześnie dodatkowym przykładem ukierunkowania badań doktoranta na potrzeby praktyki (por też uwaga **A7.**). Potwierdzają to również inne wnioski sformułowane w rozdziale 9.

**A9.** Warto również podkreślić, co uważam za ważny element rozprawy, uczciwość badawczą Doktoranta (por. też uwaga **A4.**). Nie kryje on pewnych niepowodzeń, które wystąpiły podczas przygotowywania elementów do badań na zginanie, oraz w trakcie samych tych badań. Jest to sprawa naturalna, że popełnia się błędy, które nie tylko uczą, ale skłaniają do pewnej pokory naukowej, niestety rzadko dziś spotykanej. Jako przykład podam fakt nie należytego umocowania prętów kompozytowych w niektórych elementach, wskutek czego nastąpiło podczas betonowania przemieszczenie tych prętów ku górze, to jest w kierunku osi obojętnej, co miało oczywiście wpływ na wyniki badań na zginanie. Dotyczyło to elementów oznaczonych K1, K2 i K3. Autor zasygnalizował to na str. 108 i przedstawił konsekwencje tego przesunięcia, dotyczące także praktycznych zastosowań konstrukcyjnych. Zasluguje to na pochwałę.

**A10.** Wyniki badań potwierdziły słuszność postawionej tezy – została ona udowodniona.

Można by znaleźć zapewne więcej jeszcze argumentów uzasadniających wartość opiniowanej dysertacji. Poprzestaną jednak na już przedstawionych, uznając je za całkowicie wystarczające.

Ogólnie pozytywna ocena rozprawy nie oznacza, że nie można w odniesieniu do niej sformułować uwag krytycznych, a przede wszystkim pytań, pobudzających do dyskusji. To

ndobrze, bo to właśnie stanowi niezbywalny i twórczy czynnik rozwoju nauki. Mam zatem następujące najważniejsze uwagi i pytania (oznaczone przez **B** i kolejne numery).

**B1.** Autor bez żadnego uzasadnienia przedstawia metodykę badań belek na zginanie. Dlaczego belki o stałej geometrii i stałym stopniu zbrojenia poddano jednopunktowemu zginaniu (p. 7.3.1. pracy), natomiast belki o różnej geometrii i różnym stopniu zbrojenia – dwupunktowemu (p. 7.3.2. pracy)? W pierwszym przypadku na postać zniszczenia mogą mieć wpływ siły ścinające, w drugim zaś w belce, na jej odcinku między dwiema siłami stanowiącym obciążenie, występuje tzw. czyste zginanie. Co zatem wpłynęło na wybór dwóch różnych sposobów obciążania belek?

**B2.** W nawiązaniu do punktu **B1** warto nadmienić, że Doktorant najzupełniej niesłusznie nazywa elementy zginane jednopunktowo płytami. Są to po prostu belki o relatywnie szerokiej podstawie ( $b = 20$  cm) w porównaniu z ich długością ( $l = 100$  cm), czyli  $l/b = 6,67$ . Rozstaw sił obciążających był równy  $l_1 = 90$  cm, czyli  $l_1/b = 4,5$ . Elementy o takich wymiarach i tak przyłożonym obciążeniu są zginane jednokierunkowo (tylko wzdłużnie, co zresztą widać choćby na rys. 8.21 i 8.22) i dlatego są po prostu belkami. Aby elementy można było nazywać płytami, muszą być dwukierunkowo zginane. Warunek taki spełniają elementy o proporcji wymiarów  $l/b \leq 2$  (3). Belki badane przez Doktoranta pod zginaniem jednopunktowym można co najwyżej nazwać pasmem płytowym, natomiast na pewno nie płytą.

**B3.** Nie chcę uchodzić za małostkowego, ale czuję się w obowiązku zwrócić uwagę na pewną szczegółową sprawę dotyczącą warsztatu badawczego. Otóż, jeżeli na drodze eksperymentalnej chcemy wykryć jakieś różnice w zachowaniu elementów zbrojonych tradycyjnie prętami stalowymi i prętami GFRP, to trzeba zachować określone warunki. W belkach badanych pod obciążeniem jednokierunkowym, zgodnie z zapowiedzią, miał być stały stopień zbrojenia. Pełna reprezentatywność porównań byłaby wtedy, gdyby stopień ten był taki sam w belkach zbrojonych obu rodzajami prętów. Tak jednak nie jest – w przypadku zbrojenia kompozytowego (2 pręty o średnicy 6,5 mm) jest on równy 0,41%, w przypadku zaś zbrojenia stalowego (2 pręty o średnicy 8 mm) 0,63 %, a więc wyraźnie więcej. Rozumiem, że dobór średnic prętów mógł wynikać z dostępności na rynku (tj. nie można było uzyskać prętów stalowych i kompozytowych o takiej samej średnicy), ale należało o tym napisać, ponieważ skala stwierdzonych różnic w zachowaniu belek mogła by być nieco inna przy zachowaniu takiego samego stopnia obu rodzajów zbrojenia. Aby wartości stopnia zbrojenia lepiej zbliżyć do siebie, wystarczyło zastosować pręty GFRP o średnicy 7 mm (rys. 7.22) tak, jak w badaniach pod obciążeniem dwupunktowym. Wtedy stopień zbrojenia kompozytowego byłby równy 0,48 % lub zastosować pręty stalowe o średnic 6 mm (jak na strzemiona – por. rys. 7.22). Wtedy stopień zbrojenia stalowego byłby równy 0,35 %, a więc znacznie bliższy podanej poprzednio wartości 0,41 %. Dlaczego więc wybrano pręty o średnicy 6,5 mm (GFRP) i 8 mm (stal)? Oczywiście na siłę niszczącą element może też mieć wpływ rodzaj uźebrowania prętów. Dlatego najlepiej byłoby użyć stalowych i kompozytowych prętów gładkich o takiej samej średnicy. Analogiczne uwagi można sformułować odnośnie do stopnia zbrojenia belek zginanych dwupunktowo. Jak wynika z rys. 7.20. na str. 84, do zbrojenia zastosowano pręty GFRP o średnicy 4 mm, pręty zaś stalowe miały średnicę 8 mm. Różnice w stopniu zbrojenia prętami kompozytowymi i stalowymi były więc jeszcze większe niż w belkach zginanych jednopunktowo.

**B4.** Dlaczego tensometry elektrooporowe umieszczona na prętach zbrojeniowych tylko w elementach badanych pod dwupunktowym zginaniu (rys. 7.17. ÷ 7.19.)?

**B5.** Jaki był cel badań pełzania prętów GFRP? Czy i jak skorzystano z otrzymanych wyników w analizach obliczeniowych? Badania wykazały brak tzw. krótkoterminowego pełzania prętów kompozytowych, co w gruncie rzeczy było w wysokim stopniu przewidywalne. Sądzić można, że i długoterminowe pełzanie prętów kompozytowych jest raczej znikome. Być może coś przeoczyłem w tym fragmencie problematyki rozprawy.

**B6.** W całej pracy nie znalazłem wzmianki na temat ceny prętów GFRP w porównaniu do prętów stalowych. Jest to przecież ważny czynnik o skali zastosowań prętów kompozytowych. Oczywiście dodatni wpływają one na trwałość obiektów, co w tzw. rachunku ciągnionym (np. zgodnie z zasadami wyznaczania kosztów całkowitych obiektu „*od kołyski po grób*”) może okazać się ekonomicznie i społecznie opłacalne. Niemniej jednak można się było spodziewać, że Doktorant w części wstępnej rozprawy wątek kosztów podejmie, choćby w bardzo syntetycznej formie.

**B7.** Do wykonania belek zastosowano dwie różne mieszanki betonowe, oznaczone w pracy symbolami M1 i M2. Mieszankę M1 wykonano w laboratorium macierzystego wydziału Doktoranta, natomiast mieszankę M2 dostarczono z wytwórni. Mieszanka M1 była pomyślana i zaprojektowana jako beton samozagęszczalny, mieszanka M2 – jako beton konstrukcyjny klasy C5/45 (str. 64). O ile badania (rutynowe!) zgodności dostarczonej mieszanki M2 z zamówieniem są opisane w p. 6.1.2., to wyniki badań mieszanki M1 (samozagęszczalnej) są według zapowiedzi Autora (str. 65, w2g) zestawione w tabelach w rozdziale 8. Niestety nie napisał w których. Oddzielnego zestawienia tych wyników po prostu nie ma. Dane w tabelach 8.11. i 8.12., na zaciemnionych polach zawierają tylko jakieś uśrednione dane, wraz ze stopniem zbrojenia zaliczonym nie wiedzieć dlaczego do parametrów betonu i wyliczonym w niewiadomy sposób (np. w tablicy 8.12, str. 129. jest:  $A_s = 2,31 \text{ cm}^2$ , przekrój belki  $b \times h = 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} = 200 \text{ cm}^2$ , zatem stopień zbrojenia jest  $2,31/200 = 0,01155$  (1,16%), podano zaś wartość 0,0124 czyli 1,24% - to tylko drobna uwaga, bez istotnego znaczenia merytorycznego). Generalnie jednak o badaniach mieszanki samozagęszczalnej nic nie wiadomo – podano tylko jej skład (str. 63, tabela 6.1.). Trochę szkoda, bo betony samozagęszczalne nie są jeszcze zbyt powszechne, a badania mieszanek samozagęszczalnych są przeprowadzane według specjalnych procedur. Na tym tle stawiam jednak fundamentalne pytanie – jakie było kryterium wyboru dwóch różnych mieszanek i dlaczego jedna z nich była mieszanką samozagęszczalną. Nie twierdzę, że to źle, ale chciałbym znać genezę tego wyboru, bo w rozprawie nic na ten temat nie ma.

**B8.** Z rysunku 7.22, str. 86 wynika, że belki badane na dwupunktowe zginanie (a przynajmniej niektóre z nich) są po prostu belkami podwójnie zbrojonymi. Jeżeli w belkach oznaczonych  $S_1$  i  $S_2$  zastosowano zbrojenie dolne z dwóch prętów stalowych o średnicy 8 mm oraz dokładnie takie samo zbrojenie górne (por. rys. 7.22.), to są to w istocie belki podwójnie zbrojone. To samo dotyczy belek K1 i K2, w których zbrojenie górne, stalowe (2#8) ma większy przekrój od zbrojenia dolnego z prętów GFRP (2#6,5). Fakt owego podwójnego *de facto* zbrojenia nie znalazł odzwierciedlenia w analizie, której wyniki przedstawiono w rozdziale 8. i którą przeprowadzono według różnych procedur zaprezentowanych w rozdziale 4. Procedury te obejmują przekroje pojedynczo zbrojone. Być może coś przeoczyłem w wywodach Doktoranta. Dlatego będę zobowiązany, aby w ramach dyskusji podczas obrony swej dysertacji wyjaśnił poruszoną tu sprawę. Może ma ona jakiś związek z założeniem o *znikomym wpływie zbrojenia ściskanego na nośność przekroju* (str. 59, w6d, patrz także uwaga C7.)

Zagadnień wartych dyskusji można by sformułować znacznie więcej, bo opiniowana

praca jest tego warta. Poprzestaną jednak na już przedstawionych.

#### 4. Uwagi szczegółowe

Niżej przedstawione uwagi szczegółowe nie są uporządkowane według stopnia ich ważności merytorycznej, redakcyjnej lub językowej. Sformułowałem je w kolejności odpowiadającej drobnym w większości uchybieniom, które spostrzegłem w miarę czytania pracy. Zamieszczam je wyłącznie po to, aby przy publikacji fragmentów rozprawy jej Autor mógł je usunąć, jeśli oczywiście się z nimi zgodzi. Są to następujące uwagi (oznaczone przez C i kolejne numery).

**C1.** Str. 17, rys. 2.1 – Ten rysunek, nazwany nie wiadomo dlaczego pogładowym, niewiele wyjaśnia. Równie dobrze pokazany pręt mógłby być wykonany z dowolnie innego materiału.

**C2.** Str. 20, ostatni akapit – Stwierdzenia te, dotyczące właściwości prętów polimerowych z włóknami bazaltowymi, warto było poprzeć zacytowaniem odpowiednich publikacji. Przecież skądś Doktorant czerpał wiedzę na ten temat.

**C3.** Str. 26, w3g – Mniejsza gęstość GFRP od gęstości stali jest oczywiście faktem, ale z tablicy 2.2. wynika, że może być mniejsza w granicach od 3,74 do 6,29, z tablicy zaś 2.1. (str. 20) wynika, że – zależnie od średnicy prętów – może być mniejsza od 3,97 do 6,60. Dlatego stwierdzenie o czterokrotnie mniejszej gęstości GFRP od gęstości stali nie jest całkowicie ścisłe.

**C4.** Str. 39, rys. 3.5. – Pomyłona jest kolejność w podpisie.

**C5.** Str. 42 – W Polsce opracowano i wdrożono także drugą metodę sprężania taśm kompozytowych – metodę IBDiM (Instytutu Badawczego Dróg i Mostów). Znaczny w tym udział miał ŚP. profesor Marek Łagoda.

**C6.** Str. 50, w2d – Dlaczego tabelę 4.1., na którą jest powołanie na str.50, umieszczono dopiero na str. 60?

**C7.** Str. 59, w6d – Skąd wynika założenie o *znikomym wpływie zbrojenia ściskanego na nośność przekroju*? Nie wynika to z treści rozdziału 4.

**C8.** Str. 68, w1d – O jakie badania własne chodzi? Trzeba przywołać jakąś publikację, która to dokumentuje.

**C9.** Str. 69, tabela 6.4. – Główna tabeli jest po prostu błędna. Niczego na przykład nie wiemy o składzie stali (główna: *Skład/Parametr; Ilość/Wartość*). Co jest ilością w kolumnie drugiej?

**C10.** Str. 79, w5d i w innych miejscach – To nie są żadne *pręty rozdzielcze* tylko pręty dystansowe zastosowane w celu zachowania rozstawu prętów zbrojenia głównego. Pręty rozdzielcze stosowane są w elementach zginanych dwukierunkowo, gdy zginane w kierunku poprzecznym jest wyraźnie mniejsze od zginania wzdłużnego. Są one oczywiście układane właśnie w kierunku poprzecznym.



C11. Str. 88, w2d – Czy tensometry o bazie 20 mm spełniały warunek dotyczący jej krotności odniesionej do wymiarów największych ziaren kruszywa w betonie?

C12. Str. 92, w6d – Chyba rysunek 8.3, a nie 6.3.

C13. Str. 88, rys. 7.26 Wbrew zapowiedzi w tekście obie podpory pokazane na rysunku są nieprzesuwne.

C14. Str. 96, tabela 8.3. – W ostatnim wierszu, w piątej kolumnie podana wartość 0,81 jest nieprawdziwa, powinno być chyba 1,07.

C15. Str. 99, p. 8.2.2. – Należało napisać w jakim betonie zatopiono (jak pisze Doktorant) pręty GFRP, w badaniach ich pełzania. Czy to był beton z mieszanek M1 lub M2, czy jeszcze jakiś inny?

C16. Uwagi dotyczące Bibliografii i cytowania jej pozycji. Nie znalazłem przywołania w tekście pozycji [6], [40], [42], [53], [71], [73] i [75], a także i kilku innych (mogłem jednak coś przeoczyć). Dane bibliograficzne niektórych pozycji wymagają uzupełnienia (pozycje; [7], [37], [53], [54], [69], [73], [76]). Trochę rażąco jest brak monografii Tomasza Siwowskiego „*Mosty zkompozytów FRP – Kształtowanie, Projektowanie, Badania*”, PWN, Warszawa 2018 oraz Marka Łagody „*Wzmacnianie konstrukcji mostowych kompozytami polimerowymi*”, Studia z zakresu inżynierii, nr 76, KILiW PAN, Warszawa 2012. Str. 29, w12d – w dysertacji naukowej, gdy przedstawiane są wyniki badań, nie należy powoływać się na materiały reklamowe (pozycja [45]) tylko na oryginalne publikacje naukowe. Str. 30, w9d – należało raczej przywołać pozycję [66], a nie [67]. Str. 34, w1d i str. 35, podpis rys. 33 – chyba chodzi o pozycję [75], a nie [33]. Str. 42, w2d – chodzi chyba o pozycję [65], a nie [66].

C17. Uwagi językowe, niektóre tylko. Str. 14, w 14g – chodzi chyba o część *doświadczalną* nie *technologiczną*. Str.14, w17g – nie *przekroi*, tylko *przekrojów*. Str. 19, w12d – chodzi chyba o *stosunkowo mały*, a nie *najmniejszy* ciężar właściwy. Str. 23, w7d – lepiej napisać *stosowaną* niż *dedykowaną*. Str. 25, w2g i wiele innych miejsc – nie *wyróżnić można* tylko *odróżnić można*. Str. 41, w5g – sformułowanie: *zweryfikowane w dziedzinie analitycznej* jest niewłaściwe. Str. 72, w1d – nie *wagę* tylko *masę*. Str. 74, w2g – nie *dwoma metodami* tylko *dwoma metodami*. Str. 84, w4d i w wielu innych miejscach – nie *ilość* tylko *liczba* (rysy są zbiorem policzalnym). Str. 86, rys. 7.22 – nie *rozkład tensometrów* tylko *rozmieszczenie tensometrów*. Str. 105, tytuł tabeli 8.5. (i w wielu innych miejscach) – Nie *obciążenie dla* (rusycyzm) *badanych płyt* tylko *obciążenie badanych płyt*. Autor często stosuje (zwłaszcza w rozdziale 8) nazwę *rycina* zamiast *rysunek*, *ilustracja*, *wykres*. Nie jest to gruby błąd, bo terminem *rycina* bywa w języku potocznym określane *rysunek* lub *ilustracja*. Piszę o tym dlatego, że po raz pierwszy napotykam słowo *rycina* w tekstach z zakresu nauk technicznych. Str. 134, w4g – chyba *dominującym modelem zniszczenia*, a nie *preferowanym*. Ponadto, w całym tekście, zwłaszcza w rozdziale 8., Doktorant wielokrotnie błędnie używa terminu *wytężenie*. W wielu dotychczasowych recenzjach innych prac zwracałem już na to uwagę, ale niestety bezskutecznie, bo ów błąd jest już zakorzeniony. Powtórzę mimo to jeszcze raz (być może ostatni!) – *wytężenie* nie jest stopniem wykorzystania naprężeń ani na przykład stosunkiem wartości rzeczywistego (lub obliczeniowego) momentu zginającego do momentu niszczącego. Stosując pojęcie *wytężenie* trzeba nawiązywać do którejś z hipotez wytrzymałościowych .

## 5. Wniosek końcowy

Podsumowując niniejszą opinię stwierdzam, że rozprawa Pana mgr inż. Norberta Olczyka pt. „*Analiza właściwości elementów betonowych zbrojonych prętami GFRP*” spełnia warunki merytoryczne i formalne stawiane dysertacjom doktorskim. Pracę tę oceniam pozytywnie, czemu dałem wyraz w poprzednich punktach recenzji. Dlatego z satysfakcją stawiam wniosek o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony wymienionej rozprawy.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Władysławski', is positioned to the right of the main text block.