

dr hab. inż. Wojciech Radomski, dr h.c.
profesor zwyczajny
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy
e-mail: w.radomski@il.pw.edu.pl

Warszawa, dnia 13 lutego 2020 roku

RECENZJA
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ PANA MGR INŻ. MATEUSZA RAJCHELA
PT. „PROJEKTOWANIE I BADANIA HYBRYDOWEGO DŹWIGARA
MOSTOWEGO Z KOMPOZYTÓW FRP I BETONU LEKKIEGO”

1. Podstawa formalna i przedmiot recenzji

Niniejszą recenzję opracowałem na prośbę Dziekana Wydziału Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej], Pana dr hab. in z. Marka Gosztyły, prof. PRz, wyrażoną w skierowanym do mnie piśmie, noszącym datę 15 stycznia 2020 roku. W piśmie tym zostałem poinformowany, że Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport wymienionego Wydziału, na posiedzeniu w dniu 9 stycznia 2020 roku, powołała mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim Pana mgr inż. Mateusza Rajchela.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Mateusza Rajchela, nosząca tytuł „*Projektowanie i badania hybrydowego dźwigara mostowego z kompozytów FRP i betonu lekkiego*”. Jej promotorem jest Pan prof. dr hab. inż. Tomasz Siwowski. Praca ta liczy łącznie 266 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

Tematyka rozprawy jest nowoczesna, rozwojowa i mająca bezpośrednie i duże znaczenie praktyczne. Dotyczy ona badań i analiz oraz zastosowań kompozytów polimerowych z włóknami (dalej w skrócie nazywanym kompozytami FRP od angielskiej nazwy *Fibre Reinforced Polymers*) w mostownictwie. Są to materiały nowej generacji, dalece odmienne pod względami produkowania, właściwości i wytwarzania elementów konstrukcyjnych od tradycyjnych materiałów na przykład drewna, stali lub betonu. Historia kompozytów, a zwłaszcza ich zastosowań technicznych, liczy już co prawda kilkadziesiąt lat, ale początkowo i obecnie tworzywa te były wykorzystywane głównie w przemyśle lotniczym, samochodowym i stoczniowym. Ich wysoka wytrzymałość i sztywność, duża trwałość, wynikająca głównie z odporności na korozję, oraz stosunkowo mały ciężar własny spowodowały, że od początku XXI wieku kompozyty FRC stały się przedmiotem zainteresowania producentów, którzy opracowali i wdrożyli systemy konstrukcyjne z przeznaczeniem do budowy obiektów mostowych. Liczba takich obiektów na świecie stale wzrasta. Czołowe w skali świata osiągnięcia na tym polu mają kraje wysokorozwinięte, przede wszystkim USA.

Z satysfakcją można stwierdzić, że Polska ma także znaczące już osiągnięcia w dziedzinie badań i zastosowań kompozytów FRP w mostownictwie. Wymownym tego przykładem jest recenzowana tu rozprawa doktorska Pana mgr inż. Mateusza Rajchela. Praca ta jest rzadkim przykładem pełnej realizacji cyklu od idei i koncepcji, poprzez analizy teoretyczne i badania doświadczalne, do realizacji nowatorskiej konstrukcji mostowej, łącznie z jej badaniami *in situ* w celu sprawdzenia adekwatności modeli przyjmowanych do obliczeń i określenia stopnia bezpieczeństwa jej użytkowania. Takie – jak to się obecnie określa – holistyczne ujęcie dysertacji zasługuje na wysokie uznanie.

Treść rozprawy ujęta jest w siedmiu rozdziałach, których tytuły w pełni odpowiadają przedstawionej w nich treści.

Rozdział 1. (8 stron), stanowiący wstęp do tematyki rozprawy, zawiera zdefiniowanie jej problemu badawczego, przedmiotu, celów i zakresu. Nie sformułowano tu tezy dysertacji, ale nie czynię z tego zarzutu, ponieważ w tego rodzaju pracy o bardzo szerokim zakresie nie jest to konieczne – domyślną tezą jest możliwość realizacji konkretnego obiektu mostowego na podstawie przeprowadzonych przez Doktoranta analiz i badań, co zostało udowodnione po prostu przez fakt wybudowania nowatorskiej konstrukcji mostowej. Rozdział 2. (30 stron), zatytułowany jest „*Przegląd wiedzy*” i zawiera wiadomości o kompozytach FRC i sposobach wytwarzania z nich elementów konstrukcyjnych, o dotychczasowych realizacjach mostowych z ich użyciem, ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań hybrydowych, to jest takich, które są konstrukcjami zespolonymi złożonymi z kompozytowych dźwigarów głównych i współpracującej z nimi betonowej płyty pomostu. Następnie są syntetycznie przedstawione stosowane dotychczas procedury kształtowania i projektowania takich hybrydowych dźwigarów mostowych. Obszerny rozdział 3. (65 stron), jest zatytułowany „*Procedura projektowania przęsła mostu drogowego dźwigarami hybrydowymi*” i poświęcony projektowaniu przez Autora najpierw samego dźwigara mostowego złożonego z dwóch rodzajów kompozytów FRP (stąd liczba mnoga w tytule rozprawy) – z włóknem węglowym (CFRP) i z włóknem szklanym (GFRP) – por np. rys. 3.5., a następnie przęsła mostowego złożonego z czterech dźwigarów kompozytowych o korytkowym kształcie „U” i współpracującej z nimi płyty pomostowej z betonu lekkiego LC35/38, zbrojonego siatkami z prętów kompozytowych GFRP średnicy 12 mm. Łączniki zespolenia wykonano w postaci sworzni stalowych. Zaprezentowano i opisano wszystkie szczegóły rozwiązania konstrukcji przęsła. Obliczenia projektowe przeprowadzono z zastosowaniem metod analitycznych. Przedstawiono sprawdzenia stanu nośności granicznej oraz stanu granicznego użytkowności dźwigara hybrydowego, przy czym sprawdzenia pierwszego z wymienionych stanów dokonano także za pomocą metody autorskiej, co należy zaliczyć do oryginalnych osiągnięć Doktoranta. Z kolei w rozdziale 4., liczącym 74 strony i zatytułowanym „*Badania eksperymentalne*”, znajdujemy szczegółowe opisy doświadczeń dotyczących nośności zaprojektowanego sposobu zespolenia dźwigarów kompozytowych z płytą betonową, poddanego obciążeniom statycznym i zmęczeniowym, oraz opisy badań pełnowymiarowych dźwigarów hybrydowych pod obciążeniami stycznymi i dynamicznymi, w tym także zmęczeniowymi. Rozdział zamyka opis budowy przęsła mostowego oraz badań zrealizowanego obiektu pod obciążeniami statycznym i dynamicznym, realizowanymi z użyciem taboru samochodowego. Rozdział 5. (48 stron) o tytule „*Analiza numeryczna dźwigara hybrydowego i przęsła mostu za pomocą MES*” zawiera wyniki komputerowych dociekań Autora, w których rozpatruje on zbudowane przez siebie modele obliczeniowe dźwigara hybrydowego oraz przęsła mostu. Używam tu świadomie pojęcia modelu obliczeniowego, ponieważ tak należy go nazywać – tworzy go bowiem triada: model geometryczny (np. siatka podziału i kształt jej elementów), model materiałowy (nie

wszystko jedno jakie cechy materiałowe przypisywane są owej siatce) oraz model obciążenia. Tak właśnie i słusznie ujęty jest opis analiz w tym rozdziale. Ich wyniki są porównane z rezultatami badań doświadczalnych, co stanowi walidację zastosowanych przez Doktoranta modeli obliczeniowych. Rozdział 6. (12 stron), którego tytuł brzmi „*Weryfikacja stanów granicznych dźwigara hybrydowego i przęsła mostu*”, zawiera analizy stanu granicznego nośności i stanu granicznego użyteczności pojedynczego dźwigara oraz całej konstrukcji przęsła, z uwzględnieniem jej drgań. Bardzo cenne jest przedstawione w tym rozdziale porównanie wyników obliczeń przeprowadzonych za pomocą metody analitycznej i metody numerycznej, do czego odniosę się w dalszej części tej recenzji. Wreszcie ostatni rozdział 7. (6 stron) to „*Podsumowanie i wnioski końcowe rozprawy*”, w którym sformułowano wnioski dotyczące realizacji celów pracy i kierunków dalszych badań. Umieszczony na końcu spis bibliograficzny zatytułowany jest zgodnie z duchem języka polskiego *Piśmiennictwo*, a nie błędnie jak to się często zdarza – *Literatura*. Spis ten liczy 151 pozycji i obejmuje zgodnie z moim rozeznanieniem wszystkie najbardziej istotne publikacje dotyczące tematyki dysertacji Pana mgr inż. Mateusza Rajchela. Ostatnie elementy pracy, to jej jednostronicowe polsko- i anglojęzyczne streszczenia.

Sposób przedstawienia rozprawy uważam za bardzo dobry. Rozdziały 3, 4, 5 i 6, które stanowią najbardziej oryginalne jej treści, są zakończone cząstkowymi podsumowaniami, co jest dobrym ujęciem i od strony merytorycznej i od strony redakcyjnej. Na uwagę zasługuje również to, że Autor wyraźnie oddziela to, co jest jego własnymi osiągnięciami od tego, co zaczerpnął od innych. 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 jednoznacznie i z satysfakcją, że rozprawę doktorską Pana mgr inż. Mateusza Rajchela oceniam bardzo wysoko. Uzasadniam to następującymi, ujętymi w punktach, argumentami (oznaczonymi przez **A** i kolejne numery).

A1. Pierwszą i samoistną wartością rozprawy jest sama jej tematyka, na co wskazywałem już w punkcie 2. recenzji. Tematyka ta została potraktowana bardzo szeroko. Na dobrą sprawę można by z tej rozprawy „wykroić” co najmniej 3 inne prace doktorskie. Autor jednak (prawdopodobnie za sprawą Pana Promotora) postanowił potraktować problematykę swej dysertacji możliwie całościowo. Jest to z merytorycznego względu wysoce uzasadnione i jednocześnie zgodne z dobrymi obyczajami naukowymi. Już na wstępie należy się zatem Doktorantowi pochwała.

A2. Program badawczy, którego finalnym efektem było wybudowanie w 2016 roku mostu o konstrukcji hybrydowej z kompozytów FRP i betonu lekkiego w Błazowej k. Rzeszowa, był wykonywany w latach 2013-2017 pod nazwą Com-Bridge przez konsorcjum, w skład którego wchodził Mostostal Warszawa S.A jako wykonawca wspomnianego obiektu i rzeszowska firma Promost Consulting oraz Politechnika Rzeszowska i Politechnika Warszawska. Program ten był współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Piszę o tym dlatego, że pełnym powodzeniem zakończona realizacja tego programu wymagała bardzo dobrej współpracy zespołów badawczych i technicznych. Doktorant – jak wynika z jego rozprawy – miał znaczny ilościowo, a przede wszystkim bardzo istotny merytorycznie udział w pracach analitycznych i badaniach doświadczalnych, które doprowadziły do końcowego sukcesu. Umiejętność pracy zespołowej, należąca do tak dzisiaj słusznie lansowanych

kwalifikacji miękkich, dobrze świadczy o Panu mgr inż. Mateuszu Rajchelu jako badaczu, dbającym także o praktyczny wymiar swoich dociekań.

A3. Niewątpliwą wartością pracy jest – jak już sygnalizowano - możliwość prześledzenia poszczególnych etapów analiz i badań, prowadzących do wybudowania prototypowego mostu, a następnie jego zbadania pod kątem bezpiecznej, normalnej eksploatacji. Doktorant wykazał wysokie kompetencje w każdym z tych etapów. Przedstawiony przez niego w sposób syntetyczny stan wiedzy (rozdział 2) świadczy o jego bardzo dobrym rozeznaniu tematyki, którą się zajął. Dotyczy to szczególnie konstrukcji hybrydowych, w których następuje synergia żądanych cech kompozytów FRP i betonu, w tym także betonu lekkiego. Następnie Pan mgr inż. Mateusz Rajchel wykazał swe zdolności do projektowania nowatorskiej konstrukcji mostowej (rozdział 3). Zaprojektowanie dźwigara hybrydowego, będącego głównym elementem tej konstrukcji, nie było zadaniem rutynowym, wymagało nietrywialnych analiz teoretycznych, a przy tym musiało spełniać formalne warunki stawiane mostom, choćby dotyczące stanów granicznych. Doktorant, przypominam o tym, opracował własną metodę sprawdzania nośności dźwigara hybrydowego. Na duże uznanie zasługują także opisane przez niego badania doświadczalne, również dalekie od rutynowych (rozdział 4). Dotyczyły one zarówno badań ważnych szczegółów konstrukcji – sposobu rozwiązania zespolenia betonu lekkiego z korytkowym, kompozytowym elementem belkowym FRP, jak i hybrydowego dźwigara zespolonego FRP-beton lekki w skali naturalnej. Były to badania statyczne, dynamiczne i zmęczeniowe, a więc program ich był nie tylko obszerny, ale wymagający także umiejętnej interpretacji otrzymanych wyników pomiarów. Następnie Doktorant wykazał biegłość w analizie numerycznej w zastosowaniu do niejednorodnego materiału dźwigara hybrydowego, a następnie całego przęsła mostowego (rozdział 5). Przeprowadził walidacje modeli obu na podstawie rezultatów badań doświadczalnych w skali naturalnej. Wreszcie (rozdział 6) dokonał weryfikacji stanów granicznych, porównując wyniki zastosowanych procedur analitycznych i numerycznych. Na końcu trafnie podsumował całą rozprawę i określił kierunki dalszych badań (rozdział 7). Z tego krótkiego opisu wynika duża wszechstronność badawcza Doktoranta i jego umiejętność projektowania prototypowych rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych.

A4. Badania doświadczalne zostały przeprowadzone należycie, choć – jak zauważono poprzednio – nie należały do rutynowych. Do zastosowanej metodyki tych badań nie wnoszę żadnych uwag krytycznych - mam tylko dyskusyjne, które są podane w dalszej części tej recenzji.

A5. Niekwestionowanym osiągnięciem Doktoranta jest to, że na podstawie przeprowadzonych własnych analiz i badań sformułował zasady kształtowania mostowych dźwigarów hybrydowych (str. 249). Jest to dobry przykład jak dociekania naukowe można „przekuć” w bezpośrednie odniesienia do praktyki inżynierskiej.

A6. Doktorant ma dość pokaźny dorobek publikacyjny. Fragmenty jego rozprawy były przedmiotem sukcesywnie opracowywanych artykułów, które były zamieszczane w międzynarodowych czasopismach wysokiej rangi, na przykład *Structural Engineering International*, *Composite Structures* i *Composites*. Przeszły więc przez wymagające „sito recenzyjne”, co świadczy o ich oryginalności i wysokich wartościach merytorycznych. Opiniowana tu praca w pełni to potwierdza.

A7. Doktoranta cechuje uczciwość badawcza, co warto podkreślić. Nie kryje on pewnych drobnych niepowodzeń (np. str. 217, str. 231), które w pracy naukowej, zwłaszcza

eksperymentalnej, mogą się zdarzyć i oczywiście zdarzają się. To są bardzo cenne wskazówki na przyszłość i dlatego zasługują na pozytywną ocenę.

A8. Warto podkreślić, że praca została pod względem edytorskim przygotowana bardzo starannie. Ilustracje i wykresy są czytelne, a opisy jasno sformułowane. Tekst jest dobrze zredagowany i „lekkie się go czyta”, czego nie można powiedzieć o wielu innych dysertacjach.

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

Ogólnie bardzo pozytywna ocena rozprawy nie oznacza, że nie można w odniesieniu do niej sformułować uwag krytycznych, a przede wszystkim pytań, pobudzających do dyskusji. W tym przypadku przeważają te drugie. To dobrze, bo tylko wybitne prace, a do takich właśnie zaliczam tu ocenianą dysertację, wnoszące coś rzeczywiście nowego, stanowią niezbywalny i twórczy czynnik rozwoju nauki i techniki. Mam zatem następujące najważniejsze uwagi i pytania (oznaczone przez **B** i kolejne numery).

B1. Tytuł rozprawy nieco zawęża jej rzeczywistą treść. Istotnie, projektowany, analizowany i badany eksperymentalnie jest mostowy dźwigar hybrydowy z kompozytów FRP i betonu lekkiego zbrojonego prętami z kompozytu GFRP, ale rozdziały 5. i 6. dotyczą także analiz i badań przęsła mostu zbudowanego z takich hybrydowych dźwigarów. Ponadto, obszerny fragment pracy jest rodzajem zaawansowanego raportu z badań gotowego obiektu przed oddaniem go do użytku. Dlatego bardziej moim zdaniem trafny tytuł dysertacji powinien brzmieć: *„Projektowanie i badania konstrukcji mostu o dźwigarach hybrydowych z kompozytów FRP i betonu lekkiego”*. Wtedy uwidoczniłyby wyraźnie finalny efekt wszystkich podejmowanych studiów, analiz i doświadczeń. To, że dotyczyły one początkowo pojedynczego dźwigara hybrydowego wynikałoby w sposób naturalny z treści rozprawy.

B2. Rozumiem doskonale, że zakres badań przedstawionych w pracy był bardzo szeroki i że trudno wymagać, aby wszystkie potrzebne charakterystyki materiałowe wyznaczać indywidualnie. Niemniej jednak nie można nie zauważyć, że do niektórych analiz przyjmowano wartości zaczerpnięte z norm lub z danych producentów. Innymi słowy „ślepo” powierzono tym źródłom. Tak postąpiono na przykład przyjmując według Eurokodu 3 charakterystyki materiałowe stali S355, zastosowanej do sworzni zespalających (str. 53) lub przyjmując wartości tzw. stałych materiałowych pianki PVC na podstawie informacji producenta (str. 190). Charakterystyki materiałowe stali blach nadłożyskowych przyjęto również według Eurokodu 3 (str. 195). Kontrastuje z tym przyjęcie cech materiałowych betonu lekkiego, zastosowanego do wykonania płyty pomostu, na podstawie własnych badań (str. 191), których wyniki przedstawiono tabelarycznie na stronach 52 i 53 (rozdział 3) oraz własne badania cech materiałowych prętów kompozytowych do zbrojenia płyty (str. 53.). Ale cechy betonu lekkiego klasy LC 30/33 użytego do tzw. kap chodnikowych – znów przyjęto według Eurokodu 2, czyli „na wiarę”. O ile nie wymagałbym własnych badań tego betonu (choć kapy uwzględnione są w modelowaniu) oraz wymienionej pianki PVC, bo mają ona drugorzędne znaczenie, to jednak moim zdaniem własne badania owej „stali sworzniowej” zalecałbym, bo znaczenie tych sworzni jest kluczowe. Być może Doktorant dysponował danymi o cechach stali S355 z jakichś poprzednich badań i uznał wartości normowe za w pełni miarodajne. Tego oczywiście nie wiem. Chciałbym jednak dowiedzieć się dlaczego nie zbadano cech stali S355, skoro realizacja zespolecia była, przynajmniej na gruncie krajowym, prototypowa.

B3. Bardzo interesujące jest stwierdzenie (str. 218, str. 245), że modele numeryczne pozwalają na dokładniejszą ocenę naprężeń w dźwigarach hybrydowych i zbudowanego z nich przęsła mostowym od metod analitycznych. Różnice nie są duże, ale są. Inaczej jest w przypadku obciążeń statycznych, inaczej w przypadku dynamicznych (drżania). Próba wyjaśnienia tego przez Doktoranta jest jednak dość dyskusyjna lub jej po prostu brak (str. 218). Warto więc w przyszłości pogłębić wyjaśnienie tego zagadnienia. Piszę o tym dlatego, że modelowanie jest z natury rzeczy metodą przybliżoną (dyskretyzacja kontinuum), podczas gdy metody analityczne operują zwykle kontinuum. Może w procedurach analitycznych tkwią jakieś błędy?

B4. Sposób „wymuszenia” jak to nazywa Doktorant, pokazany na rys. 4.21. i 4.24. powoduje skręcanie dźwigara hybrydowego. Czy efekt ten był uwzględniany w analizie wyników?

B5. Na czym polegał błąd wyznaczania naprężenia krawędziowego w modelu numerycznym (str. 217)? Warto to wyjaśnić.

B6. Dlaczego w tabeli 5.17. podano wyznaczone na drodze analitycznej i eksperymentalnej wartości tylko pierwszej postaci drgań własnych przęsła, choć numerycznie wyznaczono dalsze (aż do piątej postaci)?

B7. Jak zdefiniowany jest indeks zniszczenia laminatów (str. 238)? Dotyczy to też indeksu A-Z-H (chodzi zapewne o nazwę hipotezę wytrzymałościowej, którą należy w odnośniku podać w pełnym brzmieniu) w tabeli 6.1., str. 244.

B8. Wyjaśnienia wymaga ostatnie z zaleceń Doktoranta, dotyczące kształtowania dźwigarów hybrydowych typu FRC-beton (str. 249). Brzmi ono: *w płytach betonowych należy stosować zasadniczo beton zwykły, lecz w przypadku konieczności obniżenia masy przęsła można zastosować beton lekki; dla zwiększenia trwałości płyty betonowej zalecane jest stosowanie zbrojenia z prętów kompozytowych GFRC*. Mam w związku z tym pytanie – w jakich konkretnych przypadkach zależy nam na obniżeniu masy przęsła? Może to wystąpić na przykład przy modernizacji obiektu, gdy obniżenie ciężaru własnego płyty pomostu prowadzi do braku potrzeby wzmacniania belek lub dźwigarów głównych. Wtedy jednakże elementy te nie są wykonane w kompozytów CFRP. W nawiązaniu do tego rad bym się dowiedzieć, co wpłynęło na decyzję zastosowania betonu lekkiego w moście w Białowej.

B9. W nawiązaniu do zaleceń dotyczących kształtowania konstrukcji mostowych z dźwigarów hybrydowych jedna jeszcze uwaga. Autor pisze (str. 249, w11g), że „...liczba dźwigaróww typowej szerokości przęsła belkowego mostu drogowego wynosi 3 lub 4...”. Nie podzielam bezkrytycznie tego zalecenia. W ustrojach belkowych mostów drogowych liczba belek powinna być zawsze parzysta. Gdy jest nieparzysta, to udział środkowej belki w sztywności przęsła na skręcanie jest prawie żaden. Nie należy więc promować błędnych wzorców.

B10. Na str. 59, w5d i dalsze Autor w sposób właściwy stosuje i interpretuje termin (pojęcie) *wyłączenie*, odnosząc je do kryteriów (powinno być hipotez) wyłączeniowych. Natomiast w wielu innych miejscach (np. na str. 113, 175) pojęcie to mylnie utożsamiane jest ze stopniem wykorzystania naprężeń.

B11. Ta uwaga jest niejako poza treścią rozprawy. Formułuję ją z czystej ciekawości.

Otóż w kompozytowej części dźwigarów zastosowanych w moście w Błazowej, u ich spodu nie zauważyłem żadnych otworków odwadniających. Wiem, że projektanci starali się zapewnić szczelność dźwigarom. Ale doświadczenie wskazuje, że betonowa płyta pomostu (zwłaszcza z betonu lekkiego) rzadko bywa idealnie szczelna. Dlatego po kilku latach eksploatacji we wnętrzu korytka kompozytowej części dźwigara może gromadzić się woda, może nawet zasolona. Czy to niczym nie grozi trwałości kompozytu? Po prostu nie wiem tego, ale na wszelki wypadek dziurki u spodu bym wywiercił. *A propos* – czy dźwigarom w Błazowej nadano jakieś niewielkie choćby pochylenie wzdlużne?

Zagadnień wartych dyskusji można by sformułować znacznie więcej, bo opiniowana praca jest tego warta. Poprzestanę 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 w ewentualnych następnych publikacjach fragmentów rozprawy, jej Autor mógł usunąć wskazane usterki, jeśli oczywiście się zgodzi z recenzentem. Są to następujące uwagi (oznaczone przez C i kolejne numery).

C1. Str. 10, w8g – Włókna węglowe, szklane i bazaltowe nie są włóknami syntetycznymi (natomiast są nimi włókna aramidowe). Dlatego ten sposób podania informacji, która zastosował Doktorant, nie jest ścisły.

C2. Str. 20, rys. 2.2.B) – Z rysunku wynika, że rdzeń jest także zginany, występuje w nim oczywiście także ścinanie, ale przecież nie tylko. Opis tego rysunku warto więc skorygować.

C3. Str. 24, rys. 2.5. – Brak jest podania źródła rysunku.

C4. Str. 33, w6d – Zasada jest, że każdy występujący w tekście po raz pierwszy skrót powinien być rozwinięty (wyjaśniony). Dlatego trzeba to uczynić odnośnie do VARTM (*Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding – próżniowe wspomagani przetłaczania żywicy w formach?*)

C5. Str. 35, rys. 2.16 – Chyba chodzi o *tuk wewnętrzny*, a nie o *zbrojenie ściskane*. Być może czegoś z tego rysunku nie rozumiem.

C6. Str. 38, w5d – Mowa jest o zastosowaniu do budowy mostu w 2000 roku, ale z powołaniem publikacji [116] z roku 1999 – czyżby w niej była wyprzedzająca ukończenie mostu wiadomość?

C7. Str. 52, w4d – To niby drobna sprawa, ale zwracam na nią uwagę w celach porządkowych. We wskazanych miejscach i w wielu innych, cytowanie źródeł nie odpowiada kolejności ujętej w piśmiennictwie – np. jest [89], [98], [97], zamiast [89], [97]. [98], lub – str.76 – jest [57], [11], [135], zamiast [11], [57], [135]., etc..

C8. Str. 57, w1d – Trzeba chyba dopisać wzór (3.1.) do podanych wzorów (3.4.) i (3.5.) skoro chodzi o obliczeniowe charakterystyki materiałowe.

- C9.** Str. 77, w2g – Tablica 3.19., nie 3.18.
- C10.** Str. 92, w7g – Wzór (3.38) nie dotyczy macierzy.
- C11.** Str. 105, w15g – Powinno być powołanie na rys. 3.24. na str. 106, a nie na rys. 3.23., który jest na str. 88 i dotyczy czego innego.
- C12.** Str. 111, w9d – Nie *zastosowana*, tylko *wykorzystana w 79,7%*.
- C13.** Str. 114, w9d – Pozycja [105] nie jest normą. Zdanie jest błędnie sformułowane, bo chodzi przecież o jedną z poprzednich publikacji współautorskich Doktoranta.
- C14.** Str. 117, w1d – Z rys. 4.5. nie wynika, aby *rejestracja wyników odbywała się z częstotliwością równą 2 Hz*.
- C15.** Str. 128, w3d i następne – Powinno być powołanie na rys. 4.12., a nie 4.14.
- C16.** Str. 129, rys, 4.16 – Prawe łożysko powinno być nazwane *nieprzesuwnym*, nie zaś *stałym*. Nota bene, łożysk stałych nie ma, są tylko nieprzesuwne właśnie, bo gdy przenoszą przemieszczenia kątowe podlegają ruchowi, tyle tylko, że nie liniowemu.
- C17.** Str.130, w5d – Zdanie jest wewnętrznie sprzeczne, bo jeżeli *lokalizowano ewentualne uszkodzenia*, to znaczy, że one wystąpiły skoro je lokalizowano, więc nie były ewentualne. Wystarczyło zatem napisać: *...lokalizowano uszkodzenia...* lub *...szukano ewentualnych uszkodzeń...*
- C18.** Str. 138, rys. 4.25. i 4.26. – Na osi poziomej występuje nie *rozpiętość*, tylko długości odcinków, na które podzielono przęsło o rozpiętości 21 m. Trzeba było zatem oś poziomą opisać jako *długość odcinków przęsła*.
- C19.** Str. 139, w1g – Czy chodzi rzeczywiście o *ugięcie czy przemieszczenie pionowe*? Przypominam – ugięcia nigdy nie podlegają bezpośrednim pomiarom, mierzone są zawsze przemieszczenia, w tym przypadku pionowe. Poza tym, na tejże stronie, w7d – nie tabela 4.8., tylko tabela 4.9.
- C20.** Str. 141, w3g – Nie tabela 4.9, tylko tabela 4.10.
- C21.** Str. 145, w1d – Nie tabela 4.10., lecz tabela 4.11.
- C22.** Str. 146, w3d – Nie w tabeli 4.11, tylko w tabeli 4.12.
- C23.** Str. Str. 148 – Należy powoływać się na rys. 3.36., a nie na 4.35.
- C24.** Str. 159, rys. 4.37. – W nagłówku tabeli z rysunkami nie wyjaśniono co oznaczają (a) i (b).
- C25.** Str. 151, w8g – Należy powołać się na rys. 4.38, a nie 4.37.
- C26.** Str. 162, rys. 4.45. ÷ 4.47. – Patrz uwaga **C18**. Poza tym, czy to są rzeczywiście ugięcia, czy przemieszczenia pionowe? To samo pytanie dotyczy tekstu na str. 166.

C27. Str. 171, rys. 4.51. ÷ 4.53. – Patrz uwagi C18. i C26.

C28. Str. 176, w11g – Słowo *wyczerpana* jest niewłaściwie użyte, skoro poziom naprężeń w laminatach osiągnął tylko 7% ich wytrzymałości. Można mówić tylko o niskim stopniu wartości występujących w laminatach naprężeń w porównaniu z ich wytrzymałością na rozciąganie.

C29. Str. 178 – Czy oś sprężysta to po prostu oś obojętna?

C30. Str. 190, rys. 5.3. – Na wykresie jest przedstawiona relacja $\sigma - \varepsilon$ (liniowa), dotycząca pianki PVC. Nie ma natomiast ujawnionych i zapowiadanych związków (dlaczego liczba mnoga?) konstytutywnych (w3g).

C31. Str. 205, w3d – Nie ma łożysk stałych (por uwaga C16.). Ponadto, nazwa *łożysko wielokierunkowo przesuwne* jest błędna (choć niestety używana), gdyż tych kierunków jest nieskończenie wiele – są to łożyska dowolnie przesuwne, to jest ich właściwa nazwa.

C32. Str. 209 i 210, rys 5.26. ÷ 5.28. – Patrz uwagi poprzednio sformułowane uwagi C18., C26. i C27.

C33. Nie znalazłem w tekście powołań na pozycje:[10], [101], [133], ale mogłem coś przeoczyć.

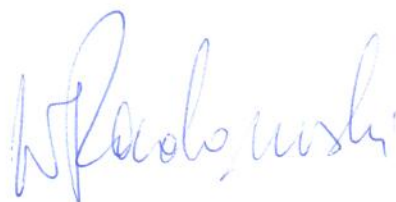
C34. Uwagi językowe (niektóre). Str. 10, w7d – nie *...jest stale monitorowane ...*, tylko *...jest stale monitorowanych...* Str. 13, w5g - *...procedur projektowania przedmiotowego elementu i/lub konstrukcji...*, to raczej język biurowy, a nie prac naukowych. Uwaga ta dotyczy także innych fragmentów tekstu. Str. 16, w2d – lepiej jest napisać *... koniecznych jego zdaniem do przeprowadzenia... ”*. Str. 19, w4g – zwrot *...pełni także rolę osłony dla włókien...* jest rusycyzmem (jeśli *dla* nie dotyczy rzeczowników ożywionych, np. osób); powinno być: *...rolę osłony włókien...* Uwaga ta dotyczy wielu innych fragmentów tekstu pracy (np. str. 120: *obciążenie dla próbki* zamiast *obciążenie próbki*, etc.). Str. 19, w4g – nie *...pomiędzy* (pierwsze znaczenie: *wśród*), tylko *...między...* Uwaga ta dotyczy także wielu innych fragmentów tekstu pracy. Str. 19, w6d - *...kompozyt szklany GFRP...* to niezbyt udany skrót myślowy – lepiej napisać: *...kompozyt w włóknami szklanymi (GFRP)*. Str. 21, w8d – nie *...bardzo dużo metod...* (bo metody, to zbiór policzalny), tylko *...wiele metod...* Str. 21, w5d – zamiast *...w rozdziale ograniczono się ...*, lepiej napisać *...ograniczono się tu ...* Str. 25, w2d – lepiej nie pisać w jednym zdaniu dwukrotnie *kompozytów* – powinno być: *...wzrostu ich zastosowań w mostach*. Str. 34, w2g – w pracach naukowych lepiej jest unikać mało ostrych określeń, jak np. *doskonale zachowanie*. Str. 44, w10g – lepiej jest pisać *na przykład* niż *przykładowo*. Uwaga ta dotyczy także wielu innych miejsc w tekście. Str. 90, w6d – Nie *dedykowanego kryterium wytrzymałościowego*, tylko *przyjętego, odpowiedniego* lub *wybranego kryterium wytrzymałościowego*. Str. 95, w1g – Nie *wykonano ze wzorów*, tylko *wykonano według wzorów*.

C35. W tekście jest wiele tzw. literówek oraz uchybień interpunkcyjnych. Nie wszędzie zachowane są spacje między wyrazami. Trzeba to poprawić przed dalszymi publikacjami fragmentów pracy.

5. Wniosek końcowy

Podsumowując niniejszą opinię stwierdzam, że rozprawa Pana mgr inż. Mateusza Rajchela pt. „*Projektowanie i badania hybrydowego dźwigara mostowego z kompozytów FRP i betony lekkiego*” spełnia warunki merytoryczne i formalne stawiane dysertacjom doktorskim. Pracę tę oceniam wysoce pozytywnie, czemu dałem wyraz w poprzednich punktach recenzji. Co więcej, uważam ją za wybitną, ujętą holistycznie i zawierającą istotne, oryginalne elementy badawcze, znacznie rozszerzające zakres poznania (nauka), oraz nowatorskie elementy aplikacyjne (technika).

Z satysfakcją przeto stawiam wniosek o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony wymienionej rozprawy.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'W. Rajchel'.