

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
e-mail: w.radomski@il.pw.edu.pl

Warszawa, dnia 23 sierpnia 2021 roku

RECENZJA
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ PANA MGR INŻ. MICHAŁA STAŚKIEWICZA
PT. „SKUTECZNOŚĆ ZASTOSOWANIA KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH
Z WŁÓKNAMI WĘGLOWYMI DO WZMACNIANIA BELKOWYCH
KONSTRUKCJI Z BETONU SPRĘŻONEGO”

1. Podstawa formalna i przedmiot recenzji

Niniejszą recenzję opracowałem na prośbę Pani prof. dr hab. inż. Renaty Kotyni, Prodziekana ds. Rozwoju Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej. Skierowane do mnie w tej sprawie pismo nosi datę 07 lipca 2021 roku. Jest w nim nawiązanie do Uchwały Rady ds. Stopni Naukowych, która w dniu 08 lipca 2020 roku powołała mnie na recenzenta pracy doktorskiej Pana mgr inż. Michała Staśkiewicza.

Przedmiotem recenzji jest jego rozprawa zatytułowana „*Skuteczność zastosowania kompozytów polimerowych z włóknami węglowymi do wzmocnienia belkowych konstrukcji z betonu sprężonego*” i przygotowana pod kierunkiem Pani prof. dr hab. inż. Renaty Kotyni jako promotora. Rozprawa ta została ujęta w dwóch tomach. Pierwszy tom (I), liczący 344 strony wydruku komputerowego formatu A4, stanowi zasadniczą jej treść. Tom drugi (II), liczący 194 strony różnego formatu (ale przedstawionego też w formacie A4), jest załącznikiem, w którym umieszczono tabelarycznie przedstawione wyniki badań wraz z ilustracjami, rysunki konstrukcyjne i obliczenia projektowe – innymi słowy jest to szczegółowa dokumentacja uzupełniająca tom pierwszy.

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

Mimo, że wzmocnianie konstrukcji, zwłaszcza mostowych za pomocą wyrobów z kompozytów polimerowych z włóknami, głównie węglowymi (ang. *Carbon Fibre Reinforced Polymer*, w skrócie CFRP, powszechnie przyjętym również w Polsce), stosowane jest już od około trzech dekad, to nadal należy do najnowszych kierunków badawczych i aplikacyjnych w inżynierii lądowej. W dalszym ciągu prowadzone są w tym obszarze intensywne badania, mające na celu udoskonalanie metody i uściślanie procedur projektowych. W ostatnich latach dotyczy to przede wszystkim wzmocnień konstrukcji betonowych na zginanie za pomocą sprężania taśm kompozytowych, a więc metod aktywnych, oraz wzmocniania konstrukcji betonowych na ścinanie za pomocą mat kompozytowych. Do tego właśnie współczesnego nurtu należy opiniowana tu rozprawa doktorska Pana mgr inż. Michała Staśkiewicza. Z bardzo

ogólnie podanych tu powodów wynika, że już sama problematyka pracy Doktoranta zasługuje na uznanie.

Drugą cechą jego dystertacji jest to, co nazywamy obecnie ujęciem holistycznym, czyli całościowym. Rzadko się zdarza, aby prace doktorskie obejmowały tak kompletny zakres zagadnień. W opiniowanej rozprawie mamy przedstawienie głównego celu pracy, który polega na pionierskim wzmocnieniu za pomocą naprężonych taśm z kompozytu CFRP istniejącej i eksploatowanej konstrukcji mostowej, przy użyciu innowacyjnej metody gradientowej, eliminującej potrzebę mechanicznego kotwienia tych taśm. Następnie opis badań materiałów zastosowanych do badań belek mostowych w laboratorium oraz opis laboratoryjnych badań belek w skali naturalnej, ich analizy obliczeniowe według norm projektowania oraz ich analizy komputerowe, wreszcie obliczenia dotyczące wzmocnianego obiektu mostowego w Szczercowskiej Wsi, przebieg wzmocnienia oraz wyniki obciążeń próbnych po zakończeniu wszystkich prac. Każdy z wymienionych etapów został w pracy szczegółowo i ze znanstwem udokumentowany.

Praca ma jasno sformułowane główny cel oraz zasadniczą tezę (str. 14), która została udowodniona, na co zwrócona będzie jeszcze uwaga w punkcie 3. recenzji. Autor tylko niepotrzebnie 8 celów składowych (lub cząstkowych) celu głównego nazywa drugorzędnymi i trzy tezy składowe (lub cząstkowe, ewentualnie pomocnicze) zasadniczej tezy tezami drugorzędnymi, bo to obniża rangę tych składowych, a przecież mają one duże znaczenie merytoryczne.

Trzeba podkreślić, że program badawczy stanowiący sedno rozprawy został zrealizowany w ramach współpracy międzynarodowej między Politechniką Łódzką i Eidgenössische Material Prüfungs-und Forschungsanstalt - EMPA (ang. Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology) w Zürichu. Wymieniona szwajcarska placówka ma renomę światową. Doktorant, dzięki swej Pani Promotor, mającej ugruntowaną już wysoką pozycję naukową w skali nie tylko krajowej, przeszedł zatem bardzo dobrą szkołę badawczą. Jest to wyraźnie zauważalne w jego rozprawie.

Szczegółowa ocena merytoryczna rozprawy jest przedmiotem punktu 3. recenzji. Tu stwierdzić tylko należy, że jej treść przedstawiona jest klarownie, a układ rozdziałów logiczny. Słowem ta bardzo obszerna praca jest dobrze zredagowana. Podział na tzw. część zasadniczą i załączniki jest uzasadniony. Przy tak ogromnym trudzie przygotowania rozprawy można Doktorantowi wybaczyć, że nie powołuje się w tekście na konkretne załączniki z ich spisu w tomie II, ograniczając się tylko do napisania, że szczegółowe informacje są w załączniku bez podania jego numeru (por. strony 60, 91, 93, 103, 121, 122, 123, 128, 169).

Bibliografia rozprawy jest dość obszerna i obejmuje łącznie 231 pozycji. Jest ona zupełnie wystarczająca i świadczy o dogłębnym przestudiowaniu przez Doktoranta wszystkich istotnych zagadnień wchodzących w zakres tematyczny jego dociekań naukowych i zastosowań praktycznych.

Ponieważ przywiązuję dużą wagę do sposobu przywoływania publikacji i innych źródeł w pracach naukowych, to w uwagach szczegółowych (punkt 4. recenzji) zamieściłem zauważone usterki z tego zakresu (uwaga C.3.). Ponadto uważam, że prostsze byłoby cytowanie przez podanie numeru pozycji w spisie piśmiennictwa. Doktorant przyjął inny sposób (autor, rok publikacji), który też bywa stosowany, więc szanuję ten jego wybór.

Bardzo duże znaczenie przypisuję również poprawnej polszczyźnie w tekstach naukowych. Dysertacja jest na ogół napisana dość dobrze pod względem językowym. To „na ogół” jest dlatego, że niektóre spostrzeżone uchybienia zamieściłem w uwagach szczegółowych (por. uwagi C.26. ÷ C.28.).

Inne uwagi szczegółowe, głównie o znaczeniu porządkowym, są sformułowane również w punkcie 4 recenzji.

3. Merytoryczna ocena rozprawy

Już na samym wstępie tej części recenzji stwierdzam, że rozprawę doktorską Pana mgr inż. Michała Staśkiewicza oceniam wysoce pozytywnie. Uzasadniam to następującymi, ujętymi w punktach, argumentami (oznaczonymi przez A i kolejne numery).

A.1. Jak już wspomniano, dużą wartością pracy jest sam wybór jej tematyki. Tematyka ta jest w dużym stopniu nowatorska. Jako najbardziej spektakularny tego przykład należy wymienić gradientową, bez zakotwień mechanicznych, metodę mocowania taśm kompozytowych CFRP do wzmacnianych elementów konstrukcyjnych, pozwalającą na stopniowanie wartości wprowadzanych do nich sił sprężających służących wzmocnieniu. Wdrożenie tej technologii do polskiego mostownictwa przez pionierskie jej zastosowanie do wzmocnienia realnego, będącego w eksploatacji obiektu mostowego, uważam za bardzo ważne osiągnięcie.

A.2. Głównym celem pracy było właśnie (str. 14): „...wykonanie pionierskiej aplikacji wzmocnienia konstrukcji mostu przy użyciu naprężonych kompozytów CFRP z zastosowaniem innowacyjnej metody wzmocnienia tzw. metody gradientowej na konstrukcji mostu będącego w czynnej eksploatacji”, natomiast zasadnicza jej teza to (str. 14): „Wzmocnienie konstrukcji sprężonych przy użyciu naprężonych kompozytów CFRP aplikowanych innowacyjną, bezkotwiową metodą gradientową jest możliwe do wykonania oraz efektywne w zastosowaniach do istniejących obiektów mostowych”. Pomijając pewne niezręczności językowe (por. punkt 4., recenzji, uwagi C.27. i C.28.), to zarówno cel, jak i teza rozprawy są przekonujące. Autor realizował je krok po kroku. Główny cel został podzielony na 8 celów składowych (częstkowych), zasadnicza zaś teza - na trzy tezy składowe. Układ pracy odpowiada stopniowemu urzeczywistnianiu wszystkich ośmiu celów na drodze przedstawienia stanu wiedzy w obszarze tematycznym pracy oraz na drodze analiz i badań doświadczalnych cech zastosowanych materiałów, laboratoryjnych badań niewzmocnionych i wzmocnionych belek w skali naturalnej, wreszcie procesu wzmocnienia realnego mostu i jego badań pod obciążeniem próbnym po wzmocnieniu. Ten sam sposób postępowania (tj. krok po kroku) przyjął Doktorant odnośnie do trzech tez składowych – najpierw wykazał efektywność wzmocnienia belek za pomocą innowacyjnej metody gradientowej w warunkach laboratoryjnych, następnie wykazał na drodze obliczeniowej zachowawczość dotychczasowych ujęć normowych, i na koniec udowodnił możliwość zastosowania oraz przydatność owej nowatorskiej metody do wzmacniania realnych obiektów mostowych. Taka w skrócie tu tylko podana procedura badawcza świadczy o – jak to się dzisiaj określa – holistycznym, czyli kompletnym (lub całościowym) ujęciu tematyki dysertacji. To – jak już podkreślono – bardzo rzadko obecnie spotykany przypadek w pracach doktorskich, zasługujący na duże uznanie.

A.3. Opis wszystkich zastosowanych procedur badawczych jest w opiniowanej rozprawie na tyle szczegółowy, że mogą być one powtórzone przez innych. To – niestety

zapomniany obecnie dość często – warunek rzetelności prac naukowych. Warto przy tym podkreślić, że Doktorant nie kryje pewnych niepowodzeń w realizacji programu badawczego. Przykładem tego może być nieskuteczność zastosowania do pomiarów optycznego systemu ARAMIS (str. 155, wlg i dalsze). Bardzo pochwalam ten sposób prezentacji doświadczeń, bo stanowi to dowód uczciwości badawczej Doktoranta.

A.4. Autor rozprawy bardzo szczegółowo przedstawił w niej wyniki wszystkich badań eksperymentalnych i tych w skali mikro (tj. na próbkach materiałów) i tych w skali makro (tj. belek w laboratorium i mostu pod próbnym obciążeniem). Umiejętnie i z pewną dozą krytycyzmu naukowego zinterpretował uzyskane wyniki. Nie wnoszę w tym zakresie żadnych istotnych uwag krytycznych – drobne sprawy są poruszone w uwagach szczegółowych (punkt 4. recenzji). Wykazał więc skrupulatność i zarazem dojrzałość badawczą.

A.5. Oprócz realizacji programu doświadczalnego, Doktorant przeprowadził wiele analiz obliczeniowych według procedur normowych oraz z zastosowaniem MES. Zrobił to należycie. Warto moim zdaniem tytułem przykładu, pokreślić jeden tylko wynik jego dociekań. Otóż na str. 222, jest rysunek 7.47, przedstawiający porównanie laboratoryjnych rezultatów badań nośności belek z ich nośnościami obliczonymi według norm PN, 1991 i EN, 2011 oraz nośnością wynikającą z analizy komputerowej wykonanej za pomocą MES. Otóż z porównania słupków na tym rysunku, dotyczących niewzmocnionej i wzmacnionej belki wynika, że najbardziej zbliżone do rezultatów doświadczalnych są rezultaty obliczeń według PN, 1991 oraz obliczeń MES-owskich. Największe różnice wykazują obliczenia przeprowadzone według normy EN, 2011, jako najbardziej zachowawcze. To daje do myślenia, bo może ta stosunkowo dawna norma PN nie była tak przestarzała jak się powszechnie uważa. To co napisałem świadczy o tym, że opiniowana dysertacja może być także źródłem modyfikacji ujęć normowych. Potwierdzeniem tego są także stwierdzenia Doktoranta na str. 326

A.6. Z całej pracy przebija wszechstronność i biegłość badawcza doktoranta zarówno w obszarze eksperymentalnym jak i analitycznym, obliczeniowym. Analizy obliczeniowe, przedstawione w pracy i dotyczące nośności belek za względu na zginanie i ścinanie są przeprowadzone wszechstronnie, bardzo szczegółowo i sumiennie - nie budzą zastrzeżeń.

A.7. Warto jeszcze zwrócić uwagę, dokonując ogólnej oceny pracy, na odwagę i zarazem rozwagę badawczą i techniczną, co stanowi ważny rys dysertacji. Ujmując sprawę jak najkrócej stwierdzić należy, że zanim zdecydowano się na wzmacnienie za pomocą pionierskiej metody mostu w Szczercowskiej Wsi, rozpoznano najpierw – używając wojskowego określenia – „bojem” możliwość realizacji tego zamiaru. Dlatego podjęto badania niewzmocnionych i wzmacnionych belek w skali naturalnej. Dopiero w wyniku uzyskania pozytywnych rezultatów badań, przystąpiono do wzmacnienia tego obiektu. Ilustruje to ściśle związki nauki i techniki, w tym przypadku w obszarze mostownictwa.

A.8. Autor wykazał bardzo dobre rozeznanie stanu wiedzy światowej w obszarze badawczym, którym się zajął. Co więcej, umiejętnie zastosował tę wiedzę do własnych analiz. Jako przykład niech posłuży skonfrontowanie wyników badań i obliczeń dotyczących ścinania belek z rezultatami obliczeń wykonanych według modelu Mariego i innych [130]. Model ten wykazał większą zgodność z wynikami doświadczeń wykonanych przez Doktoranta od obliczeń według ujęć normowych.

A.9. Nie ulega wątpliwości, że praca doktorska Pana mgr inż. Michała Staśkiewicza wydatnie poszerzyła zakres poznania dotyczący nie tylko wzmacniania betonowych elementów

konstrukcyjnych za pomocą naprężanych kompozytowych taśm CFRP z użyciem nowatorskiej metody gradientowego wprowadzania sił sprężających, ale także efektywności wzmacniania tych elementów na ścinanie za pomocą oplotów z mat, stosowanych w sposób bierny. To poszerzenie wiedzy pozwoliło na zastosowanie jej w praktyce. Powtórzmy, że wszystkie cele dysertacji zostały osiągnięte i wszystkie tezy udowodnione.

A.10. Duże znaczenie przypisuję temu, że Autor rozprawy znaczną część dobrze pomyślanego programu badawczego realizował w ramach współpracy Politechniki Łódzkiej z EMPA, szwajcarską placówką naukową o światowej renomie, na co wskazano już w punkcie 2. recenzji. Miał więc możliwość poznania najnowszych metod badawczych i procedur realizacji doświadczeń. Jest to widoczne niemal we wszystkich fragmentach jego rozprawy. Do tego poznał co to jest praca zespołowa w badaniach naukowych. Ma więc za sobą dobrą szkołę, która – jak można sądzić – będzie procentować w dalszym rozwoju naukowym Doktoranta.

Można by znaleźć zapewne więcej jeszcze argumentów uzasadniających wartość opiniowanej dysertacji. Poprzestanę 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 merytorycznej dyskusji, do której skłaniają dobre prace. To rzecz naturalna, bo to właśnie stanowi niezbywalny i twórczy czynnik rozwoju nauki. Mam zatem następujące najważniejsze uwagi i pytania (oznaczone przez **B** i kolejne numery).

B.1. W opisie wzmacniania konstrukcji mat (lub tkanin) kompozytowych (str. 35) zabrakło wzmianki o pierwszym światowym zastosowaniu metody SIKAWRAP do wzmocnienia mostu nad kanałem Bystrym koło Augustowa w Polsce w 1998 roku. Było to niewątpliwie osiągnięcie na skalę przecież nie tylko krajową.

B.2. Str. 39, w2d – Czy straty sprężania *zaobserwowano* czy *pomierzono* lub *obliczono*? Straty te, wyrażone na dodatek w %, są niemożliwe do zaobserwowania.

B.3. Podpunkty 2.1.3 (str. 41 i 42) oraz 2.1.4 (str. 42 i 43) – Dyskusyjne według mnie jest nazwanie badanych elementów płytami. Jeżeli element jest zginany jednokierunkowo (jednowymiarowo czyli tylko wzdłużnie, bo zginanie w kierunku poprzecznych trudno nawet nazwać śladowym), a tak było w obu przedstawianych przez Doktoranta przypadkach, to są to po prostu belki, tyle że szersze niż wyższe. Można je więc nazwać co najwyżej pasmami płytowymi. Natomiast płytami nazywamy elementy zginane dwukierunkowo.

B.4. W punkcie 4.1.2. (str. 93) jest opis zbrojenia dźwigarów za pomocą prętów i strzemion. Zwykle pręty zbrojeniowe mają średnicę większą od średnicy strzemion, tu jest odwrotnie: wzdłużne pręty rozciągane i ściskane mają średnicę 6 mm, strzemiona zaś, stanowiąc zbrojenie poprzeczne – 8 mm. Ponadto półki dźwigara zbrojono jeszcze prętami 6 mm, górną zaś półkę dodatkowo prętami średnicy 8 mm. Co wpłynęło na taki dobór tych średnic? Czy konieczność silnego zbrojenia na ścinanie mimo redukcji wartości sił poprzecznych wobec zagięcia trasy kabli w strefie przypodporowej? Czy pręty rozciągane o średnicy mniejszej od strzemion można nazywać prętami głównymi (jak z żelbecie, bo w tym przypadku zbrojenie główne, to kable sprężające), nawet gdy są one uwzględniane w obliczeniach jako zbrojenie pasywne (np. p. 7.2.2.)? Czy to była wierna rekonstrukcja belek

WBS w istniejącym i mającym być wzmocnianym moście (por. wzmianka na str. 14, cel składowy nr 2)?

B.5. Jak wspomniano w punkcie 2 tej recenzji, zakres badań był bardzo szeroki obejmował też badania materiałów zastosowanych do wykonania belek obciążanych w laboratorium. Badano beton, stal zbrojeniową oraz taśmy i maty kompozytowe CFRP, a nawet kleje (str. 121 ÷ 123). W tym kontekście warto zapytać dlaczego nie badano cech stali sprężającej, poprzestając na informacjach od producenta (Tabela 5.1.). W badanych belkach stal sprężająca pełni znacznie ważniejszą rolę od tzw. stali miękkiej (zbrojeniowej). Pytanie to nie jest bezzasadne, bo ma swoje konsekwencje. Otóż na str. 192, w13g i dalsze Doktorant pisze: *„Powtórna analiza obliczeniowa wykazała, że najlepsza zbieżność wyników obliczeń normowych z wynikami badań doświadczalnych osiągana jest przy założeniu granicy plastyczności stali sprężającej wynoszącej 1730 MPa. Pozwala to przypuszczać, że dostarczona przez producenta kabli sprężających stal miała w rzeczywistości wyższe parametry wytrzymałościowe niż podano w karcie technicznej”*. Gdyby cechy stali sprężającej zbadano, nie trzeba by było niczego przypuszczać...

B.6. Na rys. 8.1. i rys. 8.2. (str. 253) pokazany jest przekrój poprzeczny przęsła mostu we Wsi Szczercowskiej przed jego wzmocnieniem oraz po przebudowie, polegającej na poszerzeniu pomostu z 7,40 m na 10,20 m oraz wzmocnieniu istniejących pięciu belek głównych typu WBS. Konsekwencją wspomnianego poszerzenia było dodanie dwóch nowych belek skrajnych po każdej stronie przęsła (belki B0 i B6, rys. 8.2b), str. 254). Poza tym, że belki te mają prostokątny przekrój poprzeczny o wymiarach 100 cm x 40 cm i każda z nich jest sprężona pięcioma kablami, co wynika z rysunku, nic więcej o tych belkach nie napisano. Trochę szkoda, bo w komputerowych obliczeniach sił przekrojowych belki te uwzględniono (np. rys. 8.8., str. 279), ale nie wiemy choćby tego jakie przypisano im sztywności, a są one większe od sztywności oryginalnych pięciu belek. Poza tym nie wyznaczono (przynajmniej nie umieszczono na rysunkach) wartości sił wewnętrznych w tych dodanych belkach. Rozumiem, że głównym przedmiotem zainteresowania było wzmocnienie istniejących belek, ale gdyby nie owe dodane belki skrajne, zakres i intensywność wzmocnienia byłyby zapewne inne. Wynika to głównie z faktu, że konsekwencją dobudowania belek skrajnych jest redystrybucja sił wewnętrznych w stosunku do układu sił w oryginalnej konstrukcji. Szkoda zatem, że nie wyznaczono sił przekrojowych w oryginalnej konstrukcji i nie porównano ich wprost z wartościami tych sił w nowej, siedmiobelkowej wersji przęsła. Warto było też napisać jak w programie komputerowym uwzględniono poprzeczny rozkład normowego obciążenia użytkowego mostu. Ponadto warto było wyjaśnić dlaczego obliczone maksymalne ugięcie belek mostu przed remontem było równe 3,9 mm, a po remoncie (czyli także po wzmocnieniu) – 9,3 mm (czyli prawie dwu i półkrotnie większe) – str. 305, w13g.

B.7. Warto mieć pogląd na konsekwencje zrozumiałego skądinąd przesunięcia czasowego w badaniach belek w laboratorium. Jak wynika z informacji podanej na str. 138, w8g, badania belek niewzmocnionych wykonana 5 lipca 2012 roku, natomiast wzmocnionych – 29 października 2013 roku (str. 147, w8g), czyli około 16 miesięcy później. Nie znalazłem niestety informacji jaki był wiek badań obu rodzajów belek w dniu ich badania (być może nie umiałem znaleźć tej informacji). Jeżeli były wykonywane w zbliżonych do siebie terminach, to rzeczywiste cechy betonu w dniu badań mogły być nieco inne w obu belkach. Nie sądzę, aby to miało jakiś istotny wpływ na wyniki badań i ich porównanie, proszę tylko po prostu o ustosunkowanie się do tej sprawy.

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 następnych publikacjach fragmentów rozprawy, jej Autor mógł je usunąć, jeśli oczywiście się z nimi zgodzi. Są to następujące uwagi (oznaczone przez C i kolejne numery).

C.1. Str. 18, w3g – Autor wymienia dwie metody produkcji laminatów (słowo *gotowych* jest zbędne): *pultruzję* i *infuzję*. Opisuje jednak tylko na czym polega ta pierwsza. Dlaczego?

C.2. Str. 19, tabela 1.1. – Należałoby wyjaśnić co to są włókna PBO i PET.

C.3. Str. 12, w9g – w tekście jest (Lasek, 2017), a bibliografii (ładnie nazwanej *piśmiennictwem*, a nie *literaturą*) przy pozycji [125] jest rok 2016. Str. 22, podpis rys. 1.2. oraz w15g – Nie znalazłem w bibliografii pozycji (Kotynia 2020) i (Kotynia 2019). Ta druga pozycja jest także wymieniona na str. 23 w podpisie rys. 1.3. Str. 24, w14g – Powinno być (*Mukherjee, Rai, 2009*), bo jest tylko dwóch autorów pracy [143]. Str. 24, w12d – *Franca* (tak jest w tekście), czy *França* (tak jest w piśmiennictwie – [78]); to we francuskim istotna różnica. *Nota bene* pozycja [78] powinna być umieszczona po kilku pozycjach dotyczących publikacji *fib*. Str. 32, w3g – Jest (JSCE 2000), a wykazie piśmiennictwa (JSCE 2001) – jak powinno być? Str. 32 – Brak źródła rys. 1.16. Str. 37, w5d – Jest (Tabrizi i inni 2017), a w pozycji [196] piśmiennictwa (Tabrizi i inni 2015). Proszę o sprawdzenie, czy pozycje [28], [33], [51], [52], [70], [82], [112], [115], [138], [201], [202], [210] cytowane są w tekście – ja cytowałem tych publikacji nie znalazłem, ale mogę oczywiście je przeoczyć.

C.4. Str. 30, w1d – Trzeba podać źródło tej informacji (zapewne www.tenroc.se) tak, jak to uczyniono w podpisie rys. 1.13.

C.5. Str. 49, w15d – Termin *stopień wyężenia konstrukcji* jest immanentnie związany w hipotezami wytrzymałościowymi, nie jest stopniem wykorzystania na przykład jakichś wartości dozwolonych czy nośności na zginanie. Z tekstu wynika, że chodzi tu po prostu o poziom obciążenia badanego pasma płytowego (nie żadnej konstrukcji) w porównaniu z nośnością elementu referencyjnego. Uwaga dotycząca terminu *wyężenie* dotyczy wielu innych fragmentów tekstu, na przykład na stronie 69.

C.6. Str. 51. – Brak jest powołania na rys. 2.11 (jest powołanie na rys. 2.12 i 2.13, przy czym rys. 2.13. na str. 53 dotyczy badań Arama i innych). Przywołany w opisie badań Arama i innych rys. 2.14 jest rysunkiem dotyczącym badań Kima i innych. Wkradło się tu nieuporządkowani numeracji rysunków.

C.7. Str. 75, w4d – Chodzi chyba o *warstwy nawierzchni* nie o *warstwy drogowe*, jak napisano.

C.8. Str. 79 – Powołania na rys. 3.2. i rys. 3.3. są błędne. Powinny być chyba na rys. 3.4. i rys. 3.5.

C.9. Str. 81, w6d oraz „główka” tabeli 3.1. – Nie *wagi cementu i wagi betonu* tylko *masy cementu i masy betonu*.

C.10. Str. 87, w15d – Zwrot: ...*aplikacja kompozytów sposobem biernym* w tekście jest *bierny*) jest *nieefektywna* ... (czyli nieskuteczna), należałoby chyba zastąpić zwrotem, że ...*jest mniej efektywna od...* Przecież bierne wzmocnienie za pomocą taśm CFRP belek z betonu sprężonego nie jest w efekcie „zerowe”.

C.11. Str. 91, w22g – Nie w *rozdziale 4.1.2.*, tylko w *podrozdziale* (lub *podpunkcie*) *4.1.2.*, jak należy napisać na str. 105, w1d).

C.12. Str. 98, w1d i str. 99, w1g – Sześcian to też prostopadłościan, więc nazywanie próbek *sześcinnymi i prostopadłościnnymi* jest niewłaściwe (wiem, że tak się je określa w codziennosci laboratoryjnej, ale opiniowana rozprawa jest tekstem naukowym). Trzeba było po prostu podać wymiary próbek.

C.13. Str. 106, w6g – *Bar* nie jest jednostką ciśnienia w systemie SI. Wiem jednak, że jest nadal stosowany w praktyce. Jeżeli jednak Autor pisze *2500 bar*, to jest to błędne pod względem językowym, bo powinno być *2500 barów*, ponieważ nazwa jednostki to *bar*, a nie *bara*. Te sam błąd jest na str. 124, w2d.

C.14. Str. 125, w11d i rys. 5.2.a) – Z rysunku wynika, że odległości taśmy od krawędzi betonowego podłoża to 30 mm i 20 mm. Autor pisze o odsunięciu równym 50 mm. Czyżby sumował obie podane w pierwszym zdaniu wartości? Poza tym, na str. 137 błędnie przywołano rys. 5.16 zamiast rys. 5.17.

C.15. Str. 138, w13g – Nie można utożsamiać *przemieszczeń pionowych* z *ugięciami*. Dlatego napisanie *przemieszczeń pionowych (ugięć)* jest nieścisłe.

C.16. Str. 140, w2d – Nie ...*obejmuje połowę elementu badanego, aczkolwiek zarysowanie miało charakter symetryczny.*, tylko ...*obejmuje połowę badanego elementu, ponieważ zarysowanie było symetryczne względem środka jego rozpiętości.*

C.17. Str. 140 i 141, rys. 5.21 ÷ 5.23 – Czy na osi poziomej lub pionowej i w podpisach to rzeczywiście ugięcie czy przemieszczenie pionowe? To samo – str. 151, rys. 5.39, 5.41 i 5.42, a także str. 159, rys. 6.1. i str. 161, rys. 6.2. oraz na str. 216, rys. 7.34 i str. 219, rys. 7.40. Pytanie to dotyczy również rys. 8.52 ÷ 8.56 na str. 317 ÷ 319.

C.18. Str. 140, w10g – Czy nie ma pomyłki w przywołaniu rys. 5.30?

C.19. Str. 159, w6g – W tekście jest dobrze – *przyrost obciążeń* (lepiej chyba *obciążenia*) i *przyrost momentów zginających*. Natomiast wzory (6.1) i (6.2) są zapowiedziane jednakowo. Zamiast w *ujęciu obciążeń* proponowałbym użyć *wyrażony w funkcji obciążenia i w funkcji momentów zginających*.

C.20. Str. 163 i 164, rys. 6.5 – 6.8 – Na osi poziomej jest *długość dźwigara*. Przecież jest ona niezmienna. Chodzi po prostu o geometryczną lokalizację poszczególnych jego przekrojów. Os pozioma powinna zatem być opisana np. *położenie badanych przekrojów*.

C.21 Str. 205 ÷ 207 – Czy rysunki 7.19 ÷ 7.21 są rysunkami autorskimi, bo nie ma w ich podpisach przywołania źródeł.

C.22. Str. 236, w1d – Chyba nie w *rozdziale 7.7.* tylko w *podrozdziale 7.6.*

C.23. Str. 314 – Trochę szkoda, że badania próbne mostu nie zostały udokumentowane fotografiami taboru obciążającego.

C.24. W tekście są nieliczne tzw. literówki, co w tak obszernej dysertacji jest zrozumiałe i wybaczalne. Nie mogę się jednak oprzeć, by nie podać jednego tylko przykładu, bo mnie rozbawił na str. 57, w2g jest przykkeheebue (przyklejenie?).

C.25. Str. 282, tabela 8.9. oraz str. 283, podpis rys. 8.12. – Nie wiem co Doktorant nazywa *obciążeniem tła*.

C.26. Str. 252, w3g - Nie **OBLICZENIA NUMERYCZNE**, bo to zwrot bez sensu, gdyż innych obliczeń niż numeryczne po prostu nie ma. Mogą być: analiza numeryczna, obliczenia komputerowe lub działania na liczbach ogólnych. Walczę od dawna z tym błędnym zwrotem, ale jak widać bezskutecznie. Używają go bezrefleksyjnie nawet osoby z wieloma literkami przed imieniem i nazwiskiem.

C.27. Zdecydowanie nadużywane w całym tekście jest słowo *aplikacja* zamiast *stosowania* lub *zastosowania* albo *użycia*. Prowadzi to niekiedy do dość sztucznych zwrotów, na przykład *...solidności aplikacji...* (str. 25, w9d) lub *... aplikacja opłotów...* (str. 112, w12g).

C.28. Na koniec kilka jeszcze dodatkowych uwag natury językowej. Str. 14, w 3g – jest: *...będącego w czynnej eksploatacji*. Czy można sobie wyobrazić *bierną* eksploatację mostu? Słowo *czynnej* jest zbędne. Ponadto, na tejże stronie określenie ośmiu celów i trzech tez składowych jako cele i tezy drugorzędne jest nietrafne, bo obniża ich znaczenie. Str. 18., w2g – nie *wyróżnić*, tylko *odróżnić* (uwaga ta dotyczy również innych miejsc w tekście). Str. 55, w 3d – czy nie lepiej zamiast *aranżacji zbrojenia CFRP* (to tak, jakby CFRP było zbrojone – wiem, że to tzw. skrót myślowy, ale trochę w tym przypadku niefortunny), napisać *układu zbrojenia za pomocą CFRP*? W wielu miejscach tekstu (np. na str. 72, w19g) Autor używa czasownika *skutkować* zamiast *powodować*, *wpływać*, *oddziaływać*. Str. 75, w13d i wiele innych miejsc w tekście - Nie należy używać słowa *pomiędzy* (pierwsze znaczenie to *wśród*) zamiast *między*. To uwaga żartobliwa – należy unikać rymowania w prozie: str. 78, w9g jest „...o większej masie na tej trasie.”. Str. 82, w12d – nie *celem* (rusycyzm) tylko *w celu*. To samo (rusycyzm) na str. 83, w2d i w3d – Nie *...betonu dla dźwigara* ...tylko *betonu dźwigara (dla jest błędne)*. Uwaga ta dotyczy wielu innych fragmentów tekstu rozprawy. Str. 85, w18d – Nie *..strzemiona posadają haki wystające...*tylko *strzemina zakończone są hakami, wystającymi....* Str. 104, w1g - ... użyto **betonu towarowego klasy...**, a nie *...użyto beton towarowy klasy....* Str. 113, w9d – Nie należy używać słowa *poprzez* (jest: *poprzez wymieszanie*) zamiast *przez*. *Poprzez* dotyczy raczej przestrzeni (np. *poprzez góry, doliny*). Str. 322, w kilku miejscach – określenie *przedmiotowa konstrukcja* pochodzi z okropnego języka biurokratycznego. Dlaczego nie napisać na przykład *przedstawiana, analizowana, opisywana konstrukcja*?

Raz jeszcze podkreślam, że przedstawione uwagi szczegółowe nie wpływają na moją ogólnie wysoką ocenę merytoryczną rozprawy Pana mgr inż. Michała Staśkiewicza.

5. Wniosek końcowy

Podsumowując niniejszą opinię stwierdzam, że rozprawa Pana mgr inż. Michała Staśkiewicza pt. „*Skuteczność zastosowania kompozytów polimerowych z włóknami węglowymi do wzmacniania belkowych konstrukcji z betonu sprężonego*” całkowicie spełnia (i to nawet z pewnym nadmiarem) warunki merytoryczne i formalne stawiane dysertacjom doktorskim przez środowisko naukowe oraz przepisy ustawowe. Wszystkie cele i tezy rozprawy, jak już pokreślono poprzednio, zostały osiągnięte i udowodnione. Pracę tę oceniam bardzo wysoko, czemu dałem wyraz w punktach 2 i 3 niniejszej recenzji. Dlatego z satysfakcją stawiam wniosek o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony wymienionej rozprawy.

Jednocześnie, biorąc pod uwagę nowoczesność tematyki rozprawy, jej obszerność i podkreślane już holistyczne ujęcie problematyki oraz sposób przedstawienia treści, a także to, że Doktorant jest już współautorem publikacji w międzynarodowym czasopiśmie wysokiej rangi (pozycja [117] piśmiennictwa), wreszcie i fakt, że dysertacja jest w znacznej mierze plonem współpracy międzynarodowej z czołową w skali świata placówką badawczą, z przekonaniem stawiam wniosek o wyróżnienie opiniowanej tu pracy. Szczegółowe uzasadnienie tego wniosku wynika wprost z poprzednich ocen zawartych w tej recenzji.

Ponadto, co uważam za ważne, zaopiniowana praca stanowi element szkoły naukowej, której kształtowanie przez Panią Promotor można obecnie zaobserwować w Politechnice Łódzkiej i która to szkoła obejmuje krąg zagadnień dotyczący innowacyjnych metod wzmacniania konstrukcji za pomocą kompozytów CFRP.

