

dr hab. inż. Jacek Szafran, prof. PŁ
Katedra Mechaniki Konstrukcji
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Politechnika Łódzka, Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź
email: jacek.szafran@p.lodz.pl

Łódź, 22.11.2025 r.

**RECENZJA DYSERTACJI DOKTORSKIEJ
MGR INŻ. MACIEJA ADAMA DYBIZBAŃSKIEGO**

o tytule:

**“ZASTOSOWANIE JEDNOKIERUNKOWEJ TKANINY Z WŁÓKNA
WĘGLOWEGO DO WZMACNIANIA CIENKOŚCIENNYCH BELEK STALOWYCH
TYPU SIGMA”**

1. Podstawa formalna

Formalną podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowi pismo z dnia 8 października 2025 roku **Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej** podpisane przez Przewodniczącego tej Rady, **prof. dra hab. inż. Jacka Pielechę**, który zwraca się z prośbą o przyjęcie przeze mnie obowiązków recenzenta rozprawy doktorskiej Pana **mgra inż. Macieja Adama Dybizbańskiego**.

Merytoryczną podstawę opracowania recenzji stanowi załączona do ww. pisma rozprawa doktorska Pana **mgra inż. Macieja Adama Dybizbańskiego**.

Prawną podstawę opracowania recenzji stanowią obowiązujące przepisy Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz wymagania określone w art.187 tej Ustawy.

2. Sylwetka doktoranta

Mgr inż. Maciej Adam Dybizbański ukończył studia inżynierskie na kierunku Budownictwo na Politechnice Poznańskiej w 2020 roku, broniąc pracę inżynierską pt. „Zadaszenie w porcie jachtowym”. W 2021 roku uzyskał tytuł magistra inżyniera na tej samej uczelni na specjalności Konstrukcje Budowlane, obroną pracy „Rozbudowa stadionu żużlowego im. Edwarda Jancarza w Gorzowie Wielkopolskim”.

W 2021 roku rozpoczął naukę w Szkole Doktorskiej Politechniki Poznańskiej w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Temat jego pracy doktorskiej (objętej

niniejszą recenzją) brzmi „Zastosowanie jednokierunkowej tkaniny z włókna węglowego do wzmacniania cienkościennych belek stalowych typu sigma”, co ściśle definiuje jego obszar badawczy i obszar zainteresowań naukowych. W ramach rozwoju naukowego odbył również staż na Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg.

Jest współautorem osiemnastu publikacji naukowych oraz współtwórcą wzoru użytkowego dotyczącego wzmacniania belki cienkościennej. Posiada na swoim koncie aktywność konferencyjną - brał udział w wydarzeniach krajowych i międzynarodowych (m.in. w Rzymie, Wrocławiu i Poznaniu), uczestniczył również jako wykonawca w projekcie badawczym dotyczącym zarządzania infrastrukturą kolejową.

3. Zawartość dysertacji

Dysertacja doktorska Pana mgr. inż. Macieja Adama Dybizbańskiego pt. „Zastosowanie jednokierunkowej tkaniny z włókna węglowego do wzmacniania cienkościennych belek stalowych typu sigma” została napisana w języku polskim pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Katarzyny Rzeszut.

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów, streszczenia (w języku polskim i angielskim), spisu literatury, spisu oznaczeń, spisu tablic i ilustracji oraz załącznika. Sama rozprawa zajmuje 192 strony. Bibliografia obejmuje obszerny zbiór pozycji literaturowych, w tym normy, artykuły naukowe oraz pozycje książkowe, co świadczy o gruntownym rozpoznaniu tematu przez Doktoranta.

Kolejność rozdziałów i podrozdziałów ma logiczny układ i odzwierciedla proces wdrażania idei i pomysłów przy rozwiązywaniu problemów naukowych na poszczególnych etapach recenzowanej pracy – od studiów literaturowych, poprzez sformułowanie tezy, badania materiałowe i modelowe, aż po badania elementów w skali naturalnej i zaawansowane analizy numeryczne. Kolejność poszczególnych rozdziałów oraz ich logiczne przedstawienie oceniam bardzo pozytywnie.

W rozdziale pierwszym („Analiza stanu wiedzy w świetle literatury przedmiotu”) Autor określa ramy teoretyczne swoich rozważań. Dokonuje on szerokiego przeglądu literatury dotyczącej cienkościennych kształtowników stalowych, ze szczególnym uwzględnieniem mechaniki ich pracy (teoria Własowa, teoria Jonssona) oraz zjawiska dystorsji przekroju poprzecznego. Istotną część tego rozdziału stanowi omówienie metod wzmacniania konstrukcji kompozytami CFRP oraz problematyki połączeń klejonych stal-kompozyt, w tym modeli analitycznych i numerycznych. Dobór źródeł jest adekwatny i dobrze wprowadza w tematykę pracy.

Rozdział drugi („Obszar badań i zastosowana aparatura”) precyzuje cel naukowy pracy, którym jest ocena efektywności nowatorskiej metody wzmacniania belek typu sigma poprzez odcinkowe zamknięcie przekroju tkaniną węglową. Doktorant formułuje tezę rozprawy oraz szczegółowe problemy badawcze. Na wyróżnienie zasługuje bardzo precyzyjny

i inżynierski opis schematów przedstawiających metodykę badań (Rys. 2.3), program badań laboratoryjnych (Rys.2.4) oraz schemat przedstawiający program analiz numerycznych (Rys. 2.5). Przedstawiono i opisano zastosowaną aparaturę badawczą, w tym system optyczny ARAMIS oraz skaner 3D.

Rozdział trzeci („*Badania laboratoryjne połączeń klejonych*”) poświęcony jest identyfikacji parametrów materiałowych i wytrzymałościowych. W pierwszej części omówiono badania właściwości mechanicznych stali S350GD. Zasadniczą część rozdziału stanowią badania niszczące połączeń klejonych stal-tkanina CFRP (połączenia zakładkowe podwójne i pojedyncze). Autor analizuje wpływ długości zakładu na nośność oraz szczegółowo opisuje zaobserwowane mechanizmy zniszczenia (kohezyjne, adhezyjne, zerwanie tkaniny), wykorzystując m.in. mikroskop skaningowy. Wyniki te stanowiły niezbędny wsad do późniejszych analiz numerycznych. Na pochwałę zasługuje bardzo jasna, przejrzysta i usystematyzowana prezentacja założeń badań i uzyskanych wyników. Tą pochwałę w zasadzie należy rozciągnąć na całą recenzowaną dysertację.

Rozdział czwarty („*Badania laboratoryjne belek*”) dotyczy badań eksperymentalnych na elementach w skali naturalnej. Autor opisuje przebieg testów czteropunktowego zginania belek o przekrojach $\Sigma 200 \times 70 \times 2$ oraz $\Sigma 140 \times 70 \times 2,5$, wzmocnionych w trzech różnych wariantach aplikacji tkaniny. Badania przeprowadzono w dwóch etapach różniących się warunkami podparcia (częściowe zablokowanie deplanacji oraz z całkowicie zablokowaną deplanacją). W rozdziale tym szczegółowo przeanalizowano zależności siła-przemieszczenie (z wykorzystaniem czujników LVDT oraz systemu ARAMIS) oraz formy utraty stateczności, identyfikując precyzyjnie najkorzystniejszy wariant wzmocnienia.

Rozdział piąty („*Analiza teoretyczna połączeń klejonych*”) koncentruje się na modelowaniu numerycznym zjawisk zachodzących w warstwie **skleiny**. Doktorant opracował i zweryfikował modele MES w programie Abaqus dla różnych typów zniszczenia (kohezyjnego, adhezyjnego i zerwania tkaniny), wykorzystując model strefy kohezyjnej (CZM) oraz model zniszczenia Hashina. Rozdział ten stanowi dobrze przemyślany pomost pomiędzy badaniami materiałowymi a modelowaniem całej konstrukcji (całych elementów).

Rozdział szósty („*Analiza numeryczna belek*”) zawiera kompleksową analizę numeryczną belek cienkościennych, zweryfikowaną wynikami badań laboratoryjnych z rozdziału czwartego. Autor zbudował zaawansowane modele powłokowe uwzględniające nieliniowości geometryczne i materiałowe oraz imperfekcje. Przeprowadzono szczegółową analizę porównawczą odkształceń i naprężeń w belkach referencyjnych i wzmocnionych, wykazując mechanizm działania wzmocnienia polegający na redukcji deformacji dystorsyjnych i redystrybucji naprężeń.

Rozdział siódmy zawiera podsumowanie pracy oraz wnioski końcowe. Autor syntetycznie zestawia najważniejsze wyniki, potwierdzając udowodnienie postawionej tezy. Wskazuje na oryginalne osiągnięcia pracy, do których zalicza m.in. wykazanie skuteczności odcinkowego wzmocnienia w przeciwdziałaniu dystorsji oraz zidentyfikowanie optymalnego

wariantu aplikacji tkaniny (na zagięciach brzegowych). Rozdział kończą propozycje kierunków dalszych badań.

Streszczając należy podkreślić, że rozprawa napisana jest językiem technicznym, precyzyjnym i zrozumiałym. Bardzo pozytywnie oceniam strukturę dysertacji, w której widać wyraźny podział na część badawczą dotyczącą komponentów (połączenia) oraz ustrojów (belki), co w połączeniu z analizami numerycznymi tworzy spójną całość. Największe, pozytywne wrażenie podczas czytania recenzowanej pracy zrobił na mnie układ pracy i kolejność wykonywania poszczególnych działań. Droga, którą Doktorant zdefiniował, opisał i przeprowadził by osiągnąć swój cel badawczy jest po prostu drogą najbardziej słuszną i trudno mieć do niej jakiegokolwiek zastrzeżenia. W moim przekonaniu recenzowana dysertacja pod tym względem może służyć jako wzór, i to nie tylko dla młodszych badaczy.

4. Ocena doboru tematu i naukowej wartości rozprawy

W recenzowanej rozprawie doktorskiej podjęto aktualny i istotny z punktu widzenia inżynierii lądowej problem badawczy, dotyczący wzmacniania cienkościennych belek stalowych o przekroju sigma, wrażliwych na zjawisko dystorsji. Tematyka ta wpisuje się w nurt poszukiwania nowoczesnych i efektywnych metod rewitalizacji konstrukcji stalowych przy użyciu materiałów kompozytowych CFRP.

Doktorant wykazał się dojrzałością naukową, przeprowadzając **kompleksową analizę badanego problemu**, która objęła wszystkie kluczowe etapy procesu badawczego. Począwszy od wnikliwych studiów literaturowych, poprzez szczegółowe badania laboratoryjne połączeń klejonych oraz badania elementów w skali naturalnej, aż po zaawansowane rozważania teoretyczne dotyczące mechaniki połączeń, połączone z analizą numeryczną (MES) zjawisk zachodzących w **skleinie** oraz w samym ustroju nośnym. Taka wielopłaszczyznowa metodologia świadczy o solidnym warsztacie naukowym Autora.

Na szczególne uznanie zasługuje **kompleksowe podejście badawcze**, widoczne w spójnym powiązaniu dokładnie określonych studiów literaturowych (traktowanych jako baza badawcza), badań eksperymentalnych z symulacjami numerycznymi. Całość zaprezentowanych badań ma charakter autorski i została wykonana samodzielnie przez Doktoranta, co potwierdza jego wysokie kompetencje w zakresie planowania i realizacji prac badawczych. Wnioski płynące z każdego etapu badań – od testów materiałowych, przez analizę pracy złączy, aż po ocenę nośności całych belek – zostały sformułowane w sposób precyzyjny i logiczny, prowadząc konsekwentnie do udowodnienia postawionej tezy.

Po analizie dysertacji uważam i zgadzam się w tym z Autorem, że do głównych **oryginalnych osiągnięć naukowych** rozprawy (poza wyżej wymienionymi), należy zaliczyć:

- **opracowanie i weryfikację nowatorskiej metody wzmacniania belek typu sigma podatnych na dystorsję** – zaproponowanie konkretnego, odcinkowego

rozwiązania (poprzeczne pasy tkaniny węglowej), ukierunkowanego na przeciwdziałanie zjawisku „otwierania się” przekroju.

- **identyfikację najbardziej efektywnego sposobu aplikacji wzmocnienia** – wykazanie, że naklejenie tkaniny jedynie na zagięciach brzegowych półek (typ 1) jest rozwiązaniem optymalnym inżyniersko, łączącym skuteczność wzrostu nośności z minimalizacją kosztów i łatwością aplikacji.
- **szczegółowy opis mechaniki kompozytowego połączenia stal-klej- tkanina** – wyznaczenie parametrów wytrzymałościowych oraz zidentyfikowanie mechanizmów zniszczenia (kohezyjnego, adhezyjnego, zerwania włókien) dla specyficznej pary materiałów (stal ocynkowana – tkanina węglowa).
- **wszechstronną analizę wpływu wzmocnienia na zachowanie statyczne belek** – udowodnienie, na drodze eksperymentalnej i numerycznej, korzystnego wpływu wzmocnienia na nośność, sztywność, redukcję odkształceń oraz redystrybucję naprężeń, prowadzącą do wyeliminowania lokalnego uplastycznienia stali,
- **bardzo dobrze wykonane analizy numeryczne** oparte na wynikach badań eksperymentalnych z szeroką analizą naprężeń oraz odkształceń; wywiera to niezwykle pozytywne wrażenie.

Podsumowując, stwierdzam, że recenzowana praca posiada dużą wartość naukową i aplikacyjną w temacie wzmacniania konstrukcji cienkościennych materiałami kompozytowymi, stanowiąc istotny wkład w rozwój wiedzy budowlanej oraz dyscypliny naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

5. Uwagi krytyczne

Podczas lektury i analizy wyników przedstawionych w recenzowanej rozprawie doktorskiej nasuwają się pewne pytania i uwagi natury dyskusyjnej. Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, że mają one na celu głównie doprecyzowanie pewnych aspektów badawczych i nie obniżają wysokiej oceny merytorycznej pracy.

5.1. Ogólne uwagi merytoryczne

Zasadnicza uwaga natury ogólnej dotyczy przyjętego w badaniach schematu obciążenia w kontekście docelowego obszaru zastosowań analizowanych elementów. Doktorant w swojej pracy przyjął model badawczy oparty na schemacie czteropunktowego zginania, realizowanym poprzez dwie siły skupione przyłożone w odległości równej długości trawersu, ze wzmocnieniem stref przyłożenia sił. Założono przy tym, że kluczowym mechanizmem zniszczenia, któremu ma przeciwdziałać proponowane wzmocnienie, jest deformacja dystorsyjna polegająca na „otwieraniu się” przekroju poprzecznego.

Należy jednak zauważyć, że w praktyce inżynierskiej profile typu sigma stosowane są przede wszystkim jako płatwie dachowe i rygle ścienne w halach wielkopowierzchniowych. W takich zastosowaniach dominującym schematem obciążenia jest obciążenie równomiernie rozłożone, przekazywane z poszycia (blachy trapezowej lub płyty warstwowej). Co kluczowe, w warunkach rzeczywistych poszycie to, mocowane bezpośrednio do pasa profilu, stanowi stężenie ciągłe, które w znacznym stopniu ogranicza swobodę deformacji pasa górnego i zmienia charakter pracy elementu. Mechanizm zniszczenia staje się wówczas wypadkową interakcji całego systemu: profil–łącznik–poszycie, a nie cechą samego profilu stalowego.

W związku z powyższym, nasuwa się pytanie o stopień korelacji pomiędzy wynikami uzyskanymi w wyizolowanym układzie laboratoryjnym (skoncentrowane siły, brak stężenia od poszycia), a rzeczywistą efektywnością wzmocnienia w typowych układach płatwiowych. Czy zaproponowane, punktowe (odcinkowe) wzmocnienie, ukierunkowane na przeciwdziałanie dystorsji w środku rozpiętości belki swobodnej, będzie równie skuteczne i celowe w przypadku elementu, którego pas górny jest stabilizowany przez poszycie dachowe, co naturalnie ogranicza możliwość wystąpienia formy zniszczenia obserwowanej w laboratorium? Dyskusja w rozprawie w niewielkim stopniu odnosi się do tego aspektu, skupiając się na mechanice belki swobodnej.

5.2. Szczegółowe uwagi merytoryczne

Poniżej przedstawiono szczegółowe uwagi, pytania oraz spostrzeżenia przypisane do konkretnych fragmentów i zagadnień poruszanych w rozprawie doktorskiej.

- I. **Dotyczy strony 17 (Kwestie językowe):** W tekście pracy, na stronie 17, pojawia się sformułowanie: *„naklejanych jednokierunkowych tkanin z włókien węglowych na stalowe cienkościenne belki typu sigma za pomocą połączenia klejonego”*. Zdanie to zawiera niezręczność stylistyczną i błąd składniowy, co nieznacznie obniża walor estetyczny wywodu w tej części pracy.
- II. **Dotyczy Rysunku 1.1 (Rozkłady naprężeń):** W odniesieniu do Rysunku 1.1, prezentującego teoretyczne rozkłady naprężeń w przekroju, zauważalny jest brak oznaczenia osi „z”. Uzupełnienie tego elementu ułatwiłoby interpretację przedstawionych wykresów w kontekście przyjętego układu współrzędnych.
- III. **Dotyczy powtórzeń w tekście (str. 32-33):** Pewnym mankamentem redakcyjnym jest powielanie tych samych informacji w bliskim sąsiedztwie (niestety w pracy zdarza się to dość często). Przykładowo, na stronie 32 Autor stwierdza: *„ze względu na niewielką grubość ścianek, w przypadku uszkodzeń lub przeciążeń takich konstrukcji, tradycyjne metody wzmocniania, wykorzystujące spawanie lub łączniki mechaniczne, mogą okazać się trudne lub niemożliwe do realizacji”*. Teza ta, choć jak najbardziej słuszna, jest ponownie przytaczana w bardzo zbliżonej formie na kolejnych stronach (np. str. 33). Wskazana byłaby w tym zakresie większa syntetyczność wywodu.

- IV. **Dotyczy Rozdziału 2 (Pochodzenie próbek materiałowych):** Na stronie 59 zamieszczono informację, że próbki do badań materiałowych wycięto z arkuszy blachy dostarczonej przez tego samego producenta, u którego zamówiono belki. Nasuwa się pytanie, czy istnieje pewność, że jest to materiał z tego samego wytopu co badane belki? Idealnym rozwiązaniem byłoby pobranie próbek bezpośrednio z elementów belek poddanych badaniom (np. z ich fragmentów nienaruszonych). Ponadto, w tej części pracy pożądanym byłoby zamieszczenie rysunku technicznego geometrycznego kształtu próbek, co uzupełniłoby dokumentację fotograficzną.
- V. **Dotyczy Tabeli 3.1 (Moduł Younga):** W Tabeli 3.1 zestawiono wyniki badań materiałowych dla pierwszej serii próbek. Zwraca uwagę fakt uzyskania relatywnie niskich wartości modułu Younga (średnia ok. 176 GPa, przy czym dla próbki 1.1 jest to poniżej 170 GPa). Standardowa wartość dla stali konstrukcyjnej oscyluje zazwyczaj w granicach 205-210 GPa. Proszę o komentarz Doktoranta oraz opinię na temat przyczyn uzyskania tak niskich parametrów sztywności materiału w przeprowadzonych próbach rozciągania.
- VI. **Dotyczy Tabel 3.1 i 3.2 (Granica plastyczności):** Analizując wyniki badań materiałowych, można dostrzec, że wyższe wartości umownej granicy plastyczności uzyskano dla próbek o mniejszej grubości (2,0 mm – średnio 394 MPa) w porównaniu do próbek grubszych (2,5 mm – wyniki niższe). Proszę o wyjaśnienie tego zjawiska oraz przedstawienie opinii Autora w tym zakresie.
- VII. **Dotyczy Rysunku 3.4 (Schemat próbki):** Rysunek 3.4 przedstawiający schemat próbki do badania ścinania kleju zyskałby na czytelności, gdyby Autor jednoznacznie oznaczył na nim poszczególne komponenty złącza: lokalizację tkaniny, blachy stalowej oraz samej warstwy kleju.
- VIII. **Dotyczy pomiaru grubości skleiny (str. 63-64):** W opisie metodyki badań na stronie 63 podano informację o grubości kleju wynoszącej 0,5 mm. Jednak na kolejnej stronie Autor wyjaśnia, że: „*Różnica między drugim a pierwszym pomiarem, pomniejszona o grubość tkaniny równą 0,129 mm stanowiła grubość kleju*”. Proszę o doprecyzowanie, w jaki sposób technicznie realizowano te pomiary, aby zapewnić powtarzalność grubości skleiny w próbkach oraz czy podana wartość 0,5 mm jest wartością zadaną (docelową), czy średnią wynikową z pomiarów.
- IX. **Dotyczy Rozdziału 3 (Rozrzut wyników a bezpieczeństwo projektowe):** Na Rysunku 3.17 Autor zaprezentował zależność maksymalnej siły od grubości kleju, wskazując na tendencję spadkową nośności wraz ze wzrostem grubości skleiny. Uwagę zwraca jednak bardzo duży rozrzut wyników badań (szczególnie dla serii C, gdzie siła niszcząca wahała się od ok. 3 kN do prawie 10 kN). W pracy zabrakło dyskusji, w jaki sposób tak duża zmienność nośności połączenia oraz jej wrażliwość na parametry wykonawcze (grubość skleiny) powinny zostać uwzględnione w procedurach projektowych. Jakie współczynniki bezpieczeństwa należałoby przyjąć, aby stosować to rozwiązanie

w praktyce inżynierskiej? Ponadto, czy w badaniach pełnoskalowych belek kontrolowano grubość skleiny na całej powierzchni przylegania tkaniny, biorąc pod uwagę skomplikowaną geometrię przekroju sigma? Oczywiście, przyjmuję, że nie wszystkie aspekty w pracy doktorskiej da się przeanalizować i proszę powyższą uwagę traktować jako przyczynek do szerszej dyskusji, bądź jako wskazówki na przyszłość.

- X. **Dotyczy analizy wyników nośności połączeń (Rozdział 3):** Wnioskowanie Autora dotyczące wpływu długości zakładu na nośność połączenia budzi pewną wątpliwość. Autor stwierdza: „*pomimo tej zmienności linia trendu o dodatnim nachyleniu jednoznacznie wskazuje, że wraz ze wzrostem długości zakładu rośnie również średnia nośność połączenia*”. Należy jednak zauważyć, że analiza ta opiera się na trzech punktach pomiarowych (długościach zakładu). Gdyby pominąć najdłuższy zakład i porównać jedynie próbki o mniejszych długościach (np. 15 mm i 25 mm), trend ten może nie być tak oczywisty lub wręcz zaburzony (średnie siły dla serii B bywają niższe niż dla serii A). Czy w świetle dużego rozrzutu wyników, stwierdzenie o „jednoznacznym wskazaniu” nie jest zbyt daleko idące?
- XI. **Dotyczy prezentacji wyników statystycznych:** W tabelach z wynikami badań (np. Tabela 3.5, 3.6) Autor podaje odchylenie standardowe w jednostkach bezwzględnych (kN). Z punktu widzenia inżynierskiej oceny jakości wyników, dobrą praktyką jest podawanie również współczynnika zmienności (odchylenie standardowe wyrażone w procentach wartości średniej). Pozwala to na szybszą ocenę jednorodności próby badawczej.
- XII. **Dotyczy podsumowania Rozdziału 3 (str. 82):** Podsumowanie zawarte na stronie 82 ma charakter sprawozdawczy i w dużej mierze powiela opis czynności badawczych, które zostały już szczegółowo przedstawione w treści rozdziału. W tej części pracy oczekiwałbym raczej syntetycznych wniosków końcowych płynących z przeprowadzonych eksperymentów, a nie ponownego opisu metodyki i zakresu badań.
- XIII. **Dotyczy Rozdziału 4 (Pustki w spoinie – belka SBLT1.2):** W opisie badań laboratoryjnych (Rys. 4.23) Autor uczciwie wskazuje na wystąpienie „pustej przestrzeni” (braku przyczepności) w próbce SBLT1.2, co skutkowało wyłączeniem jej z części analiz. Biorąc pod uwagę, że to właśnie wzmocnienie typu 1 (na zagięciach brzegowych) zostało wskazane jako rozwiązanie optymalne, nasuwa się pytanie o technologiczną pewność wykonania takiego połączenia w warunkach rzeczywistych (na budowie). Aplikacja materiału na wąskich, zakrzywionych krawędziach profilu jest trudniejsza niż na płaskich powierzchniach. Można było się pokusić o komentarz dotyczący zidentyfikowanych przyczyn powstania tej pustki oraz rekomendacji wykonawczych, które pozwoliłyby uniknąć tego typu błędów w praktyce inżynierskiej.
- XIV. **Dotyczy Rozdziału 5 (Analiza numeryczna - str. 127):** Autor wskazuje, że: „*Ponadto w zakresie przemieszczeń od zera do jednego milimetra można zauważyć rozbieżność*”

między wynikami testów laboratoryjnych i numerycznych. Wynika to z braku uwzględnienia wstępnego modułu Younga tkaniny”. Skoro zidentyfikowano przyczynę rozbieżności, nasuwa się naturalne pytanie: dlaczego nie dokonano korekty modelu, aby uwzględnić ten parametr? Jakie trudności (numeryczne lub w identyfikacji parametrów) stały na przeszkodzie, aby poprawić zgodność modelu w fazie początkowej? To nie zarzut, a raczej jedynie przyczynek do dyskusji.

- XV. Dotyczy zakresu analizy (Długość wzmocnienia):** W pracy zabrakło szerszej dyskusji lub analizy (choćby numerycznej) dotyczącej wpływu długości strefy wzmocnienia na efektywność rozwiązania w relacji do długości samej belki. Rozumiem, że zakres badań eksperymentalnych był ograniczony, jednak rozszerzenie badań parametrycznych w środowisku MES o ten aspekt stanowiłoby cenne uzupełnienie pracy, istotne z punktu widzenia praktyki inżynierskiej i optymalizacji zużycia materiałów kompozytowych.

5.3. Uwagi dotyczące redakcji rozprawy

W mojej ocenie strona edycyjna recenzowanej rozprawy stoi na wysokim poziomie. Praca została przygotowana starannie, a szata graficzna jest estetyczna i spójna. Niemniej jednak jako Recenzent, pozwalam sobie sformułować kilka uwag o charakterze redakcyjnym.

Pewne zastrzeżenia budzi sposób redagowania wniosków częściowych (ale też pewnych treści w ogóle) z poszczególnych etapów badań. W sytuacjach, gdy serie badawcze były do siebie zbliżone (np. testy różnych serii połączeń lub belek w podobnych konfiguracjach), Autor ma tendencję do powielania niemal tożsamyh konkluzji przy każdym z omówień. W moim przekonaniu, korzystniejszym zabiegiem redakcyjnym byłoby zsyntetyzowanie tych obserwacji i sformułowanie wniosków zbiorczyh dla grupy badań. Pozwoliłoby to na uniknięcie powtarzania treści i znacząco poprawiłoby przejrzystość wywodu naukowego.

Drobne uwagi dotyczą również czytelności prezentacji danych. Niektóre wykresy zbiorcze (np. Rys. 3.18), ze względu na duże zagęszczenie punktów pomiarowych i serii danych, są trudne w interpretacji w wersji drukowanej bez konieczności cyfrowego powiększania dokumentu. Ponadto, w spisie literatury warto byłoby zadbać o pełne ujednolicenie formatu zapisu norm przedmiotowych – część z nich przytaczana jest z pełnymi tytułami, inne zaś w formie skróconej.

Należy jednak podkreślić, że powyższe uwagi mają charakter porządkowy i nie wpływają na wysoką ocenę merytoryczną przedłożonej dysertacji.

6. Wnioski końcowe

Podsumowując ocenę przedłożonego opracowania stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Macieja Adama Dybizbańskiego stanowi bardzo dobry przykład metodycznego rozwiązania oryginalnego zagadnienia naukowego o istotnym znaczeniu praktycznym.

Doktorant wykazał się biegłą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie konstrukcji cienkościennych oraz technologii wzmocnień kompozytowych. Bardzo wysoko oceniam strukturę i logikę wyводу – praca jest spójna, a poszczególne etapy badań wynikają z siebie w sposób naturalny. W przedstawionym materiale nie ma treści przypadkowych; każdy element, od badań materiałowych po analizy numeryczne, służy weryfikacji postawionej tezy.

Wysoko oceniam badawcze prace eksperymentalne Kandydata oraz ich korelację z zaawansowanym modelowaniem numerycznym. Stwierdzam, że wykazuje On z całą pewnością umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz rozwiązywania złożonych problemów inżynierskich.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa mgr. inż. Macieja Adama Dybizbańskiego pt. *„Zastosowanie jednokierunkowej tkaniny z włókna węglowego do wzmacniania cienkościennych belek stalowych typu sigma”*, **spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.**

W związku z tym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Naukową Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej.

Jednocześnie, biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny przedstawionego dzieła, zwracam się do Wysokiej Rady z wnioskiem o **wyróżnienie** recenzowanej rozprawy. Wniosek ten uzasadniam następującymi przesłankami:

- **Wysoka aktywność publikacyjna Doktoranta**, świadcząca o umiejętności skutecznego upowszechniania wyników badań w środowisku naukowym.
- **Utylitarny charakter pracy**, która rozwiązuje realne i aktualne problemy inżynierskie związane z rewitalizacją i wzmacnianiem istniejących konstrukcji stalowych.
- **Wzorcowo przygotowany warsztat badawczy**, obejmujący zarówno precyzyjnie zaplanowane badania eksperymentalne, jak i zaawansowane, wieloaspektowe analizy numeryczne (MES).
- **Wysoka dojrzałość naukowa** oraz widoczna umiejętność samodzielnego i krytycznego prowadzenia procesu badawczego.

Maciek Szczęsny