

dr hab. inż. Mirosław Broniewicz, prof. PB

Katedra Konstrukcji Budowlanych i Mechaniki Budowli

Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

Politechnika Białostocka

Białystok, 3 września 2025 r.

Recenzja

naukowego osiągnięcia habilitacyjnego Pana doktora inż. Tomasza Falborskiego

***„Cykl publikacji naukowych powiązanych tematycznie
dotyczący analizy odpowiedzi sejsmicznej i bezpieczeństwa
stalowych budynków szkieletowych
ze szczególnym uwzględnieniem sztywności węzłów i połączeń”.***

oraz ocena aktywności naukowej (dorobku-naukowo badawczego) Habilitanta

1. Podstawa formalna recenzji

Niniejsza recenzja wykonana została na podstawie na podstawie Uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Lądowej, Geodezji i Transportu Politechniki Gdańskiej (uchwała nr 61/2025 z dnia 21 maja 2025 r.).

Rada Dyscypliny Naukowej Inżynierii Lądowej, Geodezji i Transportu Politechniki Gdańskiej wszczęła Panu dr. inż. Tomaszowi Falborskiemu przewód habilitacyjny w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport, na podstawie przedstawionego dorobku głównego obejmującego 6 artykułów naukowych (1 praca samodzielna i 5 wieloautorskich) stanowiących osiągnięcie naukowe pierwsze, o którym mowa w art. 219 ust. 1, pkt. 2b Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce

(Dz.U.2024.1571), a zatytułowanego przez Habilitanta: „Analiza odpowiedzi sejsmicznej i bezpieczeństwa stalowych budynków szkieletowych ze szczególnym uwzględnieniem sztywności węzłów i połączeń”,

oraz na podstawie przedstawionego dodatkowego dorobku w postaci 8 wieloautorskich artykułów naukowych stanowiących cykl publikacji pn. „Analiza efektywności pasywnych metod redukcji drgań obiektów budowlanych podczas trzęsień ziemi”.

2. Sylwetka Habilitanta

Pan dr inż. Tomasz Falborski uzyskał tytuł magistra inżyniera w specjalności konstrukcje budowlane i inżynierskie w 2010 r. na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechniki Gdańskiej. Promotorem pracy magisterskiej był dr inż. Aleksander Perliński. Kolejnym etapem w rozwoju naukowym Habilitanta było otrzymanie stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej w roku 2015, na podstawie dysertacji „Study on properties of polymer as a material for seismic isolation bearings”. Promotorem pracy był Pan prof. dr hab. inż. Robert Jankowski. W tym samym roku Pan dr inż. Tomasz Falborski został zatrudniony w Katedrze Konstrukcji Metalowych i Zarządzania w Budownictwie, Politechniki Gdańskiej, na stanowisku asystenta, a od 2018 roku adiunkta.

Całokształt prac prowadzonych w okresie od 2012 roku, a więc przed otrzymaniem stopnia doktora nauk technicznych do roku 2025 stanowi podstawę do ubiegania się przez Pana dr inż. Tomasza Falborskiego o tytuł doktora habilitowanego w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Poniższa recenzja opiera się na kryteriach określonych w art. 219 ust. 1, pkt. 2b Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. w sprawie warunków nadania stopnia doktora habilitowanego i obejmuje, obok charakterystyki sylwetki naukowej, dwa najważniejsze elementy składające się na dorobek Habilitanta, to jest:

- 1) osiągnięcie naukowe będące przedmiotem postępowania habilitacyjnego,
- 2) aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

3. Dane naukometryczne

Biorąc pod uwagę poszczególne etapy rozwoju kariery naukowej habilitanta można wyraźnie dostrzec jego zainteresowania badawcze, które skierowane były na zagadnienia związane z analizą sejsmiczną obiektów o konstrukcji stalowej wykonanej z ram o węzłach sztywnych.

Na dotychczasowy dorobek Pana dr inż. Tomasza Falborskiego, uzyskany zarówno przed, jak i po otrzymaniu stopnia doktora, wg załącznika 5, tj. wykazu osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, składają się:

1. Osiągnięcie naukowe 1 – „Analiza odpowiedzi sejsmicznej i bezpieczeństwa stalowych budynków szkieletowych ze szczególnym uwzględnieniem sztywności węzłów i połączeń” obejmujący 6 artykułów naukowych (pięć współautorskich oraz jeden samodzielny) opublikowanych w czasopismach naukowych z IF, po uzyskaniu stopnia doktora (2020 - 2025).
2. Osiągnięcie naukowe 2 – „Analiza efektywności pasywnych metod redukcji drgań obiektów budowlanych podczas trzęsień ziemi” obejmujący osiem publikacji naukowych z lat 2012-2025 (sześć współautorskich artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych oraz dwa współautorskie rozdziały w monografiach wydawnictwa Springer), (w tym 5 artykułów w czasopismach z IF).

Dorobek naukowy Habilitanta uzupełnia udział w 19 konferencjach i sympozjach naukowych. Sumaryczny IF dla cyklu publikacji stanowiących pierwsze osiągnięcie naukowe wynosi 27,6, a liczba cytowań bez autocytowań wynosi 190 według Web of Science i 103 według bazy Scopus oraz z autocytowaniami odpowiednio 249 – Web of Science, 311 – Scopus.

Indeks Hirscha według bazy Web of Science wynosi 8, według bazy Scopus – 9, a według bazy Gogle Scholar -10.

Sumaryczna liczba punktów wg MEiN dla cyklu publikacji stanowiących pierwsze osiągnięcie naukowe wynosi 960 (według wykazów czasopism wskazanych przez Habilitanta).

Wyniki te można uznać za bardzo dobre w odniesieniu do obszaru nauk technicznych, biorąc pod uwagę obecny etap kariery naukowej Pana dr inż. Tomasza Falborskiego.

4. Ocena osiągnięcia naukowego

Głównym osiągnięciem naukowym, na które wskazuje Habilitant w swoim dorobku badawczym, jest wyjaśnienie zagadnień związanych z odpornością sejsmiczną budynków o konstrukcji stalowej. To zagadnienie badawcze jest bardzo ważne z punktu widzenia projektowania budynków pod kątem wpływów dynamicznych wywołanych trzęsieniem ziemi, uwzględniającego rozpraszanie energii sejsmicznej. Osiąga się to poprzez zastosowanie rozwiązań konstrukcyjnych i urządzeń, które pochłaniają i tłumią energię ruchu gruntu, umożliwiając budynkowi kontrolowane, plastyczne odkształcanie się. Wymienić tu można zastosowanie ram stężonych i ścian usztywniających, które przenoszą siły boczne ze stropów i dachów na fundamenty oraz ram niestężonych o węzłach sztywnych, które jednocześnie pozwalają na pewne odkształcenia w celu rozproszenia energii, wykorzystując cechy sprężysto-plastyczne stali. Analiza wpływu sztywności i zdolności do obrotu węzłów takich ram (połączeń rygli ze słupami oraz słupów z fundamentami) na ich zachowanie się pod wpływem obciążeń sejsmicznych jest zagadnieniem badawczym stanowiącym główne osiągnięcie naukowe Habilitanta. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie tłumików – urządzeń rozpraszających energię, które działają jak amortyzatory w jadącym samochodzie. Ta strategia projektowania sejsmicznego polega na oddzieleniu budynku od fundamentu i amortyzowaniu wstrząsów. Wraz z przemieszczaniem się gruntu, budynek porusza się wolniej, ponieważ elementy tłumiące rozpraszają znaczną część wstrząsów. Zgodnie z rekomendacjami Habilitanta budynek musi być zaprojektowany tak, aby działał jako całość, czyli „sztywna skrzynia”, o odpowiedniej wysokości (aby zapobiec przewróceniu się) i musi posiadać elastyczne posadowienie, aby kompensować ruchy u podstawy. Materiały użyte do produkcji takich izolatorów to kauczuk naturalny, guma o wysokiej zdolności tłumienia drgań lub inny elastomer w połączeniu z elementami metalowymi. Badania nad zastosowaniem do łagodzenia skutków wstrząsów sejsmicznych specjalnie przygotowanego polimeru, który pierwotnie był wykorzystywany do wzmacniania i naprawy uszkodzonych konstrukcji murowanych stanowi drugie osiągnięcie naukowe przedstawione przez Habilitanta.

Pierwsze osiągnięcie stanowi cykl publikacji naukowych pn.: „Analiza odpowiedzi sejsmicznej i bezpieczeństwa stalowych budynków szkieletowych ze szczególnym uwzględnieniem sztywności węzłów i połączeń”, obejmujący łącznie sześć publikacji z lat 2020-2025. Należy

przy tym stwierdzić, że wymienione publikacje zostały zgłoszone do czasopism o bardzo dobrej pozycji, a manuskrypty zostały poddane krytycznej ocenie recenzentów, zgodnie ze standardami procesu peer-review.

Tematyka analizowana przez habilitanta w tym zagadnieniu badawczym jest tak wieloaspektowa, że pożądanym byłoby aby Habilitant sformułował na wstępie swoje hipotezy badawcze, które unormowałyby w pewien sposób analizę rozpatrywanego zjawiska i znacznie pomogły Recenzentowi w ocenie jego dokonań badawczych. Niestety, Habilitant po krótkim wstępie, od razu przystępuje do omawiania poszczególnych artykułów wchodzących w skład osiągnięcia badawczego, a więc spróbujmy podążać za nim w jego drodze naukowej.

Głównym celem badań, których wyniki zaprezentowano w tym cyklu publikacji, jest według Habilitanta, identyfikacja i analiza związków przyczynowo-skutkowych związanych z odpowiedzią sejsmiczną i bezpieczeństwem stalowych budynków szkieletowych ze szczególnym uwzględnieniem sztywności węzłów i połączeń.

W ramach przeprowadzonych badań jako najważniejsze osiągnięcia naukowe Habilitant wskazuje przeprowadzenie nieliniowych analiz numerycznych dla niestężonych ram stalowych, na podstawie których została zweryfikowana odpowiedź sejsmiczna i bezpieczeństwo szkieletowych budynków stalowych w zależności od przyjętego sposobu zamocowania słupów oraz opracowanie i weryfikację metody do określania sztywności poprzecznej wynikającej z zastosowania elementów niekonstrukcyjnych w szkieletowych budynkach stalowych. W jaki sposób Habilitant doszedł do tych rezultatów i czy zrobił to samodzielnie lub czy wykorzystał prace innych naukowców, spróbujmy to zbadać. Poniżej scharakteryzowano osobno każdą z prac wyszczególnionych w podstawowym osiągnięciu naukowym Habilitanta.

[A_1] T. Falborski, P. Torres-Rodas, F. Zareian, A. Kanvinde, *Effect of Base-Connection Strength and Ductility on the Seismic Performance of Steel Moment-Resisting Frames*, Journal of Structural Engineering, 2020. (Wpływ wytrzymałości i ciągliwości połączeń słupów ze stopą fundamentową na odporność na obciążenia sejsmiczne ram stalowych o węzłach sztywnych).

25 cytowań – Web of Science, 34 cytowań – Scopus (P. Torres-Rodas, F. Zareian, A. Kanvinde, C. Trautner).

(Wkład Habilitanta: • Przeprowadzenie (wraz z prof. Pablo Torres-Rodasem) szczegółowych symulacji nieliniowych, w tym analiz *pushover* oraz symulacji historii odpowiedzi nieliniowych.
• Walidacja i szczegółowa weryfikacja wyników).

W artykule tym przedstawiono badania nośności ram stalowych o węzłach sztywnych oraz podatnych połączeniach słupów ze stopami fundamentami. Dla takich ram przeprowadzono nieliniowe symulacje statyczne typu *pushover*, które pozwalają w uproszczony sposób przedstawić zachowanie konstrukcji pod wpływem różnych typów obciążeń spowodowanych trzęsieniem ziemi. Przeanalizowano takie parametry wpływu jak wysokość ramy (4, 8, 12 i 20 kondygnacji), nośność połączenia słupa z podstawą, jego podatność i zdolność od obrotu. Podstawowym wnioskiem wynikającym z przeprowadzonych badań było to, że przyjmowanie w analizie pełnego utwierdzenia słupów i rozbudowanej stopy nie jest podejściem efektywnym ekonomicznie, ponieważ taki sam rezultat można otrzymać projektując prostszą podstawę słupa na obciążenia sejsmiczne zwiększone odpowiednim współczynnikiem amplifikacyjnym.

W odniesieniu do tych badań nasuwa się kilka pytań. Zdaniem Recenzenta, w zależności od własności materiałowych oraz wymiarów przekroju poprzecznego, poszczególne elementy ram położone między węzłami mogą wykazywać różne zachowania. Elementy o stosunkowo dużych grubościach środnika i pótek ulegną uplastycznieniu rozpraszając energię w przegubach plastycznych, inne bardziej wiotkie mogą stracić wcześniej stateczność. Nasuwa się więc pytanie, czy przy badaniu kolejnych etapów deformacji ramy po przekroczeniu fazy czysto sprężystej rozważano wpływ niestateczności elementów?

Także parametry ruchu gruntu i inne charakterystyczne wartości w danym miejscu, zależą od lokalnych właściwości. W porównaniu ze skałami, gleby miękkie są szczególnie podatne na znaczne lokalne wzmocnienie fal sejsmicznych. Czy badano wpływ rodzaju gruntu oraz możliwość jego upłynnienia w przypadku dużego nasycenia wodą (muły i piaski) na odpowiedź dynamiczną badanej konstrukcji?

Fundamenty powinny zapewniać przenoszenie sił z konstrukcji nośnej na grunt bez znaczących odkształceń własnych. Odkształcenia powinny pozostać niewielkie, ponieważ fundamenty są umieszczane pod ziemią i trudno je kontrolować i naprawiać po trzęsieniu ziemi. Ponadto, niesprężyste odkształcenia gruntu i fundamentów są trudne do dokładnego przewidzenia,

choć uznać się, że stanowią one istotne źródło rozpraszania energii. Czy w przeprowadzonej analizie uwzględniono wpływ rozpraszania energii w posadowieniu obiektu?

Bardzo podobne badania zostały również opublikowane w artykule autorów Pablo Torres-Rodas, Francisco Flores, Sebastian Pozo, Bryam X. Astudillo pt. *Seismic performance of steel moment frames considering the effects of column-base hysteretic behavior and gravity framing system* (Zachowanie sejsmiczne stalowych ram o węzłach sztywnych z uwzględnieniem wpływu histerezy podstawy słupa i schematu konstrukcji ramowej) oraz w pracy *Seismic Demands in Column Base Connections of Steel Moment Frames* (Wymagania sejsmiczne połączeń podstaw słupów stalowych ram o węzłach sztywnych) autorów Pablo Torres-Rodas, Farzin Zareian, i Amit Kanvinde tak, że Recenzentowi nasuwa się pytanie o autorstwo przedstawionych w artykule [A-1] badań oraz wkład Habilitanta w ich przeprowadzenie. Wyjaśnienia Habilitanta byłoby tu mile widziane.

[A.2] T. Falborski, A. S. Hassan, A. Kanvinde, *Column base fixity in steel moment frames: Observations from instrumented buildings*, Journal of Constructional Steel Research, 2020 (Zamocowanie słupów ram o węzłach sztywnych. Obserwacje budynków wyposażonych w aparaturę pomiarową).

14 cytowań – Web of Science, 18 cytowań – Scopus (P. Torres-Rodas, A. S. Hassan, A. Kanvinde).

(Wkład Habilitanta: • Opracowanie szczegółowych trójwymiarowych modeli numerycznych dla wszystkich analizowanych budynków. • Oszacowanie rzeczywistej sztywności obrotowej podstaw słupów. • Przeprowadzenie nieliniowych symulacji historii odpowiedzi z wykorzystaniem programu CSI ETABS. • Walidacja i szczegółowa weryfikacja wyników).

W artykule opisano rezultaty badań rzeczywistych obiektów budowlanych znajdujących się na obszarach sejsmicznych charakteryzujących się różną wysokością i układem konstrukcyjnym, a także różnym rodzajem połączenia słupów z fundamentem. Analizowano słupy o stopach stalowych niezabetonowanych (traktowanych jako połączenia przegubowe), częściowo zabetonowanych o różnym stopniu sztywności obrotowej oraz całkowicie utwierdzonych w stopie betonowej. Dokonano porównania rzeczywistych przebiegów przyspieszeń oraz

przemieszczeń konstrukcji z wynikami symulacji numerycznych na podstawie znajomości realnych obciążeń sejsmicznych. We wnioskach autorzy badań stwierdzili, że w przypadku słupów o stopach stalowych niezabetonowanych uwzględnienie ich w analizie konstrukcji jako węzły przegubowe jest niewłaściwie, powodując powstanie znacznych błędów obliczeniowych. Dobrą zgodność z wynikami pomiarów rzeczywistych zapewnia uwzględnienie bądź to realnego stopnia podatności podstaw słupów bądź, w przypadku połączeń o dużej sztywności, zobrazowanie ich jako węzły sztywne. Analiza zawartości publikacji potwierdza duży wkład habilitanta w realizację i ocenę wyników badań opisanych w tym artykule.

Połączenia podstaw słupów stalowych stanowią kluczowy aspekt oceny zachowania się konstrukcji, szczególnie w regionach sejsmicznych, gdzie integralność i ciągłość tych połączeń mogą decydować o ogólnej odporności budynku. Połączenia te, łączące słup stalowy z betonowym fundamentem, powinny zostać zaprojektowane tak, aby uwzględniać złożone interakcje między obciążeniami osiowymi, momentami zginającymi i odkształceniami cyklicznymi występującymi podczas trzęsień ziemi. Postępy w badaniach eksperymentalnych i analizach elementów skończonych pogłębiły wiedzę na temat mechanizmów przenoszenia sił, przebiegu histerezy i sztywności obrotowej. Niniejsza artykuł nie tylko podkreśla znaczenie geometrii podstaw słupów i sposobów ich zakotwień, ale także wskazuje na innowacyjne metody poprawy rozpraszania energii i łagodzenia szkód po wstrząsach sejsmicznych. Na przykład badania dotyczące charakterystyk sejsmicznych odsłoniętych połączeń słup-płyta podstawy wykazały, że modyfikacje w układzie kotew mogą znacznie zmniejszyć „kołysanie” słupów pod obciążeniami cyklicznymi, zwiększając tym samym ogólną stabilność budynku. Czy badano wpływ rodzaju, długości i rozmieszczenia śrub kotwiących na rozpraszanie energii i naprawę obiektów po trzęsieniu ziemi?

[A.3] T. Falborski, A. Kanvinde, *Estimation of nonstructural stiffness in instrumented steel frames*, Engineering Structures (2022). (Określanie sztywności niekonstrukcyjnych elementów budynku).

1 cytowanie— Web of Science, 1 cytowanie – Scopus (A. S. Hassan, A. Kanvinde).

(Wkład Habilitanta: • opracowanie szczegółowych trójwymiarowych modeli numerycznych z wykorzystaniem programu CSI ETABS, • oszacowanie rzeczywistej sztywności elementów niekonstrukcyjnych w budynkach z wykorzystaniem zaproponowanej metodologii, • przeprowadzenie nieliniowych symulacji zachowania się budynków z wykorzystaniem programu CSI ETABS. • walidacja i szczegółowa weryfikacja wyników).

W kolejnym współautorskim artykule Habilitant przedstawił metodę szacowania sztywności poprzecznej niekonstrukcyjnych elementów budynków, takich jak ściany działowe czy poszycie budynku, traktowanych jako dodatkowe elementy stężące oraz ich wpływu na sztywność poprzeczną analizowanych obiektów. Wymagało to opracowania w programie ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building System) trójwymiarowych modeli numerycznych rzeczywistych obiektów oraz przeprowadzenia w oparciu o te programy nieliniowych symulacji zachowania się tych obiektów pod wpływem obciążeń sejsmicznych.

Recenzent zgadza się ze stwierdzeniem Habilitanta, że odpowiednia ocena charakterystyk dynamicznych konstrukcji, takich jak częstotliwość drgań własnych i współczynnik tłumienia, ma znaczący wpływ na dokładną analizę i projektowanie konstrukcji poddanych wpływom sejsmicznym. Wpływ elementów niekonstrukcyjnych powszechnie traktowanych jako masa rozproszona w większości modeli, nie powinny być ignorowane, a badania mające na celu określenie ich wpływu na charakterystykę dynamiczną obiektu są ważnym obszarem badawczym.

Problemem pozostaje zagadnienie połączenia tych niekonstrukcyjnych elementów budynku z konstrukcją nośną. Sztywność tych połączeń wymaga dokładnego oszacowania, a to w wielu przypadkach jest bardzo trudne. Ponadto, elementy niekonstrukcyjne są zazwyczaj mocowane do podstawowego systemu konstrukcyjnego za pomocą połączeń przenoszących obciążenia pionowe. Mogą one mieć znaczący wpływ na sztywność i dynamiczną reakcję konstrukcji, jeśli połączenia będą zdolne do przenoszenia sił poziomych i drgań. Konieczna jest dalsza kompleksowa analiza numeryczna elementów niekonstrukcyjnych, w celu udoskonalenia procedury modelowania makro i mikroelementów niekonstrukcyjnych, tak aby element niekonstrukcyjny mógł zostać bezpiecznie dodany do modelu konstrukcji, co z kolei umożliwi dokładne przewidywanie rzeczywistej odpowiedzi dynamicznej budynku.

Z drugiej strony, każdy niekonstrukcyjny element zawsze usztywnia budynek, podnosząc tym samym częstotliwości własne. W pewnych warunkach jednak korzystniejsze może okazać się „zmiękczenie” konstrukcji niż jej usztywnienie i przesunięcie częstotliwości w kierunku niższego obszaru spektrum odpowiedzi budynku. Wówczas tłumienie drgań jest również zwiększone i osiąga się znaczną redukcję sił sejsmicznych, a tym samym redukcję potencjalnego uszkodzenia. Rozważane zagadnienie wpływu elementów niekonstrukcyjnych na odporność sejsmiczną obiektu jest zagadnieniem trudnym i dotychczas nie rozwiązany, dlatego istotne są wszystkie badania podejmowane w tym kierunku.

[A.4] T. Falborski, *Alternative approach for damping coefficient estimation in instrumented first-mode dominant steel frame buildings*, Measurement, 2025 (Alternatywne podejście do szacowania współczynnika tłumienia w budynkach ramowych, w których dominują drgania pierwszego rodzaju).

0 cytowań – Web of Science, 0 cytowań – Scopus.

Autorski artykuł prezentuje wyniki badań własnych Habilitanta, w których badaniom dynamicznym na stole wstrząsowym zostały poddane dwa modele stalowej konstrukcji szkieletowej, jedno i dwukondygnacyjne. Na podstawie wyznaczonych poprzez pomiary drgań wartości współczynników tłumienia badanych modeli Habilitant opracował metodę służącą do wyznaczania współczynników tłumienia stalowych budynków szkieletowych. Jak stwierdza sam Habilitant jego metoda ma szereg ograniczeń, m.in. jest odpowiednia tylko przy odkształceniach sprężystych elementów, dla układów symetrycznych o niskiej lub średniej wysokości.

Budynki o stalowej konstrukcji szkieletowej, w których dominują drgania pierwszego rodzaju, to konstrukcje niskie i średniowysokie, w których dominującym drganiem podczas wstrząsów sejsmicznych jest pierwszy naturalny rodzaj drgań. Zdaniem recenzenta, jedną z najdokładniejszych metod szacowania wymaganych parametrów inżynierskich konstrukcji poddanych obciążeniom sejsmicznym jest nieliniowa analiza historii odpowiedzi. Historia nieliniowej analizy odpowiedzi wymaga programu komputerowego, który odzwierciedla

oczekiwane zachowanie konstrukcji zarówno w ujęciu liniowym, jak i nieliniowym. Z drugiej strony, najważniejszym czynnikiem w szacowaniu odpowiedzi konstrukcji w analizach historii czasowej jest zastosowany model tłumienia. W związku z tym, poprawne modelowanie i użycie odpowiedniego modelu tłumienia ma ogromne znaczenie. To legło u podstaw przeprowadzonych przez Habilitanta badań doświadczalnych. Tłumienie jest uważane za źródło rozpraszania energii w konstrukcji. Częstotliwość i tłumienie są zatem kluczowymi parametrami w projektowaniu na wypadek trzęsień ziemi i ocenie podatności sejsmicznej. Dostosowanie modeli badawczych do rzeczywistych konstrukcji musi uwzględniać duży zestaw nieznanych parametrów wpływających na reakcję istniejących budynków. Zachodzi pytanie, czy Habilitant określił w swoim modelu najważniejsze parametry wpływu (np. sztywność, wytrzymałość, ciągliwość konstrukcji) oraz zbadał ich zależności. Ponadto należy zauważyć, że badania zostały przeprowadzone na obiektach w skali laboratoryjnej, a często zjawisko efektu skali powoduje, że wyniki badań doświadczalnych prowadzonych na elementach w skali laboratoryjnej nie są prawdziwe dla elementów rzeczywistych, w tym wielkogabarytowych konstrukcji budowlanych, zwłaszcza poddanych obciążeniom dynamicznym. Innym efektem, który również nie został wzięty pod uwagę, jest interakcja konstrukcji z fundamentem, co zapewniłoby bardziej realistyczne warunki brzegowe. Podstawową ideą takich badań jest to, że każda modyfikacja sztywności, masy lub charakterystyki rozpraszania energii systemu może zmienić jego odpowiedź dynamiczną. Zmiany tych parametrów mogą wynikać ze zmiany warunków brzegowych (np. konstrukcja utwierdzona lub zamocowana podatnie) lub właściwości samego obiektu (np. wzmocnienie lub modernizacja budynku). Trwałe zmiany mogą również pojawić się z powodu uszkodzeń konstrukcyjnych spowodowanych silnymi ruchami sejsmicznymi. Ponadto zmienność częstotliwości podstawowej budynków może być skorelowana z czasowymi zmianami warunków atmosferycznych (temperatury, wilgotności itp.) wpływającymi na właściwości budynku i gruntu. Współczynnik tłumienia zarejestrowany w budynku może być również bezpośrednio wrażliwy na lokalną lub globalną utratę stateczności obciążonych elementów. Zachodzi więc pytanie, w jaki sposób adekwatnie można przenieść wyniki eksperymentów przeprowadzonych na uproszczonych obiektach badawczych w skali laboratoryjnej, na zachowanie się rzeczywistej konstrukcji?

[A.5] T. Falborski, G. Murtas, A. Elkady, D. Lignos, A. Kanvinde, *Evaluation of overstrength-based interaction checks for columns in steel moment frames*, Journal of Constructional Steel Research, 2025 (Badanie różnych wymagań projektowych dotyczących słupów w stalowych ramach o węzłach sztywnych).

0 cytowań– Web of Science, 0 cytowań – Scopus.

(Wkład Habilitanta: • opracowanie szczegółowych dwuwymiarowych modeli numerycznych z wykorzystaniem programu Frame Modeler-2D, • przeprowadzenie symulacji historii odpowiedzi nieliniowych z wykorzystaniem w programie Frame Modeler-2D, • Walidacja i szczegółowa weryfikacja wyników).

Następna publikacja wchodząca w skład pierwszego osiągnięcia naukowego Habilitanta jest publikacją wieloautorską, w której Habilitant pełnił rolę autora korespondencyjnego, a która została poświęcona projektowania słupów ram obciążonych oddziaływaniami sejsmicznymi.

Celem tej pracy było zbadanie obecnie obowiązujących w USA przepisów dotyczących projektowania słupów w obiektach usytuowanych na terenach sejsmicznych, które pozwalają na pominięcie w ocenie ich nośności interakcyjnego działania momentu zginającego i siły osiowej jeśli stosuje się zamplifikowane (powiększone) wartości obciążeń. Zakres przeprowadzonych badań był bardzo szeroki. Rozpatrzono dwie konfiguracje ram o węzłach sztywnych: 4-kondygnacyjną z 4 przęsłami i całkowitej wysokości 15,84 m oraz 6-kondygnacyjną trójpřęsłową o wysokości 24,37 m. W przypadku każdej z badanych konstrukcji przeprowadzono analizę liniowo-sprężystą przy wykorzystaniu programu ETABS, analizę nieliniową wykorzystując oprogramowanie do modelowania konstrukcji FM-2D, nieliniową analizę historii odpowiedzi NRHA polegającą na bezpośrednim całkowaniu równań ruchu układów dyskretnych przy użyciu dostępnych metod numerycznych oraz symulację metodą elementów skończonych. Jak wskazał sam Habilitant najważniejszym osiągnięciem w tych badaniach było stwierdzenie, że projektowanie nośności słupów z uwzględnieniem zwiększonego obciążenia sejsmicznego daje bezpieczne rezultaty pomimo faktu pominięcia w obliczeniach współdziałania momentu zginającego. Uwagę należy tutaj zwrócić na zagadnienie dokładnego odwzorowania analizowanej konstrukcji. Przedstawione metody analizy konstrukcji nie mogą zostać zastosowane w każdym przypadku obliczeniowym ze względu na znaczne uproszczenia w ich algorytmach. Najdokładniejszą obecnie metodą, stanowiącą

często punkt odniesienia w badaniach, jest nieliniowa analiza time-history NRHA (nonlinear response history analysis), bazująca na metodzie elementów skończonych. Metoda ta pozwala na uwzględnienie nieliniowości zachowania konstrukcji (efekt $P - \Delta$ czyli efekt 2. występujący w wyniku interakcji między obciążeniami osiowymi (P) a przemieszczeniami bocznymi (Δ) w konstrukcji), jak i efektów uplastycznienia materiału. Biorąc pod uwagę uwzględnienie rzeczywistych akceleroграмów, możliwe jest określenie relatywnie dokładnego zachowania się konstrukcji pod obciążeniem sejsmicznym. Problemem jest jednak numeryczna efektywność oprogramowania oraz zbieżność rozwiązania (w szczególności konstrukcji o znacznym stopniu skomplikowania).

[A.6] T. Jaroszewski, M. Miari, T. Falborski, R. Jankowski, *Shaking table experimental study on models of steel buildings with different types of joints*, Measurement, 2023 (Badania eksperymentalne na stole wibracyjnym modeli budynków stalowych z różnymi typami połączeń).

2 cytowania Web of Science, 2 cytowania – Scopus (w tym 1 auto cytowanie).

(Wkład Habilitanta: • sporządzenie rysunków konstrukcyjnych • opracowanie planu badań eksperymentalnych • sprawowanie nadzoru merytorycznego).

Kolejnym artykułem uzupełniającym osiągnięcie naukowe będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego jest wieloautorski artykuł dotyczący wpływu podatności połączeń na odpowiedź sejsmiczną konstrukcji. Badania ponownie skupiły się na doświadczalnej ocenie odpowiedzi sejsmicznej modelu konstrukcji szkieletowej budynku, który został poddany różnym wymuszeniom sejsmicznym na stole wstrząsowym. Tym razem ocenie została poddana reakcja modelu w zależności od stopnia zamocowania słupów. Rozważono cztery stopnie podatności połączeń spawanych o różnym stopniu ich uszkodzenia. Wnioski z badań nie są zupełnie odkrywcze ponieważ wiadomym jest, że reakcja obiektu w dużej mierze związana jest z jego sztywnością i częściowe uszkodzenie połączeń powoduje większe rozpraszanie energii, a tym samym zmniejsza dynamiczną odpowiedź konstrukcji. Naprawa zniszczonych połączeń za pomocą spawania potwierdziła tylko wcześniejsze

ustalenia, gdyż usztywniony model doznawał większych przyspieszeń w reakcji na wzbudzone przemieszczenie związane ze wstrząsem sejsmicznym.

Artykuł ten jest podobny do artykułu autorów JianFen Li, Yan Wang, Zuojie Zhang, Ben Mou pt: Seismic behavior of steel frames with different joints: Shaking table test and finite element analysis (Zachowanie sejsmiczne ram stalowych z różnymi rodzajami połączeń: badanie na stole wibracyjnym i analiza elementów skończonych) opublikowanego także w roku 2023 w czasopiśmie Journal of Building Engineering. Dotyczył on także badania odporności sejsmicznej stalowych ram poprzez testy na stole wstrząsowym i analizę numeryczną metodą elementów skończonych. Prototypem w badaniach chińskich był model w skali 1:2 dwupiętrowego budynku biurowego, w którym również badano odpowiedź sejsmiczną konstrukcji dla różnych typów połączeń, o różnym stopniu sztywności. Wnioski płynące z badań były analogiczne, potwierdzając tezę, że destrukcja połączeń zmniejszająca sztywność ramy wpływa na zwiększoną odporność sejsmiczną badanych obiektów.

Ważnym jest, że pomimo na pozór oczywistych wniosków artykuł Habilitanta podejmuje aktualne zagadnienia wpływu połączeń na rozpraszanie energii sejsmicznej. Jak to wskazał Habilitant we wcześniejszych swoich artykułach, w projektowaniu ram stalowych pod kątem odporności sejsmicznej, połączenia belki ze słupem mogą być projektowane albo jako połączenia o pełnej wytrzymałości, wymuszające położenie przegubów plastycznych na końcach belki, albo jako połączenia o częściowej wytrzymałości, które rozpraszają energię wstrząsów. Normy sejsmiczne zawierają szczegółowe kryteria projektowania połączeń o pełnej wytrzymałości, ale nie podają szczegółowych zaleceń dotyczących połączeń o częściowej wytrzymałości. W rzeczywistości połączenia belki ze słupem mogą być projektowane jako połączenia o pełnej lub częściowej wytrzymałości, tak aby w pierwszym przypadku energia sejsmiczna była absorbowana poprzez cykliczne odkształcenia końców belki w zakresie plastycznym, a w drugim przypadku sama ciągłość połączenia zapewniałaby wymaganą zdolność rozpraszania. W pierwszym przypadku stosuje się kosztochłonne połączenia spawane na spoiny czołowe o pełnych przetopach, a w drugim mogłyby to być zwykłe połączenia śrubowe na blachę czołową wystającą, co eliminowałoby przewymiarowanie przekrojów słupów. Zaprojektowane połączenia powinny zapewniać ciągłe zachowanie poprzez powstanie sieci załomów plastycznych, czy to w zginanej blasze

czołowej czy też zginanej półce słupa. Dlatego też określenie wymagań, jakie muszą spełniać połączenia o częściowej wytrzymałości, aby projektować ramy stalowe charakteryzujące się właściwościami sejsmicznymi równoważnymi właściwościom ram stalowych ze sztywnymi połączeniami o pełnej wytrzymałości jest bardzo ważne z ekonomicznego i środowiskowego punktu widzenia. Niestety, Habilitant nie podjął w swoim artykule tematu jakie rodzaje połączeń półsztywnych mogłyby być właściwe ze względu na rozpraszanie energii sejsmicznej. Nie zdefiniował parametrów geometrycznych i wytrzymałościowych takich połączeń. Niemniej jednak, badania nad procedurami projektowania półsztywnych ram o częściowej wytrzymałości dla obiektów poddanych obciążeniom sejsmicznym nadal są potrzebne i wartościowe. Niezaprzeczalną wartością jest więc to, że są osoby w Polsce, które zajmują się badaniami konstrukcji stalowych obiektów poddanych oddziaływaniom sejsmicznym, w kraju który nie ma dużych doświadczeń w pracach nad tego rodzaju zagadnieniami, i których prace są znane na całym świecie.

Recenzent dotychczas sądził, że zadaniem naukowca jest znalezienie odpowiedzi na problem badawczy, co obejmuje zidentyfikowanie luki w wiedzy naukowej, sformułowanie pytania badawczego, przeprowadzenie badań w celu zebrania danych i analizę tych danych, aby wyciągnąć wnioski i udzielić odpowiedzi na postawione pytanie. Ale w tym przypadku, po przeprowadzeniu przez Habilitanta wszystkich badań, konkretna odpowiedź, rozwiązująca problem badawczy przedstawiony jako główne osiągnięcie naukowe dotyczące odpowiedzi sejsmicznej i bezpieczeństwa stalowych budynków szkieletowych ze szczególnym uwzględnieniem sztywności węzłów i połączeń nie pada. Niepewność jest nieodłączną częścią nauki, a tym bardziej zagadnień związanych z oceną odporności sejsmicznej konstrukcji. Współczesne systemy oprogramowania są silnie uzależnione od założeń dotyczących warunków brzegowych i parametrów wejściowych. Zaletą uproszczonych procedur modelowania jest to, że można je łatwiej testować. Ale co się stanie jeśli wprowadzimy do naszej analizy pytanie np: „Czy zastosowane połączenie podatne na łączniki mechaniczne będzie wykazywać się odpowiednią wielkością rozpraszania energii i jaką przyjąć podatność tego połączenia do analizy sejsmicznej?” Zajmujemy się obecnie zachowaniem konstrukcji w warunkach obciążenia sejsmicznego w punktach czasowych. Aby można było uwzględnić efekty rozpraszania energii, konieczne będzie rozszerzenie metodologii badawczej o kroki czasowe, dłuższe przedziały trwania powtarzającego się obciążenia sejsmicznego.

Uwzględnienie pólztywnych połączeń między elementami jest stosunkowo proste, jeśli znane są ich charakterystyki. Jednak korzyści płynące z zastosowania uproszczonych metod modelowania mogą zostać utracone, jeśli samo modelowanie zachowania się pojedynczego połączenia wymaga znacznego wysiłku.

Podsumowując ten zakres pracy naukowej Habilitanta należy stwierdzić, że polegał on głównie, jak stwierdza sam Habilitant na prowadzeniu analiz numerycznych niestężonych ram stalowych poddanych obciążeniom sejsmicznym, w czym uzyskał dużą biegłość i stał się wręcz ekspertem. Nie wytyczył on nowych dróg w myśleniu i działaniu naukowym, ale może poszczycić się poważnymi osiągnięciami w zakresie tworzenia wiedzy naukowej, w budowaniu teorii i doskonaleniu metod opisu naukowego konstrukcji. Habilitant musiał prowadzić samodzielne poszukiwania i dociekania i wykazywać się biegłością w rozwiązywaniu konkretnych problemów, które powstawały w toku prowadzonych badań. Prezentuje on więc odpowiednio wysoki poziom wiedzy i umiejętności i jest zdolny do rozwijania wiedzy naukowej w dziedzinie projektowania konstrukcji na obszarach sejsmicznych.

Obok głównego osiągnięcia naukowego w formie cyklu 6 publikacji wskazanego do oceny w postępowaniu habilitacyjnym dr inż. Tomasz Falborski przedstawił jako dodatkowe osiągnięcie naukowe cykl publikacji obejmujący szeroki zakres tematów, od analizy systemów pasywnej izolacji sejsmicznej do metod redukcji drgań konstrukcji budowlanych. Prezentowany cykl publikacji składa się z ośmiu współautorskich artykułów naukowych, w tym sześciu artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych (S z IF) oraz dwóch rozdziałów w monografiach wydawnictwa Springer.

Główne osiągnięcia zespołów badawczych, w skład których wchodził Habilitant, to ocena efektywności specjalnie przygotowanej wysoko tłumiącej masy polimerowej wykorzystanej jako materiał do pasywnych metod redukcji drgań konstrukcji budowlanych, skonstruowanie na jej podstawie łożysk polimerowych stanowiących prototyp wibroizolacji sejsmicznej (wynalazek ten został objęty patentem), opracowanie i weryfikację modelu matematycznego służącego do symulacji nieliniowej odpowiedzi dynamicznej łożysk polimerowych oraz przeprowadzenie analiz MES potwierdzających efektywność łożysk polimerowych w redukcji drgań rzeczywistego budynku. Izolacja podstaw słupów od fundamentów jest kluczową metodą ochrony budynków i infrastruktury w regionach sejsmicznych. Zmniejsza ona

transmisję energii sejsmicznej poprzez łożyska gumowe o wysokiej tłumienności lub ołowiano-gumowe, minimalizując skutki trzęsień ziemi. Ze względu na swoją prostotę, niezawodność i opłacalność, pasywna izolacja słupów jest powszechnie stosowaną metodą ochrony budynków. Powyższy cel osiąga się poprzez wydłużenie naturalnego okresu drgań konstrukcji, co pozwala jej oddalić się od szczytowych przyspieszeń w odpowiedzi spektralnej. Ponadto system izolacji koncentruje przemieszczenia na poziomie izolacji, znacząco redukując względne odkształcenia budynku. Lecz analiza zdolności tłumienia konstrukcji wyposażonej w pasywne systemy izolacji jest zadaniem trudnym. Większość systemów izolacyjnych charakteryzuje się nieliniowością, która jest na tyle istotna, że musi być uwzględniona w globalnej odpowiedzi konstrukcji. Ponadto, ze względu na różnice między tłumieniem w łożyskach gumowych a tłumieniem w konstrukcji, łączne tłumienie systemu jest także trudne do oszacowania. Badania w tej dziedzinie prowadzone przez Habilitanta we współpracy z prof. Jankowskim są znane i cytowane na całym świecie i stanowią istotny wkład w rozwój badań nad metodami pasywnej ochrony budynków przed wstrząsami.

5. Pozostały dorobek naukowy, działalność dydaktyczna i popularyzatorska

Zgodnie z art. 219 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2024.1571) Habilitant powinien wykazywać się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej. Pan dr inż. Tomasz Falborski jako swoją aktywność naukową na drugiej uczelni wskazał odbycie jednego stażu w Uniwersytecie Południowej Kalifornii (University of Southern California) oraz pięciu staży na Uniwersytecie Kalifornijskim w Davis (University of California, Davis). Na uwagę zasługuje fakt, że ta współpraca ze znakomitymi naukowcami w dziedzinie odporności sejsmicznej konstrukcji związana jest z prowadzeniem szeroko zakrojonych, wspólnych programów badawczych, których efektem są podstawowe publikacje wskazane przez Habilitanta jako główne osiągnięcia naukowe.

Ponadto dr inż. Tomasz Falborski jest wykonawcą 2 grantów badawczych (polski grant Miniatura 7 w roku 2023 oraz europejski ERIRS w 2024 r.) oraz współautorem dwóch wniosków o międzynarodowe granty badawcze, z których jeden został zakwalifikowany do finansowania, natomiast drugi jest w fazie oceny. Będąc pracownikiem Wydziału Inżynierii

Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej Habilitant brał aktywny udział w 19 krajowych oraz zagranicznych konferencjach naukowych. W latach 2015-2025 Habilitant pełnił funkcję recenzenta w prestiżowych czasopismach naukowych wykonując około 30 recenzji.

Habilitant jest członkiem wielu stowarzyszeń naukowych i zawodowych, w tym American Institute of Steel Construction oraz European Association of Earthquake Engineering. Dr inż. Tomasz Falborski wraz z prof. dr hab. inż. Robertem Jankowskim są twórcami wynalazku pn. „łożysko polimerowe do redukcji i tłumienia drgań zwłaszcza konstrukcji budowlanych”. Habilitant był również członkiem komitetów organizacyjnych trzech konferencji naukowych.

Osiągnięciami dydaktycznymi Habilitanta są: pełnienie funkcji opiekuna 22 prac magisterskich oraz 44 prac inżynierskich, prowadzenie zajęć dydaktycznych w języku polskim i angielskim dla studentów pierwszego oraz drugiego stopnia na pięciu kierunkach studiów. Habilitant jest współautorem podręcznika akademickiego „Wybrane zagadnienia projektowania stalowych konstrukcji prętowych” wydane przez Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej w 2019 r. Dr inż. Tomasz Falborski jest opiekunem koła naukowego, organizatorem wyjazdów naukowych studentów oraz współorganizatorem zajęć pokazowych dotyczących projektowania konstrukcji metalowych i podstaw inżynierii sejsmicznej.

Jako osiągnięcia organizacyjne należy wymienić pełnienie funkcji członka Wydziałowej Komisji ds. oceny wniosków o dofinansowanie dla Młodych Naukowców, jak również członka Wydziałowej Komisji ds. Oceny Parametrycznej i Kategoryzacji.

Piętą achillesową ocenianego dorobku wydają się być:

- brak autorskiej monografii naukowej,
- niezasobna samodzielna działalność naukowa,
- mniejsza ranga dorobku poza habilitacyjnego,
- brak doświadczenia jako promotor pomocniczy w przewodach doktorskich.

Dr inż. Tomasz Falborski specjalizuje się głównie, a jest właściwie profesjonalistą (jak wykazuje jego poświadczony przez współautorów wkład w poszczególne artykuły naukowe) w opracowywaniu modeli numerycznych badanych konstrukcji z wykorzystaniem specjalistycznych programów narzędziowych. Nie jest generalistą, który posiada szeroką wiedzę z wielu, różnych obszarów lecz ekspertem posiadającym gruntowną i głęboką wiedzę

w wąskim zakresie prezentowanej dziedziny naukowej. I chociażby w odniesieniu do tego obszaru badawczego można z przekonaniem stwierdzić, iż Pan dr inż. Tomasz Falborski jest przygotowanym do pracy badawczej młodym naukowcem, zdolnym do samodzielnego stawiania i efektywnej realizacji złożonych zagadnień badawczych.

Podsumowując zatem całokształt dorobku naukowego Kandydata można orzec, że jest on solidny i bardzo wartościowy merytorycznie. Jego bliższa analiza, przede wszystkim w odniesieniu do materiału habilitacyjnego, pozwala na stwierdzenie, że jest to w istocie dorobek znacząco wzbogacający wiedzę o ocenie odporności sejsmicznej stalowych budynków szkieletowych. Jest w tej dziedzinie znaczącym autorytetem na skalę nie tylko europejską, ale i światową.

Uwzględniając wszystko powyższe, uważam, że zalety recenzowanego dorobku naukowego, aktualność tematyczna publikacji oraz rozpoznawalność naukowa Habilitanta w świecie przeważają nad jego niedoskonałościami. Z tego powodu uznaję, że recenzowany dorobek spełnia w stopniu dobrym wymagania stosownej ustawy i jest on w pełni wystarczający do uzyskania stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

6. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę zamieszczoną wyżej ocenę głównego osiągnięcia naukowego w postaci sześciu publikacji, zatytułowanego „Analiza odpowiedzi sejsmicznej i bezpieczeństwa stalowych budynków szkieletowych ze szczególnym uwzględnieniem sztywności węzłów i połączeń” oraz uzupełniającego osiągnięcia naukowego w postaci ośmiu publikacji naukowych zatytułowanego „Analiza efektywności pasywnych metod redukcji drgań obiektów budowlanych podczas trzęsień ziemi”, a także pozostały dorobek naukowy z bardzo dobrą cytowalnością – Indeks Hirscha równy 8 , a także osiągnięcia dydaktyczne i organizacyjne stwierdzam, iż w mojej ocenie Pan dr inż. Tomasz Falborski spełnia ustawowe wymogi stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego określone w art. 219 ust. 1, pkt. 2b Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r., poz. 85 z późn. zm.). Wniosuję zatem o dopuszczenie Pan dr inż. Tomasza Falborskiego do dalszych etapów zmierzających do nadania stopnia doktora habilitowanego.