

Dr. hab. inż. Robert Wójcik, prof. UWM
Wydział Geoinżynierii
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski W Olsztynie
10-724 Olsztyn, ul. Heweliusza 4

Olsztyn 7.06. 2021 r.

UNIwersytet
TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
w Bydgoszczy
Wpłynęło..... 23.06.2021
Numer WBiiS.....
Referent/symbol..... W

Recenzja rozprawy doktorskiej

pt. „Numeryczno-doświadczalna analiza przegród zewnętrznych
w konstrukcji z lekkiego szkieletu stalowego”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję pracy doktorskiej autorstwa mgr inż. Mariusza Kosiń opracowano na podstawie umowy nr 7/WBAiIS/2021 wynikającej z uchwały Rady Dyscypliny Inżynierii Lądowej i Transportu Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy z dnia 7.05.2021 roku.

2. Przedmiot i zawartość rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. „Numeryczno-doświadczalna analiza przegród zewnętrznych w konstrukcji z lekkiego szkieletu stalowego” przygotowana przez mgr inż. Mariusza Kosiń, pod kierunkiem dr hab. inż. Macieja Majora, prof. PCz oraz promotora pomocniczego dr inż. Krzysztofa Pawłowskiego, prof. UT-P.

Oceniana praca doktorska stawia sobie za cel przeprowadzenie numeryczno-doświadczalnej analizy przegród zewnętrznych wykonanych w technologii lekkiego szkieletu stalowego, poddawanych remontowi w następstwie destrukcyjnego działania wód powodziowych.

Poruszane zagadnienia są interesujące zarówno w aspekcie praktycznym, jak i naukowym. Zachowanie się konstrukcji budynku szkieletowego, wykonanego z lekkich elementów

stalowych w stanie oddziaływania wody powodziowej jest rzadko analizowane. Przy wzrastającym zainteresowaniu technologią lekkiego szkieletu podjęcie tej tematyki jest więc w pełni uzasadnione.

Cel główny rozprawy uszczegółowiono przez sformułowanie następujących „celów składowych”:

- przeprowadzenie analizy numeryczno-doświadczalnej wstępnych przemieszczeń giętno-skrętnych na nośność cienkościennych profili stalowych oraz wpływ demontażu poszycia przegród zewnętrznych na stateczność elementów z lekkich konstrukcji stalowych,
- opracowanie sposobu efektywnej naprawy budynku na bazie autorskiego rozwiązania wkładki montażowej zwiększającej sztywność profilu w miejscu osadzenia stężeń, niezbędnej do zapewnienia stateczności przestrzennej bryły budynku,
- analizę numeryczno-doświadczalną właściwości cieplno-wilgotnościowych przegród zewnętrznych zawilgoconych na skutek oddziaływania wód powodziowych.

Praca obejmuje następujący zakres:

- przegląd literatury w zakresie analizy mechaniki prętów cienkościennych i fizyki budowli zewnętrznych przegród wykonanych w technologii lekkiej konstrukcji stalowej,
- wykonanie analizy numerycznej z wykorzystaniem MES – dotyczącej oceny stateczności konstrukcji szkieletowej domu jednorodzinnego zaprojektowanego w technologii lekkiego szkieletu stalowego w różnych stadiach realizacji wymiany poszycia zewnętrznych przegród ściennych w następstwie podtopienia,
- badanie nieswobodnego skręcania cienkościennych profili stalowych o przekroju otwartym,
- opracowanie wkładki montażowej, do zastosowania przy montażu stężeń ściennych ścian w technologii lekkiego szkieletu stalowego,
- badania potwierdzające zasadność użycia wkładki montażowej przy montażu stężeń ściennych,
- wykonanie analizy numerycznej z wykorzystaniem MES w zakresie obejmującym pracę statyczną prętów cienkościennych dla przekrojów poprzecznych z zaprojektowaną wkładką montażową,

- wykonanie analizy numerycznej z wykorzystaniem MES dotyczącej właściwości cieplno-wilgotnościowych zewnętrznych przegród w technologii lekkiej konstrukcji stalowej, poddanych nadmiernemu zawilgoceniu w wyniku oddziaływania wód powodziowych,
- przeprowadzenie analizy wyników uzyskanych w badaniach doświadczalnych i numerycznych oraz ich interpretacja,
- podsumowanie i wnioski końcowe.

W pracy postawiono następujące tezy badawcze:

1. Analiza numeryczna pozwala określić przemieszczenia cienkościennych konstrukcji stalowych powstałe w następstwie usunięcia elementów pokrycia przegród pionowych i ocenę tych przemieszczeń pod kątem stateczności bryły budynku.
2. Zaprojektowana wkładka montażowa służy do miejscowego wzmocnienia profilu oraz sprawnego montażu stężeń ściennych a stateczność bryły budynku wzmocnionej stężeniami jest znacząco zwiększona w stosunku do konstrukcji nie stężonej.
3. Analiza numeryczno-doświadczalna pozwoliła określić przydatność materiałów przegrody zewnętrznej w chwili zawilgocenia spowodowanego oddziaływaniem wód powodziowych.

3. Charakterystyka rozprawy

Praca ma charakter obliczeniowo-eksperymentalny i składa się z 10 rozdziałów głównych oraz spisu literatury. Rozdziały podzielono na trzy części. Pierwsza część (studialna) obejmuje sześć rozdziałów: wstęp, uzasadnienie podjętego tematu oraz założenia projektowe dotyczące lekkiego szkieletu stalowego. W tej części przedstawiono również podstawy teorii profili cienkościennych oraz teoretyczne podstawy transportu masy i energii. W rozdziale szóstym sformułowano cel zakres i tezy pracy.

Część II, składająca się z rozdziału 7 i 8 dotyczy badań w zakresie mechaniki konstrukcji. Rozdział 7 poświęcono ogólnej ocenie stateczności przegród zewnętrznych, natomiast w rozdziale 8 przedstawiono analizę numeryczno-doświadczalną wpływu wstępnych przemieszczeń giętno-skrętnych spowodowanych koniecznością demontażu poszycia na nośność cienkościennych profili stalowych. Opisano również stanowisko badawcze i przebieg badań laboratoryjnych. Wyniki analizy numerycznej porównano z uzyskanymi wynikami badań laboratoryjnych.

W części trzeciej opisano badania dotyczące problemów ciepłno-wilgotnościowych zawilgoconych przegród. Na wstępie rozdziału przedstawiono analizę numeryczną i odniesiono się do wyników badań laboratoryjnych. Analizowano przegrodę szkieletową zewnętrzną usztywnioną płytami OSB i docieploną wełną mineralną miękką oraz wełną mineralną twardą zabezpieczoną od zewnątrz tynkiem cienkowarstwowym. Wewnętrzne wykończenie stanowiła płyta g-k.

W ramach realizacji celu pracy wykonano obliczenia oraz badania laboratoryjne. Dla poparcia stawianych w pracy zadań ogółem zacytowano i skomentowano wyniki badań zaprezentowanych w 187 źródłach, w tym 3 pozycje współautorskie Doktoranta. Tekst rozprawy liczy łącznie 123 strony oraz 43 strony zawierające załączniki.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Pomimo coraz większej popularności konstrukcji wykonanych z lekkiego szkieletu stalowego, zdecydowanie brakuje wyników badań dotyczących informacji związanych z zachowaniem się tych rozwiązań w sytuacjach nadzwyczajnych, np. powodziowych czy procedur wykonywania remontów popowodziowych związanych z potrzebą usunięcia poszycia usztywniającego.

Przy trwającej nieustannie tendencji do „odchudzania” elementów prefabrykowanych w celu ograniczenia kosztów produkcji i zmniejszenia ciężaru wytwarzanych prefabrykatów, nawet w standardowych warunkach wznoszenia i eksploatacji budynku szkieletowego, sztywność konstrukcji ścian zalicza się do zdecydowanie najbardziej złożonych zjawisk w analizie projektowej. W sytuacjach oddziaływania obciążeń nadzwyczajnych problem sztywności jest oczywiście jeszcze znacznie bardziej skomplikowany.

W praktyce stosuje się kilka sposobów zapewnienia sztywności konstrukcji szkieletowych. Najczęściej stosuje się poszycie profili ściennych płytami drewnopochodnymi np. OSB, jednostronnie lub dwustronnie. W sytuacji powodziowej płyty OSB tracą jednak swoje walory usztywniające z uwagi na poluzowanie mocowania do słupków. Nasączone wodą płyty nie działają jak sztywna tarcza zabezpieczająca ściskane słupki przed wyboczeniem w słabszej ich płaszczyźnie. Proces destrukcji zaczyna postępować w miarę dynamicznego oddziaływania wiatru, a także w dłuższej perspektywie czasowej postępowania korozji biologicznej.

Bezspornie zatem problem sztywności wynikający z oddziaływania na konstrukcje obciążeń poziomych należy uznać za istotny, a wybór tematu za w pełni uzasadniony. Badania

doktoranta wpisują się więc w trend rosnącego zainteresowania tego typu konstrukcjami. Doktorant analizuje sytuacje awaryjne spowodowane demontażem płyt i koniecznością okresowego zastosowania układu zastępującego płyty usztywniające.

W praktyce remontowej stosuje się różne metody okresowego zapewnienia sztywności. Pierwsza to stosowanie dodatkowych ukośnych zastrzałów między pasem dolnym i górnym panelu ściennego (analogicznie jak w murze pruskim). Drugą metodą jest zastosowanie tymczasowych elementów poszyciowych wykonanych ze sklejki lub płyt OSB, które pracując we wzmocnionym układzie tarczowym będą w stanie przenieść obciążenia poziome. Stosuje się również przypory rurowe kotwione w płycie fundamentowej - analogicznie jak podczas montażu budynku z elementów prefabrykowanych. Doktorant zastosował rozwiązanie pierwsze. Przyjęto konstrukcję, zapewniającą przekazywanie się obciążeń pomiędzy wszystkimi elementami układu tj. ściany obciążone – więźba, więźba – ściany usztywniające i ściany usztywniające – fundament za pomocą pojedynczego lub podwójnego skrzyżowania stężeń. Do tego celu zaprojektowano autorski element wzmacniający, którego oryginalność została potwierdzona przez Urząd Patentowy RP.

Drugim problemem, którym zajmował się doktorant jest wysychanie nawodnionych przegród. Zawsze w sytuacjach popowodziowych jest stawiane pytanie niezależnie od typu konstrukcji: czy przegroda po wyschnięciu może odzyskać swoje walory użytkowe? Jeśli tak, to w jakim czasie i jakie należy przedsięwziąć działania zaradcze.

Płyty wiórowe są aktualnie bardzo szeroko stosowanymi materiałami konstrukcyjnymi, jednak cechują się dużą niejednorodnością budowy. Składają się najczęściej z drobnych cząstek drzewnych usytuowanych względem siebie w sposób nieuporządkowany, a ponadto w wyniku procesu prasowania ich gęstość jest mocno zróżnicowana. Warstwy leżące blisko powierzchni mają znacznie większą gęstość niż warstwy środkowe, co w przypadku nawodnienia skutkuje nierównomiernym pęcznieniem i występowaniem efektu paczenia i delaminacji. Po stosunkowo długich okresach nawodnienia występujących w czasie powodzi płyty wiórowe wymagają najczęściej wymiany, nawet jeśli zniszczeniu uległy tylko dolne partie. Uzasadnia to przyjęte w obliczeniach modele obliczeniowe do budynków z poszyciem (parterowego i piętrowego, budynku z usuniętym poszyciem oraz budynków z usuniętym poszyciem i usztywnionego dwoma typami stężeń.

W rozdziale 9 przedstawiono wyniki badań w zakresie cieplno-wilgotnościowej fizyki budowlanej, których głównym celem było określenie izotermy sorpcji materiałów tworzących

przegrodę oraz długotrwałej nasiąkliwości. Następnie przeprowadzono analizy numeryczne: ciepłno-wilgotnościową przy zastosowaniu programu WUFI Pro oraz w programie Ansys Academic Resercher 2020.

3. Ocena naukowej wartości rozprawy

Za najważniejsze oryginalne osiągnięcia naukowe Autora należy uznać:

1. Przeanalizowanie dostępnych pozycji literatury naukowo-badawczej krajowej i zagranicznej. Z przeprowadzonego studium literaturowego wyniknęła potrzeba sformułowania własnego problemu badawczego oraz głównego celu i zakresu rozprawy.
2. Opracowanie i przeprowadzenie oryginalnego programu pomiarów laboratoryjnych, szczególnie w zakresie wpływu przemieszczeń giętno-skrętnych na nośność cienkościennej profili stalowych – ukierunkowującego opracowanie wkładki wzmacniającej, którą należy uznać za istotny wkład doktoranta w rozwój technologii remontowej, chociaż wykonanie w wersji druku 3D przy zastosowaniu ABS nie będzie zapewne na obecnym etapie czynnikiem sprzyjającym popularyzacji tego rozwiązania. Należy zapewne rozważyć opracowanie tańszego wariantu.
3. Przeprowadzenie oceny przebiegu procesu suszarniczego nawodnionej ściany szkieletowej, wskazującej na potrzebę demontażu poszycia.

Postawione przez Doktoranta na wstępie pracy trzy tezy badawcze należy uznać za udowodnione.

Przeprowadzona analiza numeryczna pozwala określić przemieszczenia cienkościennych konstrukcji stalowych powstałe w następstwie usunięcia elementów pokrycia przegród pionowych i ocenę tych przemieszczeń pod kątem stateczności bryły budynku. Wykazano również, że zaprojektowana wkładka montażowa może służyć do miejscowego wzmacniania profilu oraz sprawnego montażu stężeń ściennych, a stateczność bryły budynku wzmocnionej stężeniami jest znacząco zwiększona w stosunku do konstrukcji nie stężonej.

Przeprowadzając analizę ciepłno-wilgotnościową wykazano brak przydatności materiałów przegrody zewnętrznej nawodnionych na skutek oddziaływaniem wód popowodziowych.

4. Uwagi krytyczne

Generalnie do pracy nie zgłaszam istotnych uwag krytycznych. Jest jednak kilka sugestii, które warto wziąć pod rozwagę przy dalszym propagowaniu uzyskanych wyników badań.

Temat rozprawy wskazuje, że obejmuje ona całokształt zagadnień dotyczących problematyki lekkich przegród wykonanych w technologii szkieletowej. Zdaniem recenzenta byłoby wskazane zasygnalizowanie już w tytule, że rozprawa dotyczy zagadnień związanych z koniecznością wymiany poszycia na skutek nawodnienia powodziowego. Takie uściślenie wzbu- dziłoby dodatkowe zainteresowania potencjalnych czytelników tą rzadko poruszaną tematyką.

Z uwagi na osobiste zainteresowania autora recenzji bardzo są interesujące badania wilgotnościowe materiałów przegrody. Występuje pewien niedosyt w opisie szczegółów dotyczących tych badań, np. w zakresie wymaganego czasu wykonywania krzywych sorpcji dla poszczególnych materiałów. Interesująca byłaby również informacja dotycząca metodologii wyznaczenia współczynników a , b i c we wzorze opisującym równanie izoterm sorpcji (wzór 9,4). Proszę Doktoranta o uzupełnienie tych informacji podczas obrony.

Na sztywność ściany ma duży wpływ typ i rozstaw łączników, łączących płyty poszycia z konstrukcją ściany. Podczas wymiany poszycia powstają problemy z koniecznością wykonania dodatkowych otworów do mocowania poszycia – pozostają stare otwory, które osłabiają przekroje. Czy Doktorant analizował potrzebę zwiększenia ilości łączników mocujących poszycie w celu zrekompensowania tego osłabienia i zwiększenia nośności ściany usztywniającej. Czy był analizowany wpływ rozstawu łączników po obwodzie każdej płyty. Jeżeli zagęścimy rozstaw łączników, nośność całej ściany zwiększy się. Jest to najtańszy krok jaki się podejmuje w celu zwiększenia sztywności budynku. Kolejnym rozwiązaniem jakie dopuszcza norma, jest dwustronne poszycie ściany płytą OSB. Stosując takie rozwiązanie praktycznie podwajamy nośność ściany usztywniającej.

W ramach formułowania tytułu rozdziału 8 oraz przy formułowaniu celów składowych zastosowano skrót myślowy. Tytuł rozdziału w brzmieniu „Analiza numeryczno-doświadczalna wstępnych przemieszczeń giętno-skrętnych na nośność cienkościennych profili stalowych” mogłaby przyjąć np. brzmienie „Analiza numeryczno-doświadczalna wpływu wstępnych przemieszczeń giętno-skrętnych na nośność cienkościennych profili stalowych”.

Wyniki badań zawilgacania materiałów zestawiono w tabelach 9.2, 9.4 i 9.5. Występuje tu niefortunne uproszczenie polegające na tym, że wilgotność materiałów w stanie nasycenia opisano jako wilgotność przy RH 100 %. Oczywiście tak nie jest.

Rozprawa jest napisana poprawnie z prawidłowym układem tekstu, na dobrym poziomie merytorycznym i edytorskim. Występuje jednak rażąco błąd edytorski, za który należy

uznać nieprawidłowe stosowanie pisowni parametrów fizycznych antykwą zamiast kursywą. Międzynarodowe normy edytorskie: IEC lub ISO dokładnie precyzują zasady pisowni wzorów matematycznych w tym również stosowania antyki lub kursywy i należy je przestrzegać. Symbole wielkości fizycznych - niezależnie czy jest to litera alfabetu łacińskiego czy greckiego piszemy kursywą.

W tekście rozprawy recenzent doszukał się drobnych potknięć polegających na braku spacji czy tzw. literówek, ale są drobne problemy edytorskie.

5. Ocena osiągnięć zawartych w rozprawie

Za szczególnie interesujące wyniki należy uznać określenie wpływu zastosowania wkładki usztywniającej na poprawę sztywności giętno-skrętnej badanych profili. Doktorant udowodnił uzyskanie zwiększenia sztywności profilu w miejscu osadzenia stężeń .

Słusznie wykazano, że suszenie naturalne ścian po nawodnieniu powodziowym nie jest skuteczne i wymaga całkowitego usunięcia całego wypełnienia i poszycia szkieletu i wymiany na nowy. Potwierdzają to również badania prowadzone przez autora recenzji wykonane po powodzi w gminie Wilków na zbliżonych rozwiązaniach konstrukcyjnych.

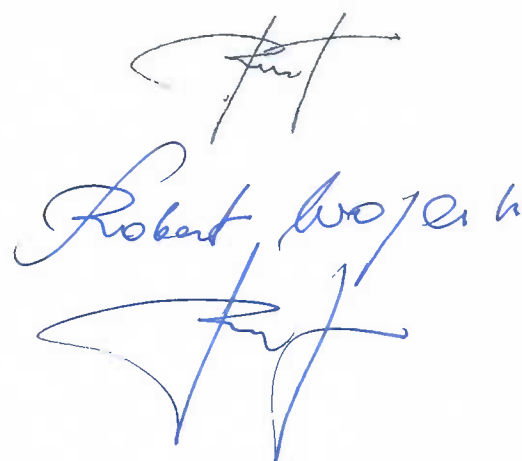
Pozytywnie oceniam przyjętą w pracy metodologię, jej wartość jako opracowania naukowego oraz wnioski. Problematykę zaprezentowano w sposób zrozumiały, z wyważonym przytoczeniem podstaw teoretycznych. Opracowanie wyników z wykorzystaniem nowoczesnych metod analitycznych wymagało dużej wiedzy i przygotowania doktoranta do prowadzenia tego typu analiz. Układ pracy jest logiczny, a uwaga o nieprawidłowym wykorzystaniu kursywy, nie wpływa na ogólnie bardzo pozytywną ocenę edytorską.

6. Wniosek końcowy

Podsumowując, wartościowe wyniki zawarte w pracy doktorskiej oraz rozmiar poniesionego wysiłku w organizacji stanowiska badawczego, należy uznać że z naukowego i praktycznego punktu widzenia stanowią one ważny wkład w rozwiązanie istotnego problemu teoretycznego i utylitarne. Uzyskane wyniki ukierunkowują procedury postępowania w przypadku remontu budynku szkieletowego w następstwie nadzwyczajnego nawodnienia powodziowego. Wykonanie badań wymagało od kandydata zdobycia wiedzy z zakresu nowoczesnych metod pomiarowych. Przygotowanie rozprawy wskazuje na posiadanie wiedzy i umiejętności do samodzielnego prowadzenia przez doktoranta badań naukowych. Recenzowana

praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim przez *Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym, a jej wyniki mają istotne znaczenie praktyczne*. Dlatego wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej pt. „**Numeryczno-doświadczalna analiza przegród zewnętrznych w konstrukcji z lekkiego szkieletu stalowego**” oraz dopuszczenie mgr inż. Mariusza Kosiń do publicznej obrony.

dr hab. inż. Robert Wójcik, prof. UWM



Robert Wójcik