

dr hab. inż. Krzysztof Cichocki, prof. uczelni
Pomianowo 62
78-200 Białogard

Pomianowo 5.07.2021

Wpłynęło..... 12.07.2021
Numer WBiiŚ.....
Referent/symbol.....

Opinia na temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Mariusza Kosiń
p.t. *Numeryczno-doświadczalna analiza przegród zewnętrznych w konstrukcji z lekkiego szkieletu stalowego*

1. Uwagi ogólne i treść pracy

Recenzowana rozprawa liczy 166 stron. Składa się z dziesięciu rozdziałów zgrupowanych w trzech częściach, czterech załączników oraz zawiera zestawienie cytowanej literatury obejmujące 187 pozycji. Autor w swej rozprawie zajął się problemem analizy numerycznej oraz doświadczalnej przegród zewnętrznych budynku o konstrukcji bazującej na lekkim szkielecie stalowym, poddanych działaniu wód powodziowych. Tego rodzaju oddziaływanie o charakterze wyjątkowym skutkuje zdaniem autora zawilgoceniem materiałów przegród zewnętrznych, a także koniecznością demontażu warstw poszycia. Ma to istotne wpływ na stateczność budynku jako całości, co w skrajnych przypadkach może prowadzić do awarii. Dla uniknięcia zagrożenia utratą stateczności zaproponowano usztywnienie w postaci wkładki z tworzywa sztucznego. Drugim zagadnieniem związanym z oddziaływaniem wód powodziowych na konstrukcję budynku o stalowym szkielecie jest problem likwidacji zawilgocenia materiałów przegrody. Autor skupił się na wyznaczeniu czasu niezbędnego do wyschnięcia materiałów przegrody zewnętrznej oraz określeniu jej przydatności do dalszej eksploatacji. Z tego też względu podjętą przez autora rozprawę tematykę należy ocenić jako niezwykle istotną, zaś postawiony cel pracy jako ambitny i mający ważne zastosowanie praktyczne.

Część I stanowi studialne przedstawienie tematyki pracy, rozpatrywanego problemu technicznego, jak też krótką prezentację podstaw teoretycznych (teoria profili cienkościennych oraz teoria opisu transportu masy i energii w przegrodach zewnętrznych). Podano także uzasadnienie tematyki pracy, zwracając uwagę na problemy techniczne związane z technologią naprawy budynków wykonanych jako stalowe konstrukcje szkieletowe, poddanych intensywnemu zawilgoceniu przegród zewnętrznych. Omówiono stosowane w tego rodzaju budynkach typowe rozwiązania konstrukcyjne połączeń oraz elementów składowych, bazujące na usztywnionych profilach stalowych typu C oraz nieusztywnionych typu U. W rozdziale 4 dotyczącym podstaw teorii profili cienkościennych podano znane z literatury zależności na określenie nośności granicznej prętów wykonanych z tego rodzaju profili. Rozdział 5 stanowi krótki opis podstaw teoretycznych transportu masy i energii w przegrodach zewnętrznych. Podano w nim podstawowe wzory opisujące omawiany problem, jak też skrócony przegląd obecnego stanu wiedzy na ten temat. Część I pracy kończy Rozdział 6 stanowiący opis celu, zakresu oraz głównych tez pracy. W zakresie pracy przyjęto metodykę rozwiązania przedmiotowego problemu technicznego na drodze analiz numerycznych oraz badań doświadczalnych.

Część II dotyczy badań prowadzonych w zakresie mechaniki budowli i składa się z dwóch rozdziałów. Rozdział 7 poświęcony jest ogólnej ocenie stateczności przegród zewnętrznych, podano w nim odpowiednie definicje stateczności konstrukcji oraz opisano zastosowaną metodologię analizy numeryczno- doświadczalnej. Szczegółowo omówiono uzyskane wyniki oraz sformułowano odpowiednie wnioski. Analizę numeryczną wpływu demontażu poszycia ścian na stan użyteczności konstrukcji wykonano przy zastosowaniu programu metody elementów skończonych Autodesk Robot Structural Analysis 2015. Podano zwięzły opis analizowanych budynków (jedno- i dwukondygnacyjnego), wymiary oraz zastosowane przekroje stalowe. Określono przyjęte do obliczeń obciążenia statyczne. Dyskretny model obliczeniowy metody elementów skończonych zbudowano przy zastosowaniu elementów prętowych modelujących szkielet stalowy, panele zewnętrzne modelowano jako powłoki o parametrach płyty OSB. Wszystkie podpory modelowano jako sztywne zamocowania, zaś połączenia elementów prętowych zadeklarowano jako przegubowe. Dla obu rozpatrywanych budynków (parterowego i piętrowego) przeprowadzono cztery analizy numeryczne, różniące się obecnością poszycia ścian, usunięciem poszycia w części parterowej oraz zastosowaniem dwóch rodzajów stężeń poziomych (pojedynczego oraz potrójnego skrzyżowania). W odpowiednich tabelach (Tab. 7.2, 7.3) podano częściowe wyniki obliczeń, w postaci maksymalnych i minimalnych przemieszczeń liniowych oraz kątowych dla obu typów budynków oraz rozpatrywanych przypadków analiz numerycznych. W Rozdziale 7.2 opisano autorskie rozwiązanie zapewniające stateczność konstrukcji budynku, będące przedmiotem patentu PL432102, którego jednym ze współautorów jest autor omawianej rozprawy doktorskiej. Są to stężenia cienkościennych profili typu C wykonane z tworzywa sztucznego ABS. Przeprowadzono analizę numeryczną wybranych elementów całej konstrukcji stosując program metody elementów skończonych ANSYS 2020, wykorzystując w budowie modelu dyskretnego wyniki uzyskane w poprzednich analizach całego budynku wykonanych przy użyciu programu Robot. W tym przypadku elementy cienkościenne modelowano stosując powłokowe elementy skończone, zaś do budowy modelu dyskretnego wkładki z ABS zastosowano sześciennie. Kontakt pomiędzy wkładką usztywniającą a elementem cienkościennym modelowano stosując dwa opisy: *Bonded* oraz *Frictional*, uzyskując w ten sposób odwzorowanie w modelu dyskretnym rzeczywistych warunków pracy wkładki. Podano także omówienie uzyskanych wyników pod kątem oceny skuteczności zastosowania wkładki usztywniającej.

Rozdział 8 dotyczy przeprowadzonych przez autora rozprawy analiz numerycznych oraz doświadczalnych cienkościennych profili typu C poddanych nieswobodnemu skręcaniu. Rozpatrzono w nich wpływ zastosowaniu wkładki usztywniającej na uzyskane wyniki, rezultaty badań doświadczalnych posłużyły do weryfikacji wyników analiz numerycznych. Opisano zastosowane stanowisko badawcze, metodologię badań, zastosowane oprzyrządowanie badawcze, przebieg badań oraz uzyskane wyniki, przedstawione w postaci wykresów obrazujących zależność przemieszczeń od obciążenia oraz obecności wkładki usztywniającej. Uzyskane wyniki poddane zostały analizie, przedstawionej w Rozdziale 8.3.1 w postaci tabelarycznych zestawień procentowych różnic dla przypadków zastosowania wkładki usztywniającej. W Rozdziale 8.2 opisano przeprowadzoną numeryczną analizę odpowiedzi giętno-skrętnej badanych elementów, wykonaną przy zastosowaniu programu metody elementów skończonych ANSYS 2020. Podano szczegółowe informacje dotyczące zastosowanego modelu dyskretnego: użyte rodzaje elementów skończonych, liniowo-sprężystych właściwości materiałów oraz modeli kontaktu pomiędzy poszczególnymi elementami analizowanej konstrukcji. Opisano także zastosowany algorytm siatkowania modelu, mający istotny wpływ na jakość uzyskanych wyników. Przedstawiono (Rozdział

8.2.3) analizę uzyskanych na drodze numerycznej wyników obliczeń, co posłużyło następnie do ich weryfikacji poprzez porównanie z wynikami badań doświadczalnych.

Część III dotyczy badań z zakresu fizyki budowli i składa się z jednego rozdziału (Rozdział 9), w którym przedstawiono wyniki analizy numerycznej oraz doświadczalnej zawilgocenia przegród zewnętrznych. W rozdziale omawiającym badania doświadczalne przedstawiono opis stanowiska badawczego do wyznaczenia izoterm sorpcji dla materiałów tworzących przegrodę zewnętrzną, zastosowaną aparaturę badawczą, próbki materiałów oraz uzyskane na drodze doświadczalnej krzywe sorpcji dla poszczególnych rodzajów materiałów. Rozdział 9.2 stanowi opis analizy numerycznej, wykonanej przy zastosowaniu dwóch programów WUFI Pro oraz ANSYS 2020. Za pomocą pierwszego programu wykonano symulację procesu osuszania przegrody zewnętrznej, zaś program ANSYS posłużył do określenia parametrów mostka cieplnego, zakładając obecność w materiałach przegrody zawilgocenia będącego pozostałością po zalaniu. Podano szczegółowe informacje dotyczące budowy modelu analizowanego w obu programach, zastosowanych algorytmów oraz przeprowadzonych analiz wyników obliczeń numerycznych. Obliczenia dotyczące procesu osuszania (program WUFI Pro) pozwoliły na wykreślenie zależności pomiędzy czasem (mierzonym w miesiącach) a całkowitą zawartością wody w przegrodzie (mierzoną w kg/m^3), dla różnych poziomów początkowego zawilgocenia. Wykresy uzyskano także dla symulacji, w której założono usunięcie ocieplenia i płyty g-k, dla uzyskania szybszego osuszenia warstw przegrody.

Analiza rozkładu temperatur w obszarze mostka cieplnego, przeprowadzona przy zastosowaniu programu ANSYS 2020, dotyczyła naroża przegrody zewnętrznej i wykonana została dla trzech przypadków wilgotności względnej (analogicznie do analizy procesu osuszania przegrody zewnętrznej). Przedstawiono także częściowe wnioski dotyczące uzyskanych rozkładów temperatury.

Ostatni Rozdział 10 stanowi podsumowanie oraz zawiera wnioski końcowe. Są one w części powtórzeniem wniosków oraz spostrzeżeń zamieszczonych w treści rozprawy.

Kończącą część pracy stanowi alfabetyczne zestawienie literatury oraz cztery załączniki, zawierające zestawienie obciążeń dla dwóch typów analizowanych budynków (Załącznik 1), wyniki badań eksperymentalnych dla profili oraz wkładki usztywniającej (Załącznik 2), wyniki analiz numerycznych dla profili oraz wkładki usztywniającej (Załącznik 3) oraz tabele zawartości wody w poszczególnych materiałach przegrody dla procesu osuszania prowadzonego dla różnych wartości wilgotności względnej (Załącznik 4).

2. Ocena rozprawy i uwagi krytyczne

- Rozprawę pana mgr. inż. Mariusza Kosiń uważam za opracowanie ciekawe poznawczo i ważne z punktu potencjalnych zastosowań praktycznych w przemyśle budowlanym. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt samodzielnego przeprowadzenia całości badań oraz próba uzyskania całościowego opisu analizowanego problemu. Autor dysponując dużą wiedzą na temat informacji dostępnych w literaturze zdecydował się na rozległy program badawczy, obejmujący wyznaczenie wielu cech opisujących badane zjawisko. Świadczy to o jego dojrzałości jako badacza, umiejętności planowania badań, opracowywania wyników i krytycznego ich opisu.

- W rozprawie nazbyt powierzchownie opisano modele dyskretne przyjęte do obliczeń metodą elementów skończonych. W Rozdziale 7.1 podano, iż elementy prętowe stanowiące model szkieletu stalowego łączone są w węzłach przegubowo. Brak tu uzasadnienia tego wyboru, zwłaszcza że wątpliwe jest aby połączenie w węzłach posiadało te same charakterystyki na wszystkich kierunkach. Przyjęcie w modelu trójwymiarowym połączeń przegubowych wydaje się nieuzasadnione.
- Tytuł Rozdziału 8 jest niezrozumiały. Prawdopodobnie autorowi rozprawy chodzi o zbadanie wpływu wstępnych przemieszczeń giętno-skrętnych na nośność cienkościennych profili stalowych. Nie zostało to jednak w sposób jednoznaczny wskazane w treści rozprawy. Zamieszczone wyniki badań opisują liniowe zależności pomiędzy przemieszczeniami profili a obciążeniem, nie doprowadzono jednak do stanu utraty nośności, rozumianego jako utrata zdolności układu do przenoszenia obciążeń. Analiza stanu utraty nośności byłaby cennym uzupełnieniem rozprawy i dostarczyłaby istotnych informacji dotyczących wpływu obecności wkładki usztywniającej na pracę elementu konstrukcyjnego.
- W Rozdziale 8.2.2 podano, że obliczenia (program ANSYS 2020) wykonano przy założeniu liniowych właściwości materiału w stanie sprężystym. Nie wynika z tego jakie modele materiałowe przyjęto do obliczeń, tzn. czy poza zakresem sprężystym uwzględniono także uplastycznienie, itp. Prawdopodobnie autorowi rozprawy chodziło o przyjęcie do obliczeń modelu liniowo-sprężystego, co nie wynika z użytego określenia. Moim zdaniem należało w pełni wykorzystać możliwości systemu ANSYS, oferującego złożone nieliniowe modele materiałowe, w tym sprężysto-plastyczne, bardzo dobrze oddające rzeczywiste właściwości mechaniczne stali.
- W pracy niezbyt starannie przedstawiono w formie graficznej uzyskane wyniki. Na przykład Rys. 9.16 pokazuje rozkłady temperatur w narożu zarówno w widoku z góry (a,c,e) jak też w aksonometrii (b,d,f) – są to te same warstwy, widok aksonometryczny nie zawiera dodatkowych informacji.
- Porównując wyniki uzyskane dla różnych modeli autor ogranicza się do przemieszczeń (głównie pionowych), co oczywiście jest uzasadnione. Trudne jest syntetyczne porównanie odpowiedzi różnych konstrukcji. Być może należało także poddać analizie stan naprężeń, poziomy energii odkształcenia, itp. – ograniczenie analizy wyników jedynie do przemieszczeń powinno zostać w rozprawie jednoznacznie uzasadnione.
- Redakcja pracy pozostawia sporo do życzenia. Autor nie ustrzegł się wielu błędów stylistycznych, literowych, niestarannego formatowania tekstu, itp. Nie obniża to wartości pracy, ale zdaniem recenzenta przed ostatecznym przekazaniem rozprawy do wydawnictwa należałoby oddać ją do korekty językowej i redakcyjnej.

Powyzsze uwagi mają charakter dyskusyjny i nie podważają mojej ogólnej pozytywnej oceny rozprawy.

3. Ogólna ocena rozprawy i wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Mariusza Kosiń jest ciekawą próbą rozwiązania złożonego problemu technicznego dotyczącego procesu przywracania funkcjonalności zawilgoconym konstrukcjom wykonanym w technologii stalowego szkieletu.

W trakcie opracowywania i formułowania niniejszej rozprawy autor wykazał się przygotowaniem do pracy naukowej, umiejętnością samodzielnego rozwiązywania problemów naukowych, teoretycznych i numerycznych.

Uzyskane poprzez to opracowanie doświadczenie i warsztat naukowy pozwalają mieć nadzieję na dalszy harmonijny rozwój naukowy doktoranta.

Wobec powyższego uważam, że recenzowana praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i oceniam ją pozytywnie.

