

Dr hab. inż. Wojciech Sumelka
Politechnika Poznańska
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Instytut Konstrukcji Budowlanych
ul. Piotrowo 5, 60-965 Poznań
wojciech.sumelka@put.poznan.pl

Poznań, 30.05.2016r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej
mgr inż. Michała Strąkowskiego

1. Podstawa formalna recenzji

- Uchwała Rady Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej nr 718 z dnia 24.03.2016r., wyrażona w piśmie Dziekana Wydziału Pana Prof. dr hab. inż. Dariusza Gawina z dnia 30.03.2016r.;
- Ustawa z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595, z póź. zm.).

2. Sylwetka Doktoranta

Pan mgr inż. Michał Strąkowski ukończył studia magisterskie w 2010 roku na Politechnice Łódzkiej, uzyskując stopień magistra inżyniera za pracę p.t. „Stalowa konstrukcja budynku odgazowywacza”, 2010, promotor: dr inż. Jerzy Goczek. Kandydat jest obecnie Asystentem w Katedrze Mechaniki Konstrukcji Politechniki Łódzkiej (Zakład Niezawodności Konstrukcji). Doktorant jest współautorem 5 publikacji i referatów naukowych, natomiast działalność dydaktyczną skupia wokół prowadzenia zajęć z konstrukcji metalowych oraz budownictwa przemysłowego. Pan mgr inż. Michał Strąkowski uzyskał nagrodę JM Rektora PŁ za osiągnięcia w działalności naukowej oraz za wzorowe wykonywanie obowiązków służbowych w 2014.

3. Charakterystyka i ocena rozprawy

3.1. Zawartość rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Michała Strąkowskiego pt. „*Niezawodność wybranych konstrukcji stalowych w warunkach pożaru*” obejmuje 177 stron, w tym: spis treści, 6

rozdziałów, spis literatury o łącznej liczbie 129 pozycji (w tym 5 publikacji współautorskich), spis norm, rozporządzeń, ustaw i dyrektyw w liczbie 18 pozycji oraz 4 załączniki. Główną tezę stawianą w pracy jest wykazanie stosowalności Stochastycznej Metody Elementów Skończonych (SMES) do komputerowego modelowania konstrukcji stalowych w warunkach pożaru, w tym określania niezawodności ww. konstrukcji.

W rozdziale 1 Kandydat dokonuje przeglądu literatury, formułuje tezę rozprawy oraz definiuje dodatkowo 8 celów towarzyszących. Ważnym aspektem rozważań jest prócz przeglądu wybranych prac naukowych wykazanie znajomości przez Doktoranta obowiązujących norm branżowych. Bazując na opracowanym przeglądzie stanu wiedzy Kandydat stwierdza, iż proponowane przez niego podejście do komputerowego modelowania konstrukcji stalowych w warunkach pożaru z wykorzystaniem SMES jest dotychczas nie stosowane.

W rozdziale 2 Kandydat omawia wybrane metody określania niezawodności konstrukcji. Obok podejścia normowego, Doktorant omawia grupę metod probabilistycznych oraz przeprowadza dyskusję wskaźnika niezawodności (Cornella oraz Hasofer-Linda).

Rozdział 3 obejmuje założenia niezbędne do komputerowego modelowania konstrukcji stalowych w warunkach pożaru. Kandydat zestawia równania termosprężystości, równania przewodnictwa cieplnego oraz warunki brzegowe stosowane w dalszej części rozprawy. W sposób syntetyczny omówione zostają kluczowe rezultaty Metody Elementów Skończonych (MES) dla problemu przepływu ciepła, w tym w zagadnieniach nieliniowych. Ponadto Doktorant omawia uogólnioną metodę perturbacji stochastycznej dziesiątego rzędu, podstawowe wzory estymatorów statystycznych wykorzystywane w metodzie symulacji Monte Carlo oraz ewolucję parametrów stali w podwyższonej temperaturze.

W rozdziale 4 Doktorant przedstawia wyniki 5 analiz numerycznych, w tym dwa z nich modelowane są jako zagadnienia termostrężystości z ustalonym przepływem ciepła (podgrzewanie pręta obustronnie utwierdzonego oraz przypadek pierwszy wieży telekomunikacyjnej poddanej oddziaływaniu podwyższonych temperatur w dolnej strefie konstrukcji), dwa jako zagadnienie termostrężystości z nieustalonym przepływem ciepła (przypadek drugi wieży telekomunikacyjnej poddanej oddziaływaniu podwyższonych temperatur w dolnej strefie konstrukcji oraz podgrzewanie dwuteownika walcowanego na gorąco) oraz jedno jako zagadnienie termostrężysto-plastyczności z nieustalonym przepływem ciepła (rozciąganie pręta pryzmatycznego w warunkach podwyższonych

temperatur). Należy podkreślić, iż analizowane przypadki podgrzewania dwuteownika walcowanego oraz rozciągania pręta pryzmatycznego oparto o analizę pełnego sprzężenia pola mechanicznego i termicznego, natomiast pozostałe przypadki rozwiązano jako zagadnienia sprzężenia sekwencyjnego (w pierwszej kolejności wyznaczano pole temperatur, natomiast w drugim pole przemieszczeń). W każdej z wyżej wymienionych analiz, w ramach SMES, Kandydat analizuje takie parametry jak wartość oczekiwana, współczynnik wariancji, skośność, kurtoza dla wybranych pól np. temperatury, przemieszczeń, naprężeń i na ich podstawie dokonuje próby oszacowania prognozy stosowalności SMES w ujęciu uogólnionej metody perturbacji stochastycznej dziesiątego rzędu.

Rozdział 5 obejmuje problematykę analizy niezawodności pożarowej konstrukcji. Doktorant omawia kryteria podziału na klasy niezawodności oraz wytyczne nadzoru podczas projektowania, wykonawstwa oraz eksploatacji. Następnie, na podstawie wyników z rozdziału 4, dokonuje oceny niezawodności konstrukcji wieży telekomunikacyjnej (przypadek drugi) oraz belki stropowej wykonanej z dwuteownika walcowanego.

W rozdziale 6 Kandydat podsumowuje rozprawę, formułuje kluczowe wnioski oraz wskazuje kierunki dalszego rozwoju. Doktorant stwierdza, iż uogólniona metoda perturbacji stochastycznej dziesiątego rzędu i czwartego momentu jest efektywnym narzędziem do modelowania różnego typu konstrukcji stalowych poddanych oddziaływaniu podwyższonej temperatury przy zawężeniu zakresu współczynnika wariancji zmiennej losowej do $\alpha \in [0; 0.05]$.

Rozprawę kończą 4 załączniki zawierające opracowane w ramach rozprawy skrypty programu MAPLE (zał. 1 i 2) oraz fragmenty plików wsadowych programu Abaqus wykorzystanych w analizach numerycznych opisanych w rozdziale 4 (zał. 3 i 4).

3.2. Ocena merytoryczna rozprawy

3.2.1. Uwagi ogólne

Tematyka rozprawy należy do ważnych problemów budownictwa. Ponadto analiza niezawodności konstrukcji, w tym w szczególności z uwzględnieniem czynników losowych, zalicza się do aktualnych problemów badawczych w wielu kluczowych instytucjach naukowych na całym świecie. Należy również podkreślić, iż szczególne znaczenie w tym obszarze badawczym ma modelowanie matematyczne. Rezultaty uzyskiwane w ramach

budowanych modeli obliczeniowych, pozwalają na podejmowanie trafnych decyzji projektowych w dużej mierze bez konieczności wykonywania serii kosztownych eksperymentów. Dodatkowo, rzeczywiste eksperymenty w warunkach pożaru nie dają możliwości tak szczegółowego wglądu w zachowanie się konstrukcji jak zaawansowane modele numeryczne. W tym sensie Doktorant trafnie wybiera tematykę badawczą.

3.2.2. Uwagi główne

Układ rozdziałów w rozprawie uważam za poprawny. Pewnym mankamentem jest natomiast brak zestawienia stosowanych oznaczeń co utrudnia analizę tekstu. Uważam również, iż sumarycznie zbyt szeroko potraktowano omówienie znanych zagadnień – rozdziały 1, 2, 3 oraz 5.1 stanowią łącznie niemalże 50% zasadniczej treści pracy. Pewne zastrzeżenia budzi również styl rozdziału 1.2 składający się z często niepowiązanych akapitów - można by tego uniknąć stosując zdania łączące lub wyraźnie rozgraniczające poruszane tematy. W mojej ocenie, tytuły załączników Z-3 i Z-4, zważywszy na ich zawartość, czyli wybrane fragmenty plików wsadowych programu Abaqus, winny mieć inne brzmienie.

Tezę rozprawy oraz cele towarzyszące zdefiniowano poprawnie. W tym miejscu jednak pojawia się pytanie co Doktorant rozumie przez 'opracowanie metody połączenia programu MES z programem MAPLE'. Również uważna lektura rozdziałów 4 i 5 nie daje odpowiedzi na to pytanie. Czy zatem dla przypadków rozwiązywanych z wykorzystaniem programu Abaqus Kandydat napisał stosowne skrypty, np. w języku programowania PYTHON, do automatyzacji wymiany danych z programem MAPLE?

W rozdziale 3 Doktorant szczegółowo omawia główne założenia modelowe. Prócz drobnych błędów edytorskich (wskazanych z pkt. 3.2.3. recenzji) wysoko oceniam przygotowanie teoretyczne Doktoranta. Uważam jednak, że przy tak szczegółowym opisie, w podrozdziale 3.5, Kandydat mógł poświęcić przynajmniej 2-3 strony na omówienie zagadnienia nieliniowości materiałowej związanej z zakresem plastycznym pracy materiału w ujęciu metody niejawnej – w obecnym układzie problemowi temu, kluczowemu w prezentowanych przykładach obliczeniowych w rozdziałach 4 i 5, poświęcono 1 akapit.

Przykłady obliczeniowe wykorzystywane w rozdziałach 4 i 5 dobrano poprawnie i są one ważne z punktu widzenia budownictwa. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż część uzyskanych wyników została już opublikowana w czasopiśmie z listy A MNiSW. Uzyskiwane rezultaty stanowią oryginalne osiągnięcie Kandydata i wymagały od niego

znaczono zaangażowania, w sensie konieczności opracowywania nowych algorytmów obliczeniowych. W tym miejscu chciałbym sformułować kilka uwag krytycznych:

- Algorytmy przedstawione na rysunkach 4.1, 4.34, 4.57, 4.96, 4.130 winny być uzupełnione o nazwy wykorzystanych programów;
- W przykładach obliczeniowych rozwiązywanych jako zagadnienie termosprężystości Kandydat winien wykazać, iż konstrukcja faktycznie pracuje w zakresie sprężystym, np. dyskusji wymaga rys. 4.3 gdzie wartość oczekiwana naprężeń wynosi nawet 370 GPa lub rys. 4.63 gdzie naprężenia zredukowane Hubera-Misesa-Hencky'ego mają wartość 122MPa w temperaturze ok 680 °C, pamiętając, iż w obliczeniach przyjęto stal węglową;
- Z opisów przykładów obliczeniowych nie można wywnioskować precyzyjnych wymiarów analizowanych obiektów, co więcej również opis sposobu przykładania obciążeń nie pozwala jednoznacznie stwierdzić czy wybrano najniekorzystniejszy układ obciążeń, np. na str. 87 czytamy 'Ze względu na znaczną wysokość konstrukcji, a co za tym idzie zróżnicowane obciążenie wiatrem.....' lub na str. 96 'Oddziaływania wieży to obciążenia stałe od ciężaru własnego urządzeń technologicznych, oddziaływanie wiatru....'.
- Opis typów elementów skończonych użytych w symulacjach jest mało precyzyjny. Np. na str. 114 czytamy '...elementy MES oznaczono w programie ABAQUS symbolem C3D4T....' – Doktorant winien wyraźnie skazać jakie funkcje kształtu przyjęto dla pola przemieszczeń, a jakie dla pola temperatur oraz czy wykorzystano pełne czy też zredukowane całkowanie, każdy z tych parametrów wpływa bowiem na wyniki etapu MES, szczególnie, iż na grubości ścianki dwuteownika przyjęto jeden element na grubości – patrz rysunki 4.101 i 4.102.

Podsumowanie pracy jest zgodne z uzyskanymi rezultatami, a wyznaczone kierunki dalszego rozwoju pozwalają stwierdzić, iż tematyka badawcza omawiana w rozprawie może być kontynuowana i rozwijana.

3.2.3. Uwagi szczegółowe

- str. 16, linia 3 od góry: jest 'założenie' winno być 'założenia';
- str. 16, linia 8 od góry: jest 'zginane' winno być 'zginany';

- str. 18, linia 1 od góry: jest 'sprężenie termiczno-mechaniczne' winno być 'sekwencyjne sprężenie termiczno-mechaniczne';
- str. 18, linia 16 od góry: jest 'pracach' winno być 'pracy';
- str. 35, linia 3 od dołu: jest 'Wtedy posługujemy się' winno być 'Posługujemy się wtedy';
- str. 36, linia 5 od dołu: jest 'duża efektywności' winno być 'dużą efektywność';
- rysunki 2.1 i 2.7 są identyczne;
- wzór 3.1 jest w zapisie wskaźnikowym nie potrzeba zatem stosować 'kropki' do oznaczenia kontrakcji tensorów;
- we wzorze 3.6₁ oraz 3.6₄ zamiast u winno być p ;
- we wzorze 3.8 błędnie oznaczono indeksy przy tensorze odkształcenia w pierwszym członie po prawej stronie równości;
- str. 52, nad wzorem 3.33: jest 'powierzchni obszaru' winno być 'obszarze';
- str. 68, linia 6 od góry: jest 'w dalszej poprzednim' winno być 'w poprzednim';
- błędne opisy osi rzędnych na rysunkach 4.26 do 4.29;
- str. 96, linia 8 od góry: jest 'normalną i tnącą' winno być 'normalną';
- str. 97, linia 3 od góry: jest '(rys. 4.60.' winno być '(rys. 4.60).';
- w rozdziale 4.4 dla lepszego wzrokowego porównywania wykresów osie rzędnych winny mieć te same zakresy np. rys 4.116 i 4.117;
- str. 129, linia 1 od dołu: jest 'własności' winno być 'właściwości';
- tabele 5.1-5.4 nie zawierają sugerowanego w tekście pod tabelami szarego wypełnienia;
- str. 174, linia 20 od dołu: jest '*Static-1.' winno być '*Static, 1.';

3.3. Podsumowanie

Opiniowana rozprawa doktorska w pełni zasługuje na pozytywną ocenę. Przedstawione uwagi krytyczne (główne i szczegółowe) nie umniejszają wartości naukowej pracy, a mają na celu podniesienie szczegółowości wypowiedzi. Kandydat osiąga w rozprawie oryginalne rezultaty, które mogą stanowić bazę do dalszego rozwoju naukowego. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż Doktorant jest współautorem dwóch wysoko punktowanych publikacji naukowych (w *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 2013 - 20pkt. MNiSW oraz w *Computer Modeling in Engineering & Science* 2014 - 30pkt. MNiSW).

6. Wniosek końcowy

Stwierdzam, iż rozprawa doktorska mgr inż. Michała Strąkowskiego pt. *„Niezawodność wybranych konstrukcji stalowych w warunkach pożaru”* stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego, a Kandydat wykazał ogólną wiedzę teoretyczną z zakresu modelowania konstrukcji stalowych w warunkach pożaru oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W związku z powyższym uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Michała Strąkowskiego pt. *„Niezawodność wybranych konstrukcji stalowych w warunkach pożaru”* spełnia warunki określone w Ustawa z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595, z póź. zm.) i wnioskuję o przyjęcie rozprawy przez Radę Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Wojciech Jurek