

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Michała Strąkowskiego pt. „Niezawodność wybranych konstrukcji stalowych w warunkach pożaru”

1. Informacje ogólne

Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo zlecające z dnia 07 marca 2016 roku Pana prof. dr hab. inż. Dariusza Gawina, Dziekana Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej. Recenzowana rozprawa doktorska wydana została w formie maszynopisu na 177 stronach. Składa się ona z 6 rozdziałów, 4 załączników, spisu literatury obejmującego 129 pozycji plus wykazu 18 norm, rozporządzeń, ustaw i dyrektyw. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Marcin Kamiński z Politechniki Łódzkiej.

2. Opis pracy i komentarze

Problem oceny bezpieczeństwa konstrukcji i budowli w warunkach pożaru ma ważne znaczenie praktyczne i jest równocześnie interesującym i trudnym problemem naukowym. Stąd podjęta tematyka pracy doktorskiej jest w pełni uzasadniona, zarówno ze względów aplikacyjnych a także ciekawa od strony teoretycznej.

Rozdział pierwszy rozprawy zatytułowany „Przedmiot, teza oraz cel i zakres pracy” rozpoczyna się od uzasadnienia podjęcia analizy bezpieczeństwa budowli w warunkach pożaru w ujęciu losowym. Przegląd literatury dotyczy kilku obszarów tematycznych. Szczegółowo omówiono metody probabilistycznej analizy konstrukcji, metody oceny niezawodności konstrukcji, podstawy projektowania konstrukcji, w tym także w warunkach pożaru, metody elementów skończonych. Przegląd literatury zawiera także tematykę kluczową z punktu widzenia pracy doktorskiej, a mianowicie modelowania przebiegu pożaru i oceny bezpieczeństwa konstrukcji w czasie takiego zdarzenia. Po dokonaniu przeglądu literatury sformułowano następującą tezę pracy: „Stochastyczną Metodę Elementów Skończonych można z powodzeniem stosować do komputerowego modelowania konstrukcji stalowych w warunkach pożaru i na jej podstawie określać ich niezawodność”. W rozprawie

Autor skoncentrował się na wyznaczeniu i analizie probabilistycznych charakterystyk odpowiedzi konstrukcji i określaniu wskaźnika niezawodności w warunkach pożaru. W realizacji postawionego celu Autor rozprawy wykorzystuje między innymi stochastyczną metodę perturbacyjną, a w szczególności Stochastyczną Metodę Elementów Skończonych, metodę Monte Carlo, programy Autodesk Robot Structural Analysis, ABAQUS, a także Maple.

Rozdział drugi zatytułowany „Metody określania niezawodności konstrukcji” zawiera opis metod oceny niezawodności konstrukcji. We wprowadzeniu do tego rozdziału omówiono trzy poziomy oceny niezawodności konstrukcji. Na stronie 25 Autor rozprawy pisze: „ Optymalną ocenę bezpieczeństwa konstrukcji wprowadził J. Murzewski przez zastosowanie funkcji ryzyka przekroczenia”. Szkoda, że w pracy nie wyjaśniono jaki jest związek funkcji ryzyka z optymalną oceną bezpieczeństwa. W teorii niezawodności funkcję ryzyka definiuje się jako prawdopodobieństwo zdarzenia pod warunkiem, że nie wystąpiło ono do danej chwili. W definicji funkcji gęstości prawdopodobieństwa warunek ten nie występuje. W kolejnym podrozdziale dość szczegółowo omówiono problem uwzględnienia losowości parametrów konstrukcji i obciążenia w ujęciu normowym. Przedstawiono sposoby wyznaczania wartości charakterystycznych i obliczeniowych nośności i obciążenia zaproponowane w normatywach. W kolejnych podrozdziałach przedstawiono metody i miary oceny niezawodności konstrukcji. Przedstawiono metodę Monte Carlo, metodę niezawodności pierwszego rzędu (First Order Reliability Method - FORM), metodę niezawodności drugiego rzędu (Second Order Reliability Method – SORM), współczynnik niezawodności Cornella a także współczynnik niezawodności Hasofer-Linda. Niesłusznie Autor na stronie 33 zaliczył metody oparte na zbiorach rozmytych do metod probabilistycznych. Omawiając metodę Monte Carlo w kontekście bezpieczeństwa konstrukcji należało nawiązać do specjalnych metod opracowanych do zagadnień niezawodności jak zastosowanie w symulacji na przykład „ważonej funkcji gęstości prawdopodobieństwa”.

Rozdział trzeci zatytułowano „Model matematyczny”. Zaraz na wstępie narzuca się pytanie model matematyczny, ale czego? Dopiero tytuły pierwszego, a także drugiego podrozdziału pozwalają domyślić się, że chodzi o zagadnienia związane z termosprężystością i przepływem ciepła.. W podrozdziałach tych przedstawiono podstawowe zależności i równania należące do teorii termosprężystości i przepływu ciepła. Na stronie 46 określenie „...zmiany ilości ciepła wprowadzonej do nieskończenie małej objętości (Tds), gdzie ...” nie jest poprawne, gdyż sugeruje, że wielkość (Tds) jest objętością. W następnym podrozdziale zatytułowanym „Metoda funkcji odpowiedzi” nie ma ani słowa o „metodzie funkcji odpowiedzi”. W

podrozdziale tym omówiono, jak aproksymować dowolną funkcję ciągłą wielomianem. Z tabeli 3.1 ma wynikać, że dla „wieży telewizyjnej – model II” najlepszą aproksymacją jest wielomian drugiego rzędu. Otóż „wieża telewizyjna” nie jest funkcją. Sama funkcja nie jest podana. Można tylko wnioskować, że jest to funkcja słabo nieliniowa stąd aproksymacja drugiego rzędu jest wystarczająca. W następnych dwóch podrozdziałach wyprowadzono liniowe i nieliniowe równania przepływu ciepła w ujęciu MES. Kolejnym elementem tego rozdziału jest prezentowana wcześniej w licznych pracach „Szkoly Łódzkiej” „uogólniona metoda perturbacyjna”. Metoda ta jest przedstawiona w wersji gdy tylko jeden parametr jest losowy. W rzeczywistości często mamy więcej zmiennych losowych. Czy jest jakiś powód aby wprowadzać do równań wielkość ε , która następnie przyjmuje wartość $\varepsilon=1$? Przeprowadzono obliczenia weryfikujące dla radiacyjnego strumienia ciepła, który jest funkcją czwartego stopnia temperatury traktowanej jako zmienna losowa o rozkładzie normalnym. Obliczenia wykonano metodą analityczną, Monte Carlo i metodą perturbacyjną wyznaczając wartość oczekiwaną, wariancję, moment centralny trzeciego stopnia (w tym skośność) i czwartego stopnia (w tym także kurtozę). Porównawcze wyniki przedstawiono na wykresach. Rozdział ten kończy normowy opis zmian własności fizycznych, w tym także mechanicznych stali w temperaturze pożarowej.

Obszerny rozdział czwarty zatytułowano „Eksperymenty numeryczne”. Wykorzystując programy komputerowe Autodesk Robot Structural Analysis, ABAQUS w połączeniu z Maple analizowano stan przemieszczenia i wyężenia następujących obiektów: pręt obustronnie utwierdzony, dwa modele wieży telewizyjnej, dwuteownik walcowany na gorąco oraz rozciągany pręt pryzmatyczny w zakresie sprężysto-plastycznym. Przyjmowano, że parametry mechaniczne konstrukcji (na przykład moduł Younga) są funkcją temperatury, przy czym przyjęto, że temperatura jest zmienną losową o rozkładzie Gaussa. Dla analizowanych wielkości, które są funkcjami losowej temperatury wyznaczono wartości oczekiwane, wariancję, momenty centralne trzeciego i czwartego stopnia pozwalające określić skośność i kurtozę nieznanego rozkładu prawdopodobieństwa. Wiele analiz wykonanych zostało trzema metodami, a mianowicie metodą analityczną, metodą Monte Carlo i metodą perturbacyjną. Otrzymane wyniki numeryczne przedstawiono na wielu wykresach, które pozwoliły na pewne komentarze i interpretacje. W tych komentarzach zabrakło mi podania przyczyny takiego czy innego przebiegu otrzymanej krzywej, a nie tylko stwierdzenia, że dana wielkość rośnie lub maleje lub osiąga ekstremum a co jest widoczne na danym wykresie. Przykładowo na stronie 80 Autor pisze „Dla temperatury $E[T]=450-850\text{ }^{\circ}\text{C}$ zauważono monotoniczny wzrost wartości kurtozy w przedziale $\alpha(T) < 0,13$ określonej według metody perturbacyjnej, kiedy to osiąga

ona ekstremum. Po przekroczeniu tej wartości kurtoza maleje (rys. 4.14-4.17)". Powstaje pytanie jaka jest fizyczna przyczyna wystąpienia tego ekstremum. Dotyczy to także analiz innych wykresów.

Rozdział piąty zawiera ocenę niezawodności pożarowej konstrukcji analizowanych w rozdziale czwartym. Jako miarę niezawodności zastosowano współczynnik niezawodności Cornella. Przypomnijmy, że do określenia współczynnika (indeksu) niezawodności Cornella wystarczy znajomość wartości oczekiwanych i wariancji obciążenia i nośności wyrażonych w tej samej bazie. Otrzymane wyniki przedstawiono na licznych wykresach i tabelach. Mam tutaj następującą uwagę. Rozpatrując stan użyteczności wartość dopuszczalna jest wielkością deterministyczną i jej wariancja jest równa zero i taka wartość powinna być wstawiona do odpowiedniego wzoru. Zamiast zera Autor przyjmuje, że wariancja równa się 5% wielkości dopuszczalnej, co nie jest niczym uzasadnione. Z równym powodzeniem można przyjąć 2, 10 a nawet 20 procent wartości dopuszczalnej, ale to nie ma nic wspólnego z wariancją przemieszczenia dopuszczalnego.

Rozdział szósty jest podsumowaniem pracy i zawiera szereg wniosków ogólnych i szczególnych wynikających z przeprowadzonych analiz numerycznych.

3. Ocena pracy

W pracy podjęto ważny i ciekawy naukowo problem mający także istotne znaczenie praktyczne, a mianowicie ocena niezawodności konstrukcji stalowych w warunkach pożaru. Uściślając, dokonano analizy zmiany charakterystyk probabilistycznych i niezawodnościowych takich parametrów stali jak moduł Younga, współczynnik rozszerzalności termicznej, ciepło właściwe, przewodność cieplna, granica plastyczności jako funkcji zmiany temperatury będącą zmienną losową o rozkładzie normalnym. Bazując na „Stochastycznej Metodzie Elementów Skończonych” i przyjmując losowość temperatury wyznaczono takie wielkości jak wartości oczekiwane, wariancje, probabilistyczne momenty centralne trzeciego rzędu, a stąd skośności, probabilistyczny momenty centralne czwartego rzędu, w tym kurtozę, wyżej wymienionych parametrów stali. Ocenę bezpieczeństwa konstrukcji dokonano wykorzystując przede wszystkim prosty współczynnik niezawodności. Bazując na profesjonalnych programach opracowano własne procedury numeryczne i programy pozwalające na probabilistyczną analizę postawionego problemu. Wykazano, że funkcja odpowiedzi konstrukcji może być aproksymowana zarówno wielomianami jak i funkcją wykładniczą, logarytmiczną lub hiperboliczną. Obok metody perturbacyjnej przedstawiono rezultaty otrzymane metodą analityczną i stosując metodę Monte Carlo.

Otrzymane wyniki numeryczne przedstawiono na licznych wykresach, które były podstawą przedstawionych w pracy interpretacji. Uważam to za najważniejsze i cenne osiągnięcia pracy. Zabrakło mi jednak pewnych wyjaśnień przyczyn fizycznych otrzymanych wyników, o czym już wspominałem wcześniej. Założenie, że temperatura ma rozkład Gaussa znacznie uprościło analizę problemu, ale takie założenie może budzić pewne wątpliwości czy jest słuszne. Szkoda, że nie przetestowano innych rozkładów prawdopodobieństwa. O strony teoretycznej pewną słabą stroną pracy jest fakt, że rozwiązania zawierają tylko jedną zmienną losową. Z przedstawionej pracy jednoznacznie wynika, że Doktorant posiada dużą wiedzę i sprawność w posługiwaniu się różnymi procedurami numerycznymi i programami w rozwiązywaniu problemów z zakresu probabilistycznej mechaniki i niezawodności konstrukcji. Podkreśliłbym także dużą umiejętność Autora rozprawy w wizualizacji opracowanych wyników.

4. Wniosek końcowy

W podsumowaniu chciałbym stwierdzić, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Michała Strąkowskiego pt. „Niezwodność wybranych konstrukcji stalowych w warunkach pożaru” jest samodzielnym rozwiązaniem zadania naukowego i odpowiada wymaganiom stawianym pracom doktorskim i na podstawie Art.13, pkt. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw nr 65, poz.598) wnoszę o przyjęcie pracy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

