

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Norberta Tuśnio „Numeryczna analiza wytrzymałości konstrukcji stalowych w warunkach pożaru”

1. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa Pana mgr inż. Norberta Tuśnio składa się z 8 rozdziałów, instrukcji użytkowania systemu FDS2FEAP, kodu programu FDS2FEAP, spisu najważniejszych oznaczeń oraz bibliografii.

W rozdziale 1. „Wprowadzenie” Doktorant formułuje przedmiot i cel pracy. Przedmiotem badań podjętych w dysertacji jest zachowanie się wielokondygnacyjnych budynków o konstrukcji stalowej (izolowanej i nieizolowanej) w warunkach pożaru.

Celem pracy jest przygotowanie aparatu obliczeniowego do tych badań, który polega na opracowaniu sposobu łączenia modelu termicznego opisującego rozwój pożaru i, jak pisze Doktorant, wytrzymałościowego oraz odpowiadających im modeli numerycznych.

Następnie Doktorant omawia skrótowo, w ujęciu historycznym, rozwój wiedzy na temat rozwoju pożaru w pomieszczeniu, zagadnienie odporności ogniowej i trwałości pożarowej, badania mechaniczne stali w zależności od temperatury i stany graniczne bezpieczeństwa pożarowego. Mając na uwadze cel pracy Doktorant omawiając rozwój pożaru koncentruje się na charakterystykach termicznych.

W rozdziale 2. „Cel i zakres pracy” Doktorant formułuje tezę pracy, czego, i słusznie, nie wymaga się w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki. Teza ta brzmi następująco: programy komputerowe oparte na modelach rozwoju pożaru i wytrzymałości konstrukcji można wykorzystać do jednoczesnej analizy przepływu ciepła i deformacji konstrukcji budynku, a także do określenia czasu potrzebnego do ewakuacji ludzi.

Do analizy przyjęto następujące założenia.

1) Modele obliczeniowe:

- model rozwoju pożaru za pomocą symulacji Fire Dynamics Simulation (FDS),
- model symulacji procesu deformacji oparty na metodzie elementów skończonych.

2) Trójwymiarowe elementy skończone.

3) Materiał sprężysto-plastyczny, z uwzględnieniem zmian spowodowanych oddziaływaniami termicznymi pożaru.

4) Konstrukcja ma budowę modułową.

5) Sprzężenie termiczno-mechaniczne odbywa się na zasadzie przekazania wartości temperatury wyznaczonej przez model MES. Wartość temperatury przenoszona jest w każdym kroku czasowym.

W dalszym ciągu rozdziału Doktorant streszcza zawartość rozprawy.

Rozdział 3. „Przegląd literatury” jest poświęcony fizycznym i numerycznym modelom rozwoju pożaru, modelowaniu numerycznemu procesu deformacji i zniszczenia konstrukcji poddanych oddziaływaniom termicznym, z uwzględnieniem efektów nieliniowych.

Rozdział 4. poświęcony jest badaniom rozwoju pożaru za pomocą modelu numerycznego FDS. Według Doktoranta trudności dotyczące modelowania warunków termicznych pożaru związane są z trzema obszarami:

- ogromną liczbą scenariuszy,
- ograniczeniem możliwości obliczeniowych komputerowo,
- niezdefiniowanym dokładnie składem paliwa, czyli materiałów które ulegają spalaniu.

Następnie zostały krótko omówione modele strefowe oraz modele polowe analizowane za pomocą programów CFD (Computational Fluid Dynamics). Jeden z tych programów (FDS) Doktorant analizuje bardziej szczegółowo. Przytacza podstawowe równania, tzn. równanie zachowania masy, pędu i energii, równanie stanu gazu doskonałego, równanie wymiany ciepła przez przewodzenie, konwekcję i promieniowanie oraz procedurę uśredniania Reynoldsa, równań zachowania masy, pędu i energii.

W dalszej części rozdziału Doktorant omawia procedurę stabilności rozwiązań numerycznych, modele turbulencji oraz weryfikację doświadczalną modeli polowych na podstawie literatury, a także własne analizy wrażliwości modelu FDS na zmienność różnych parametrów.

Analizy te obejmują:

- wrażliwość temperatury na zmianę mocy pożaru,
- wpływ rozmiaru siatki na temperaturę w płaszczyźnie sufitu,
- wpływ kroku czasowego na temperaturę w płaszczyźnie sufitu,
- efekt skali na przykładzie rozchodzenia się ciepła w pomieszczeniu prostopadłościennym,
- przykładowe obliczenia trajektorii ruchu cząsteczki w układzie płaskim,
- dyskusję wpływu wielkości komórek siatki na obliczane wartości temperatury,
- ocenę wpływu parametrów turbulencji na temperaturę kolumny konwekcyjnej.

Doktorant uzasadnił, że liczba 100 kątów bryłowych jest wystarczająca do oceny gęstości promieniowania cieplnego oraz podał propozycję własnego modelu wymiany ciepła przez promieniowanie,

W rozdziale 5. „Analiza wytrzymałości konstrukcji obciążonej termicznie i mechanicznie przy użyciu programu MES” Doktorant przedstawił równania sprężystego i termosprężysto-plastycznego materiału z izotopowym wzmocnieniem, z uwzględnieniem odkształceń termicznych.

Rozdziały 6 i 7 dotyczą istoty rozprawy doktorskiej.

W rozdziale 6. „Koncepcja połączenie algorytmów do modelowania zjawisk termicznych związanych z pożarami a algorytmami analizy procesów deformacji konstrukcji” Doktorant podaje koncepcję i sposób połączenia dwóch algorytmów, tj. algorytmu modelowania warunków termicznych pożaru i algorytmu do analizy deformacji i nośności konstrukcji podanej oddziaływaniom pożaru. Podaje także opis interfejsu FDS2FEAP. Jest to program własny, opracowany przez Doktoranta, polegający na przekazywaniu wyników obliczeń dotyczących oddziaływań termicznych (program FDS) do obliczeń dotyczących procesów deformacji i zniszczenia konstrukcji (program FEAP).

W rozdziale 7. „Przykłady obliczeń numerycznych” przeprowadzono analizę przemieszczeń izolowanej i nieizolowanej belki stalowej, deformacji szkieletu stalowego budynków jedno-, dwu- i trzykondygnacyjnego przy przyjęciu różnych warunków rozwoju pożaru. W rozdziale tym przeprowadzono także symulację rozwoju pożaru i procesu zniszczenia jednokondygnacyjnej hali o konstrukcji stalowo-żelbetowej. Jest to przykład analizy przydatnej przy poszukiwaniu miejsca i przyczyny powstania pożaru, gdyż dotyczy rzeczywistego zdarzenia.

W rozdziale 8. „Podsumowanie” omówione są wyniki pracy i ograniczenia programów. Do pracy dołączono instrukcję użytkownika i kod programu FDSZFEAP. Bibliografia zawiera 247 pozycji do roku 2009.

2 . Ogólna ocena rozprawy

W pracy Doktorant podejmuje bardzo ważną i aktualną problematykę dotyczącą kształtującej się inżynierii bezpieczeństwa pożarowego i bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji.

Ten interdyscyplinarny obszar dotychczas ujmowany w sztywnych przepisach dotyczących ochrony przeciwpożarowej ulega głębokim modyfikacjom i racjonalizacji. Wprowadza-

ne są pierwsze próby projektowania konstrukcji na podstawie realistycznych scenariuszy rozwoju pożaru. Znalazło to swój wyraz w Eurokodach, w których dopuszczono stosowanie zróżnicowanych oddziaływań termicznych na konstrukcję, w tym modeli opartych na numerycznej mechanice płynów.

Stworzenie aparatu obliczeniowego, pozwalającego na przejście z programów za pomocą których ocenia się przebieg warunków termicznych do programów według których przeprowadza się analizę deformacji i nośności konstrukcji jest jednym z bardzo ważnych elementów rozwoju tego obszaru.

Szczególnie ważne jest to w przypadku konstrukcji stalowych. Koszt zabezpieczeń ogniochronnych konstrukcji stalowych sięga 40% wartości konstrukcji. Stąd zainteresowanie takich koncernów jak Arcelor Mittal, które inicjują programy badawcze zmierzające do racjonalnej oceny bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji.

Problem podjęty w rozprawie doktorskiej Pana mgr inż. Norberta Tuśnio mieści się więc w głównym nurcie prowadzonych w Europie i na świecie prac, jest aktualny i ważny zarówno z uwagi na możliwość analizy odpowiedzi konstrukcji na oddziaływania pożaru jak i analizy dotyczącej przyczyn i miejsca wybuchu pożaru.

Opracowany aparat obliczeniowy pozwala na analizowanie stanu konstrukcji w odniesieniu do czasu trwania pożaru, a nie do osiągnięcia przez konstrukcję danej temperatury.

Aby osiągnąć postawiony cel Doktorant musiał rozwiązać zarówno problemy numeryczne jak i problemy natury fizycznej.

Opracowanie interfejsu wymagało ingerencji w programy źródłowe, opracowanie zasad automatycznego doboru dyskretyzacji i doboru kroku czasowego. Za bardzo ważny element rozprawy uważam dobór parametrów turbulencji i analizę wpływu turbulencji na poprawność obliczeń, analizę wrażliwości z uwagi na zmiany niektórych parametrów wyjściowych, opracowanie algorytmu eliminacji zniszczonych przegród i elementów konstrukcji, a także zamieszczenie w rozprawie praktycznych efektów pracy w postaci instrukcji użytkowania i kodu programu opracowanych przez Doktoranta.

3. Uwagi szczegółowe

Ogólna ocena wartości rozprawy jest wysoka. Przygotowana jest starannie od strony edytorskiej.

Doktorant nie ustrzegł się pewnych niedoskonałości na które należałoby zwrócić uwagę w dalszych pracach i publikacjach. W dysertacji często używane jest określenie *wytrzymałość konstrukcji*. Otóż termin *wytrzymałość* stosuje się w odniesieniu do opisu stanu materiału. W

przypadku konstrukcji w Eurokodach i projektowaniu używane są terminy *nośność* i *stateczność*.

Jeżeli jesteśmy przy Eurokodach to w bibliografii powołano się na prenormy ENV. Są już normy PN-EN.

Nie używa się także określenia *obciążenie temperaturą* lecz *oddziaływanie temperatury*.

Przypuszczam, że zmiany modułu sprężystości stali w funkcji temperatury (rys. 5.1) zostały podane według Eurokodu 3 (PN-EN 1993-1-2) a nie według powołanej pozycji [117] która dotyczy innej problematyki. Wątpliwości budzi komentarz do równania 5.62, w którym podano, że drugi człon równania opisuje przyrost odkształceń plastycznych spowodowanych rozszerzalnością cieplną; otóż w zagadnieniach rozpatrywanych w rozprawie rozszerzalność cieplna nie jest funkcją naprężeń ani szybkości zmian naprężeń.

Większą uwagę Doktorant powinien zwrócić na styl, ścisłość sformułowań, unikać personifikacji w rodzaju „rozdział opisuje” oraz sposób formułowania wniosków, gdyż podsumowania częściowe niektórych rozdziałów zawierają stwierdzenia banalne w rodzaju: obliczenia są wrażliwe na niepewność danych wyjściowych, poziom opisu fizycznego, wielkość kroku czasowego, wymiar siatki, błędy procedur obliczeniowych czy – inny przykład - rozszerzalność temperaturowa powoduje deformacje belki mimo istnienia zerowych sił zewnętrznych (str.124). Na tej samej stronie podany jest wniosek zbyt daleko idący: „przy działaniu znacznych sił zewnętrznych rozszerzalność temperaturowa traci znaczenie”.

4 . Ocena końcowa

Recenzowana rozprawa spełnia wymagania sformułowane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, tj.:

- Doktorant określił zagadnienia naukowe do rozwiązania,
- rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego,
- Doktorant wykazał ogólną wiedzę teoretyczną i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W konkluzji wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Warszawa, 02.09.2010r.



Mirosław Kosiorek