

Warszawa, dnia 04.05.2023 r.

dr hab. inż. arch. Adam BARYŁKA, prof. WAT
Wojskowa Akademia Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego
Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
00-908 Warszawa 46

POLITECHNIKA BYDGOSKA
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Wpłynęło..... 11.05.2023
Numer WBAiŚ.....
Referent/symbol.....

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Sosnowskiej
pt.: „Modelowanie termodyfuzji sprzężonej metodą elementów
czasoprzestrzennych”.

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano w związku z pismem Przewodniczącej Rady naukowej dyscypliny „inżynieria lądowa geodezja i transport” Wydziału Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechniki Bydgoskiej, dr inż. Justyny Sobczak Piąstka, z dnia 31.03.2023, nr WBAiŚ.520.88.2022

2. Przedmiot recenzji i zakres opracowania

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Sosnowskiej pt.: „Modelowanie termodyfuzji sprzężonej metodą elementów czasoprzestrzennych”. Pracę przygotowano na Wydziale Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechniki Bydgoskiej pod kierunkiem Pana prof. dr hab. inż. Adama Podhoreckiego będącego promotorem pracy i Pani dr hab. inż. Magdaleny Dobiszewskiej, prof. PBŚ pełniącej funkcję Promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim.

3. Układ i treść rozprawy

Praca doktorska liczy 153 strony. Składa się ze spisu treści, wykazu ważniejszych oznaczeń, 7 rozdziałów oraz bibliografii, która obejmuje 144 pozycje literaturowe.

W rozdziale pierwszym sformułowano przedmiot, cel i zakres dysertacji oraz postawiono tezę badawczą. Omówiono również ważność zjawiska termodyfuzji w inżynierii lądowej, wskazując na mnogość zagadnień w tym zakresie. W pracy rozpatruje się nieustalone przepływy ciepła i substancji dyfundującej wywołane oddziaływaniem wewnętrznym lub/i zewnętrznym. Celem pracy było opracowanie modelu termodyfuzji sprzężonej w ciałach stałych geometrycznie i fizycznie liniowych oraz sformułowanie algorytmu rozwiązania tego zagadnienia z użyciem metody elementów czasoprzestrzennych.

W rozdziale drugim przedstawiono przegląd literatury, zarówno z zakresu termodyfuzji, jak i metody elementów czasoprzestrzennych. Wykazano przy tym ważność i aktualność analizowanych zagadnień, zarówno w sferze poznawczej, jak i z praktycznego punktu widzenia.

W rozdziale trzecim opisano zagadnienie początkowo-brzegowego termodyfuzji sprzężonej w rozważanym ośrodku. Sformułowano przyjęte założenia, scharakteryzowano podstawowe prawa dyfuzji i przewodnictwa cieplnego wynikające z postulatów termodynamiki -procesów nieodwracalnych oraz szczegółowo przedstawiono wyprowadzenie równań różniczkowych cząstkowych termodyfuzji sprzężonej.

W rozdziale czwartym wyprowadzono równania czasopracy wirtualnej rozważanego problemu oraz zaprezentowano nową postać zasady Hamiltona rozszerzoną na zagadnienie termodyfuzji sprzężonej.

W rozdziale piątym opisano istotę metody elementów czasoprzestrzennych, ogólne założenia podejścia czasoprzestrzennego, przykłady dyskretyzacji i stosowanych funkcji kształtu wraz z kryteriami doboru tych funkcji. Określono charakterystyki elementu czasoprzestrzennego i sformułowano równania MECZ w zagadnieniach termodyfuzji sprzężonej. Scharakteryzowano rekurencyjny charakter metody, prezentując przy tym pasmową strukturę

macierzy sztywności czasoprzestrzennej. Podano także kryteria stabilności prezentowanej metody.

Rozdział szósty zawiera przykłady obliczeń zagadnienia termodyfuzji sprzężonej z użyciem metody elementów czasoprzestrzennych. Do obliczeń wykorzystano autorski program komputerowy. Zaprezentowano sześć prostych przykładów, aby można było łatwo zweryfikować efektywność opracowanego modelu obliczeniowego i poprawność otrzymanych rezultatów. Przeprowadzone obliczenia potwierdzają występowanie oczekiwanego sprzężenia pomiędzy drganiami, rozkładem temperatury i stężeniem substancji dyfundującej.

W rozdziale siódmym zamieszczono końcowe wnioski z przeprowadzonych rozważań. Uzasadniono, iż cel pracy został osiągnięty a teza badawcza została udowodniona. Podano oryginalne elementy pracy oraz wskazano kierunki dalszych badań. Na końcu pracy znajduje się wykaz literatury obejmujący 144 pozycje.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Termodyfuzja sprzężona jest istotnym zagadnieniem w budownictwie. Wskazać można chociażby na procesy ciepłno-wilgotnościowe przegród budowlanych, czy też obróbki ciepłno-chemiczne powierzchni metalowych. Poznanie i właściwe zamodelowanie zjawisk z zakresu termodyfuzji pozwala również na odwzorowanie zachowania się konstrukcji w sytuacjach wyjątkowych, takich jak pożar, czy powódź.

W rozprawie doktorskiej opracowano oryginalny matematyczny model termodyfuzji sprzężonej w postaci przydatnej do rozwiązywania zagadnień dynamicznych. Przedstawiono szczegółowe wyprowadzenia równań różniczkowych opisujących rozważane zagadnienie, podając konsekwencje i uzasadnienie przyjętych założeń. Przedstawiono także sformułowanie globalne w postaci równań czasopracy wirtualnej oraz podano uogólnienie zasady Hamiltona.

Drugim oryginalnym elementem rozprawy doktorskiej jest zbudowany model skończonego elementu czasoprzestrzennego. Przedstawiono charakterystykę SKECZ, zbudowano układ równań w formule czasoprzestrzennej i pokazano jego strukturę oraz scharakteryzowano schemat rozwiązania z wykorzystaniem procedury rekurencyjnej.

Opracowany algorytm obliczeniowy zaimplementowano do autorskiego programu komputerowego i przetestowano na sześciu przykładach, które pokazują efektywność zaproponowanego modelu do analizy zagadnień termodyfuzji sprzężonej i niesprzężonej. Analizuje się zachowanie stalowego pręta pod wpływem obciążeń zewnętrznych, źródeł ciepła i źródeł substancji dyfundującej. Dla różnych przypadków wyznaczano zmianę przemieszczeń, temperatury i stężenia substancji dyfundującej. Przedstawiono również weryfikację tego, w jakim stopniu gęstość dyskretyzacji wpływa na dokładność wyników.

Słabym punktem rozprawy doktorskiej jest ograniczenie się w przykładach obliczeniowych wyłącznie do zagadnień jednowymiarowych. Dobrze byłoby przetestować, w jaki sposób opracowany algorytm obliczeniowy sprawdza się w przykładach bardziej złożonych, elementach dwu i trójwymiarowych, które mają większe znaczenie praktyczne, np. w analizie zjawisk ciepło-wilgotnościowych.

5. Podsumowanie

Przedstawiona rozprawa doktorska dotyczy zagadnień dotyczących modelu ciała stałego geometrycznie i fizycznie liniowego, poddanego działaniu zmiennego w czasie i przestrzeni obciążenia, oddziaływaniom termicznym oraz przepływowi masy a także sformułowanie algorytmu rozwiązania tego problemu z użyciem metody elementów czasoprzestrzennych. Doktorantka rozpatruje nieustalony przepływ ciepła i masy, co oznacza że rozkład stężenia substancji dyfundowanej oraz ilość ciepła i masy, które podlega wymianie ulegają zmianom w czasie. Wewnętrzna energia cała jest więc zależna od pola odkształceń temperatury oraz stężenia dyfundującej substancji a analizowanemu przypadkowi towarzyszy dyssypacja energii. Stwierdzam, że Doktorantka sformułowała właściwą tezę rozprawy: *„Możliwe jest uzyskanie efektywnego rozwiązania zagadnienia początkowo – brzegowego termodyfuzji sprzężonej w ciałach stałych z użyciem metody elementów czasoprzestrzennych ”* która mieści się w przedmiocie badań w ramach dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Doktorantka znalazła zagadnienie, które nie zostało jeszcze zbadane i proponuje swoje oryginalne podejście i zastosowanie narzędzia autorskiego – programu komputerowego w ramach modelu obliczeniowego metody elementów czasoprzestrzennych. Oceniam podjęty w rozprawie doktorskiej temat jako zasadny do rozważań naukowych, a model wirtualnej czasopracy dla termodyfuzji sprzężonej oraz opracowanie autorskiego programu są moim zdaniem użyteczne w praktyce budowlanej.

6. Wnioski końcowe

Uważam opiniowaną rozprawę doktorską za cenną. Wskazaną wyżej uwagę krytyczną należy traktować jako służącą ewentualnemu uwzględnieniu w dalszych pracach badawczych i publikacjach Doktorantki.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Sosnowskiej stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego i wnosi wkład dyscypliny *inżyniera lądowa, geodezji i transportu*. Doktorantka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w danej dyscyplinie naukowej, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i wykorzystania odpowiednich metod naukowych i techniki badawczych.

W związku z powyższym uważam, że przedłożona przez Doktorantkę Magdalенę Sosnowską rozprawa doktorska pt. „Modelowanie termodyfuzji sprężonej metodą elementów czasoprzestrzennych” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r.

Składam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Adam Baryłka

