

Kraków, 10.07.2022 r.

dr hab. inż. Jacek Pietraszek, prof. PK

Katedra Informatyki Stosowanej

Wydział Mechaniczny

Politechnika Krakowska

RECENZJA

pracy doktorskiej

mgr inż. Marii Zych

pod tytułem

Wyznaczanie współczynnika wymiany ciepła pomiędzy odlewem a formą odlewniczą z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji

Podstawa prawna oceny:

Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki

Częstochowskiej nr 12/2021/2022 z dnia 31 marca 2022 r. oraz pismo Kierownika

Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna, Wydział Inżynierii Mechanicznej i

Informatyki dr hab. inż. Janusza Szmidla, prof. PCz z dnia 12.05.2022 r. (nr R-WIMil-5`10-11/15)

KONKLUZJA

Przedstawiona do recenzji praca doktorska pt. *Wyznaczanie współczynnika wymiany ciepła pomiędzy odlewem a formą odlewniczą z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji*, w pełni potwierdziła posiadanie przez Doktorantkę umiejętności dostrzegania, sformułowania i rozwiązania problemu badawczego, a w szczególności planowania i prowadzenia badań eksperymentalnych. Świadczy ona o tym, że Doktorantka opanowała metody badawcze i potrafi się nimi prawidłowo posługiwać, posiada pogłębioną wiedzę teoretyczną i specjalistyczną, jest samodzielna i dojrzała intelektualnie.

Praca ta, pomimo pewnych przedstawionych poniżej uwag krytycznych, spełnia warunki stawiane pracom doktorskim w dyscyplinie INŻYNIERIA MECHANICZNA, w

związku z czym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Marii Zych do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

UZASADNIENIE

Tematyka rozprawy

Tematyka rozprawy jest innowacyjnym połączeniem metodyki algorytmów ewolucyjnych jako techniki rozwiązującej z problemami zagadnień termomechanicznych, a w szczególności zagadnień odwrotnych (ang. *inverse problems*) związanych z krzepnięciem stopów w formach odlewniczych.

Modele teoretyczne zagadnień termomechanicznych najczęściej zawierają parametry, w przypadku których oszacowania wartości są bardzo zgrubne, a upraszczające założenia są dalece posuniętymi idealizacjami znacznie odbiegającymi od realizacji fizycznych. W związku z tym niezbędne jest zarówno wsteczne dopasowywanie wartości przyjmowanych parametrów do obserwowanych wartości wielkości fizycznych, jak i często zamiana w przypadku tychże parametrów pojedynczych wartości na pola skalarne. Jest to źródłem niezmiennej popularności zagadnień odwrotnych w termomechanice, a także różnych metod korekcyjnych, w tym m.in. rachunku wyrównawczego szeroko w swoim czasie propagowanego przez prof. Szarguta i prof. Styrylską oraz ich uczniów. Tylko w obszarze inżynierii na temat zagadnień odwrotnych rocznie ukazuje się kilka tysięcy prac naukowych indeksowanych w bazie Scopus. Zagadnienia te z uwagi na sposób formułowania wprost, a rozwiązywania wstecz, cechują się znaczną złożonością obliczeniową, a co za tym idzie trudnościami czysto technicznymi zarówno w zakresie wykorzystania zasobów obliczeniowych, jak i zbieżności odpowiednich metod rozwiązujących.

Algorytmy ewolucyjne są gałęzią metod stochastycznych, która łączy zarówno cechy klasycznych metod Monte Carlo, łańcuchów Markowa, jak i quasi-deterministyczną moderację uzyskiwanych iteracyjnie kolejnych przybliżeń populacyjnych dla rozwiązania przyjętego zagadnienia optymalizacyjnego. W zależności od konkretnej realizacji sekwencji czynności propagacji populacji, jak i wariantu jej moderacji, otrzymuje się poszczególne algorytmy ewolucyjne: algorytmy genetyczne (GA), algorytmy roju pszczół (ABC), algorytmy mrówcze (ACO) itd.

Z uwagi na fakt, że zagadnienia odwrotne w termomechanice są formułowane różniczkowo lub wariacyjnie (całkowo), natomiast algorytmy ewolucyjne są w swej naturze optymalizacyjne, wymagane jest połączenie ich za pomocą funkcji kryterialnej,

której zmiennymi stanu są poszukiwane wartości parametrów termomechanicznych, natomiast jej wartość będzie podlegała zazwyczaj minimalizacji – stąd popularność wszelkiego rodzaju funkcji błędu, zarówno średniokwadratowych, jak minimaksowych. Odpowiednie sformułowanie takiej funkcji jest znaczącym czynnikiem wpływającym na późniejszą efektywność metody. Popularność takiego podejścia znacząco wzrosła od czasu pojawienia się po roku 2005 stosunkowo tanich kart GPU, w szczególności firmy nVidia, wykorzystywanych jako substytut wieloprocessorowych komputerów wektorowych oraz oferowanych dla tych kart przez firmę PGI cross-kompilatorów (C/C++/Fortran) przeniesionych wprost z superkomputerów Cray.

Doktorantka w swojej pracy w sposób innowacyjny adaptuje wybrane algorytmy ewolucyjne do wyznaczania w zagadnieniu odwrotnym wartości współczynnika przenikania ciepła pomiędzy odlewem a formą odlewniczą przy założeniu obowiązywania warunku brzegowego czwartego rodzaju tzn. na części brzegu obowiązuje warunek Dirichleta, a na części warunek Neumanna.

Słowa kluczowe „*heat transfer*” wykazują w bazie Scopus ponad 400 tysięcy artykułów naukowych. Dodatkowe zawężenie poszukiwania kluczem „*inverse problem*” zawęży tę liczbę do nieco ponad 10 tysięcy. Kolejna selekcja kluczem „*intelligence*” zwraca już tylko nieco ponad 500 pozycji w ogóle, przy czym znacząca jest dynamika wzrostu: 2018 – 39 pozycji, 2019 – 48 pozycji, 2020 – 54 pozycje, 2021 – 68 pozycji. Zdecydowanie świadczy to o narastającym zainteresowaniu kręgów naukowych tematyką w ramach której lokuje się praca Doktorantki.

Charakterystyka i ocena rozprawy

Praca ma objętość 200 stron numerowanych. Zawiera spis treści, krótkie wprowadzenie, osiem numerowanych rozdziałów, streszczenie w języku polskim i angielskim, bibliografię, spis tablic i spis rysunków. W jej skład wchodzi 169 rysunków oraz 41 tabel.

Tytuł rozprawy „*Wyznaczanie współczynnika wymiany ciepła pomiędzy odlewem a formą odlewniczą z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji*” został sformułowany poprawnie i koresponduje z treścią przedstawioną w pracy.

Rozdział 1 to obszerna analiza literatury podzielona na trzy części tematyczne: pierwsza to pozycje związane z modelowaniem przepływu ciepła, druga to pozycje związane z szeroko rozumianymi zagadnieniami sztucznej inteligencji, w tym algorytmów ewolucyjnych, natomiast część trzecia wiąże obie tematyki koncentrując się na pozycjach odnoszących się do zastosowań algorytmów sztucznej inteligencji w

modelowaniu przepływów ciepła. Rozdział zamyka podsumowanie oraz krótkie uzasadnienie podjęcia tematu pracy.

Rozdział 2 zawiera zwięźle sformułowanie celu, tezy i zakresu pracy. Postulowanym celem pracy jest adaptacja algorytmów ewolucyjnych do rozwiązywania zagadnień przepływu ciepła. Tezą pracy jest postulowanie możliwości zastosowania wspomnianych algorytmów do rekonstrukcji współczynnika przenikania ciepła przy założeniu warunku brzegowego czwartego rodzaju. Zakładany zakres pracy obejmuje analizę tematu i powiązanej literatury, implementację dwóch algorytmów rojowych, adaptację istniejącego oprogramowania, eksperyment numeryczny oraz analizę wrażliwości przyjętych algorytmów.

Rozdział 3 zawiera matematyczne sformułowanie modelowanego zjawiska przewodzenia ciepła ujęte w podejściu różniczkowym. Przedstawione tam wyrażenia są w kolejnych częściach pracy podstawą obliczeń symulacyjnych.

Rozdział 4 zawiera krótkie wprowadzenia do ogólnie pojętej inteligencji obliczeniowej i algorytmów rojowych, a następnie w miarę szczegółowe opisy algorytmu roju pszczół (ABC) oraz algorytmu mrówczego (ACO).

Rozdział 5 zatytułowany „*Założenia wstępne do badań*” zawiera ograniczone zestawienie metodyki i techniki prac: opisane jest eksploatowane oprogramowanie, podana jest specyfikacja sprzętu komputerowego, zestawione są przyjęte własności materiałowe. Najistotniejszymi informacjami podanymi w tym rozdziale są sformułowanie kryterium (funkcjonału) podlegającego minimalizacji algorytmami ewolucyjnymi oraz geometria zadania testowego.

Rozdział 6 zatytułowany „*Wyniki symulacji dla zadania testowego*” zawiera wymieszane: metodykę analityczną, opis obiektu testowego, uzyskane wyniki i ich jednoczesną dyskusję. Zawarte dwa podrozdziały opisują eksperyment symulacyjny odnoszący się do tej samej ogólnej geometrii przy dwóch różnych tesselacjach różniących się gęstością dyskretyzacji: liczbą elementów i węzłów. Nie jest wyjaśniony sposób doboru konkretnych wartości parametrów zarówno generowanej siatki, jak i parametrów uruchamianych algorytmów ewolucyjnych. Nie rozważono też możliwości wpływu ewentualnych interakcji pomiędzy tymi parametrami na uzyskane wyniki. Wyniki są prezentowane wyłącznie w ujęciu „*one factor at time*”. Sam sposób prezentacji wyników jest przejrzysty, wykresy są starannie wykonane, natomiast wyniki tabelaryczne cechują się przesadną długością rozwinięcia dziesiętnego. Szkoda, że Doktorantka nie rozważyła skojarzenia z tabelami wykresów rozrzutu skalowanych do

odpowiednich zakresów min-max centrowanych na wartościach średnich wyników. Dawałoby to znacznie lepszy wgląd na wpływ parametrów typu „zaburzenie”, „liczba osobników”, „liczba iteracji” względem wyników końcowych.

Rozdział 7 zatytułowany „*Wyniki symulacji dla złożonej geometrii*” są w istocie powtórzeniem proponowanego przez Doktorantkę podejścia w odniesieniu do bardziej złożonego kształtu analizowanego obszaru. W odniesieniu do tego rozdziału adresuję te same uwagi, co w przypadku rozdziału 6. Dodatkowo wystąpiła istotna utrata nad rozmieszczeniem tekstu i rysunków, gdyż tekst kończący się na stronie 137 ma kontynuację dopiero na stronie 145, a po tej stronie z kolei jest przeskok do strony 153. Podpisy pod rysunkami nie są wyraźnie wyodrębnione wielkością czcionki w stosunku do tekstu zasadniczego, co istotnie utrudnia lekturę pracy.

Rozdział 8 zatytułowany „*Podsumowanie*” zawiera zarówno podsumowanie pracy, jak i zebrane konkluzje oraz cztery punkty odnoszące się do ewentualnych dalszych prac, z czego dwa mają charakter ekstensywny i obejmują komplikację geometrii i zwiększenie liczby parametrów bez istotnej zmiany podejścia, natomiast dwa pozostałe są ciekawe i proponują zrównoleglenie algorytmów oraz realną walidację metody w warunkach eksperymentu fizycznego.

Bibliografia publikacji zawiera 71 pozycji, stosunkowo nowych: 5 pozycji z lat 2020 i 2021, 46 pozycji z poprzedzającej dekady (2010-2019), 18 pozycji starszych, w tym 4 sprzed roku 2000. W przypadku dwóch pozycji, [12] i [54] autorka nie określiła roku wydania. Bibliografia zawiera 5 pozycji, w których współautorką jest promotor rozprawy, co oznacza, że dysertacja wpisuje się w tematykę prac prowadzonych przez promotora. Cytowana specjalistyczna literatura z zakresu tematyki pracy gwarantuje, że w pracy opisano aktualny stan wiedzy z kraju i zagranicy.

Za oryginalny wkład Doktorantki w rozwój dyscypliny INŻYNIERIA MECHANICZNA (aczkolwiek praca jest stricte interdyscyplinarna łącząc w sobie mechanikę stosowaną, informatykę stosowaną oraz inżynierię mechaniczną), zaliczam:

- opracowanie kompletnego podejścia obliczeniowego wykorzystującego algorytmy ewolucyjne do wyznaczania współczynnika wymiany ciepła w przypadku warunków brzegowych czwartego rodzaju,
- zweryfikowanie na drodze eksperymentu numerycznego zasadności takiego podejścia i jego efektywności obliczeniowej,
- rozwój i adaptację oprogramowania służącego do prowadzenia wspomnianych obliczeń.

Rozprawa doktorska mgr inż. Marii Zych ma charakter teoretyczno-aplikacyjny lokując się w obszarze znanym skrótowo jako SBES (*Simulation-Based Engineering and Science*). Uzyskane wyniki badań mogą zostać wdrożone do zastosowań praktycznych. Uznaję, że zamierzony zakres pracy został zrealizowany, a cele badawczy został w dużej mierze osiągnięty.

Uwagi krytyczne i błędy edytorskie

Rozprawa doktorska mgr inż. Marii Zych zawiera pewne nieścisłości oraz błędy redakcyjne:

- niewyodrębnienie w osobnym rozdziale metodyki analitycznej oraz założeń geometryczno-parametrycznych od wyników i dyskusji,
 - przesadną liczbę cyfr w wynikach tabelarycznych; w tej kwestii zdecydowanie sugeruję zapoznanie się z normą ISO 80000-1 Annex B,
 - brak uzasadnienia wyboru konkretnych wartości dla rzadszej i gęstszej tesselacji (80 elem. I 58 węzłów vs. 360 elem. i 214 węzłów na str. 57; ten sam mankament na str. 67),
 - brak uzasadnienia doboru konkretnych parametrów do przebiegów algorytmicznych: liczba osobników, liczba iteracji (str. 57 i str. 67),
 - brak oceny istnienia i ewentualnego wpływu interakcji poszczególnych parametrów na uzyskane wyniki,
 - brak spisu najważniejszych oznaczeń i skrótów,
 - brak kontroli nad przepływem tekstu względem rysunków (str. 128, 137, 145, 153),
 - wykonanie spisu literatury zgodnie ze stylem *Chicago* (alfabetycznym) przy jednoczesnym stosowaniu w tekście odsyłaczy zgodnie ze stylem *Vancouver* (kolejnościowym); powoduje to duże trudności z identyfikacją cytowanych prac.
- Oczekuję ze strony Doktorantki udzielenia wyjaśnień odnośnie powyższych uwag.

dr hab. inż. Jacek Pietraszek, prof. PK