

KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ I MODELOWANIA

Wydział Inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA
STASZICA W KRAKOWIE**

Dr hab. inż. Łukasz Rauch, prof. AGH

Kraków, 2024.09.15

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Bartosza Łżowskiego pt. "Modelowanie i symulacja numeryczna procesu hartowania gazowego kół zębatych wykonanych ze stali Pyrowear 53".

Zlecenie na opracowanie recenzji otrzymałem od Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza pismem nr RM-530-02-02/2024 z dnia 19 czerwca 2024 roku. Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr inż. Bartosza Łżowskiego przedstawiam poniższą opinię.

1. PRZEDMIOT OCENY

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska składająca się ze wstępu i pięciu rozdziałów zasadniczych oraz podsumowania z wnioskami i spisu literatury. Spis literatury obejmuje 188 pozycji, z których znakomita większość została opublikowana w ostatnich dwóch dekadach. Są to ważne publikacje związane z tematyką rozprawy, zarówno publikacje czasopismowe jak i książkowe, a także linki do stron WWW. Co do ostatnich mam wątpliwości, czy powinny znaleźć się w spisie bibliografii jako pozycje nierecenzowane, szczególnie że linki te często prowadzą do stron dostawców oprogramowania. Pracę uzupełniają streszczenia w języku polskim i angielskim, a także spis rysunków i tabel. Wspomniane pięć rozdziałów zasadniczych wnosi następujące treści:

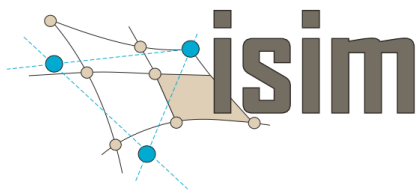
- Rozdział 1 to studium literatury. Należy przyznać, że jest ono bardzo obszerne obejmuje łącznie przeszło 30 stron poruszając tematykę pracy w pięciu podrozdziałach. Najpierw Autor omawia źródła deformacji w procesie nawęglania i hartowania stali, by następnie przejść płynnie do tematyki zintegrowanego podejścia do wirtualnej analizy procesów wytwarzania, gdzie omawia przykłady modelu wielooperacyjnego jak również wpływ doboru wielkości elementów siatki na zbieżność obliczeń. Podsumowanie tej

**Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie | Wydział inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej | Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania**

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

tel. +48 12 617 38 75, fax +48 12 617 28 89

e-mail: lrauch@agh.edu.pl, <http://home.agh.edu.pl/lrauch>



KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ I MODELOWANIA

Wydział Inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA
STASZICA W KRAKOWIE**

problematyki daje Autorowi możliwość przejścia do kolejnego rozdziału, który skupia się na wykorzystaniu symulacji komputerowych w analizie procesów obróbki cieplnej, gdzie odpowiedni dobór siatki może odgrywać kluczową rolę. Kolejne podrozdziały to opis porównania warunków hartowania gazowego i olejowego, które są najważniejsze dla analizy tematyki podjętej w pracy, a także opis modelowania zjawisk zachodzących podczas nawęglania i hartowania stali.

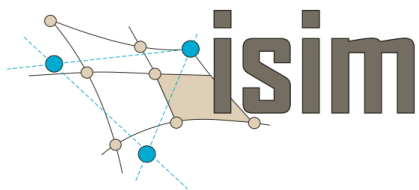
- Rozdział 2 składa się w zasadzie z dwóch części, pomimo iż są w nim cztery podrozdziały – jest to (i) analiza stanu zagadnienia oraz (ii) wynikający z niej cel pracy, teza i zadania, które Autor postawił sobie do realizacji. W pierwszej części Autor powołuje się zarówno na raporty projektowe jak i dostępne publikacje naukowe przedstawiając aktualny stan badań w zakresie procesów obróbki cieplnej stali Pyrowear53. Podrozdział ten dobrze byłoby podsumować, aby wskazać w kolejnych punktach lub w tabeli, czego brakuje w obecnych rozwiązaniach, a co Autor planuje wnieść do tego obszaru badań z wykorzystaniem podejścia przedstawionego w recenzowanej pracy. Z pewnością poprawiłoby to czytelność całego rozdziału i pozwoliłoby na łatwiejsze zrozumienie tezy i celów pracy. Te elementy przedstawione są dalej wraz z kolejnymi zadaniami, które Autor zdefiniował, aby osiągnąć cel i udowodnić tezę.
- W rozdziale 3 Autor bardzo szczegółowo przedstawia opis przedmiotu badań, którym są koła zębate przekładni epicyklicznej systemu redukcji obrotów wentylatora, a także szczegóły procesów wytwarzania kół zębatach. W tym przypadku Autor omawia zarówno procesy nawęglania jak i obróbki cieplnej oraz mechanicznej. Z punktu widzenia niniejszej pracy w zasadzie dwie pierwsze grupy są istotne, co Autor podkreśla na rysunku 3.6. W rozdziale 3.2 znaleźć można szczegółowe informacje na temat samego procesu jak i wykorzystywanych urządzeń oraz składu chemicznego badanego materiału.
- Modelowanie oraz symulacje numeryczne przedstawione zostały w rozdziale 4. Zawiera on spis założeń Autora do przeprowadzenia modelowania i symulacji numerycznych, a także wyznaczenie własności materiałowych oraz opis wszystkich niezbędnych modeli m.in. modele geometryczne, MES, przemiany fazowe. Rozdział 4.4 zawiera przedstawienie implementacji oraz sposobu rozwiązania modelu procesu obróbki cieplnej. Rozdział 4 jest bardzo obszerny i wyczerpująco opisuje niezbędne elementy kompleksowego modelu, jednak przez niezbyt dobrze dobrany podział treści poszczególnych podrozdziałów jest jednocześnie bardzo chaotyczny i ciężki w analizie.
- Piąty rozdział przedstawia wyniki wszystkich symulacji numerycznych. Jak słusznie

**Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie | Wydział inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej | Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania**

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

tel. +48 12 617 38 75, fax +48 12 617 28 89

e-mail: lrauch@agh.edu.pl, <http://home.agh.edu.pl/lrauch>



KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ I MODELOWANIA

Wydział Inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA
STASZICA W KRAKOWIE**

założył Autor pracy mieszczą się one w granicy błędu, który został przedstawiony na wstępie rozdziału 4. Wszystkie wyniki obliczeń numerycznych porównane zostały do pomiarów wykonanych po procesie hartowania i wraz z tymi pomiarami przedstawione zostały w niniejszym rozdziale.

Łączna objętość tekstu pracy wraz ze spisem literatury, spisem rysunków, tabel i dodatkiem wynosi 164 strony.

2. OCENA PRACY

Praca porusza temat, który jest bardzo aktualny a jednocześnie bardzo zaawansowany obliczeniowo. Model, który został zaproponowany w pracy uważam za skomplikowany na tyle, że jestem zaskoczony, iż jednej osobie w postaci Doktoranta udało się zaprojektować i zaimplementować takie podejście w całości. Kompleksowe symulacje wymagały opracowania składowych modeli w postaci rysunków CAD, modeli złożonych własności materiałowych, modelu MES, przeprowadzenia badań laboratoryjnych/przemysłowych oraz analizy odwrotnej lub znalezienia odpowiednich wartości w literaturze, a także wielu innych zabiegów. Ogrom tych prac pokazuje, z jak bardzo zaawansowanym problemem mamy do czynienia w niniejszej pracy. Nawet jeśli praca dotyczy tylko jednej wybranej stali i jest realizowana dla jednego wybranego koła zębatego, to należy stwierdzić, iż Doktorantowi udało się zaproponować kompleksowe podejście, które można zastosować w dla różnych materiałów i różnych elementów obrabianych cieplnie. Uważam to za najważniejsze osiągnięcie naukowe niniejszej pracy doktorskiej, dlatego sumarycznie oceniam pracę bardzo pozytywnie.

Układ rozdziałów utrzymany jest w klasycznej konwencji – najpierw przedstawiony jest stan literaturowy, czyli część analityczna, a następnie część syntetyczna zawierająca badania przeprowadzone przez Doktoranta oraz ich wyniki. Przede wszystkim nie mam zastrzeżeń do sposobu przeprowadzenia badań doświadczalnych oraz do ich interpretacji, a także do przygotowania warsztatu symulacyjnego, którym bardzo świadomie posługuje się Autor. W mojej opinii liczba oraz różnorodność wykonanych badań i obliczeń oraz ich wariantów jest godna uznania. Doktorant nie ustrzegł się jednak błędów i po wnikliwej analizie tekstu pracy nasuwają się pewne uwagi, które wymagają wyjaśnienia:

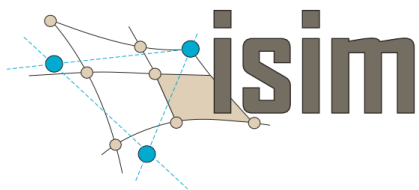
1. Sformułowanie tezy wydaje się być na pierwszy rzut oka dość skomplikowane, ale w rzeczywistości wiele z elementów tezy można potwierdzić już na etapie badań literaturowych. Czy poprawne sformułowanie modelu matematycznego i prawidłowy dobór parametrów modeli numerycznych pozwoli na prognozowanie rozkładu węgla w warstwie nawęglanej? Tak. Można odpowiedzieć już na podstawie analizy literatury. Czy

**Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie | Wydział inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej | Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania**

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

tel. +48 12 617 38 75, fax +48 12 617 28 89

e-mail: lrauch@agh.edu.pl, <http://home.agh.edu.pl/lrauch>



KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ I MODELOWANIA

Wydział Inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA
STASZICA W KRAKOWIE**

umożliwi predykcję składu fazowego? Tak. Również na podstawie literatury. Modele są dość dobrze opisane i wiarygodne, szczególnie że w przypadku tego procesu mamy do czynienia praktycznie wyłącznie z przemianą martenzytyczną. Czy pozwoli na symulację naprężeń? Tak. Mam jednak wątpliwości co do faktu, czy poprawne modele i dobór ich parametrów pozwalają na przeprowadzenie optymalizacji. W tym przypadku decydują nie tylko modele, ale i wielomodalność funkcji celu, odpowiedni dobór wag parametrów tej funkcji czy też dobór samej metody optymalizacji – same modele i ich poprawność mogą jeszcze nie wystarczyć. Głębszego wyjaśnienia od Autora wymaga zatem, jak udowodnić ten element tezy.

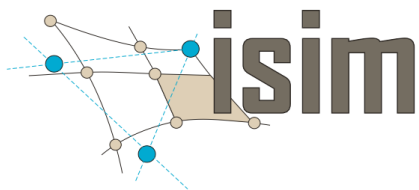
2. Odniesienie do założonego przez Autora wpływu poprawności modeli na możliwość optymalizacji procesu znajdziemy w podsumowaniu pracy w punkcie 2. W mojej opinii w tym punkcie Autor błędnie stara się udowodnić możliwość optymalizowania procesu poprzez analizę zmiany wejścia modeli i wpływ tych zmian na wyjście. Takie działanie jest domeną analizy wrażliwości a nie optymalizacji. Zgodzić się można natomiast z tą częścią punktu 2, która mówi, że działania zmierzające do zmian parametrów wejściowych i ponowne przeprowadzenie analiz numerycznych wspomaga wdrażanie zmian technologicznych i zmniejsza kosztocłonność tego procesu.
3. Autor wielokrotnie w swojej pracy powołuje się na optymalizację procesu obróbki cieplnej czy też wykorzystanie optymalizacji w analizie odwrotnej podczas identyfikacji parametrów modeli. Niestety w pracy próżno szukać funkcji celu w tych wszystkich zastosowaniach, o których mówi Autor. Nie ma również informacji na temat zastosowanych metod optymalizacji poza jednym miejscem, gdzie Autor pisze „Optymalizację prowadzono metodą minimalizacji średniego błędu kwadratowego” i podaje definicję tego błędu. Stwierdzenie to uważam za błędne, ponieważ średni błąd kwadratowy może być co najwyżej miarą funkcji celu, a metodą optymalizacji może być np.: simplex, metoda gradientów sprzężonych czy też algorytmy genetyczne. Doktorant powinien szerzej wyjaśnić, jakich metod używał, w jakich zastosowaniach i jaka była definicja różnych funkcji celu, które stosował w niniejszej pracy.
4. W rozdziale 1.2 pojawiają się rysunki 1.2 i 1.6, które nie mają przypisanych źródeł pochodzenia. Jest to rozdział z przeglądem literatury, a zatem dosyć ważny w kontekście pracy i analizy dostępnych rozwiązań. Można się domyślać, iż rysunki są autorstwa Doktoranta. Moja główna uwaga dotyczy jednak treści zawartych w rysunkach. Na rysunku 1.2 dobrze byłoby dodać oś rzędnych, która symbolizowałaby złożoność analizowanych modeli; bez niej wykres traci trochę sens, szczególnie ułożenie skośne

**Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie | Wydział inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej | Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania**

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

tel. +48 12 617 38 75, fax +48 12 617 28 89

e-mail: lrauch@agh.edu.pl, <http://home.agh.edu.pl/lrauch>



KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ I MODELOWANIA

Wydział Inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA
STASZICA W KRAKOWIE**

kolejnych obrazków. Jednak największe kontrowersje budzi we mnie rysunek 1.6 – Doktorant w jakiś sposób dochodzi do wniosków, że liczba 20000 węzłów w modelu oraz wielkość elementu siatki odpowiadająca 0,1mm pozwoli na osiągnięcie zbieżności modelu, nie pisząc, jaki to jest model. Takie stwierdzenia są zdecydowanie nieprawdziwe i być może mają zastosowanie w jakimś specyficznym modelu, liczącym np.: pole temperatur w określonej wymiarowo próbce, do której pasowałaby siatka MES z wykresu, ale z całą pewnością nie jest to reguła o charakterze generycznym. Autor powinien doprecyzować, o co chodziło w tym opisie i rysunku.

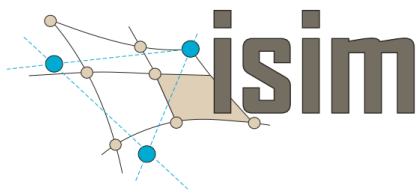
5. Na stronie 62 Autor wspomina o czułości modelu numerycznego, który z założenia w praktyce przemysłowej powinien być o rząd wielkości większy niż dopuszczalne pole tolerancji. Autor powinien wyjaśnić, czym wg Niego jest ta czułość modelu numerycznego, ponieważ przykład podany w kolejnym zdaniu raczej przedstawia wynik i błąd modelu, przez co cały akapit może być niezrozumiały dla czytelnika.
6. Strona 64 i 65 – Autor pisze, iż wymrażanie w schemacie obróbki cieplnej jest niezbędne w celu osiągnięcia przemiany martenzytycznej. Jednocześnie z tabeli 3.3 nie da się dowiedzieć, jaki jest chociażby średni czas i prędkość chłodzenia. Przy 9 barach można zweryfikować, jak długo zajmuje osiągnięcie temperatury pokojowej i określić czy dana przemiana nie zajdzie już wcześniej, przynajmniej w części hartowanego koła zębatego. Poza tym, na jakim poziomie zdefiniowana została temperatura pokojowa? W tabeli 3.2 wygląda jakby temperatura pokojowa wynosiła 45°C.
7. W odniesieniu do poprzedniej uwagi oraz wyników symulacji numerycznych proszę Autora o wyjaśnienie jaka prędkość chłodzenia w przypadku symulacji numerycznych hartowania gazowego została osiągnięta i czy przemiana martenzytyczna miała szansę zajść w całości w warstwie nawęglonej lub w rdzeniu zgodnie z kinetyką przemiany fazowej?
8. Czy materiał do badań przedstawiony w rozdziale 3.2.2 nie powinien spełniać zakresów składu chemicznego? Po co Autor określa jeden konkretny skład, który może się zmieniać? Jest dla mnie zrozumiałe, że jakieś założenie było potrzebne do oprogramowania JMatPro, ale czy ten wynik jest dla jednej próbki czy został wyznaczony na podstawie badań kilku próbek i uśredniony?
9. Układ rozdziału 4 jest zastanawiający – dlaczego taki podział podrozdziałów a nie inny? Brak uporządkowania wprowadza pewien chaos, przez co ciężko się odnaleźć w tym rozdziale np.: modelowanie wymiany ciepła podczas hartowania opisane w rozdziale 4.3.3 rozwiązuje się z wykorzystaniem MES na modelu CAD i siatce elementów

**Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie | Wydział inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej | Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania**

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

tel. +48 12 617 38 75, fax +48 12 617 28 89

e-mail: lrauch@agh.edu.pl, <http://home.agh.edu.pl/lrauch>



KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ I MODELOWANIA

Wydział Inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA
STASZICA W KRAKOWIE**

skończonych, które przedstawia rozdział 4.3.6. Jednak poza geometrią koła zębatego i siatką jednak niewiele jest w tym rozdziale o samej metodzie. Czytelnik dostaje na jednym poziomie zagnieżdżenia rozdziały, które dotyczą tematycznie różnych obszarów, co powoduje, że ciężko doszukać się logiki przejścia pomiędzy kolejnymi rozdziałami, o czym wspominałem wcześniej w niniejszej recenzji. Inną kwestią dyskusyjną jest umieszczenie w tym rozdziale również informacji o próbkach dylatometrycznych wraz z ich opisem i wygenerowaną siatką MES.

10. Wyjaśnienia wymagają założenia przedstawione w rozdziale 4.1:

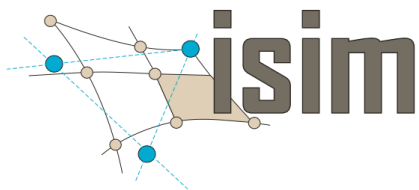
- Założenie 1 – zrozumiałe jest, że Autor spodziewa się w zasadzie tylko przemiany martenzytycznej i powinien skupić się jedynie na jej modelowaniu, ale w takim razie powinien to uzasadnić odpowiednimi prędkościami chłodzenia, a tych brakuje w pracy. Poza tym Doktorant wielokrotnie wspomina w pracy o innych przemianach. Uważam, że można je było od razu wyeliminować, choć rzeczywiście model ze wszystkimi przemianami po pełnej analizie odwrotnej jest bardzo interesujący.
 - Założenie 2 i 3 – czy współczynniki przewodzenia ciepła na pewno są tylko funkcją temperatury? W przypadku hartowania gazowego może być to jeszcze chociażby funkcja prędkości gazu chłodzącego przy danej powierzchni, co wynika z modeli CFD wykorzystywanych do symulacji numerycznych przepływu gazu podczas hartowania.
 - Założenie 4 – skąd zaproponowany przez Autora próg 80% zgodności? Zwykle w przypadku lotnictwa cywilnego progi akceptowalności rozwiązań są znacznie wyższe. Natomiast formuła metryki zgodności powinna być również przedstawiona w tym miejscu, szczególnie że w rozdziale 5 z wynikami Autor często powołuje się na tą zgodność udowadniając, że wykonane przez Niego obliczenia spełniają odpowiednie założenia.
11. Rysunek 4.14 – jakie jednostki ma pojemność cieplna i czy na pewno temperatura na osi odciętych jest w stopniach Celsjusza a nie w stopniach Kelvina? Jak interpretować pojemność cieplną dla martenzytu w temperaturze 1000°C?
12. Na stronie 86 Autor pisze o funkcji całkowanej $f(T)$ – domyślam się, że chodzi o funkcję z rysunku 4.15a. Jeśli tak, to wyjaśnienia wymaga procedura optymalizacji, jaką wykonano, żeby otrzymać tą funkcję. Jest to kluczowe, żeby zrozumieć, czy krzywa utajonego ciepła przemiany martenzytycznej została poprawnie wyznaczona.
13. Rozdział 4.3.3 – z czego wynikają różnice w wartościach współczynnika HTC

**Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie | Wydział inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej | Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania**

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

tel. +48 12 617 38 75, fax +48 12 617 28 89

e-mail: Irauch@agh.edu.pl, <http://home.agh.edu.pl/Irauch>



KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ I MODELOWANIA

Wydział Inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA
STASZICA W KRAKOWIE**

przedstawione w tabeli 4.5? Z temperatury na pewno. Jednak czy inne własności fizyczne również nie wpływają na współczynnik HTC? Jeśli tak, to co ewentualnie należałoby wziąć pod uwagę?

14. Na stronie 99 Autor pisze, iż w materiale nawęglonym do 1,1%C temperatura startu przemiany martenzytycznej wynosi 112°C, a w materiale nienawęglonym 438°C. Tymczasem wykres kinetyki przemiany fazowej przedstawiony na rysunku 4.27 przedstawia start przemiany martenzytycznej w około 430°C dla materiału już nawęglonego do 0,13%C, a w przypadku materiału nawęglonego do 1%C przemiana zaczyna się w około 50°C. Skąd takie różnice?
15. W rozdziale 4 powtarzają się wzory, które już były przedstawione w rozdziale 1. Czasami są one szerzej wyjaśnione lub rozbudowane. Czy te powtórzenia są potrzebne w tym miejscu (np. wzory wymiany ciepła lub przemiany martenzytycznej)?
16. W mojej opinii ciekawym elementem w pracy byłoby przedstawienie efektywności obliczeń oraz wpływu przyjętych założeń na czasy obliczeń. Jeśli to możliwe, prosiłbym Autora o wyjaśnienie następujących kwestii:
 - Czy kształt koła został odwzorowany do obliczeń dokładnie czy został uproszczony, a jeśli tak, to jak?
 - Jaki wpływ na czas obliczeń miały założenia symulacyjne podjęte przez autora pracy, w szczególności liczba elementów siatki MES oraz warunki brzegowe?
 - Czy symulacje były w pełni sprzężone (model fully coupled), w szczególności przemiany fazowe oraz modelowanie hartowania, a wymiana ciepła przemiany brana była pod uwagę w każdej iteracji rozwiązania MES?
 - Jakie były czasy obliczeń pełnego modelu i na jakiej infrastrukturze Autor ją zrealizował?

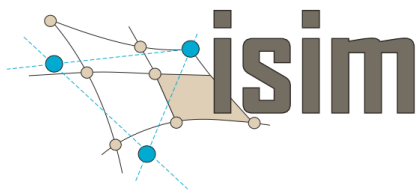
Podsumowując ogólną ocenę pracy stwierdzam, że Doktorant udowodnił bardzo dobre przygotowanie do prowadzenia oryginalnych badań naukowych w zakresie inżynierii materiałowej, a w szczególności w zakresie modelowania złożonych procesów przemysłowych. Potwierdził On swoją wiedzę i zrozumienie problemów w tym zakresie. Wykazał się biegłością w stosowaniu nowoczesnych metod modelowania oraz analizy danych pomiarowych w celu identyfikacji parametrów modeli numerycznych. Z drugiej strony, w pracy jest kilka aspektów wymagających wyjaśnienia, które wymieniłem w niniejszej recenzji. Te niedociągnięcia jednak nie podważają faktu, iż Autor samodzielnie rozwiązał istotne problemy naukowe, co, jak podkreślałem już w recenzji, jest bardzo dużym osiągnięciem. Stąd sumaryczna ocena pracy jest pozytywna.

**Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie | Wydział inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej | Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania**

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

tel. +48 12 617 38 75, fax +48 12 617 28 89

e-mail: lrauch@agh.edu.pl, <http://home.agh.edu.pl/lrauch>



KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ I MODELOWANIA

Wydział Inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA
STASZICA W KRAKOWIE**

3. UWAGI EDYTORSKIE

Praca napisana jest przejrzysto w aspekcie merytorycznym. Momentami, jak w przypadku rozdziału 4, ciężko było odnaleźć ciąg logicznych powiązań pomiędzy kolejnymi podrozdziałami. Niemniej, rozdział opisuje bardzo skomplikowane aspekty związane z wykorzystaniem modeli, które niejednokrotnie się przeplatają, stąd jestem w stanie zrozumieć trudności, jakie może przysporzyć spójne i przejrzyste przygotowanie takiej części pracy. Od strony edytorskiej praca przygotowana jest bardzo starannie. Ciężko znaleźć potknięcia Autora lub niedomówienia, które uchylałyby pracy w sposób znaczący, jednak praca zawiera bardzo dużo drobnych błędów stylistycznych, językowych i gramatycznych, które w trakcie korekty językowej mogły zostać wyłapano i poprawione.

4. WNIOSEK KOŃCOWY

Podsumowując opinię należy stwierdzić, że Doktorant:

- wykazał się umiejętnością analizy bardzo złożonych procesów przemysłowych pod kątem opracowania kompleksowych modeli numerycznych obejmujących charakterystykę materiału oraz interakcji pomiędzy materiałem i urządzeniami obróbki cieplnej,
- rozumie aspekty poprawnej analizy odwrotnej i identyfikacji parametrów modeli numerycznych w osiągnięciu zbieżności symulacji numerycznych z pomiarami laboratoryjnymi i przemysłowymi oraz potrafi stosować procedury identyfikacji,
- potrafi opracować modele CAD, właściwie zdefiniować warunki brzegowe, zintegrować różne modele obliczeniowe w celu poprawnego wykonania wielkoskalowych symulacji numerycznych procesów obróbki cieplnej,
- biegle porusza się w tematyce pracy doktorskiej, posiada bogatą wiedzę z zakresu procesów technologicznych, inżynierii materiałowej oraz modelowania numerycznego i symulacji komputerowych,
- potrafi właściwie zdefiniować problem naukowy i rozwiązać go z wykorzystaniem dostępnych metod badawczych i narzędzi.

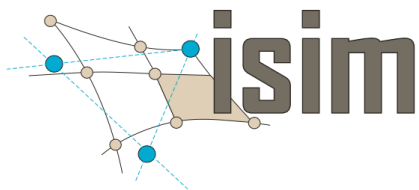
Recenzja pracy zawiera uwagi krytyczne i dyskusyjne komentarze, ale nie umniejszają one sumarycznej merytorycznej ocenie pracy. Praca, co podkreślałem w trakcie recenzji, rozwiązuje problem, który jest bardzo złożony i stanowi wyzwanie dla grupy osób, a nie tylko dla jednego Doktoranta. Doceniam warsztat badawczy i dobór metod, którymi posłużył się Autor pracy

**Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie | Wydział inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej | Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania**

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

tel. +48 12 617 38 75, fax +48 12 617 28 89

e-mail: lrauch@agh.edu.pl, <http://home.agh.edu.pl/lrauch>



KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ I MODELOWANIA

Wydział Inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA
STASZICA W KRAKOWIE**

i uważam, że pozytywne aspekty przeprowadzonych przez Autora badań oraz wykazane przez Niego umiejętności w rozwiązywaniu problemów naukowych przeważają nad krytycznymi uwagami do pracy. Sumaryczna ocena pracy jest pozytywna, a rozprawa stanowi samodzielne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie inżynierii materiałowej i spełnia wymagania zawarte w Art. 187. Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. (Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce, Dz. U. 2022, poz. 574). W związku z tym wnoszę o dopuszczenie Pana mgra inż. Bartosza Iżowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Ponadto, wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej pracy doktorskiej.

**Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie | Wydział inżynierii Metali
i Informatyki Przemysłowej | Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania**

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

tel. +48 12 617 38 75, fax +48 12 617 28 89

e-mail: lrauch@agh.edu.pl, <http://home.agh.edu.pl/lrauch>