

Gliwice, 2023.07.05

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Płuszki

„Modelowanie numeryczne chłodziarki magnetokalorycznej - badanie wpływu właściwości termofizycznych płynu roboczego i struktury złoża regeneratora na przekazywanie ciepła”

Recenzję opracowano na podstawie umowy z Politechniką Wrocławską nr 03/05/PRR/23 z dnia 11.05.2023r.

Wybór i zasadność tematyki, sformułowanie celu rozprawy

Rozprawa dotyczy badań nad zjawiskiem magnetokalorycznym w kontekście konstrukcji i budowy urządzenia chłodniczego wykorzystującego ten efekt. Generacja chłodu, oprócz wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, jest jednym z podstawowych zadań stawianych współczesnej energetyce. Klasyczne urządzenia chłodnicze, pomimo swej dojrzałości technologicznej, wykazują nie zawsze wystarczający poziom aplikacyjności. Szczególnie jest to widoczne w zastosowaniach specjalnych np. w medycynie, chemii i innych. Uwzględniając więc poziom złożoności technicznej, niezawodność, materiałochłonność, wpływ na środowisko naturalne i wiele innych czynników dochodzimy do wniosku, że istnieje dalsza potrzeba poszukiwania nowych rozwiązań w zakresie chłodnictwa. Prowadzą one od efektu Peltiera, zjawiska elektrokalorycznego, barokalorycznego, termoakustycznego, technologii wykorzystującej nadprzewodniki aż do zjawiska magnetokalorycznego. Recenzowana rozprawa wpisuje się w ten właśnie innowacyjny obszar badawczy poszukujący nowych możliwości w chłodnictwie. Wybór tematyki należy więc ocenić jako zasadny, ciekawy i wartościowy.

Cel zasadniczy rozprawy został sformułowany następująco: „zbadać wpływ właściwości termofizycznych czynnika roboczego oraz wariantów geometrii złoża porowatego na przekazywanie ciepła w regeneratorsze AMR (aktywny regenerators magnetyczny)”.

Zawartość i układ pracy

Łączna objętość pracy to 253 strony z podziałem na 9 rozdziałów. Pierwsze trzy rozdziały zawierają wprowadzenie do tematyki oraz analizę obecnego stanu wiedzy. Przedstawiono wyzwania jakie niesie ze sobą współczesne chłodnictwo i ich przyczyny mające swoje źródło w zmianach klimatycznych, zmianach upodobań społeczeństw oraz uregulowaniach prawnych. Dalszy fragment wprowadza czytelnika do

zagadnień związanych z magnetokalorycznością a także do podstaw modelowania tych procesów. Ta część zawiera również sformułowanie tezy i celu pracy.

Rozdziały o numerach 4 do 8 przedstawiają zasadniczą i oryginalną część pracy Doktoranta. Składa się ona zarówno z badań eksperymentalnych jak i modelowania numerycznego oraz elementów prac teoretycznych.

W pierwszym fragmencie tej części pracy zaprezentowano eksperyment porównawczy dla niestacjonarnego modelu numerycznego. Następnie przedstawiono zero-wymiarowy model wymiany ciepła w regeneratorze urządzenia oraz niestacjonarny model numeryczny. Ostatni fragment to badania dotyczące wpływu własności termofizycznych płynu roboczego na transport ciepła wewnątrz urządzenia oraz stacjonarny model numeryczny złoża porowatego. Rozdział kończący, o numerze 9, podsumowuje całość pracy wraz z wnioskami i wskazaniem kierunków dalszych badań.

Bibliografia obejmuje 199 pozycji w tym trzy pozycje których autorem jest Doktorant. Praca zawiera dodatkowo suplement oraz spis wykresów i tabel.

Wybrane osiągnięcia pracy

1. Tematyka pracy dotyczy oryginalnego, innowacyjnego i złożonego zagadnienia chłodzenia magnetokalorycznego. Autor wyznaczył sobie trudne i ambitne cele badawcze.
2. Zaproponowano i zbudowano model zero-wymiarowy procesu chłodzenia magnetokalorycznego wykorzystując do tego celu wcześniejsze modele oraz porównano wyniki modelowania z pomiarami eksperymentalnymi.
3. Opracowano model niestacjonarny zjawiska chłodzenia magnetokalorycznego.
4. Przeprowadzono analizę czynnikową i wskazano kluczowe dla procesu parametry mające dominujący wpływ na jego przebieg.
5. Wykonano badania eksperymentalne które następnie zostały wykorzystane do walidacji modelu numerycznego.
6. Przeanalizowano wpływ wybranych własności fizycznych czynnika roboczego na wydajność procesu.
7. Przeanalizowano wpływ struktury geometrii złoża porowatego na intensywność zjawisk ciepłoprzepływowych układu chłodziarki magnetokalorycznej.
8. Dowiedziono prawdziwości tezy pracy sformułowanej następująco: „Możliwa jest integracja złożonych zjawisk fizycznych występujących podczas przepływu cieczy przez porowaty aktywny

regenerator magnetyczny (AMR) w celu oceny pracy eksperymentalnych chłodziarek magnetokalorycznych za pomocą modelowania numerycznego”.

9. Na podstawie przeprowadzonych szerokich analiz wskazano istotne kierunki dalszych badań.
10. W pracy wykorzystano wyniki wcześniejszego doktoratu – uważam to za bardzo właściwe postępowanie budujące pewną ciągłość badań.

Elementy dyskusyjne

1. Teza pracy jest sformułowana niezbyt precyzyjnie, Autor zapewne miał na myśli nie integrację zjawisk fizycznych a integrację modeli zjawisk fizycznych.
2. Dlaczego przyjęto przepływ laminarny (strona 127) skoro regenerator urządzenia raczej przypomina strukturę porowatą, dlaczego nie powiązano tego z liczbą Reynoldsa i nie dodano jakiegoś uzasadnienia takiego wyboru?
3. Dla obliczeń niestacjonarnych (rozdział 6) nie pokazano wpływu dyskretyzacji czasowej i przestrzennej na wyniki obliczeń. Tabela 7.7 częściowo zawiera takie informacje, ale nie podano rodzaju elementów siatki obliczeniowej. Wpływ dyskretyzacji w wielu zadaniach obliczeniowych, szczególnie dla modeli niestacjonarnych, może być krytyczny.
4. W tekście pracy używane jest pojęcie „wydajności układu”, nie podano jednak, co to oznacza w tym przypadku, chociaż można przypuszczać co Autor miał na myśli.
5. W pracy nie zamieszczono znormalizowanej analizy błędów pomiarowych. Jest to o tyle niebezpieczne, że przeprowadzone pomiary nie tylko dotyczą stosunkowo niewielkich różnic temperatur, ale również charakteryzują się pewną dynamiką. W takich warunkach dbałość o jakość pomiaru musi być szczególnie wysoka. Wykorzystano tor pomiarowy rejestrujący temperatury w zakresie 3 do 2093K (str. 82) przy 20 bitowej rozdzielczości. Tak duży zakres pomiarowy nie tylko nie jest potrzebny, ale również pogarsza jakość pomiaru. Badane zjawisko generuje temperatury niewiele odbiegające od temperatur otoczenia. Zakładając, że eksperyment wymagał rejestracji w przedziale o szerokości około 20K, (+/- 10K od temperatury otoczenia), to rozdzielczość efektywna była około 100 razy niższa niż ta podana dla toru pomiarowego. Nie podano również przedziału i poziomu ufności dla wykonanych pomiarów oraz odniesienia do warunków powtarzalności i odtwarzalności wyników.
6. W wielu miejscach Autor wykorzystuje przybliżenia wielomianowe. Nie wiadomo jednak jaka jest postać tych wielomianów oraz jak dokładnie odwzorowują dane pierwotne. Zarówno z literatury jak

i doświadczenia wiadomo, że wielomiany pomiędzy podanymi punktami pomiarowymi mogą się zachowywać w sposób nieprzewidywalny.

- Prąd wirowy to prąd indukcyjny powstający w przewodniku poddanym oddziaływaniu zmiennego pola magnetycznego. Zależy on od wielu czynników, w tym np. od geometrii rozpatrywanego elementu. W przypadku komory złoża jest to zjawisko niepożądane. Nasuwa się więc pytanie, dlaczego w pracy nie podjęto żadnej próby ograniczenia tego zjawiska np. poprzez chociażby zmianę kształtu elementów czynnych komory złoża?
- Dlaczego pomiary były wykonywane w zmiennych warunkach otoczenia, temperatura zmieniała się od około 18 do 25 C, czy nie należało użyć komory klimatycznej w celu stabilizacji parametrów otoczenia lub przynajmniej wybierać taki czas pomiaru w którym temperatura otoczenia była na podobnym poziomie?
- W wielu miejscach pracy wskazany materiał graficzny zastąpiono opisem słownym. Moim zdaniem rysunek o wiele precyzyjniej wyjaśniał by konkretną problematykę (np. opisy słowne budowy domen czy siatek do obliczeń CFD). Daje się zauważyć niezrozumiałą niechęć Autora do graficznego przedstawiania badanej problematyki. Na przykład rozdział 6.1 traktuje o budowie domeny CFD. W całym rozdziale nie ma rysunku jasno pokazującego jej budowę. Jest to o tyle niezrozumiałe, że rysunek jest jak najbardziej naturalnym sposobem wypowiedzi inżyniera.

Uwagi drugoplanowe, w tym redakcyjne.

Lp	Strona	Cytat - zdanie/wiersz/akapit	Treść uwagi/korekta/sugestia
1	3	Zbudowany model osiągnął akceptowalną dokładność przewidywania różnicy temperatur panującej między końcami układu w stanie ustalonym pracy układ...	Czy ta dokładność później gdzieś została wyliczona i pokazana?
2	4	W rezultacie przeprowadzonych badań otrzymano informacje zwrotna o sile wpływu każdej z własności na badane zmienne odpowiedzi.	Czy to oznacza, że badano pochodne cząstkowe?
3	4	Wykonane symulacje były zgodne z procedurą Planowania Eksperymentu (ang. DOE - Design of Experiment), zwana również analiza czynnikowa.	Czy symulacje były traktowane jak eksperyment?
4	4	Wysoka przewodność cieplna oraz niska gęstość	Czy to się nie wyklucza?
5	5	niewielkim czasie	Co to jest „niewielki czas”?
6	9	W epoce alarmu klimatycznego i rosnących wymogów legislacyjnych istotnym wyzwaniem dla cywilizacji XXI wieku stał się silny trend światowego wzrostu zapotrzebowania na energię chłodniczą	Zdanie można napisać zwięźle!
7	9	Oprócz argumentu bogacenia się społeczeństw, zapotrzebowanie na chłód w krajach rozwijających się jest wytwarzane również przez dążenie do zmniejszenia ilości żywności niezdatnej do spożycia	j.w.
8	10	MWC powstaje w wyniku właściwej miastom struktury	Chyba powinno być „charakterystycznej dla miast”?
9	10	pochłaniają więcej promieni słonecznych niż ich odbijają	Może lepiej użyć sformułowania „nadmierne pochłanianie”...

10	10	temperaturę w otoczeniu	Raczej używa się sformułowania „temperaturę otoczenia”.
11	10	odprowadza energie bezpośrednio do najbliższego otoczenia	Częściej się używa formy „rozprasza w otoczeniu”.
12	10	Proces wzrostu...	Wzrostu czego?
13	13	Możliwa jest integracja złożonych zjawisk fizycznych występujących podczas przepływu cieczy przez porowaty aktywny regeneratory magnetyczny (AMR) w celu oceny pracy eksperymentalnych chłodziarek magnetokalorycznych za pomocą modelowania numerycznego.	Czy na pewno chodzi o integrację zjawisk, czy może modeli zjawisk?
14	13	Przegląd literatury przedmiotu, wykonany w podrozdziałach 2.5 oraz 3.3–3.4 wykazał aktualność i zasadność tematyki rozprawy oraz uzasadnił wartość naukową i aplikacyjną dysertacji	Przegląd literatury raczej nie uzasadnił wartości naukowej tej pracy, co Autor miał tu na myśli?
15	13	Jako obiektem badań	Jako obiekt badań ...
16	13	analiza porównawcza predykcji modelu niestacjonarnego	Może wyników modelu predykcyjnego?
17	17	Na wykresie przejścia pierwszego...	Brakuje numeru rysunku.
18	17	Warto przy tym zauważyć że wartość...	Przecinek.
19		na wykresie ciepła właściwych mają...	Może by było lepiej „wykresach ciepła właściwego”?
20	19	ogólne wyrażenie na pracę wykonaną przez układ	Np. opisujące pracę ...
21	19	magnetokalorycznej	Literówki.
22	19	Wzory 2.5, 2.6	Przecinki (wz.2.5, 2.6) nie są potrzebne albo powinny przylegać do wzoru, podobnie jest w innych wzorach..
23	Rozdział 2.2		Brak odwołań do literatury, wydaje się, że jakieś powinny być.
24	23	Materiał magnetokaloryczny jest głównym elementem każdej maszyny cieplnej opartej na efekcie magnetokalorycznym	Styl zdania.
25	23	Do najważniejszych kryteriów...	Chyba „parametrów” zamiast kryteriów.
26	24	W pracy Nielsena i Engelbrechta...	Brak literatury.
27	24	własności odlewnicze oraz mechaniczne	A co z własnościami związanymi z drukami 3d, warto być może wspomnieć również o takiej technologii.
28		Powszechnie znany w termodynamice...	Chyba nie wypada podkreślać powszechności obiegu Carnota?
29	Rozdział 2.5	2.5. Przegląd opublikowanych konstrukcji prototypowych	W tym rozdziale brakuje rysunków ilustrujących poszczególne prototypy, myślę, że bardzo by to poprawiło czytelność rozdziału.
30	46	Numeryczna mechanika płynów (ang. CFD - Computational Fluid Dynamics) wykorzystuje metodę symulacji komputerowej do analizy procesów	Wykorzystuje metodę elementów lub objętości skończonych.
31	47	Istotą numerycznej mechaniki płynów jest wykorzystanie środowiska obliczeń komputerowych do rozwiązania systemu równań różniczkowych, będących elementami składowymi rozważanego modelu matematycznego procesów transportu w płynach i ciałach stałych	Styl zdania. Myślę, że to zdanie nic nie wnosi i nie jest potrzebne.
32	Rozdział 3 46-48		Wstęp popularnonaukowy do CFD nie jest konieczny, każdy z potencjalnych czytelników jest świadom tej wiedzy.
33	48	Rozwiązanie numeryczne układu równań zachowania masy, pędu i energii w dowolnej geometrii domeny wymaga zastosowania złożonego algorytmu obliczeniowego.	Stwierdzenie nie jest konieczne.
34	63	Implementacja efektu magnetokalorycznego	Czy to nazwa rozdziału/podrozdziału.
35	63	Podstawowa i najprostsza implementacja efektu kalorycznego polega na	Brak opisu dotyczącego wpływu ograniczeń kolejnych metod na otrzymywane wyniki.

		<p>natychmiastowej modyfikacji temperatury materiału za każdym razem, gdy następuje moment zmiany oddziaływania pola magnetycznego.</p> <p>Druga metoda implementacji efektu magnetokalorycznego zakłada wprowadzenie do równania zachowania energii członu pełniącego rolę źródła ciepła odpowiadającego adyabatycznej zmianie temperatury zachodzącej w bardzo krótkim okresie czasu [88, 121]:</p> <p>Trzecie, najbardziej ogólne ujęcie, poszerza metodę drugą o dokładny opis efektu magnetokalorycznego w procesach kwazi-adyabatycznych, który najlepiej odwzorowuje realne zachowanie materiału złoża. W takim przypadku równanie (3.45) zastępowane jest wyrażeniem:</p>	<p>Każda metoda ma zapewne jakąś literaturę? Metody mogły być ponumerowane, np. I, II, III co by zwiększyło czytelność treści rozdziału.</p>
36	65	Straty histerezy	Straty wywołane histerezą?
37	72	Publikacje zebrane w tabeli 3.1 wykazują tendencje redukcji rozmiaru rozpatrywanej domeny wraz ze wzrostem skomplikowania modelu.	Publikacje wykazują tendencję... zdanie znaczy coś innego niż Autor miał na myśli?
38	72	Tematyka niniejszej rozprawy doktorskiej jest zatem w pełni zasadna i aktualna. Zidentyfikowana luka badawcza wskazuje na brak pełnych modeli numerycznych, które odzwierciedlałyby prace całej chłodziarki magnetokalorycznej. Jak zostanie pokazane w niniejszej pracy, model taki pozwala na badanie ważnych parametrów całego urządzenia.	Stwierdzenie jak najbardziej słuszne, chociaż argumentacja do mnie nie przemawia.
39	74	Każdy z nich przedstawia zadanie badawcze, którego wykonanie przybliży do realizacji głównego celu rozprawy oraz wykazania zasadności postawionej tezy	Przybliży kogo lub co?
40	76	Wyniki pomiarów posłużyły do jakościowej oraz ilościowej oceny predykcji rozwijanego modelu. W przypadku osiągnięcia wiarygodnego porównania model mógłby zostać wykorzystany do wirtualnej analizy kierunków intensyfikacji zjawisk ciepło-przepływowych zachodzących w chłodziarce.	Zamiast „wirtualnej” to „parametrycznej” analizy?
41	76	które stanowi zmodyfikowany układ eksperymentalny IV–generacji opisany w pracy doktorskiej dr inż. Agaty Czernuszewicz	Styl zdania, może lepiej by brzmiało „które powstało jako modyfikacja układu...”
42	78	Szczegółowy opis metody wytwarzania nie stanowi przedmiotu zainteresowania niniejszego rozdziału, dlatego został pominięty	Może lepiej „metoda wytwarzania nie jest przedmiotem badań”...
43	79	Ciecz robocza krążyła w zamkniętym systemie przepływowym, składającym się z dwóch zbiorników medium, układu pompowego, łoża magnetycznego AMR, oraz liczników łoża z zbiornikami	Brak schematu.
44	80	Uznano, że nieskomplikowany reżim prowadzonych pomiarów, ...	Na jakiej podstawie tak przyjęto?
45	80	Do balona (ogólniej – zbiornika zimnego) trafia wychłodzony płyn, od którego gadolin odebrał energię cieplną....	Brak rysunku. Określenie „do balona” też chyba nie jest optymalne.
46	80	efekt dopływu ciepła	Terminologia.
47	81	stabilność kształtu	Może lepiej „sztywność konstrukcji”?
48	82	Niewielki rozmiar czujnika pozwolił na poprawne przyłączenie do powierzchni zewnętrznych niewielkich elementów układu	O który rozmiar czujnika chodzi i co oznacza przyłączenie?
49	82	Efektywny przedział rejestracji temperatur to 3 - 2093 K	Tak duży zakres pomiarowy jest nieracjonalny i niepotrzebny, a również niekorzystny w tym zastosowaniu. Dokładność +/- 0.5K jest moim zdaniem zbyt zgrubna jak na tak subtelne pomiary.
50	83	Zastosowana 20-bitowa rozdzielczość przetwornika pozwala z powodzeniem śledzić niewielkie zmiany temperatury. Dokładność wykorzystanego urządzenia mierniczego podawana przez producenta jest suma 0.2% wskazania oraz 0.5°C.	Warto by tu podać wprost dokładność dla zakresu mierzzonego.
51	84	Zmierzone, że rząd wielkości odchylenia temperatury faktycznej od zadanej wynosi 0.1 K.	Jak to zmierzono skoro dokładność pomiaru to jest mniejsza niż +/- 0.5K?

52	84	zmieniającego się okresu (częstotliwości) cyklu	A nie fazy cyklu?
53	84	Zatem manipulacja liczbą kroków	Słowo „manipulacja” nie jest właściwe, może lepiej „dobór liczby kroków”?
54	91	Kanał łoża tworzyła cylindryczna komora o średnicy 8 mm....	Wskazany rysunek.
55	96	gdzie g jest przyspieszeniem ziemskim,	Zwykle piszemy „gdzie:” i dalej wymieniamy zmienne.
56	100	6. Niestacjonarny model CFD systemu chłodziarki	„Model niestacjonarny”
57	101	koncepcja nr 1, 2, 3	Wskazany byłby w tym miejscu jakiś schemat.
58	101	W solwerze występują warunki brzegowe wlotu i wylotu, co narzuca konwencje otwartego systemu przepływowego, które należy zaadresować w taki sposób, aby finalny przepływ płynu w modelu był właściwym układem przepływowo zamkniętym.	W solwerze zadajemy warunki brzegowe. Całe zdanie należy poprawić. Co oznacza w zdaniu słowo „zaadresować”?
59	102	Rysunek na charakter poglądowy – proporcje gabarytowe elementów nie zostały zachowane.	Zdanie niezrozumiałe, który rysunek?
60	104	Ze względu na okresowa obecność tych przegród w odbywającej się wymianie ciepła podjęto decyzje o wyłączeniu ich z grupy elementów, które otrzymają cadowską reprezentację STL	Sformułowanie raczej potoczne, w pracy doktorskiej nie powinno być używane.
61	107	Transformacja trójwymiarowego układu eksperymentalnego (3D) do postaci siatki dwuwymiarowej (2D) miała charakter zachowawczy.	Co oznacza słowo „zachowawczy”?
62	107	Za kanał referencyjny obrano kartridż E3.2	Gdzie rysunek?
63	116	...dochodzi do konwekcyjnego wnikanie ciepła	Co to takiego „konwekcyjne wnikanie ciepła”?
64	116	...temperatura płynu ulega stratyfikacji	Czy to właściwe użycie terminu „stratyfikacja”?
65	117	W przypadku balonu wejściem do obliczeń jest temperatura ekwiwalentna idealnie wymieszanej cieczy w balonie	Styl zdania.
66	119	Całość powtarza się do momentu, aż błąd względny pomiędzy dwiema kolejnymi iteracjami będzie mniejsza niż kryterium stopu. Przyjęto wartość kryterium jako 0.001%	j.w.
67	120	6.1.5. Jednowymiarowy warunek pamięci płynu	Dlaczego użyto pojęcia „pamięć płynu”?
68	123	Zgodnie z doniesieniami literaturowymi przedstawionymi	„doniesienia literaturowe” nie są określeniem właściwym w tym kontekście.
69	124	Należy pamiętać, że w prezentowanej metodzie jakość otrzymanej predykcji modelu jest równie wiarygodna, jak jakość i zakres danych eksperymentalnych dostarczonych na wejściu do symulacji	Styl zdania.
70	124	Przybliżenia wielomianowe zastosowano...	Jaka jest postać tych wielomianów, jak dokładnie odwzorowują dane wejściowe.
71	127	Rysunek 6.11	Zwykle algorytm przedstawia się jako zstępujący z góry w dół z rozgałęzieniami i liniami skoku. Dlaczego tutaj analiza „zawraca” w górę?
72	133	Rozdział 6.4	Gdzie pokazano analizę wpływu dyskretyzacji przestrzennej i czasowej na otrzymywane wyniki obliczeń?
73	138	AMR stopniowo wytwarza rozwarstwienie temperatur w układzie...	Terminologia nie jest właściwa.
74	140	Z tego względu zbieganie pola temperatury do rozwiązania...	Co oznacza „zbieganie pola temperatury do rozwiązania”?
75	146	Dalsze, bardziej szczegółowe rozważania o zachowaniu modelu i uzyskiwanych za jego pomocą wynikach wymagają dekompozycji rysunku 6.19	Co Autor miał na myśli pisząc o dekompozycji rysunku?
76	149	W rozdziale przedstawiono budowę i walidację eksperymentalną niestacjonarnego modelu CFD chłodziarki magnetokalorycznej.	Czy na pewno ta walidacja została wykonana? Należy zwrócić uwagę, że termin walidacja ma swoją definicję i niekoniecznie jest ona zbieżna z potocznym rozumieniem tego słowa.

			Walidację się raczej przeprowadza niż przedstawia.
77	149	Submodel wymiany ciepła z otoczeniem, który funkcjonował w oparciu o dane doświadczalne dotyczące temperatury otoczenia oraz parametrów geometrycznych i termofizycznych izolacji.	Styl zdania.
78	150		Interesującym zagadnieniem by było przedstawienie nakładu energetycznego koniecznego do uzyskania pożądanej różnicy temperatur.
79	151	Motywacja zaplanowanego badania DOE (o czym szerzej traktuje podrozdział 7.3) jest zbadanie wpływu wybranych czynników wejściowych (własności termofizycznych płynu) na wielkości odpowiedzi układu.	Czy to chodzi o pochodne cząstkowe?
80	155	Domena modelu składa się zatem z pojedynczego regionu typu fluid oraz pojedynczego regionu typu solid, którym jest złożo porowate. Brak regionów typu solid, związanych z materiałami izolacyjnymi, redukuje czas obliczeń i zmniejsza czas wykonywania zadania. Warto zaznaczyć, że uzyskane w ten sposób przyspieszenie stanowi pomniejszy ułamek oryginalnego czasu trwania pojedynczej iteracji.	Potrzebny rysunek.
81	155	zagęszczenie siatki pominiętych regionów jest relatywnie niewielkie, zatem ich brak nie spowoduje drastycznej redukcji liczby elementów siatki numerycznej całej domeny	j.w.
82	157	Własności materiałowe użyte w symulacji dla płynu oraz ciała stałego zgromadzone w tabeli 7.2.	Zebrało, przedstawiono?
83	161	Przepływ płynu transportującego energię cieplną pokazano poprzez kontury prędkości oraz ciśnienia	Chyba poprzez izolację prędkości?
84	162	rozstęp temperatur	Wybrano określenie, moim zdaniem, niezbyt niewłaściwe.
85		W badaniach układu z balonikiem rozstęp temperatur początkowo zwiększał się dla niskich wartości współczynnika wykorzystania po to, by osiągnąć maksimum dla umiarkowanej wartości $U = 0:359$.	Styl zdania.
86	164	Najrzadsza siatka charakteryzuje ...	Powinno być: „Siatka o najmniejszej liczbie elementów”.
87	208	9. Wnioski i kierunki dalszych badań	Dlaczego w pracy nie zrobiono porównania z jakimś kodem komercyjnym?
88		Uzyskane wyniki badań potwierdzają możliwość opisu złożonych zjawisk magneto–cieplno–przepływowych zachodzących w chłodzarnie magnetokalorycznej za pomocą modelowania matematycznego metoda numerycznej mechaniki płynów. Zademonstrowano ponadto, że możliwe jest wykorzystanie modeli komputerowych do efektywnej analizy aspektów pracy eksperymentalnych chłodniczych maszyn magnetokalorycznych. Efekty badań realizują założone cele rozprawy, a zasadność tezy została wykazana.	Asekuracyjne podejście do tezy, raczej bym oczekiwał wniosków dotyczących procesu fizycznego.
89	Wiele stron	...siatka	Słowo siatka jest tu pewnym skrótem myślowym, chodzi o siatkę obliczeniową.
90	Wiele stron	1D	Odwwołanie do oznaczenia modelu jednowymiarowego występuje w pracy 54 razy, natomiast w wykazie skrótów nie zostało ujęte, pomimo iż jest tam 0D, 2D, 3D.

Podsumowanie

Recenzowana praca doktorska mgr inż. Pawła Płuszki przedstawia ważny z naukowego punktu widzenia obszar badań obejmujących jedną z niekonwencjonalnych, a także potencjalnie perspektywicznych metod chłodniczych.

Autor dysponuje niezbędnym zasobem wiedzy teoretycznej w obszarze przeprowadzonych badań i swobodnie tą wiedzę stosuje. Można tu wymienić wybrane zagadnienia termodynamiki ogólnej, efektu magnetokalorycznego, podstaw obiegów termodynamicznych i procesów ciepłno-przepływowych, a także inne związane z materiałoznawstwem, metrologią, budową algorytmów komputerowych, zasadami modelowania matematycznego i planowania badań eksperymentalnych.

Zdobyty zakres wiedzy teoretycznej Autor użył do wykonania interdyscyplinarnych, oryginalnych i trudnych badań naukowych. W mojej opinii recenzowana rozprawa jednoznacznie wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Doktoranta zadań badawczych.

Uważam, że praca w pełni mieści się w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka i spełnia warunki zawarte w ustawie o stopniach i tytułach naukowych. Zamieszczone w recenzji uwagi krytyczne oraz dyskusyjne nie umniejszają jej wartości merytorycznej. Moja ogólna ocena pracy doktorskiej mgr. inż. Pawła Płuszki jest jednoznacznie pozytywna.

Wniosek końcowy

Wnioskuje o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Płuszki pt.: „Modelowanie numeryczne chłodziarki magnetokalorycznej - badanie wpływu właściwości termofizycznych płynu roboczego i struktury złoża regeneratora na przekazywanie ciepła” i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Leszek Remiorz