

Gdańsk, 29.11.2025

Dr hab. inż. Wiktoria Wojnicz, Profesor Uczelni
Dyrektor Instytutu Mechaniki i Konstrukcji Maszyn
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa
Politechnika Gdańska
ul.G.Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Recenzja Rozprawy doktorskiej mgr Marii Zadoń p.t. **Analiza numeryczna nagrzewania tkanki z wykorzystaniem połączonych modeli przepływu ciepła i dystrybucji tlenu**

Podstawa opracowania recenzji: pismo Pani Profesor Alicji Piaseckiej-Belkhayal (Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Śląskiej) z dn. 30.09.2025 r.

1. Ogólny opis recenzowanej Rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Marii Zadoń p.t. "*Analiza numeryczna nagrzewania tkanki z wykorzystaniem połączonych modeli przepływu ciepła i dystrybucji tlenu*" ma objętość 194 strony oraz zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim. Rozprawa doktorska składa się z dwunastu rozdziałów: 1 – cel i zakres pracy (s.13 – s.19); 2 – przepływ biociepła (s.20 – s.32), 3 – oddziaływanie światła na tkankę biologiczną (s.33 – s.39); 4 – krzywe dysocjacji (s.40 – s.53); 5 – model Krogha (s.54 – s.65); 6 – terapia fotodynamiczna (s.66 – s.73); 7 – analiza zmian ciśnienia parcjalnego tlenu w tkance pod wpływem impulsu (s.74 – s.96); 8 – analiza wrażliwości modelu dystrybucji tlenu (s.97 – s.115); 9 – analiza dystrybucji tlenu z uwzględnieniem czynników przeciwdziałających hipoksji (s.116 – s.124); 10 – analiza niezależnych modeli PDT i biociepła (s.125 – s.139); 11 – modelowanie połączonych procesów fototermicznych i fotochemicznych (s.140 – s.169); 12 – wnioski i kierunki dalszych badań (s.170 – s.172). Rozprawa zawiera spis oznaczeń (s.4 – s.12), bibliografię (222 poz.), 83 rysunki, 22 tabeli oraz 204 wzory.

Rozprawa doktorska obejmuje zagadnienie naukowe dotyczące modelowania matematycznego analizy transportu ciepła w tkankach biologicznych oraz mechanizmów metabolicznych zachodzących w kontrolowanych podwyższonych warunkach temperaturowych, w tym podczas terapii laserowych.

Temat pracy doktorskiej jest aktualnym problemem naukowym oraz posiada duży potencjał aplikacyjny w terapii nowotworów za pomocą naświetlania, w szczególności w terapii fotodynamicznej.

Temat pracy doktorskiej został rozwinięty pod kierunkiem Pana Profesora PŚ dr hab. inż. Marka Jasińskiego na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej.

2. Zakres i ocena poszczególnych części recenzowanej Rozprawy doktorskiej

W rozdziale 1 Doktorantka podała ogólną charakterystykę stanu wiedzy i określiła lukę badawczą (podrozdział 1.1), cel i tezę pracy (podrozdział 1.2) oraz zakres wykonanych badań

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 01.12.2025
RDJMe | 253151 | 2025
nr zał.

(**podrozdział 1.3**). W **podrozdziale 1.4** podano jednostki zastosowane w modelach dystrybucji tlenu.

W **rozdziale 2** Autorka przedstawiła opis stanu wiedzy dotyczący przepływu biociepła w tkankach biologicznych oraz efektów termicznych zachodzących w tych tkankach pod wpływem podwyższonej temperatury. W **podrozdziale 2.1** przedstawiono równania przepływu biociepła (modele przewodnictwa cieplnego), a w szczególności model Pennesa opisujący wymianę ciepła z przepływem krwi przez małe naczynie włosowate (kapilarę) z uwzględnieniem uśrednionych parametrów termofizycznych, model Cattaneo-Vernotte, model z dwoma czasami opóźnień oraz jego uogólnioną postać. W **podrozdziale 2.2** i **podrozdziale 2.3** Dyplomantka opisała parametry termofizyczne tkanki biologicznej oraz podała charakterystykę matematycznego modelowania termicznego uszkodzenia tkanki pod wpływem podwyższonej temperatury, w tym zastosowanie całki Arrheniusa jako kryterium oceny uszkodzenia tkanki wskutek oddziaływania podwyższonej temperatury.

W **rozdziale 3** Autorka scharakteryzowała mechanizmy fizyczne zachodzące w tkance biologicznej pod wpływem podwyższonej temperatury, w tym absorpcję energii świetlnej i „okno terapeutyczne”, rozpraszanie i odbicie światła, refrakcję i transmisję (przenikanie) promieniowania. Podano także definicję efektu fotochemicznego, fototermicznego, fotoablacyjnego i fotojonizacyjnego. W **podrozdziale 3.1** Doktorantka przedstawiła parametry optyczne tkanki, w tym współczynnik rozpraszania i głębokość penetracji światła. W **podrozdziale 3.2** podano charakterystykę modelowania propagacji światła w tkance biologicznej pochodzącego od lasera, w tym równanie transportu radiacyjnego i równanie dyfuzji optycznej.

W **rozdziale 4** Autorka opisała krzywe dysocjacji (krzywe dysocjacji oksyhemoglobiny (ODC)), które przedstawiają matematyczne powiązanie pomiędzy nasyceniem hemoglobiny tlenem a ciśnieniem parcjalnym tlenu i są składową modelu dystrybucji tlenu. W następnej kolejności podano model Hilla (**podrozdział 4.1**), model Adaira (**podrozdział 4.2**), model Kelmana (**podrozdział 4.3**), model Dasha i Bassingthwaighte'a (**podrozdział 4.4**), porównanie opisanych modeli ODC (**podrozdział 4.5**), model dysocjacji mioglobiny (**podrozdział 4.6**) oraz model dysocjacji dwutlenku węgla (**podrozdział 4.7**).

W **rozdziale 5** Autorka przedstawiła ogólną charakterystykę modelu Krogha oraz równanie Krogh'a-Erlang'a, które opisuje oddziaływanie między pojedynczą kapilarą a otaczającą ją tkanką biologiczną (**podrozdział 5.1**), modele zużycia tlenu (**podrozdział 5.2**) i równanie dla obszaru kapilary (**podrozdział 5.3**) oraz równanie dla obszaru tkanki (**podrozdział 5.4**). W końcowym podrozdziale opisano zastosowanie modelu Krogha w literaturze (**podrozdział 5.5**).

W **rozdziale 6** Doktorantka szczegółowo opisała zasady działania terapii fotodynamicznej (PDT) oraz jej zastosowanie do leczenia w chorobach onkologicznych. W następnej kolejności opisano mechanizmy reakcji zachodzących podczas zastosowania PDT (**podrozdział 6.1**), aspekty techniczne terapii PDT (**podrozdział 6.2**) oraz matematyczne modele wyjaśniające działanie terapii PDT (**podrozdział 6.3**).

W **rozdziale 7** Autorka zaprezentowała autorską koncepcję analizy zmian ciśnienia parcjalnego tlenu w tkance pod wpływem impulsu cieplnego. W kolejnych podrozdziałach Doktorantka opisała: domeny obliczeniowe, matematyczny model 3D przepływu biociepła i matematyczny model 3D dystrybucji tlenu (modelu ODC) (**podrozdział 7.1**), numeryczne aspekty rozwiązania zaproponowanego modelu matematycznego (**podrozdział 7.2**), uzyskane wyniki obliczeń

numerycznych (**podrozdział 7.3**), metodę weryfikacji kodów obliczeniowych modelu numerycznego (**podrozdział 7.4**). Na końcu rozdziału Doktorantka podała podsumowanie (**podrozdział 7.5**).

W **rozdziale 8** Doktorantka przedstawiła opis analizy wrażliwości modelu dystrybucji tlenu (który jest opisany w **rozdziale 7**) dla siedmiu wybranych parametrów, w tym model analizy wrażliwości (**podrozdział 8.1**), metody numeryczne zastosowane do rozwiązania modelu analizy wrażliwości (**podrozdział 8.2**), wyniki obliczeń (**podrozdział 8.3**), metodę weryfikacji obliczeń w oparciu o analizę wrażliwości (**podrozdział 8.4**) oraz podsumowanie (**podrozdział 8.5**).

W **rozdziale 9** Autorka podała opis analizy dystrybucji tlenu z uwzględnieniem czynników przeciwdziałających hipoksji, w tym model matematyczny dla radialnego kierunku transportu tlenu w tkance (**podrozdział 9.1**), model grupowania mitochondriów (**podrozdział 9.2**), opis metod numerycznych zastosowanych do rozwiązania modelu matematycznego dla radialnego kierunku transportu tlenu w tkance (**podrozdział 9.3**) oraz wyniki obliczeń numerycznych (**podrozdział 9.4**). W **podrozdziale 9.5** podano metodę weryfikacji zaproponowanych modeli (z uwzględnieniem mioglobiny i bez uwzględnienia mioglobiny) w oparciu o dane opublikowane w literaturze przedmiotu. W **podrozdziale 9.6** Doktorantka przedstawiła podsumowanie.

W **rozdziale 10** Doktorantka zaprezentowała matematyczny model PDT uwzględniający w sposób niezależny zachodzenie procesu przepływu biociepła oraz procesu reakcji fotochemicznych wywołanych impulsem wiązki lasera. W kolejnych podrozdziałach Autorka podała opis: modelu matematycznego złożonego z modelu przepływu biociepła oraz modelu reakcji fotochemicznych (**podrozdział 10.1**), metod numerycznych zastosowanych do rozwiązania modelu matematycznego zaimplementowanego w obszarze 2D (**podrozdział 10.2**), wyników uzyskanych obliczeń symulacyjnych (**podrozdział 10.3**), weryfikacji modelu PDT opartej o porównanie wyników uzyskanych w pracy i wyników podanych w literaturze (**podrozdział 10.4**). W **podrozdziale 10.5** Doktorantka podała podsumowanie.

W **rozdziale 11** Doktorantka przedstawiła matematyczny model uwzględniający zależność pomiędzy procesami przepływu biociepła oraz procesami reakcjami fotochemicznymi wywołanymi impulsem wiązki lasera, przy tym tę zależność ustalono za pomocą perfuzji i dostarczenia tlenu do tkanki. W kolejnych podrozdziałach Autorka przedstawiła opis: modelu matematycznego złożonego z zależnych od siebie modelu przepływu biociepła oraz modelu reakcji fotochemicznych (**podrozdział 11.1**), algorytmów numerycznych zastosowanych do rozwiązania modelu matematycznego zaimplementowanego w obszarze 2D (**podrozdział 11.2**), modelu matematycznego tkanki nowotworowej (**podrozdział 11.3**), wyników uzyskanych z obliczeń symulacyjnych dla modelu zaimplementowanego w obszarze 2D (**podrozdział 11.4**), modelu matematycznego opartego o model Krogha i algorytmu numerycznego rozwiązania tego modelu (**podrozdział 11.5**) oraz uzyskanych wyników obliczeń numerycznych (**podrozdział 11.6**). Z kolei w **podrozdziale 11.7** zaprezentowano wyniki weryfikacji opisanych modeli matematycznych w oparciu o wyniki i rozwiązania analityczne opisane w literaturze. W **podrozdziale 11.8** Doktorantka podała podsumowanie.

W **rozdziale 12** Autorka przedstawiła wnioski i kierunki dalszych badań, które zostały sformułowane na podstawie uzyskanych wyników

3. Ocena Rozprawy doktorskiej

Ocena Rozprawy doktorskiej jest przedstawiona w postaci sześciu punktów: 1) Zagadnienie naukowe rozpatrywane w pracy; 2) Charakter oryginalnego rozwiązania problemu naukowego lub rozwiązania problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne lub technologiczne; 3) Uzasadnienie tematu badań; 4) Ocena rozwiązania podanego w Rozprawie; 5) Krytyczna analiza treści Rozprawy; 6) Ocena formalnej strony Rozprawy.

3.1 Zagadnienie naukowe rozpatrywane w pracy

Doktorantka podjęła się rozwiązania problemu naukowego dotyczącego opracowania modelu matematycznego uwzględniającego procesy przepływu biociepła w tkance biologicznej w obszarze najmniejszych naczyń krwionośnych, perfuzji i dystrybucji tlenu zachodzących pod wpływem oddziaływania podwyższonej temperatury w warunkach kontrolowanych.

3.2 Charakter oryginalnego rozwiązania problemu naukowego lub rozwiązania problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne lub technologiczne

Analizując treść Rozprawy, stwierdzam, iż Doktorantka w sposób spójny przedstawiła samodzielne rozwiązanie problemu naukowego obejmującego opracowanie modeli matematycznych opisujących przebieg złożonych zjawisk wielkoskalowych obejmujących przepływ biociepła w tkance biologicznej w obszarze najmniejszych naczyń krwionośnych (na poziomie kapilary) wraz z uwzględnieniem złożonych procesów metabolicznych związanych z dystrybucją tlenu w tkance, które zachodzą pod wpływem podwyższonej temperatury podczas terapii fotodynamicznej opartej na dostępności (stężeniu) tlenu w tkance.

Opisane w Rozprawie samodzielne rozwiązanie zostało rozwinięte w oparciu o wiedzę z zakresu dyscypliny Inżynieria Mechaniczna. Ponadto w celu rozwiązania problemu naukowego Autorka Rozprawy zaimplementowała w oprogramowaniu MATLAB własne kody obliczeniowe, które obejmowały metodę różnic skończonych, metodę strzałów oraz metodę elementów brzegowych.

3.3 Uzasadnienie tematu badań

Temat pracy doktorskiej jest aktualnym problemem naukowym, który jest nakierowany na przewidywanie zachowania żywych tkanek biologicznych (zdrowych i nowotworowych) poddanych działaniu podwyższonej temperatury wskutek oddziaływania wiązką lasera w ustalonym przedziale długości fali będącym „oknem terapeutycznym”.

Wyniki pracy posiadają duży potencjał aplikacyjny w terapii nowotworów za pomocą naświetlania (terapii fotodynamicznej, której skuteczność zależy od stężenia tlenu w tkance naświetlanej) oraz ustaleniu parametrów technicznych lasera i czasu naświetlania za pomocą wykorzystania cyfrowego bliźniaka tkanki nowotworowej. Terapia fotodynamiczna może być zastosowana do leczenia nowotworów w schorzeniach dermatologicznych, onkologicznych, okulistycznych, sercowo-naczyniowych.

Uważam, iż na podstawie przedstawionego przeglądu literatury Autorka Rozprawy w sposób czytelny przedstawiła analizę stanu wiedzy oraz sformułowała cel, tezę pracy i zakres pracy, w celu rozwiązania zagadnienia naukowego rozpatrywanego w Rozprawie. Stwierdzam, iż

Doktorantka posiada wystarczającą wiedzę naukową aby samodzielnie realizować badania naukowe.

3.4 Ocena rozwiązania podanego w Rozprawie

Autorka rozprawy zaproponowała:

- autorską koncepcję analizy zmian ciśnienia parcjalnego tlenu w tkance pod wpływem impulsu cieplnego (matematyczny model 3D przepływu biociepła i matematyczny model 3D dystrybucji tlenu (model ODC));
- opis analizy dystrybucji tlenu z uwzględnieniem czynników przeciwdziałających hipoksji, w tym model matematyczny dla radialnego kierunku transportu tlenu w tkance;
- matematyczny model terapii fotodynamicznej (PDT) uwzględniający w sposób niezależny procesy przepływu biociepła oraz reakcji fotochemicznych wywołanych impulsem wiązki lasera;
- matematyczny model uwzględniający zależność pomiędzy procesami przepływu biociepła oraz reakcjami fotochemicznymi wywołanymi impulsem wiązki lasera, przy tym tę zależność ustalono za pomocą perfuzji i dostarczenia tlenu do tkanki (model matematyczny złożony z zależnych od siebie modelu przepływu biociepła oraz modelu reakcji fotochemicznych) oraz modelu matematycznego tkanki nowotworowej.

Po wnikliwej analizie treści Rozprawy wraz z podanymi pozycjami literatury stwierdzam, iż Autorka Rozprawy zastosowała prawidłową metodę realizacji badań naukowych oraz w sposób logiczny przedstawiła w Rozprawie cel, tezę badawczą i zakres badań, analizę stanu wiedzy, autorskie modele matematyczne oraz wyniki badań numerycznych, wnioski końcowe i kierunki dalszych badań.

Uważam, iż Autorka Rozprawy zaproponowała oryginalne naukowe rozwiązanie, które wnosi znaczący wkład naukowy w rozwój dyscypliny **Inżynieria Mechaniczna**.

W p.3.5 niniejszej recenzji podałam pytania, które powstały podczas analizy treści Rozprawy.

3.5 Krytyczna analiza treści Rozprawy

W zakresie analizy krytycznej treści Rozprawy przedstawiłam uwagi w postaci **uwag głównych** (są podane poniżej) oraz **uwag szczegółowych** (są podane w p.3.5.1).

Uwagi główne:

- 1) Z jakiego powodu w Rozdziale 1 (cel i zakres pracy), a w szczególności w podrozdziale 1.1 (luka badawcza), Doktorantka nie podała cytowań do literatury? Brak cytowań w tym rozdziale nie pozwala na wyjaśnienie, które modele matematyczne zostały już opisane w piśmiennictwie, a które zostały opracowane w ramach przygotowania Rozprawy.
- 2) Z jakiego powodu w Rozdziale 7, Rozdziale 8, Rozdziale 9, Rozdziale 10 i Rozdziale 11 nie podano cytowań do równań i wyników, które zostały opublikowane w pracach współautorskich [81], [82], [83], [84] i [212] ?
- 3) Należy wyjaśnić w jaki sposób odbyła się identyfikacja doświadczalna parametrów termofizycznych zastosowanych w zaproponowanych modelach matematycznych w celu

realizacji analizy numerycznej. Z kolei jeżeli te parametry termofizyczne zostały przyjęte z literatury to należy wyjaśnić w jaki sposób sprawdzono prawidłowość przyjętych parametrów termofizycznych.

- 4) Należy doprecyzować jaki wpływ mają cechy osobnicze na parametry termofizyczne tkanki zdrowej i tkanki nowotworowej w modelach matematycznych opisanych w Rozprawie.
- 5) Należy doprecyzować czy topologia tkanki onkologicznej ma wpływ na modele matematyczne zaproponowane w pracy.
- 6) W celu wyjaśnienia aplikacyjności zaproponowanych modeli należy w sposób czytelny podać opis przyjętych założeń w opisie modeli autorskich opisanych w Rozdziale 7, Rozdziale 8, Rozdziale 9, Rozdziale 10, i Rozdziale 11.
- 7) Należy wyszczególnić ograniczenia zastosowania zaproponowanych modeli matematycznych, w tym dla tkanki zdrowej i tkanki nowotworowej wraz ze wskazaniem czy modele opisują obszar 2D czy 3D. Ponadto należy także wyjaśnić jaki jest wpływ błędów numerycznych na wyniki przedstawione w pracy.

3.5.1 Uwagi szczegółowe do Krytycznej analizy treści Rozprawy

- 1) W Tab.7.1 i Tab.7.2, Tab.10.1, Tab.11.2 podano parametry o bardzo odmiennej skali wartości. Proszę o komentarz dotyczący wskazania wymaganej dokładności reprezentacji zmiennoprzecinkowej zastosowanej w obliczeniach numerycznych.
- 2) W nawiązaniu do parametrów przyjętych do realizacji obliczeń numerycznych należy wyjaśnić:
 - 2.1) jaka była podstawa przyjęcia wartości parametrów podanych w Tab.7.1, Tab.7.2, Tab.7.1, Tab.8.1, Tab.9.1, Tab.10.1, Tab.11.1, Tab.11.2, Tab.11.4, Tab.11.5?
 - 2.2) z jakiej literatury zostały pobrane dane podane w Tab.7.1, Tab.7.2, Tab.8.1, Tab.10.1, Tab.11.1, Tab.11.2, Tab.11.4, Tab.11.5?
- 3) Proszę o wyjaśnienie dlaczego w opisie modeli autorskich (Rozdział 7 – 11) nie podano powołania na wzory opisane w poprzednich rozdziałach, w szczególności w rozdziałach opisujących analizę stanu wiedzy (Rozdział 2 – 6)? W szczególności pytanie to dotyczy:
 - 3.1) - równ. (7.4) jest kopią równ. (2.25)
 - 3.2) - równ. (7.6) jest kopią równ.(2.22) oraz równ. (7.7) jest kopią równ.(2.23)
 - 3.3) - równ. (7.8) jest kopią równ.(5.5)
 - 3.4) - równ. (7.11)-(7.14) są kopią równ.(4.1), (4.7), (4.8), (4.9)
 - 3.5) - równ. (10.2) jest kopią równ.(3.12) i równ.(3.13)
 - 3.6) - równ. (10.3) jest kopią równ.(2.1) i równ.(2.2)
 - 3.7) - równ. (10.4) jest kopią równ.(2.3)
 - 3.8) - równ. (10.6) jest kopią równ.(2.32)
 - 3.9) - równ. (10.7) jest kopią równ.(2.25)

- 3.10) - równ. (11.1) jest kopią równ.(2.32)
 - 3.11) - równ. (11.2) jest kopią równ.(3.12)-(3.13)
 - 3.12) - równ. (11.3) jest kopią równ.(3.7)
 - 3.13) - równ. (11.4) jest kopią równ.(7.10)
 - 3.14) - równ. (11.11) jest kopią równ.(7.8)
 - 3.15) - równ. (11.12) jest kopią równ.(7.9)
 - 3.16) - równ. (11.13) jest kopią równ.(4.1) i (4.2)
-
- 4) Należy wyjaśnić jaka występuje odmienność między wzorami (6.8) - (6.9) - (6.10) a równaniem (10.8) ?
 - 5) Schematy blokowe pokazujące sposób implementacji rozwiązań numerycznych (rys.7.2., rys.10.1, rys.11.1, rys.11.14) powinny być doprecyzowane o podanie numeru kroku obliczeń oraz wskazanie numerów równań w poszczególnych krokach podanych na tych schematach.
 - 6) Należy doprecyzować do jakich rodzajów naczyń włosowatych można by było zastosować modele matematyczne zaproponowane przez Doktorantkę.
 - 7) W jaki sposób dobierano krok h stosowany w obliczeniach numerycznych ? Pytanie to dotyczy opisu podanego w podrozdziale 7.2.
 - 8) Należy wyjaśnić powód niezgodności zaokrąglenia liczby znaków po przecinku w nawiązaniu do równania (2.22) i (2.23), współczynniki w równaniu (4.7), współczynniki w równaniu (4.8) itp.
 - 9) s.28: Należy doprecyzować podane sformułowanie „...lepsze dopasowanie wyników symulacji do danych eksperymentalnych...”
 - 10) Należy wyjaśnić czy następujące rysunki podane w pracy są rysunkami autorskimi: rys.2.4, rys.3.1, rys.3.2, rys.4.1, rys.4.2, rys.4.3, rys.4.4, rys.4.5, rys.4.6, rys.5.1, rys.5.2, rys.6.1.
 - 11) Należy wskazać literaturę, z której zostało pobrane równanie (4.12), oraz podać interpretację postaci funkcyjnej podanej w tym równaniu.
 - 12) s.47 (4 linijka od dołu): należy wskazać omawiany artykuł.
 - 13) s.75: należy wyjaśnić powód przyjęcia podanych wymiarów dla modelu przepływu ciepła i modelu cylindra Krogha (dystrybucji tlenu).
 - 14) s.75 (rys.7.1): należy wyjaśnić czy oś X3 w domenie przepływu ciepła jest współbieżna z osią Z w domenie dystrybucji tlenu?
 - 15) s.75 : czy rys.7.1b jest kopią rys.5.1b?
 - 16) s.76: jaki był powód przyjęcia funkcyjnej postaci równ. (7.2)?
 - 17) s.89: należy wyjaśnić czy oś X3 (rys.(7.4)) powinna być traktowana jako oś Z (rys.(7.9))?
 - 18) s.89: należy doprecyzować interpretacje wyników podanych na rys. 7.9.
 - 19) s.90: czy wyniki podane w Tab.7.3 są zgodne z fizjologią?
 - 20) s.91: brak opisu interpretacji wyników podanych na rys. 7.11, rys.7.12, rys.7.13.

- 21) Nie podano opisu funkcji wrażliwości U_1, U_2, \dots podanych na rys.8.1 – rys.8.9.
- 22) Nie podano opisu funkcji wrażliwości U_{t1}, U_{t2}, \dots podanych na rys.8.11 – rys.8.15.
- 23) s.118: proszę o wyjaśnienie :” ...w mięśniach czerwonych...”.
- 24) s.132: należy wyjaśnić powód przyjęcia wymiarów geometrycznych, które odwzorowują fragment tkanki biologicznej.
- 25) s.132: proszę o wyjaśnienie stwierdzenia: „...*Obliczenia numeryczne związane z analizą termiczną oraz dystrybucją wiązki lasera przeprowadzono przy użyciu kodu udostępnionego przez Katedrę Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej Politechniki Śląskiej, stworzonego w środowisku Delphi...*”
- 26) s.145: brak opisu symboli C1B i C1U.
- 27) s.146: należy wyjaśnić powód przyjęcia wymiarów geometrycznych, które odwzorowują fragment tkanki biologicznej.
- 28) s.147: należy wyjaśnić jaka jest relacja między osiami x_1-x_2 na rys.11.3 a osiami x_1-x_2 podanymi na: rys.11.4, rys.11.9, rys.11.10, rys.11.11, rys.11.12?

3.6 Ocena formalnej strony Rozprawy

Rozprawa jest starannie przygotowana na wysokim poziomie: 1) brak błędów językowych i ortograficznych; 2) wszystkie rysunki, tabele, wzory i cytowania podane w wymaganej kolejności.

W zakresie oceny formalnej jest tylko jedna niespójność wymagająca wyjaśnienia, a w szczególności: czy „Spis oznaczeń” zawiera spis wybranych oznaczeń?

4. Wniosek końcowy

Przedstawiona mi do recenzji Rozprawa doktorska mgr inż. Marii Zadoń p.t. **“Analiza numeryczna nagrzewania tkanki z wykorzystaniem połączonych modeli przepływu ciepła i dystrybucji tlenu”** stanowi samodzielne opracowanie problemu naukowego, które potwierdza, iż Doktorantka posiada umiejętności niezbędne do realizacji badań naukowych oraz analizy i prezentacji wyników badań naukowych.

Pomimo uwag krytycznych podanych w recenzji, stwierdzam, iż mgr inż. Maria Zadoń w przedstawionej Rozprawie doktorskiej przedstawiła istotne naukowo osiągnięcia będące wynikiem przeprowadzonych badań naukowych, które wnoszą wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna. Ponadto Autorka rozprawy jest współautorką 5 publikacji.

Biorąc pod uwagę całość, stwierdzam, iż Rozprawa doktorska mgr inż. Marii Zadoń spełnia wymogi zawarte w Ustawie z dnia 11 września 2024 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. 2024 poz. 1571), mieści się w zakresie dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych, a w szczególności w zakresie dyscypliny Inżynierii Mechanicznej, oraz wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Marii Zadoń do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora, w tym przyjęcie tej Rozprawy i dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony.

prof. Wiktoria Wojnicz

/podpis odręczny/