

dr hab. inż. Rafał Stanisławski, prof. uczelni
Katedra Informatyki
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Politechnika Opolska
e-mail: r.stanislawski@po.edu.pl

Opole, 2021-06-24,

RAU	Biuro Dziekana	
	Wpłynęło dnia 25. 06. 2021	
	Nr 217	/ zał.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy:

Modele wieloskalowych procesów ciągłych dla ko-symulacji w projektowaniu systemów sterowania

Autor rozprawy: mgr inż. Artur Wodołański

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Dariusz Choiński, prof. uczelni

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Śląskiej dr hab. inż. Moniki Kwoki, prof. uczelni, z 13 czerwca 2021 roku.

1. Ocena formalna pracy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska zawiera łącznie 116 stron podzielonych na sześć rozdziałów, literatury liczącej 128 pozycji, oraz wykazów ważniejszych oznaczeń i najczęściej stosowanych skrótów. Dysertacja została napisana w języku polskim.

W rozdziale pierwszym przedstawiono wprowadzenie do problematyki poruszanej w pracy. W ramach rozdziału scharakteryzowano cele pracy, określono jej zakres wraz z uzasadnieniem podjęcia tematu oraz zaprezentowano dwie tezy. Ponadto w rozdziale pierwszym omówiono strukturę przedmiotowej dysertacji.

W rozdziale drugim przeprowadzono szczegółową analizę źródłową. Przedstawiono w niej wybrane aspekty związane z obliczeniową mechaniką płynów (ang. *Computational Fluid Dynamics* – CFD) oraz wieloskalowymi zjawiskami transportowymi, które obejmują metody numeryczne oraz metody i narzędzia modelowania wykorzystywane tym obszarze. Ponadto omówiono metodykę i narzędzia obliczeniowe stosowane w ko-symulacji. Następnie przeprowadzono analizę literaturową modelowania rozpatrywanych w pracy przykładów tj. mikrokalorimetra NCM-9924 oraz bioreaktora Sartorius Biostat A plus.

Rozdział trzeci zawiera badania mikrokalorimetra NCM-9924. W rozdziale przeprowadzono proces modelowania obejmujący projektowanie geometrii modelu, nakładanie siatki obliczeniowej, określenie wybranych warunków numerycznych prowadzonych obliczeń i kalibracji modelu za pomocą grubości membrany. Następnie w rozdziale przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych i walidacyjnych modelu.

Kontynuacje badań nad kalibracją modelu mikrokalorimetra NCM-9924 w oparciu o grubość membrany silikonowej przedstawiono w rozdziale czwartym. Kalibracji dokonano w oparciu o na-

zędzia ko-symulacji oraz połączenie różnych programistycznych środowisk obliczeń naukowych. W rozdziale przedstawiono również badania walidacyjne modelu w oparciu o dane eksperymentalne.

Prace nad modelowaniem i symulacją bioreaktora Sartorius Biostat A plus przedstawiono w rozdziale piątym. W ramach rozdziału przeprowadzono proces budowy i implementacji modeli a następnie dokonano ko-symulacji oraz omówiono otrzymane wyniki.

W rozdziale siódmym zostało zawarte podsumowanie i wnioski z przeprowadzonych badań numerycznych i implementacyjnych.

Układ pracy jest poprawny. Treści dysertacji zostały logicznie podzielone na rozdziały pracy. Układ i zakres poszczególnych rozdziałów, podrozdziałów i sekcji nie budzi żadnych wątpliwości recenzenta.

Ocena summy edycyjnej pracy jest dość niejednorodna. W przypadku rozdziałów prezentujących główne kontrybucje Autora (tj. rozdziału trzeciego, czwartego i piątego) ocena ta jest bardzo wysoka. Równania są dobrze wykonane, a rysunki są bardzo starannie przygotowane z dbałością o estetyczne i precyzyjne przedstawienie graficzne wyników. Język użyty w tych rozdziałach jest czytelny i precyzyjny. Ponadto zamieszczone wykazy skrótów i oznaczeń dodatkowo ułatwiają czytanie pracy. Jednak rozdział pierwszy, a w szczególności drugi budzi szereg uwag do strony edycyjnej. Część równań jest napisanych różnymi wielkościami, a ich format sprawia, że nie są zbyt czytelne. Ponadto w rozdziale drugim są fragmenty opisane inną czcionką od pozostałych. Również w tych rozdziałach (a szczególnie w rozdziale drugim) występują liczne uchybienia stylistyczne i interpunkcyjne. Część błędów została zamieszczona w dalszej części recenzji.

2. Ocena merytoryczna pracy

Modelowanie i symulacja złożonych procesów jest istotnym elementem zdecydowanej większości obszarów współczesnej nauki. Spośród niezliczonej ilości prac poświęconych temu zagadnieniu, można doszukać się różnorodnych podejść obejmujących modelowanie i symulację w oparciu o modele: fenomenologiczne i heurystyczne, liniowe i nieliniowe, dynamiczne i statyczne, o parametrach skupionych i rozłożonych, stacjonarne i niestacjonarne oraz wiele innych. Ważność i popularność tego zagadnienia jest spowodowana tym, że modele matematyczne pozwalają na analizę własności procesów, badanie wpływu poszczególnych parametrów na ich właściwości oraz predykcję przyszłych stanów. Dlatego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych nie da się znaleźć obszaru, w którym modelowanie i symulacja nie byłyby jednym z kluczowych narzędzi. Modelowanie złożonych systemów, często hierarchicznych, które składają się z podsystemów opisujących różne procesy fizyczne/biologiczne/chemiczne/ekonomiczne jest poważnym wyzwaniem naukowym. Szczególnie, że system o złożonej strukturze nie zawsze da się sprowadzić do jednego systemu o wyższej złożoności. Może to być spowodowane szeregiem czynników, jak np. różne środowiska implementacyjne dla poszczególnych elementów systemu złożonego, różne klasy równań opisujących poszczególne podsystemy i wiele innych. Rozwój technologii komputerowej oraz oprogramowania do obliczeń naukowych mający miejsce w ostatnich latach doprowadził do pojawienia się nowego narzędzia wspierającego symulację takich systemów: tzw. metody ko-symulacji. Metoda ta polega na łączeniu i integracji narzędzi symulacyjnych modeli różnych podsystemów, które mogą być opracowane w różnych środowiskach obliczeniowych. Jest to narzędzie szczególnie efektywne zarówno przy symulacji

systemów multifizycznych, jak również złożonych systemów, których podsystemy są modelowane przez różne zespoły projektowe. Wydaje się, że to względnie nowe podejście będzie zyskiwało na popularności szczególnie w obszarze obliczeniowej mechaniki płynów w modelach multifizycznych i wielofazowych, gdzie poszczególne podsystemy opisywane są złożonymi modelami o parametrach rozłożonych. W związku z powyższym Autor podejmuje pracę w ważnym i aktualnym obszarze badań, który daje możliwości osiągnięcia nowych, istotnych wyników zarówno w ujęciu teoretycznym, jak również praktycznym. Należy również zaznaczyć, że tematyka pracy ma charakter interdyscyplinarny, obejmuje *inżynierię chemiczną, inżynierię mechaniczną oraz inżynierię środowiska, górnictwo i energetykę*. Również, ze względu na użyteczność przedmiotowej pracy do analizy własności i predykcji systemów złożonych, jak również w projektowaniu układów regulacji, oceniana dysertacja niewątpliwie obejmuje również obecną dyscyplinę *Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika*.

Autor rozprawy postawił sobie ambitne i ważne cele naukowe opracowania i ko-symulacji multifizycznych modeli CFD o parametrach rozłożonych mikrokalorymetra NCM-9924 oraz bioreaktora Sartorius Biostat A plus. Następnie opracowane modele mają zostać poddane ko-symulacji z wybranymi układami sterowania oraz zbadaniu użyteczności narzędzi ko-symulacji w zakresie oddziaływania układów sterowania na wielkoskalowe, multifizyczne modele CFD.

Autor przedstawił dwie tezy rozprawy:

- Teza 1 *Bieżące zmiany warunków brzegowych, na drodze programowej, umożliwiają przeprowadzenie ko-symulacji dla modeli wieloskalowych zjawisk transportowych procesów ciągłych w celu rozszerzenia zakresu rozpatrywanych zjawisk multifizycznych w przestrzeni wielowymiarowej.*
- Teza 2 *Zastosowanie ko-symulacji dla wieloskalowych, multifizycznych modeli pozwala wspomóc projektowanie systemów sterowania poprzez określenie i walidację niepewnych parametrów, które są niemierzalne eksperymentalnie dla rzeczywistych warunków pracy.*

Zwartość rozprawy, opisana w poprzednim punkcie recenzji, wynika bezpośrednio z postawionego celu i w/w tez pracy.

Do podstawowych osiągnięć pracy można zaliczyć:

- Dokonanie obszernego przeglądu literaturowego dotyczącego tworzenia wieloskalowych, multifizycznych modeli zjawisk transportowych CFD oraz narzędzi ko-symulacji.
- Opracowanie dokładnego multifizycznego modelu mikrokalorymetra NCM-9924, uwzględniającego szereg multifizycznych zjawisk występujących w obiekcie.
- Przeprowadzenie weryfikacji doświadczalnej opracowanego modelu mikrokalorymetra NCM-9924 z danymi eksperymentalnymi w szerokim zakresie zmienności parametrów procesowych.
- Opracowanie i implementacja autorskiej metody kalibracji modelu multifizycznego CFD za pomocą parametru niepewnego (grubości pasty silikonowej) w oparciu o narzędzia ko-symulacji.
- Potwierdzenie w oparciu o dane eksperymentalne, że ko-symulację można efektywnie wykorzystać do kalibracji modelu multifizycznego CFD.

- Opracowanie i implementacja modelu procesów wielofazowych występujących w bioreaktorze w oparciu o ko-symulację modeli bilansu populacji fazy stałej i gazowej.
- Przeprowadzenie ko-symulacji regulatora PID z multifizycznym modelem CFD reaktora zbiornikowego.
- Określenie szeregu wniosków praktycznych dotyczących modelowania procesów multifizycznych i stosowania narzędzi ko-symulacji.

Wszystkie wyżej wymienione osiągnięcia są znaczące i stanowią istotny wkład Kandydata w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika oraz finalnie doprowadziły do udowodnienia sformułowanych tez pracy.

Należy zauważyć, że osiągnięcia pracy koncentrują się na modelowaniu multifizycznych procesów CFD oraz implementacji narzędzi ko-symulacji. Znacznie mniejszy nacisk został nałożony za zagadnienia związane z układami sterowania dla rozpatrywanej w pracy klasy procesów. Jest to naturalne, gdyż dogłębna analiza systemów sterowania w w/w procesach mogłaby być kolejnym krokiem pracy, a jej osiągnięcia już w obecnej formie z dużym nadmiarem spełniają wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Jednak z drugiej strony można zauważyć pewną rozbieżność między osiągnięciami pracy a stawianymi przed nią celami. Nie zmienia to faktu, że wszystkie cele pracy (choć w nierównym stopniu) zostały osiągnięte.

3. Analiza źródeł, pozycja rozprawy, znaczenie wyników Autora, umiejętność przedstawiania wyników

Motywacja dla podjęcia tematu rozprawy wyniknęła z dobrze przeprowadzonej przez Autora analizy literatury przedmiotu, liczącej 128 pozycji. Dzięki szerokiej analizie literaturowej został poprawnie odzwierciedlony aktualny stan wiedzy na temat zagadnień związanych z wykorzystywanymi w pracy metodami obliczeniowej mechaniki płynów, wieloskalowymi zjawiskami transportowymi, narzędziami ko-symulacji oraz rozpatrywanymi w pracy obiektami.

Należy zauważyć, że pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy reprezentowanej w literaturze światowej jest zdecydowanie wyróżniająca. Warto szczególnego podkreślenia jest tu autorstwo Doktoranta aż ośmiu oraz współautorstwo kolejnych sześciu cennych artykułów naukowych w większości obejmujących zakres recenzowanej dysertacji. Prace te zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych tj, *Applied Thermal Engineering*, *Powder Technology*, *International Journal of Multiphase Flow*, *Alexandria Engineering Journal*, *Energies*, *Przemysł Chemiczny*, *Eksploatacja i niezawodność*, *Przegląd Elektrotechniczny*, *Rocznik Ochrona Środowiska*.

Autor posiadał umiejętność poprawnego, przekonującego i precyzyjnego przedstawiania uzyskanych przez siebie wyników. Zarówno część merytoryczną rozprawy, jak również artykuły cechuje zwięzłość, jasność języka oraz precyzja.

4. Główne wady rozprawy, słabe strony, uwagi i pytania

Należy podkreślić, że poziom merytoryczny rozdziałów trzeciego, czwartego i piątego jest bardzo wysoki i recenzent nie dostrzegł w nich istotnych wad i niedostatków. Jednak warto również

w nich wskazać na pewne, w większości drobne uchybienia oraz niejasności. Ponadto do rozdziału pierwszego i drugiego recenzent ma uwagi krytyczne. Również, w trakcie poznawania pracy recenzentowi nasunęły się pewne pytania ogólne. Uwagi zostały wypunktowane i podzielone na dwie grupy, a) uwagi dyskusyjne i pytania oraz b) drobne uchybienia typograficzne i stylistyczne.

Uwagi dyskusyjne i pytania:

- 1) Str. 14 linia 23; Co oznacza ' x ' w oznaczeniu tensora efektywnej przepuszczalności?
- 2) Str. 18 Tabela 1; W równaniach parabolicznych występuje błędne oznaczenie.
- 3) Str. 21 równanie (5); W równaniu zachowania masy jest błąd; zamiast dywergencji został podany gradient.
- 4) Str. 21 równanie (6); Autor przedstawia równanie zachowania masy dla geometrii dwuwymiarowej, we wzorze jednak brakuje komentarza dotyczącego opisu rozważanej geometrii. Bardziej dosłowny opis dywergencji dla rozpatrywanej geometrii Autor powtarza we wzorze (9) jednak ponownie brakuje stosowanego komentarza.
- 5) Str. 22 równania (10)-(11); Gradient w równaniu (10) zamienia się w dywergencję w równaniu (11).
- 6) Str. 22-23 równania (14)-(18); Ciężko recenzentowi znaleźć powiązanie równania Naviera-Stokesa w postaci wektorowej z postacią prezentowaną w równaniach (14)-(15). Szczególnie, że a) W części równań nie ma ρ , b) nie ma informacji o rozpatrywanym rodzaju geometrii oraz c) nielogicznej (zdaniem recenzenta) kolejności w/w równań.
- 7) Str. 20-22; W całej sekcji 2.1.2 rozważania są dość skromnie opisane przez Autora. Ponadto w większości równań brakuje opisu części oznaczeń (np. rów. (10) – J_j , h_j , E S_h) dodając do tego błędy w równaniach zrozumienie zawartych treści jest bardzo trudne.
- 8) Str. 23 równanie (19); Zdaniem recenzenta bardziej czytelne byłoby użycie oznaczeń (19a)-(19d) zamiast (14a)-(14d).
- 9) Str. 23-35 równania (19)-(23); Nie do końca zrozumiała jest zmiana konwencji w równaniach w odniesieniu do wcześniejszego podrozdziału (zamiana $\nabla \cdot$ na div .) Dodatkowo forma graficzna wzorów pozostawia dużo do życzenia, przez co np. równanie (21) jest mało czytelne.
- 10) Str. 31; Doktorant stwierdza że: "...Ko-symulacja jest szczególnie szeroko stosowana w przemyśle...". To stwierdzenie wydaje się być trochę na wyrost.
- 11) Str. 36 akapit 1; Autor podaje synonimy pojęcia 'symulacja sprzężona'. Choć recenzent rozumie zamysł Autora pokazania powiązanych terminów z ww. sformowaniem, jednak większość przytoczonych zwrotów nie jest synonimami 'symulacji sprzężonej'. Szczególnie że część z nich odnosi się do narzędzia, a część do obiektu.
- 12) Str. 38 linie 1-2; Nie dość jasno opisano symbole T_n , T_{n+1} , t_n , m .
- 13) Str. 41 ostatni akapit. Co Doktorant miał na myśli w sformowaniu 'stabilna symulacja'? Innymi słowy, czy zdaniem Doktoranta stabilność to cecha systemu czy algorytmu symulacji?

- 14) Str. 45 linia 13: Co Autor miał na myśli w sformułowaniu '(częściowa) regresja liniowa'?
- 15) Str. 81 rys. 20; Autor prezentuje procedurę poszukiwania optymalnej grubości domeny D3. Zaproponowany algorytm jest bardzo interesujący i wymaga integracji kilku środowisk obliczeniowych. Autor szczegółowo opisał działanie algorytmu, jednak recenzent nie znalazł informacji jaką metodę optymalizacji w środowisku Matlab zastosował Doktorant.
- 16) Autor w pracy wymienia i częściowo charakteryzuje szereg numerycznych środowisk do obliczeń w obszarze CFD. Autor w tym miejscu nie wymienia o środowiska Matlab. Stąd pytanie, czy pakiet Matlab umożliwia realizację wybranych obliczeń w obszarze CFD?
- 17) Autor szczegółowo opisuje metody realizacji ko-symulacji w ujęciu ideowym i funkcjonalnym. Jednak w pracy zabrakło opisu sprzętowych aspektów działania poszczególnych narzędzi do ko-symulacji. Stąd nasuwa się pytanie, w jakich środowiskach sprzętowych działają poszczególne narzędzia, np. czy działają w technologii równoległej opartej na CPU, czy implementowane są w środowiskach przetwarzania masowo-równoległego opartego na GPU?
- 18) Niektóre skróty są stosowane naprzemiennie z ich pełnymi nazwami. Łatwiej czytałoby się pracę, gdyby Autor w pierwszym wystąpieniu wprowadził skrót a potem się tego oznaczenia konsekwentnie trzymał.
- 19) Sprzężenie kilku oddziałujących na siebie podsystemów jest zadaniem bardzo trudnym w kontekście implementacyjnym, ale jest również interesujące w kontekście analizy własności takiego systemu złożonego. Praca została poświęcona bardzo ważnemu aspektowi implementacyjnemu. Jednak nasuwa się pytanie, czy doktorant spotkał się z metodami analizy stabilności takich systemów? Szczególnie to zagadnienie może być interesujące w kontekście analizy wpływu wyboru metody sprzężenia między podsystemami w ko-symulacji na stabilność całości.
- 20) Tytuł rozprawy, który sugeruje stosowanie narzędzi ko-symulacji przy projektowaniu systemów sterowania wydaje się nieco odbiegać od faktycznego zakresu dysertacji. W pracy jest przedstawiony przykład ko-symulacji reaktora zbiornikowego z regulatorem PID, jednak Autor nie optymalizował parametrów regulatora, a wyłącznie pokazywał możliwość ko-symulacji systemu w układzie regulacji. Potwierdza to również analiza ilościowa, słowo 'sterowanie' nie pojawia się w żadnym miejscu w rozdziałach trzecim, czwartym i piątym. Z drugiej strony przedstawione wyniki mogą być użyteczne przy projektowaniu układów sterowania, co częściowo łmnie tytuł.
- 21) W rozdziale podsumowującym, który rzetelnie podsumowuje wyniki osiągnięte w pracy, warto by było rozszerzyć opis planowanych kierunków dalszych prac Autora.
- 22) W znacznej części rozprawy symbole zawarte w tekście nie są pochylane. Co z jednej strony jest uchybieniem edycyjnym, a z drugiej pogarsza czytelność prezentowanych treści.
- 23) W pracy nie zawarto streszczeń w języku polskim i angielskim.

Drobne uchybienia typograficzne i stylistyczne:

- Str. 8 linia 24; Literówka w wyrazie 'multifizycznych'.
- Str. 12 linia 9; Jest 'projektowanie', powinno być 'projektowania'.
- Str. 15 linia 8; Jest 'stosowanej', powinno być 'stosowanych'.
- Str. 17 linia 6; Jest 'stosują', powinno być 'stosuje'.
- Str. 17 linia 29; Jest 'modelowanie', powinno być 'modelowania'.
- Str. 19 linia 3; Jest 'nieustalonych', powinno być 'nieustalonym'.
- Str. 27 linia 7; Jest 'analiza', powinno być 'analizy'.
- Str. 27 linia 8; Błąd stylistyczny w zdaniu.
- Str. 27 ostatnia linia; Zadaniem recenzenta lepiej można by sformułować stwierdzenie 'duża czasochłonność i zasobochłonność modelowanych zjawisk' w odniesieniu do wad oprogramowania Fluent. Czasochłonność i zasobochłonność nie jest cechą modelowanego zjawiska a jego modelu w omawianym środowisku.
- Str. 29 linia 27; Jest 'zwana', powinno być 'zwaną'.
- Str. 31 linia 2; Jest 'Znaczenie', powinno być 'Znaczenie'.
- Str. 31 linia 23; Jest 'obszary', powinno być 'obszarów'.
- Str. 32 linia 32; skrót 'DE' powinien dla porządku być opisany.
- Str. 32 linia 33; Powinno być 'continuous time'.
- Str. 34 linia 4; Powinno być 'JModelica'.
- Str. 34 linia 27; Brakuje kropki na końcu akapitu.
- Str. 35 linia 4; Jest 'współczynnika', powinno być 'współczynnika'
- Str. 35 linia 7; skrót MEMS powinien być wyjaśniony,
- Str. 36 linie 12-13; Źle zbudowane stylistycznie zdanie.
- Str. 38 linie 1-2; Brakuje indeksów dolnych w symbolach.
- Str. 38 linia 7; Jest 'kosztowo', powinno być 'kosztowne'.
- Str. 38 linie 25; Źle stylistyczne zbudowane zdanie.
- Str. 42 linia 18-19; Błąd stylistyczny w zdaniu.
- Str. 43 linia 31; Jest 'kodzie', powinno być 'języku'.

- Str. 44 linia 13; Błąd stylistyczny w zdaniu.
- Str. 45 linia 14; Jest 'ko-symulacja', powinno być 'ko-symulacji'.
- Str. 47 linia 14; Jest 'produktu', powinno być 'produkt'.
- Str. 51 linia 24; Powinno być 'dissolved oxygen'.
- W całej pracy występuje sporo uchybień typograficznych polegających na braku, lub zbyt dużych odstępach między wyrazami.
- Autor w kilku miejscach pracy używa spolszczonych nazw własnych systemu np. 'ANSYSA', 'Fluenta', 'Matlabie', 'Simplorerem'. Zdaniem recenzenta bardziej właściwe byłoby unikanie spolszczeń nazw własnych.

Należy podkreślić, że przedstawione powyżej uchybienia i uwagi, mają w większości charakter dyskusyjny. Ponadto w większości nie odnoszą się do kluczowych kontrybucji Doktoranta. Dlatego nie obniżają one bardzo pozytywnej oceny pracy.

5. Podsumowanie recenzji i wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi, zdaniem recenzenta, oryginalne rozwiązanie ważnego problemu naukowego oraz wykazuje dużą ogólną wiedzę teoretyczną i aplikacyjną Kandydata w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika, a także Jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Zatem na podstawie art. 179 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1669) stwierdzam, że **rozprawa ta spełnia z nadmiarem** warunki określone w art. 13 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003 poz. 595, z późniejszymi zmianami).

Uwzględniając oryginalność rozwiązania problemu naukowego przedstawionego w rozprawie, specjalistyczną wiedzę Kandydata w dyscyplinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej **wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Artura Wodołażskiego do publicznej obrony.**

Ponadto biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny kluczowych w pracy rozdziałów trzeciego, czwartego i piątego oraz zdecydowanie wyróżniający się dorobek publikacyjny Kandydata dodatkowo **wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej.**

11