Łódź, dn. 7 stycznia 2025 r.

Dr hab. inż. Jacek Kucharski, prof. nadzw.
Politechnika Łódzka
Instytut Informatyki Stosowanej

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
mgr. inż. Błażeja Nycza
pt: „Optymalizacja konstrukcji wzbudnika do topienia metali z wykorzystaniem lewitacji elektromagnetycznej"

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Z-cy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Śląskiej – dr. hab. inż. Krzysztofa Simińskiego, prof. PŚ, działającego na podstawie przedmiotowej Uchwały ww. Rady Dyscypliny z dnia 24 września 2024 r.

Przedstawiona do recenzji rozprawa została przygotowana pod merytoryczną opieką promotora - dr. hab. inż. Romana Przyłuckiego, prof. PŚ oraz dr. inż. Łukasza Malińskiego, jako promotora pomocniczego. Rozprawa liczy 174 strony i stanowi opracowanie monograficzne składające się z dziesięciu rozdziałów, wykazu literatury oraz jednego załącznika. Bibliografia liczy 154 pozycje, wśród których znajduje się jeden artykuł współautorstwa mgr. B. Nycza.

1. Dobór tematu, cel i zakres pracy

Recenzowana rozprawa dotyczy interesujących naukowo i ważnych aplikacyjnie zagadnień topienia materiałów przewodzących prąd elektryczny poprzez tzw. Elektromagnetyczne Topienie Lewitacyjne (ETL). W szczególności Doktorant skupił się na metodach optymalizacji procesu topienia, w tym głównie na automatyzacji doboru parametrów wykorzystywanego wzbudnika indukcyjnego, który stanowi kluczowy element decydujący między innymi o sprawności procesu, czyli jego efektywności energetycznej. Problematyka ta ma wyraźnie charakter interdyscyplinarny łącząc w sobie zagadnienia z obszaru elektrotechniki, nawet szerzej – różnych działów fizyki, oraz szeroko rozumianej informatyki, w szczególności modelowania numerycznego oraz optymalizacji. Jest ona obecna w najnowszej literaturze przedmiotu, co świadczy o aktualności podjętej tematyki badawczej. Ma ona również ważne znaczenie praktyczne, szczególnie w kontekście rozwoju inżynierii materiałowej, w tym wykorzystania materiałów trudnotopliwych o wysokiej czystości, wytrzymałości mechanicznej i odporności na zużycie.

Prezentując w rozdziale 3 przedmiot rozprawy mgr B. Nycz formułuje jej główny cel jako *„Opracowanie metodyki optymalizacji i jej walidacja dla wybranego modelu wzbudnika do Elektromagnetycznego Topienia Lewitacyjnego metali."* W moim przekonaniu Doktorant słusznie dostrzegł potrzebę prac nad rozwojem metod optymalizacji procesu topienia lewitacyjnego, a przede wszystkim efektywnego wykorzystania narzędzi informatycznych do

poprawy sprawności energetycznej tego procesu. Jednocześnie określając zakres badań zwrócił uwagę na szczegółowe wyzwania podjętych prac, w tym konieczność prowadzenia sprzężonej analizy pola elektromagnetycznego i pola temperaturowego, a także zagadnień dynamiki płynów. Numeryczne modelowanie tych problemów jest złożone i wymaga czasochłonnych obliczeń, przez co uzasadnione jest poszukiwanie rozwiązań optymalizujących te działania. Wszystko to sprawia, że podjęte przez Doktoranta zadanie jest ambitne, o dużym potencjale aplikacyjnym, a przy tym ma charakter interdyscyplinarny obejmując swoim zasięgiem co najmniej dwie dyscypliny naukowe: automatykę, elektronikę, elektrotechnikę i technologie kosmiczne oraz informatykę techniczną i telekomunikację.

W moim przekonaniu wytyczone w rozprawie mgr. B. Nycza cele niewątpliwie stanowią wyzwanie odpowiadające rangą rozprawie doktorskiej, a uzyskane rozwiązanie stanowi oryginalne osiągnięcie Doktoranta.

Nawiązując do sformułowanego celu rozprawy Doktorant postawił następującą tezę:

„Istnieje metodyka optymalizacji, która dla wybranej metody optymalizacji daje rozwiązanie optymalne lub zbliżone do niej. Dodatkowo istnieje metoda walidacji modelu symulacyjnego, która może potwierdzić jego wiarygodność."

Nie mam wątpliwości, że przedstawione w dysertacji rezultaty pozwalają uznać taką tezę za udowodnioną, w szczególności w zakresie ostatecznej poprawy efektywności procesu elektromagnetycznego topienia lewitacyjnego uzyskanej w wyniku zastosowania zaproponowanych w rozprawie rozwiązań. Trudno jednak oprzeć się wrażeniu, że teza ta została sformułowana nieco niedbale, a także ma wysoce jakościowy charakter, co utrudnia jej w pełni przekonującą weryfikację. Przede wszystkim teza nie odnosi się wprost do obszaru aplikacyjnego, który jest przedmiotem rozprawy, tj. procesu elektromagnetycznego topienia lewitacyjnego, przez co jest ona mało specyficzna i w podanej formie można by wręcz uznać ją za oczywistą, a więc bezprzedmiotową w kontekście rozprawy doktorskiej. Oczywiście, formułowanie tezy badawczej w dysertacji naukowej nie jest obowiązkowe, jednak kiedy Doktorant decyduje się na jej postawienie powinna ona jednoznacznie wskazywać jaki problem naukowy jest przedmiotem badań, bez konieczności domyślania się go z kontekstu. W moim odczuciu kluczowym pojęciem w tak postawionej tezie jest termin *„metodyka optymalizacji"* i w jego kontekście upatruję głównych osiągnieć Doktoranta w zakresie dyscypliny naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja, w której prowadzone jest postepowanie o nadanie Mu stopnia naukowego doktora. Doktorant słusznie zauważył bowiem potrzebę podjęcia prac w zakresie opracowania systemowych wytycznych dotyczących sposobu efektywnego wykorzystania narzędzi informatycznych służących modelowaniu zjawisk towarzyszących procesowi elektromagnetycznego topienia lewitacyjnego, w celu poprawy jego efektywności energetycznej, przy uwzględnieniu praktycznych ograniczeń co do wykorzystywanych zasobów i czasu obliczeń. Jednocześnie problem ten - ze względu na wysoką złożoność modelowanych zagadnień i wielość oraz różnorodność dostępnych narzędzi informatycznych – stanowi niewątpliwie wyzwanie godne rozprawy doktorskiej. Warto jednak zwrócić uwagę, że Doktorant sugeruje w tezie, że zaproponowana przez Niego metodyka jest specyficzna dla *„wybranej metody optymalizacji"*, co w kontekście rozprawy wydaje się nadmiernym ograniczeniem. Ponadto użycie w pierwszym zdaniu tezy zaimka *„niej"* odnosiłoby się raczej do *metodyki* lub *metody*, a zapewne Doktorantowi chodziło o *rozwiązanie* zbliżone do optymalnego, a więc należało użyć zaimka *niego*. Podobna niejasność pojawia się także w drugim zdaniu tezy, gdzie mowa jest o *walidacji modelu symulacyjnego*, podczas gdy w podsumowaniu (rozdz. 10) zawarto stwierdzenie, że *„celem pracy jest opracowanie metodyki optymalizacji i jej walidacja."*

Pozytywnie oceniam kompletność rozprawy, w której Doktorant przedstawił w szczególności:

- odniesienie się do stanu wiedzy w obszarze bezpośrednio związanym z rozprawą, tj. metod elektromagnetycznego topienia lewitacyjnego metali i modelowania zjawisk fizycznych towarzyszących temu procesowi, w tym modelowania pola elektromagnetycznego i cieplnego, dynamiki płynów oraz metod optymalizacji lokalnej i globalnej;
- prezentację sposobów numerycznego symulowania zjawisk fizycznych występujących w analizowanych procesach i łączenia ich w spójną procedurę umożliwiającą optymalizację parametrów wykorzystywanego wzbudnika;
- prezentację metod weryfikacji uzyskiwanych na różnych etapach wyników symulacji, z wykorzystaniem zbudowanego w ramach pracy eksperymentalnego stanowiska badawczego;
- prezentację autorskiej metodyki optymalizacji, zawierającej analizę założeń upraszczających oraz wzajemnych interakcji wykorzystywanych modułów obliczeniowych, z uwzględnieniem realistycznych warunków w zakresie niezbędnych zasobów i czasochłonności obliczeń.

Rozprawa stanowi całościowe opracowanie z wyraźnie postawionym celem i konsekwentną jego realizacją.

2. Merytoryczna ocena rozprawy i uzyskanych wyników

Przedmiot i cel badań prowadzonych przez mgra B. Nycza wymagał w pierwszej kolejności szczegółowego rozpoznania stanu wiedzy w zakresie lewitacyjnego topienia elektromagnetycznego. Doktorat dokonał tego starannie w rozdziale 2, na podstawie przeglądu ponad 90 wysoko specjalistycznych pozycji literaturowych, w znacznej części (ok. 45) z okresu ostatniego dziesięciolecia, z czego 13 z minionych 5 lat, co świadczy o aktualności podjętych badań. Analiza ta obejmuje zarówno problematykę topienia i krzepnięcia metali trudnotopliwych, badań własności termo-fizycznych i termo-chemicznych, a także modelowania procesu topienia ETL dla różnych postaci wsadu i kształtu wzbudnika. Wszystko to wskazuje na szeroką wiedzę Doktoranta w zakresie podjętej tematyki

Uzupełnieniem przeglądu stanu wiedzy jest rozdział 4 pracy, poświęcony teoretycznym podstawom podjętych zagadnień, tzn. formalnym metodom opisu pola elektromagnetycznego i pola temperatury, wybranym zagadnieniom dynamiki płynów w ośrodkach ściśliwych i nieściśliwych oraz przeglądowi metod optymalizacji. Mimo iż treść tego rozdziału jest w większości poprawna, to jednak trudno oprzeć się wrażeniu, że zakres i sposób jego prezentacji nie odpowiada w pełni potrzebom przedmiotowej dysertacji. Część materiału bowiem ma charakter stosunkowo szczegółowego wykładu akademickiego, którego treść nie jest w sposób istotny wykorzystywana w dalszych częściach pracy. Co prawda Doktorant w kilku miejscach tego przeglądu sygnalizuje przyjęte przez siebie konkretne założenia lub podjęte decyzje (głównie wynikające ze specyfiki wykorzystywanych pakietów obliczeniowych), jednak i w tym zakresie pozostaje pewien niedosyt, np. kiedy na str. 42 Doktorant stwierdza bez głębszego uzasadnienia, że „*w rozważanej pracy wszędzie gdzie modelowano radiację odbywało się to jako oddawanie ciepła do półprzestrzeni*", co stanowi silne założenie upraszczające w kontekście struktury modelowanego układu. Osobną częścią tego rozdziału jest rozdział 4.4 poświęcony - opartemu na ok. 30 publikacjach dziedzinowych

- przeglądowi metod optymalizacji z wyróżnieniem metod optymalizacji lokalnej i globalnej. Podobnie jak wcześniej jest to dość szczegółowy wykład dotyczący zarówno formalnego opisu szeregu metod optymalizacji jak i ich implementacji oraz ważniejszym właściwościom. Niestety, Doktorant w dalszej części rozprawy w niewielkim stopniu wykorzystuje przedstawiony tu materiał, co rodzi pewien niedosyt w kontekście głównego celu prowadzonych badań. Podejmując bowiem decyzję o wyborze metody optymalizacji mgr B. Nycz stwierdza na str. 116 - powołując się na stosowną pozycję literaturową – że „*znaczna część metaheurystyk optymalizacji globalnej daje zbliżone wyniki i na podstawie tego założenia postanowiono (...) pozostać przy algorytmie genetycznym*". Cytowane stwierdzenie jest oczywiście na pewnym poziomie ogólności słuszne, niemniej jednak o wyborze metody optymalizacji (w tym metaheurystycznej) decyduje nie tylko jakość uzyskiwanego rozwiązania, ale także koszt jego osiągnięcia i w tym kontekście trudno uznać różne metody za równoważne. Ten aspekt jest istotny w prezentowanych badaniach, szczególnie biorąc pod uwagę bogatą wiedzę dziedzinową dotyczącą zagadnień, w obszarze których prowadzona jest optymalizacja. Niezależnie od powyższych uwag krytycznych można traktować rozdział 4 jako uzupełniający całość rozważań, a pewnym usprawiedliwieniem jego włączenia do rozprawy jest wspomniana wcześniej interdyscyplinarność badań. Jednocześnie dowodzi on rozległej wiedzy Doktoranta w różnych obszarach objętych rozprawą.

Główną częścią dysertacji, zawierającą w moim przekonaniu najbardziej wartościowe, autorskie rozwiązania, stanowią rozdziały $7 \div 9$, w których Doktorant przedstawił etapy budowania metodyki optymalizacji konstrukcji wzbudnika, uwzględniając stopniowo coraz bardziej złożone aspekty procesu technologicznego. Rozdziały te poprzedzone zostały opisem wykorzystanych numerycznych modeli obliczeniowych (rozdział 5) i zbudowanego w ramach pracy stanowiska pomiarowego do celów weryfikacyjnych (rozdział 6). W zakresie modelowania numerycznego analizowanych zjawisk Doktorant sprawnie posługuje się dostępnymi narzędziami informatycznymi (o charakterze komercyjnym jak i w otwartym dostępie) zarówno w zakresie budowy modeli jak i ich współdziałania w formie wymiany danych i stosownych skryptów integracyjnych. Słabością tej części pracy jest znaczna liczba arbitralnie przyjętych parametrów - Doktorant sugeruje wręcz, że wynika to częściowo np. z konkretnego egzemplarza wzbudnika jaki był do dyspozycji w trakcie badań. Nie sprzyja to niestety ogólności prowadzonych badań, a wydaje się, że nawet w świetle praktycznych ograniczeń Doktorant mógł się pokusić o bardziej ogólne podejście. Na uznanie zasługuje natomiast budowa dedykowanego stanowiska laboratoryjnego, przeznaczonego do ilościowej weryfikacji uzyskanych wyników.

Jednym z ważniejszych osiągnięć mgr. B. Nycza jest propozycja koncepcji i realizacja rodziny metodyk optymalizacji parametrów wzbudnika wykorzystywanego do lewitacyjnego topienia w polu elektromagnetycznym. Doktorant w rozdziałach $7 \div 9$ zaproponował kilka sposobów redukcji rozmiaru przestrzeni optymalizacyjnej na podstawie różnych analiz charakteru zjawisk towarzyszących topieniu, przy uwzględnieniu różnego poziomu szczegółowości ich opisu. Najbardziej rozbudowanym wariantem jest przedstawiony w rozdziale 9 wariant uwzględniający zarówno sprzężenie pól elektromagnetycznego i cieplnego, jak i – jak to określa Autor - słabe sprzężenie z modelem dynamiki płynów (w tym kontekście Autor niezbyt prawidłowo używa terminu *sprzężenie zwrotne*, który to termin definicyjnie odnosi się do przekazywania informacji z wyjścia systemu na jego wejście, a w przypadku problemów rozważanych przez Doktoranta chodzi o wzajemne proste (a nie zwrotne) powiązanie informacyjne różnych systemów symulacyjnych).

Najpełniejszą specyfikację metodyki optymalizacji mgr. B. Nycz przedstawił w rozdziale 9.2.5. Ma ona charakter iteracyjny i pierwszym krokiem tej procedury jest próbkowanie przestrzeni rozwiązań mające na celu uzyskanie wstępnej informacji o charakterze zależności optymalizowanej funkcji celu w danym przypadku oraz podjęcie

decyzji o wyborze stosownej metody optymalizacyjnej. Jest to niewątpliwie trafna propozycja, jednak Doktorant ogranicza się tu w zasadzie do systematycznego przeszukania przestrzeni zmiennych optymalizacyjnych w zakresach wynikających z praktyki eksperymentalnej, nie próbując formułować nieco bardziej ogólnych wytycznych. Jednym z ciekawszych rozwiązań w zaproponowanej metodyce jest wykorzystanie estymacyjnej funkcji celu, na której przeprowadzana jest optymalizacja, co niewątpliwie pozwala ograniczyć czasochłonne obliczenia z wykorzystaniem numerycznych modeli rzeczywistego obiektu. Doktorant proponuje jednak w arbitralny sposób charakter tej funkcji opisany dwuwymiarowym wielomianem piątego stopnia, jak to podaje równanie (8.5) (tak naprawdę równie (8.5) jest tylko zapisem wyrażenia stanowiącego jedną stronę równania – brak pełnego zapisu tego równania należy uznać za usterkę formalną). Całość metodyki dopełniona jest weryfikacją aktualnie najlepszego rozwiązania i aktualizacją estymacyjnej funkcji celu na podstawie dostępnych, zakumulowanych w trakcie realizacji procedury wyników symulacji rzeczywistego obiektu. Warto podkreślić, że Doktorant słusznie zaproponował bardzo ograniczone wykorzystanie opracowanego wcześniej modelu dynamiki płynów w celu analizy kształtu wsadu w stanie płynnym i jego wpływu na parametry wzbudnika, wykonując te obliczenia tylko dla najlepszego osobnika w populacji (tzw. słabe sprzężenie). Takie podejście, w połączeniu z pozostałymi krokami metodyki, niewątpliwe pozwala osiągnąć cel optymalizacyjny, przy jednoczesnym znacznym ograniczeniu niezbędnego nakładu obliczeniowego. Daje się tu jednak ponownie zauważyć stosunkowo niski poziom ogólności prowadzonych rozważań - przyjęto arbitralnie szereg parametrów algorytmów, np. liczność populacji i sposób doboru jej osobników, liczba iteracji algorytmu itp. Co prawda takie podejście jest często stosowane w praktycznym wykorzystaniu metaheurystycznych metod optymalizacji, ale pogłębiona dyskusja na temat wpływu tych parametrów na jakość optymalizacji i ich związku ze specyfiką rozważanych problemów byłaby cennym uzupełnieniem rozprawy.

W podsumowaniu rozprawy (rozdz.10) mgr B. Nycz szczegółowo przedstawił opracowane autorskie rozwiązania i sformułował całościowo uzyskane wyniki, wskazując na najważniejsze decyzje, które składają się na niewątpliwe oryginalną metodykę optymalizacji złożonego procesu technicznego z wykorzystaniem metod metaheurystycznych. Zaproponowana metodyka obejmująca systemowe wykorzystanie szeregu specjalistycznych numerycznych modeli zjawisk fizycznych oraz metody optymalizacji globalnej w znacznej części stanowi wartościowy i oryginalny wkład Autora. Pewien niedosyt pozostawia fakt, że Doktorantowi nie udało się uzyskać konstruktywnych wyników zastosowania Jego autorskiej procedury dla innego niż aluminiowy rodzaju wsadu – w pracy podjęto próbę analizy problemu dla wsadu tytanowego (rozdz. 8.4), co jest niewątpliwie interesujące z praktycznego punktu widzenia wykorzystania technologii ETL, jednak próba ta zakończyła się niepowodzeniem z powodu ograniczeń dostępnego źródła zasilania. Sądząc po przedstawionej w tym zakresie analizie można przypuszczać, że opracowana metodyka byłaby skuteczna również w tym przypadku. Nieco zaskakujące jest również to, że na etapie podsumowania rozprawy Doktorant konsekwentnie używa terminu *suboptymalna geometria wzbudnika*, który co prawda występuje we wcześniejszych partiach pracy, ale raczej w kontekście potencjalnie niekorzystnej możliwości, a nie celu, do którego ma prowadzić opracowana metodyka. W kontekście celu rozprawy i postawionej tezy badawczej warto było bardziej precyzyjnie wskazać źródła tej suboptymalności uzyskiwanego rozwiązania i przedyskutować szczegółowo jego jakość w odniesieniu do wersji optymalnej.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Recenzowana rozprawa nie jest pozbawiona fragmentów budzących pewne wątpliwości lub rodzących określone pytania.

1. Na podstawie przeprowadzonych w rozdziale 7 wstępnych analiz warunków występowania lewitacji elektromagnetycznej oraz grzania się wsadu w rozpatrywanym układzie, do dalszych prac – jak podano w rozdz. 7.2.3 - wybrano wariant, w którym częstotliwość zasilania wzbudnika wynosiła f=10 kHz. Jak w związku z tym rozumieć zastosowanie w dalszych rozważaniach zasilania o częstotliwości 277777 Hz, jako jedynej rozpatrywanej wersji (wskazują na to m. in. dane w tab. 8.2 i 8.4)?
2. W jaki sposób w procedurze optymalizacji realizowana jest estymacja funkcji celu oraz jej aktualizacja, o czym mowa w opisie metodyki optymalizacji (rozdz. 9.2.5) oraz na rys. 9.4? Co prawda na stronie 137 Doktorant stwierdza, że *„przygotowano estymowaną funkcję celu, której parametry są dobrane na podstawie próbek z przestrzeni rozwiązań z użyciem metody najmniejszych kwadratów"*, jednak biorąc pod uwagę kluczową rolę jaką funkcja ta odgrywa w opracowanej metodyce niniejsza kwestia wymaga szerszego i bardziej szczegółowego omówienia.
3. Co oznacza termin „walidowana populacja" użyty w pkt. 6 metodyki optymalizacji (rozdz. 9.2.5)?
4. Doktorant kilkukrotnie podkreśla w pracy (w tym w rozdz. 9.2.5, na str. 139, pkt 1 metodyki optymalizacyjnej) konieczność podejmowania decyzji dotyczącej wyboru metody optymalizacji w zależności od charakteru optymalizowanej funkcji, jednak ostatecznie jedyną wykorzystywaną w badaniach metodą optymalizacji jest globalny algorytm ewolucyjny. Czy Doktorant widzi potencjalną możliwość zastosowania w rozważanej klasie problemów innych rodzajów metod optymalizacji (w tym lokalnej) i w jakich warunkach mogłoby to nastąpić?
5. Jakie praktyczne znaczenie ma obserwacja sformułowana na str. 94: *„Dla α = 5Π/32 (rys. 7.7) wartość F_z przypomina funkcję kwadratową o ujemnym nachyleniu"*, szczególnie, że dla innych tego typu wykresów (np. (7.6) i (7.8)) można by sfomułować podobną jakościową obserwację?
6. Na jakiej podstawie stwierdzono w rozdz. 7.2.2 na str. 95, że: moc indukowana we wsadzie (P_B) *„jest wprost proporcjonalna do f i odwrotnie proporcjonalna do α i z_B"*?
7. Jak należy rozumieć *„sposób sprzęgnięcia algorytmu ewolucyjnego z procesem optymalizacji"* przedstawiony na rys. 8.13, skoro oba bloki (*Optymalizuj z wykorzystaniem estymowanej funkcji celu* i *Algorytm ewolucyjny*) mają te same moduły wejściowe i wyjściowe, a blok *Algorytm ewolucyjny* jest elementem składowym bloku *Optymalizuj z wykorzystaniem estymowanej funkcji celu*?
8. Formułując na str. 148 zakres dalszych możliwych prac na podstawie badań przedstawionych w rozprawie Doktorant bardzo słusznie zauważa, iż *„można by zwiększyć liczbę parametrów optymalizacji"*. O jakie parametry (czy raczej zmienne) należałoby w pierwszej kolejności rozszerzyć zakres optymalizacji i na ile zaproponowana metodyka optymalizacji jest skalowalna w tym zakresie? Czy i w jakich przypadkach należałoby wtedy dokonać zmiany kształtu estymowanej funkcji celu?

4. Ocena poziomu edytorskiego rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. B. Nycza prezentuje w dość przejrzysty sposób najważniejsze wyniki przeprowadzonych badań. Doktorant nie ustrzegł się jednak szeregu usterek edytorskich, wśród których daje się zauważyć stosunkowo duża liczba tzw. literówek (szczególnie w końcówkach wyrazów), co utrudnia nieco lekturę rozprawy, a czasem prowadzi wręcz do błędów ortograficznych (np. str. 147, 4wg jest „*pozycją*" – powinno być *pozycjom*). Inne zauważone usterki edytorskie to:

1. Niekonsekwentne użycie symboli, szczególnie w rozdziale 4, np. symbol indukcji magnetycznej B czasem pisany zwykłą czcionką a czasem kursywą, symbol pojemości cieplnej właściwej c czasem pisany małą a czasem wielką literą.
2. Podpis pod rys. 5.1 na str. 66 jest błędny i nie odnosi się do treści ilustracji.
3. Str. 82, 8wg jest „*w sekcji 5.2*" – powinno być *w sekcji 5.3*.
4. Str. 125, 9wd jest „*z tabelą 8.4*" – powinno być *z tabelą 8.5*.
5. Str. 128, 4wg jest „*i*" powinno być *nie*.

5. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Błażeja Nycza ma interdyscyplinarny charakter i w mojej ocenie zawiera oryginalny dorobek jej Autora w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja, w tym w szczególności w zakresie budowy metodyki optymalizacyjnej z wykorzystaniem narzędzi informatycznych dla złożonych procesów technologicznych. Jednocześnie uznaję uzyskane wyniki jako wartościowy wkład w zakresie aplikacyjnym w dyscyplinę automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Doktorant wykazał się dobrym poziomem wiedzy w zakresie objętym rozprawą, tj. elekromagnetycznego topienia lewitacyjnego, w tym podstaw teoretycznych i implementacji numerycznego modelowania zjawisk z tym związanych oraz metod optymalizacji, a także umiejętnością organizowania środowiska badawczego i prowadzenia eksperymentów. Krytyczne uwagi sformułowane w recenzji nie zmieniają mojej całościowej pozytywnej opinii nt. rozprawy.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Błażeja Nycza spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.