

Częstochowa, 1 lutego 2023 r.

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Cpałka
Katedra Inteligentnych Systemów Informatycznych
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki
Politechnika Częstochowska
Al. Armii Krajowej 36
42-202 Częstochowa

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Zaborskiego
pt. *„Efektywne zastosowania metamodeli w algorytmach populacyjnych
przeznaczonych do rozwiązywania problemów optymalizacji ciągłej”*,
której promotorem jest prof. dr hab. inż. Jacek Mańdziuk
oraz promotorem pomocniczym jest dr inż. Michał Okulewicz

1. Zakres tematyczny rozprawy

Recenzja rozprawy doktorskiej została przygotowana na podstawie pisma dra hab. inż. Jarosława Arabasa, prof. Politechniki Warszawskiej, Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. Pismo to jest z 2 grudnia 2022 roku.

Recenzowana rozprawa została napisana w języku polskim, składa się ona z 8. rozdziałów, zawierającego 252. pozycje wykazu literatury, streszczenia w językach polskim i angielskim oraz wykazu używanych w tekście rozprawy skrótów. Całość została przedstawiona na 183. stronach.

Tematyka rozprawy nawiązuje do zagadnienia efektywnego przeszukiwania przestrzeni rozwiązań algorytmami bazującymi na populacji. Popularność tego typu algorytmów i łatwość ich implementacji powodują, że powstaje dużo nowych ich odmian, także wielopopulacyjnych, wielokryterialnych i hybrydowych. Powstaje również dużo interesujących rozwiązań dotyczących tych algorytmów ukierunkowanych np. na: redukcję ich złożoności, efektywne zarządzanie populacją, stosowanie adaptacyjnych mechanizmów przeszukiwania czy korzystanie z modeli zastępczych. Tej ostatniej w szczególności kwestii poświęcona jest recenzowana praca. Jej tematykę uważam za istotną w kontekście aplikacyjnym oraz w kontekście prowadzenia wieloaspektowych prac badawczych dotyczących zarówno struktury użytego modelu zastępczego, jak i formuły jego stosowania.

We *Wstępie* do rozprawy, składającym się z 5. podrozdziałów („*Motywacja*”, „*Cel i zakres rozprawy*”, „*Hipotezy badawcze*”, „*Spis autorskich publikacji*”, „*Układ rozprawy*”), autor dokonał stosownego wprowadzenia w rozważaną tematykę. Scharakteryzował m.in. zagadnienie optymalizacji, wskazał znaczenie metod deterministycznych oraz niedeterministycznych bazujących na populacji w rozwiązywaniu problemów optymalizacji, odniósł się do zagadnienia złożoności obliczeniowej, nawiązał do kwestii budżetu optymalizacji. W dalszej części rozdziału 1. autor opisał ogólne i szczegółowe cele badawcze, nakreślił zakres tematyczny rozprawy i wskazał 4 hipotezy badawcze, które starał się udowodnić przygotowując rozprawę. Szczególne miejsce we wstępie zajmuje zestawienie publikacji autora rozprawy, obejmujące aż 9 prac już wydanych oraz 1. pracę w druku (jest to stan na dzień wydrukowania rozprawy). Fakt zaprezentowania wybranych wątków rozprawy w recenzowanych czasopismach i materiałach uznanych konferencji międzynarodowych stanowi dobre potwierdzenie zasadności prowadzonych badań naukowych oraz wysokiej jakości uzyskanych w wyniku tych badań rezultatów, co w efekcie działa zdecydowanie na plus ocenianej rozprawy. Niniejsza recenzja koncentruje się jednak na treści rozprawy, niezależnie od poruszonej kwestii dorobku publikacyjnego. Wracając do zawartości rozdziału 1., jest on zakończony opisem układu rozprawy stanowiącym krótkie podsumowanie zawartości poszczególnych rozdziałów.

W rozdziale 2. rozprawy, zatytułowanym „*Wprowadzenie do problemów optymalizacji*” i składającym się z 5. podrozdziałów („*Problem optymalizacji*”, „*Systematyka problemów optymalizacji*”, „*Optymalizacja czarnoskrzynkowa*”, „*Ewaluacja metod rozwiązujących*”, „*Koszt optymalizacji*”), autor zdefiniował rozważany przez siebie problem optymalizacji i skonkretyzował klasyfikację wybranych problemów optymalizacji ze względu na ich właściwości. W tym kontekście wskazał rozważany w rozprawie problem optymalizacji ciągłej z ograniczoną przestrzenią poszukiwania rozwiązania. Uzasadnił on ponadto przyjęcie przez siebie założenia dotyczącego czarnoskrzynkowości rozważanego problemu, które wprawdzie nie ułatwia generowania rozwiązań, ale ma korzystny wpływ na uniwersalność podejścia. Autor w ramach rozdziału 2. opisał także kwestię oceny uzyskiwanych rezultatów, nawiązał do jakości rozwiązania i zasobów użytych do jego znalezienia oraz scharakteryzował zbiory testowe wykorzystane w testach. Są to znane zbiory zróżnicowanych, wieloargumentowych funkcji, których często używa się do oceny skuteczności algorytmów bazujących na populacji. W końcowej części rozdziału autor opisał pojęcie kosztu optymalizacji, a przy tej okazji przytoczył pojęcia: budżetu optymalizacji kosztownej, taniej i tzw. semikosztownej.

W rozdziale 3. rozprawy, zatytułowanym „*Wiodące metody rozwiązywania problemów optymalizacji ciągłej*” i składającym się z 4. podrozdziałów („*Systematyka metod rozwiązujących*”, „*Algorytmy*”

populacyjne”, „Algorytmy z rodziny DE”, „Algorytmy z rodziny CMA-ES”), autor opisał wybrane przez siebie 2. algorytmy bazujące na populacji wraz z popularnymi modyfikacjami. Są to algorytmy: ewolucji różnicowej i strategii ewolucyjnej wykorzystującej adaptację macierzy kowariancji. Algorytmy te odpowiednio ulokował w zaproponowanej przez siebie klasyfikacji metod dedykowanych do przeszukiwania przestrzeni rozwiązań, w tym w szczególności odnoszących się do rozważanego w rozprawie problemu wykazującego cechy czarnoskrzynkowości.

W rozdziale 4. rozprawy, zatytułowanym „Modelowanie funkcji celu w optymalizacji ciągłej” i składającym się z 5. podrozdziałów („Przybliżanie funkcji celu”, „Metamodeli w optymalizacji”, „Popularne grupy metamodeli”, „Optymalizacja bayesowska”, „Algorytmy populacyjne wspierane metamodelem (APWM)”)), autor opisał ideę przybliżania funkcji celu, szczególnie w kontekście korzystania z algorytmów bazujących na populacji, podkreślając przy tym zasadność zastępowania procedury wyznaczania wartości funkcji celu szacowaniem jej wartości z pomocą odpowiednio przygotowanego metamodelu. Następnie krótko podsumował scenariusze użycia metamodeli w ogólnie rozumianej optymalizacji, także w odniesieniu do korzystania z algorytmów populacyjnych. W tym kontekście autor opisał popularne grupy metamodeli: regresję wielomianową, podejście Kriging, sztuczne sieci neuronowe i radialne funkcje bazowe. Dla każdej z grup metamodeli odniósł się do ich złożoności obliczeniowej, która finalnie zdeterminowała działania autora na potrzeby przygotowania rozdziałów 5-7. W ramach rozdziału 4. ponadto podsumowano ideę użycia metamodelu w optymalizacji bayesowskiej oraz algorytmach populacyjnych, w szczególności z grupy ewolucji różnicowej oraz strategii ewolucyjnej wykorzystującej adaptację macierzy kowariancji.

W rozdziale 5. rozprawy, zatytułowanym „Zastosowania metamodeli w algorytmach populacyjnych” i składającym się z 2. podrozdziałów („Obecnie stosowane metody”, „Proponowane zastosowania metamodeli?”), autor przytoczył założenia pozwalające uznać użycie metamodelu w algorytmie bazującym na populacji za efektywne (są one następujące: rodzaj metamodelu i sposób jego integracji z algorytmem powinny pozwalać na użycie w optymalizacji semikosztownej lub taniej, narzut obliczeniowy algorytmu wykorzystującego metamodel powinien być akceptowalny, algorytm wspierany metamodelem powinien osiągać zadowalające wyniki i być metodą możliwie uniwersalną). Autor uściślił następnie przytoczone kryteria i przeprowadził dyskusję nawiązującą do poszczególnych odmian algorytmów populacyjnych rozważanych w rozprawie. Odniósł się przy tym do wyników eksperymentalnego oszacowania czasu estymacji parametrów metamodeli typu: Kriging, opartego o radialną funkcję bazową, kwadratowej regresji wielomianowej oraz kwadratowej regresji wielomianowej z interakcjami. W dalszej części rozdziału 5. autor zaproponował 4 scenariusze

użycia metamodelu w algorytmach bazujących na populacji. Zakładają one: inicjalizację metamodelem, lokalną optymalizację metamodelem, preselekcję rozwiązań na podstawie wartości metamodelu oraz użycie metamodelu z estymacją parametrów. Przytoczył przy tym dla proponowanych procedur stosowne formuły działania lub pseudokody.

W mojej opinii rozdziały do 5. włącznie stanowią bardzo dobre i odpowiednio sformalizowane wprowadzenie do rozdziałów 6. i 7., w których autor zaprezentował swoje najważniejsze rozwiązania autorskie wraz z wynikami potwierdzającymi ich skuteczność.

W rozdziale 6. rozprawy, zatytułowanym „*Lokalna optymalizacja metamodelem w optymalizacji taniej*” i składającym się z 4. podrozdziałów („*Algorytm GAPSO*”, „*M-GAPSO: GAPSO z lokalną optymalizacją metamodelem*”, „*SHADE-LM: R-SHADE z lokalną optymalizacją metamodelem*”, „*Narzędzie obliczeniowe lokalnej optymalizacji metamodelem*”), autor scharakteryzował algorytm uogólnionej adaptacyjnej optymalizacji rojem cząstek (GAPSO, *Generalized Self-Adapting Particle Swarm Optimization*), który ma charakter hybrydowy, ponieważ umożliwia użycie formuł przeszukiwania wywodzących się z innych algorytmów populacyjnych, w szczególności algorytmu optymalizacji za pomocą roju cząstek (PSO, *Particle Swarm Optimization*) i algorytmu ewolucji różnicowej (DE, *Differential Evolution*). W tym kontekście opisał autorską odmianę algorytmu realizującą lokalną optymalizację metamodelem i nazywaną M-GAPSO. Wyklarował w szczególności różnice między tym algorytmem i jego odmianą bazową, opisał 2. algorytmy użyte w elastycznym mechanizmie przeszukiwania i scharakteryzował 2. typy zastosowanych metamodeli. Ponadto przedstawił różne warianty testów dla zaproponowanego algorytmu, ukierunkowanych na wykazanie zysku z zastosowania lokalnej optymalizacji wspartej metamodelem. W drugiej części rozdziału 6. autor przedstawił opis oraz wyniki testów dotyczących drugiego z proponowanych w rozdziale algorytmów: metody R-SHADE rozbudowanej o lokalną optymalizację metamodelem (tzw. SHADE-LM), która wywodzi się z rodziny algorytmów bazujących na ewolucji różnicowej. Zrobił to dość analogicznie, jak w przypadku opisu podejścia M-GAPSO. W końcowej części rozdziału 6. autor zaprezentował m.in. wyniki analizy narzutu obliczeniowego optymalizacji lokalnej, przeprowadzonej w oparciu o założenia podane w kontekście użytego zbioru testowego CEC2021.

W rozdziale 7. rozprawy, zatytułowanym „*Preselekcja rozwiązań w optymalizacji semikosztovej*” i składającym się z 4. podrozdziałów („*LQ-R-SHADE: R-SHADE wspierany globalnym metamodelem*”, „*psLSHADE: LSHADE wspierany globalnym metamodelem*”, „*rmmLSHADE: LSHADE wspierany rekurencyjnie estymowanym globalnym metamodelem*”, „*Narzędzie obliczeniowe preselekcji rozwiązań*”), autor rozważał autorskie algorytmy wyposażone w odpowiedni mechanizm preselekcji, należące do grupy

metod opartych o sukces adaptacji parametrów dla ewolucji różnicowej (SHADE, *Success History Based Parameter Adaptation for Differential Evolution*). Mechanizmy preselekcji lokalnej i globalnej polegają na wygenerowaniu określonej liczby kopii osobników populacji w oparciu o przyjętą formułę przeszukiwania, następnie ocenie tych kopii z wykorzystaniem metamodelu oraz ocenie jedynie wyselekcjonowanych, tj. najlepszych z nich, przy pomocy rzeczywistej funkcji oceny. Preselekcja lokalna i globalna różnią się od siebie zasięgiem działania: lokalna działa w obrębie osobnika, globalna zaś całej populacji. W ten sposób autor rozprawy zaproponował i opisał 3 odmiany algorytmów (LQ-R-SHADE, psLSHADE i rmmLSHADE), przedstawił dla nich wyniki badań eksperymentalnych oraz odniósł się do zagadnienia narzutu obliczeniowego preselekcji rozwiązań, mając na uwadze procedurę pomiaru empirycznej złożoności obliczeniowej wskazaną dla zbioru funkcji testowych CEC2021.

W rozdziale 8. rozprawy, zatytułowanym „Podsumowanie” i składającym się z 4. podrozdziałów („Dyskusja wyników badań”, „Weryfikacja hipotez badawczych”, „Dalsze kierunki badań”, „Autorski wkład w dziedzinę”), autor podsumował wyniki uzyskane na potrzeby przygotowania rozważanej rozprawy, odniósł się do hipotez badawczych postawionych w rozdziale 1., wskazał kierunki dalszych badań oraz krótko podsumował autorski wkład w dziedzinę optymalizacji z wykorzystaniem metamodeli.

Pracę kończą: zawierająca wykaz 252. wykorzystanych pozycji literatury sekcja „Bibliografia”, oraz spisy rysunków i tabel.

2. Oryginalne rezultaty uzyskane w rozprawie

Do oryginalnych rezultatów uzyskanych w rozprawie doktorskiej Pana mgr. inż. Mateusza Zaborskiego zaliczyć należy przede wszystkim zaproponowane przez niego nowe odmiany algorytmów bazujących na populacji, które w twórczy sposób wykorzystują możliwości użycia metamodeli. Nie bez znaczenia wydaje się fakt, że dużo z tych algorytmów, oraz rozwiązań je wspomagających, było wcześniej opisanych w 10. pracach naukowych pozytywnie zweryfikowanych zarówno przez redakcje uznanych czasopism naukowych, na przykład *Applied Soft Computing*, jak i komitety organizacyjne rozpoznawalnych międzynarodowych konferencji naukowych związanych z tematyką pokrewną tematyce opiniowanej rozprawy, na przykład GECCO czy ICAISC. Rezultaty te można podsumować następująco:

- Opracował, przetestował i opisał on algorytm M-GAPSO. Jest to uogólniona adaptacyjna optymalizacja rojem cząstek (*Generalized Adaptive Particle Swarm Optimization*) rozbudowana o mechanizm lokalnej optymalizacji metamodelem i aktualizująca m.in. sposób działania

mechanizmów: restartów populacji (na przykład w przypadku utknięcia jej osobników w minimach lokalnych) oraz kojarzenia osobników z formułami przeszukiwania przestrzeni rozwiązań. Pierwszy ze zmodyfikowanych mechanizmów uwzględnia rozproszenie populacji i sposób zachowania osobnika najlepszego. Drugi zaś mechanizm uwzględnia skuteczność wybranej formuły przeszukiwania, przypisywanej do pewnej liczby osobników populacji w toku działania algorytmu populacyjnego. Autor w praktyce uwzględnił formuły wywodzące się od algorytmów: optymalizacji rojem cząstek (*Particle Swarm Optimization*) i ewolucji różnicowej (*Differential Evolution*). Najważniejszą jednak cechą algorytmu M-GAPSO jest wykorzystanie optymalizacji lokalnym metamodeliem w formie metamodelu kwadratowego i wielomianowego. Parametry tych metamodeli są metodą najmniejszych kwadratów w odpowiedni sposób estymowane, w czym korzysta się z próbek pochodzących z archiwum rozszerzającego wykorzystywaną populację o wybrane, ewaluowane wcześniej osobniki.

- Opracował, przetestował i opisał algorytm SHADE-LM. Jest to populacyjny algorytm opartej o sukces adaptacji parametrów dla ewolucji różnicowej (*Success History Based Parameter Adaptation for Differential Evolution*) rozbudowany o mechanizmy: restartów populacji oraz lokalnej optymalizacji i inicjacji metamodeliem, która kieruje populację w obiecujący podobszar przestrzeni rozwiązań. Użyty w tej metodzie metamodel ma formę kaskady: wielomianowej regresji kwadratowej i wielomianowej regresji kwadratowej z dodatkowymi interakcjami, uwzględniającymi występowanie dodatkowych powiązań między rozważanymi w regresji zmiennymi. Wybór sposobu realizacji regresji w tej kaskadzie zależy od rozmiaru populacji.
- Opracował, przetestował i opisał algorytm LQ-R-SHADE. Z racji osadzenia struktury tego algorytmu na metodzie R-SHADE, jest on wyposażony w archiwum próbek, uwzględniające dotychczas wyznaczone wartości funkcji oceny, oraz mechanizm restartu populacji w przypadku zajścia jednego z warunków wykrywających oznaki stagnacji w procesie poszukiwania rozwiązania. LQ-R-SHADE wykorzystuje ponadto mechanizmy: lokalnej preselekcji rozwiązań i inicjalizacji metamodeliem. Mechanizm preselekcji rozwiązań na podstawie wartości metamodelu typuje rozwiązania do ewaluacji z wykorzystaniem funkcji celu, wybierając je z generowanego zbioru nowych osobników o liczebności większej niż przyjęty rozmiar populacji. Korzysta on z kaskady: wielomianowej regresji liniowej, kwadratowej i kwadratowej z interakcjami. Z kolei mechanizm inicjalizacji metamodeliem lokalizuje osobniki populacji początkowej w obiecującym obszarze przestrzeni rozwiązań, wykorzystując do tego celu odpowiednio estymowany metamodel. W tym kontekście użycia metamodel korzystał z regresji liniowej i kwadratowej.

- Opracował, przetestował i opisał algorytm psLSHADE. Przygotowano go w sposób analogiczny, jak algorytm LQ-R-SHADE, ale osadzono na bazie redukującego rozmiar populacji w kolejnych krokach działania algorytmu L-SHADE, zatem wywodzi się on z grupy metod ewolucji różnicowej. Cechami wyróżniającymi psLSHADE są m.in.: zastąpienie mechanizmu restartów większym rozmiarem początkowym populacji, rezygnacja z kaskady metamodeli na rzecz pojedynczego metamodelu w postaci hybrydowej oraz zastąpienie mechanizmu inicjalizacji populacji metamodelem przez mechanizm generacji tej populacji techniką polegającą na podziale dziedziny rozwiązań na podobszary i losowaniu osobników populacji w każdym z tych podobszarów (*Latin Hypercube Sampling*).
- Opracował, przetestował i opisał algorytm rmmLSHADE. Wyróżniki tego algorytmu są dwa. Po pierwsze, estymacja parametrów metamodelu realizowana jest w nim po każdej ewaluacji funkcji oceny z wykorzystaniem rekursywnego filtru najmniejszych kwadratów. Po drugie, algorytm wyposażony jest w realizowaną w sposób globalny preselekcję osobników na bazie zredukowanego do minimum metamodelu z kwadratową regresją wielomianową z interakcjami, co w konsekwencji skutkuje uproszczeniem logiki algorytmu.

Pan mgr inż. Mateusz Zaborski w wyniku realizacji pracy doktorskiej uzyskał ponadto dużo innych rezultatów, które ułatwiły, lub wręcz umożliwiły, opracowanie wymienionych algorytmów autorskich. Wśród tych rezultatów wymienić można kilka przykładowych, a mianowicie:

- Zdefiniował on pojęcie efektywnego zastosowania metamodelu. Uwzględnił przy tym budżet optymalizacji, narzut obliczeniowy i skuteczność w odnajdowaniu rozwiązania.
- Usystematyzował wybrane algorytmy populacyjne oraz zaproponował klasyfikację wybranych metod optymalizacji ciągłej z jednym kryterium oceny.
- Sformułował założenia i zaproponował dużo kwestii wspomagających opracowanie wykorzystywanego w pracy metamodelu wielomianowego. Ponadto przeprowadził analizę działania metamodelu kwadratowego i wielomianowego w kontekście poszczególnych algorytmów.

3. Uwagi dotyczące rozprawy

Recenzowana rozprawa została przygotowana z dbałością o detale, zarówno w kontekście edycyjnym, jak i - co ważniejsze - merytorycznym. Stosowne pojęcia zostały odpowiednio sformalizowane i osadzone w szerszym kontekście. Zatem przytoczone dalej kwestie nie wpływają

na obniżenie jednoznacznie pozytywnej oceny rozważanej rozprawy i mają one charakter dyskusyjny. Można je podsumować następująco:

- Formuła zaproponowanych w rozprawie algorytmów nie budzi zastrzeżeń. Jednak niektóre z nich stanowią rozszerzenie znanych metod, inne są rozszerzeniami metod autorskich, zaproponowanych w rozprawie. Ponadto wszystkie one korzystają z różnych podejść do formuły użycia metamodelu oraz odmiennej jego struktury. Wydaje się, że analiza cech charakterystycznych poszczególnych metod byłaby ułatwiona, gdyby w pracy umieszczono na przykład tabelę, z której wynikałyby w sposób jednoznaczny kluczowe cechy każdego z proponowanych algorytmów, także zastosowanych w nich metamodeli, szczególnie w kontekście cech metod wcześniej zaproponowanych w literaturze.
- Skuteczność metod przedstawionych w rozprawie została podsumowana w rozdziałach zatytułowanych „*Eksperymentalna ewaluacja*”. Wydaje się, że rozdziały te byłyby czytelniejsze i lepiej podkreślałyby zalety zaproponowanych rozwiązań, gdyby zamieszczone w nich opisy dotyczące w szczególności scenariusza przeprowadzonych obliczeń, rysunków oraz wniosków były bardziej wyczerpujące. Dostrzegam także inne kwestie dotyczące sposobu prezentacji wyników, które utrudniają ich analizę. Mianowicie dużo z nich zostało w rozprawie przedstawionych w formie zagregowanej, dotyczącej całego zbioru funkcji testowych. Tymczasem interesująca może być także analiza na poziomie poszczególnych funkcji.
- W tekście rozprawy korzystano głównie z metamodeli bazujących na regresji liniowej i kwadratowej, ewentualnie ich kombinacjach lub/i odmianach z dodatkowymi interakcjami. W moim odczuciu reguły doboru konkretnej struktury metamodelu dla każdego z zaproponowanych algorytmów mogły zostać w rozprawie doprecyzowane.
- Które z metod zaproponowanych w rozprawie mogą zdaniem autora znaleźć zastosowanie w przypadku innych typów problemów rozwiązywanych z wykorzystaniem algorytmów bazujących na populacji, na przykład problemu jednoczesnego doboru struktury i parametrów sieci neuronowej. Czy ponadto autor testował, ewentualnie porównywał, swoje algorytmy z rozwiązaniami innych autorów w kontekście problemów testowych innych od analizy funkcji testowych? Które ponadto z zaproponowanych w rozprawie rozwiązań mają charakter uniwersalny, przez co stwarzają one możliwość rozszerzenia nimi innych rodzin algorytmów populacyjnych?

4. Podsumowanie i konkluzja

W podsumowaniu stwierdzam, co następuje:

- Autor rozprawy doktorskiej rozważał zagadnienie wykorzystania metamodeli w algorytmach bazujących na populacji przeznaczonych do rozwiązywania problemów optymalizacji ciągłej, kładąc nacisk na efektywność ich użycia.
- Rozprawa doktorska zawiera szereg oryginalnych i wartościowych rezultatów naukowych, została zredagowana w sposób poprawny, poszczególne wątki zostały w niej przedstawione w sposób kompetentny. Przygotowanie jej potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez kandydata do stopnia doktora.
- Rozprawa stanowi dobre podsumowanie ogólnej wiedzy teoretycznej mgra inż. Mateusza Zaborskiego w zakresie dyscypliny Informatyka techniczna i telekomunikacja.

W konkluzji stwierdzam, że praca doktorska „*Efektywne zastosowania metamodeli w algorytmach populacyjnych przeznaczonych do rozwiązywania problemów optymalizacji ciągłej*”, której autorem jest Pan mgr inż. Mateusz Zaborski, spełnia wymagania obowiązującej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym. Wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Mając ponadto na uwadze odpowiedni potencjał aplikacyjny zaproponowanych w rozważanej rozprawie doktorskiej rozwiązań, ich wysoką wartość merytoryczną oraz ponadprzeciętny dorobek publikacyjny Pana mgr inż. Mateusza Zaborskiego wstępnie deklaruję poparcie dla ewentualnego wniosku dotyczącego wyróżnienia rozprawy.

Krzysztof Cpałka