

Warszawa, 2.04.2019 r.

Prof. dr hab. inż. Zdzisław Kurczyński  
Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji  
i Systemów Informacji Przestrzennej  
Wydział Geodezji i Kartografii  
Politechnika Warszawska

## **RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Bogusława Kaczałka  
na temat:  
„Klasyfikacja danych lotniczego skaningu laserowego  
z wykorzystaniem algorytmu Random Forests”**

### **1. Podstaw formalna**

Formalną podstawą recenzji jest pismo Pana Dziekana Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu prof. dr. hab. inż. Bernarda Kontnego, z dnia 21.02.2019 r., przekazujące uchwałę Rady Wydziału z dnia 20.02.2019 r. w sprawie powołania na recenzenta rozprawy.

### **2. Ocena istotności i aktualności tematu**

Technika lotniczego skaningu laserowego jest nadal techniką podlegającą dynamicznemu rozwojowi. Do niedawna postrzegano ją jako wydajne źródło danych wysokościowych do budowy precyzyjnych modeli wysokościowych: numerycznego modelu terenu (NMT) i numerycznego modelu pokrycia terenu (NMPT). Rozwój techniki idzie w kierunku wzrostu gęstości punktów laserowych, rejestracji obrazu intensywności, rejestracji pełnego kształtu fali powracającej (*full-waveform* – FWF), a ostatnio rozwoju tzw. skanerów wielospektralnych (wykorzystujących jednocześnie dwie lub trzy długości fal laserowych). Standardem stało się łączenie skanera laserowego z kadrową kamerą cyfrową, dającą kolorowy obraz w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni. Daje to całkowicie nowe możliwości: nie tylko budowy precyzyjnych modeli wysokościowych, ale również rozpoznawania obiektów naziemnych od których nastąpiło odbicie poszczególnych impulsów laserowych. Następuje to w tzw. procesie klasyfikacji chmury punktów laserowych.

W klasyfikacji takiej często wykorzystuje się, obok właściwych danych skanerowych (chmur punktów) również inne dane: zdjęcia lotnicze, czy obrysy budynków z danych katastralnych. Zważywszy na ogromne ilości danych (kilkadziesiąt punktów na metr kwadratowy, a nawet więcej) nie jest to zadanie łatwe. W minionych kilkunastu latach pojawiło się i wciąż rozwija wiele wyrafinowanych metod klasyfikacji. Obok technik samego skaningu nie mniej dynamicznie rozwija się oprogramowanie do opracowania danych, w tym klasyfikacji. Ze względu na ilość danych kluczem do sukcesu mogą być tylko metody automatycznej klasyfikacji.

W ostatnich latach zainteresowanie ośrodków badawczych kieruje się na metody „sztucznej inteligencji”, w tym „uczenia maszynowego” i konwolucyjnych sieci neuronowych – CNN (*Convolutional Neural Network*). Recenzowana rozprawa mieści się w tym nurcie. Autor podejmuje problem klasyfikacji danych lotniczego skaningu laserowego z wykorzystaniem algorytmu Random Forests (Las Losowy), tj. algorytmu zaliczanego do uczenia maszynowego. Należy więc uznać podjęty problem za bardzo aktualny, o dużym ładunku poznawczym i – jeszcze bardziej – praktycznym. Problematyka ta jest bardzo aktualna również w wymiarze krajowym, wobec pokrycia całego kraju danymi lotniczego skaningu laserowego i rosnącego zainteresowania tą techniką.

### 3. Teza i cel rozprawy doktorskiej

W rozprawie Autor podejmuje problem klasyfikacji danych lotniczych skaningu laserowego w zakresie opracowania metody klasyfikacji nadzorowanej z wykorzystaniem algorytmu Random Forests, pozwalającej na klasyfikację nowych zbiorów danych, w tym danych wielospektralnych, poprawę już istniejącej klasyfikacji danych wraz z wyodrębnieniem dodatkowych informacji (klas).

Autor stawia następującą tezę badawczą (str. 7):

**Zastosowanie algorytmu Random Forests pozwala na skuteczną, automatyczną klasyfikację danych lotniczego skaningu laserowego oraz pozwala wyodrębnić dodatkowe klasy ze sklasyfikowanego zbioru danych lotniczego skaningu laserowego.**

Głównym celem rozprawy jest opracowanie skutecznej metody szczegółowej klasyfikacji danych lotniczego skaningu laserowego bazującej na algorytmie Random Forests, która będzie mogła zostać zastosowana do zbiorów danych pozyskanych z różną gęstością, za pomocą skanerów jedno i wielospektralnych oraz w której możliwe będzie zastosowanie dodatkowych informacji, pochodzących z zewnętrznego źródła danych, takich jak kamery lotnicze.

Osiągnięcie tak ogólnie sformułowanego celu głównego przekłada się na kilka szczegółowych celów badawczych (str. 7):

1. Przygotowanie zbiorów lotniczego skaningu lotniczego dla poszczególnych pól testowych.
2. Opracowanie algorytmu filtracji danych.
3. Opracowanie algorytmu wyznaczenia cech charakterystycznych każdego punktu zbioru danych na bazie jego sąsiedztwa.
4. Opracowanie algorytmu nadzorowanej klasyfikacji danych skaningu na bazie algorytmu Random Forests.
5. Przeprowadzenie klasyfikacji wraz z oceną dokładności.

Autor zakłada, że efektem pracy ma być algorytm, wraz z jego komputerową realizacją, pozwalający na klasyfikację danych skaningu laserowego według zadanych parametrów oraz wprowadzonej próbki uczącej w formie sklasyfikowanego zbioru danych.

Przedstawiona teza badawcza rozprawy nie jest stwierdzeniem stanu oczywistego a jej udowodnienie wymaga podjęcia badań. Jest to więc teza naukowa, której wykazanie wymaga postawienia i rozwiązania szeregu zadań badawczych. Rozwiązanie postawionego

problemu niewątpliwie wzbogaci dotychczasowy stan wiedzy (cel poznawczy) a wypracowane rozwiązanie będzie miało bardzo wymierny charakter praktyczny.

W literaturze można odnaleźć odniesienia do zastosowania algorytmu Random Forests do klasyfikacji danych lotniczego skaningu laserowego, jednak są one nieliczne, a uzyskane wyniki nie są satysfakcjonujące. Autor rozprawy widzi jednak potencjał tkwiący w metodzie i konkretne jej udoskonalenia które, jak oczekuje, powinny dać znacząco lepsze wyniki klasyfikacji niż te przytaczane w nielicznych doniesieniach literaturowych.

#### 4. Układ i treść rozprawy

Rozpraw obejmuje łącznie z bibliografią 147 strony i składa się z pięciu rozdziałów.

W rozdz. 1 „Wstęp” (str. 6-8) Autor daje krótkie wprowadzenie i motywację badań, po czym stawia tezę i przybliża cel i zakres pracy.

Rozdz. 2 „Lotnicze skanowanie laserowe” (str. 9-43) stanowi wprowadzenie do techniki lotniczego skanowania laserowego (ALS), z wyraźnym akcentem na problematykę klasyfikacji chmur punktów laserowych, a więc problematykę na której koncentruje się rozprawa. Przybliża się m.in. podstawowe oraz rozszerzone klasy obiektów zdefiniowane w standardzie LAS (ASPRS). Autor przybliża następnie etap filtracji i klasyfikacji danych laserowych. Podaje systematykę metod klasyfikacji, po czym dokonuje przeglądu tych metod występujących w literaturze. Przegląd ten obejmuje 26 pozycji literaturowych. Autor rozróżnia podejścia 2D i 3D. Podejścia 2D to podejścia bazujące na danych laserowych przekształconych do rastra 2D. Te przeważają. Podejście 3D bazuje bezpośrednio na punktach laserowych w przestrzeni 3D. Wszystkie przytaczane opracowania to publikacje po 2000 roku. Należy zaznaczyć, że ta dość obszerna część rozdziału (str. 21-40) to coś więcej niż rutynowy przegląd literatury. Można ją określić jako krytyczny, autorski przegląd, z licznymi autorskimi komentarzami, stanowiącymi dobre tło i wprowadzenie do właściwego problemu badawczego – klasyfikacji z wykorzystaniem algorytmu Random Forests.

Rozdział ten kończy się przybliżeniem miar oceny poprawności klasyfikacji. Tu definiuje się i omawia macierz niezgodności (ang. *Confusion matrix*) oraz szereg wskaźników dokładności klasyfikacji z niej wynikających. Do oceny jakości klasyfikacji stosuje się również analizę przebiegu krzywej ROC (ang. *Receiver Operating Characteristics*). Opisane miary oceny klasyfikacji są stosowane w ocenie własnych wyników klasyfikacji, opisanych w kolejnych rozdziałach.

Rozdział 3 „Charakterystyka opracowanej metody” (str. 44-94) to niewątpliwie najważniejsza część rozprawy. To tu Autor przybliża podstawy klasyfikacji chmur punktów z wykorzystaniem algorytmu Random Forests, wsparte opracowaną autorską metodyką. Schemat przebiegu procesu opracowania ilustrowany jest na rys. 10 (str. 45).

Opracowana metoda bazuje na przestrzennych punktach laserowych, jest więc metodą typu 3D. Punkty należy wstępnie poddać filtracji, tj. podzielić na przynależne do powierzchni terenu i pozostałe. Filtrację można wykonać w dowolnym dostępnym oprogramowaniu, jednak Autor ten etap również wykonuje samodzielnie, wykorzystując podejście rosnących regionów. Zbiór danych dzielony jest na dane treningowe, sklasyfikowane „ręcznie” oraz pozostałe dane. Do każdego punktu laserowego przypisywanych jest szereg cech tworzących wektor cech. Na części danych treningowych (tzw. zbiór uczący) trenowany jest algorytm Random Forests. Pozostała część zbioru treningowego używana jest w procesie

walidacji wyników (walidacja poprawności działania klasyfikatora). Na etapie trenowania klasyfikatora możliwe jest określenie istotności poszczególnych cech i ewentualna rezygnacja z niektórych z nich dla przyspieszenia obliczeń. Cały proces klasyfikacji oraz poprzedzającą ją filtrację Autor zaimplementował w środowisku MatLab.

Poszczególne etapy procesu zostały komunikatywnie przybliżone. Najważniejszym etapem jest wybór i obliczenie składowych wektora cech, przypisanych do każdego punktu chmury. Na cechy te mogą składać się różne parametry reprezentujące dany punkt i jego relacje z otoczeniem. Parametry te mogą pochodzić z informacji o odbiciu impulsów laserowych od obiektu, jego intensywności, wysokości, otoczeniu (na podstawie triangulacji 2.5D i 3D), rozkładzie wartości osobliwych, ale również z informacji pochodzących ze zdjęć lotniczych RGB i CIR (różne wskaźniki roślinności), o ile takie zdjęcia są dostępne. Może tu być również wykorzystana informacja spektralna odbicia w przypadku stosowania tzw. skanerów wielospektralnych.

Autor komunikatywnie wyjaśnia i ilustruje poszczególne cechy, a następnie podejmuje problem optymalizacji klasyfikatora przyjmując za kryterium maksymalizację skuteczności (dokładności klasyfikacji) przy minimalizacji czasu obliczeń. Proces ten ilustrowany jest wynikami bardzo licznych przebiegów procesu trenowania klasyfikatora. Tak uzyskane optymalne parametry zostały użyte do klasyfikacji zbiorów danych testowych.

Rozdział 4 „Testy numeryczne” to obszerny, drugi z ważniejszych rozdziałów rozprawy (str. 95-142). Prezentowane są w nim wyniki opracowania danych lotniczego skaningu laserowego, poddanych klasyfikacji algorytmem Random Forests wg. opracowanej metodologii zaimplementowanej w środowisku MatLab. Autor opracowaną metodologię wykorzystał i sprawdził na czterech kompletach danych.

W krótkim rozdziale 5 (str. 144-145) „Podsumowanie wyników i wnioski” Autor krótko podsumowuje ocenę algorytmu Random Forests dla klasyfikacji danych lotniczego skaningu laserowego.

Rozdział 6 „Piśmiennictwo” zawiera 51 pozycji literaturowych.

## **5. Ocena pracy i komentarze**

### **1. Bibliografia i korzystanie z literatury.**

Bibliografia rozprawy zawiera 51 pozycji, zdecydowana większość to pozycje wydane po 2000 roku, z przewagą ostatnich kilku lat. Prawie wszystkie to pozycje anglojęzyczne. Lista pozycji nie jest szczególnie rozbudowana, ale widać, że są one starannie dobrane i dobrze odzwierciedlają aktualny poziom klasyfikacji punktów skaningu laserowego. Autor wykazał się umiejętnością korzystania z literatury dla realizacji założonych celów.

### **2. Konstrukcja rozprawy.**

Tekst jest zwarty, zorientowany na temacie i postawionym celu głównym. Zawiera wszystkie elementy składowe oczekiwane w pracach naukowych, a taką jest niewątpliwie rozprawa doktorska, a więc krótkie wprowadzenie do techniki skaningu laserowego, dostrzeżone problemy, przegląd literatury, tezę, cel główny i cele szczegółowe, jasno przedstawioną zaproponowaną metodykę rozwiązania postawionego problemu, eksperyment naukowy z wynikami, ich analizą i wnioskowaniem.

Najważniejsze rozdziały rozprawy to rozdz. 3 „Charakterystyka opracowanej metody” oraz rozdz. 4 „Testy numeryczne”. Te rozdziały dominują w rozprawie. W pierwszym Autor przybliży i szczegółowo omawia algorytm Random Forests. Tekst dobrze oddaje potencjał tkwiący w metodzie oraz wskazuje jak Autor umiejętnie ten potencjał wykorzystuje.

Na wysoką ocenę zasługuje rozdz. 4 w którym Autor przybliży wyniki klasyfikacji zrealizowanej wg. zaproponowanej metodyki na czterech kompletach danych skaningu laserowego. Ta część jest komunikatywna i bogato ilustrowana. Rozbudowana analiza jakości klasyfikacji jest wiarygodna, a uzyskane wyniki potwierdzają poprawność przyjętego algorytmu i jego implementacji w MatLab.

### 3. Ocena przyjętych metod badawczych.

Autor podjął problem badawczy klasyfikacji danych laserowych z wykorzystaniem algorytmu Random Forests, dostrzegając w nim niewykorzystany dotąd potencjał. Przejawia się to w zdefiniowaniu i włączeniu do opracowania nowych niestosowanych dotąd parametrów wektora cech przypisywanych do każdego punktu laserowego. Wektor cech pełni kluczową rolę w algorytmie Random Forests i najbardziej wpływa na dokładność klasyfikacji. Wśród takich parametrów można wymienić m.in.:

- parametry bazujące na wartości odchylenia wektora normalnego od osi pionowej z wykorzystaniem triangulacji 2.5D i 3D,
- pochodne wartości intensywności odbicia obliczane w otoczeniu punktu laserowego,
- zastosowanie dodatkowych źródeł danych, takich jak zdjęcia lotnicze,
- wykorzystanie intensywności odbicia w skanerach dwu i trzykanałowych.

Badania wykazały dużą istotność takich parametrów i ich znaczący wpływ na podniesienie dokładności klasyfikacji.

Zaproponowany schemat eksperymentu badawczego został zaimplementowany w środowisku MatLab i doprowadzony do postaci sprawnego narzędzia, gotowego do użycia w praktyce.

Sam algorytm jest obudowany procedurami optymalizacji klasyfikatora oraz licznymi miarami i wskaźnikami oceny jakości wyników klasyfikacji.

Przyjęta metoda badawcza jest ilustracją twórczego podejścia Autora do problemu i eksploatacji potencjalnych możliwości metody. Pozwala na skuteczną, automatyczną klasyfikację danych skaningu laserowego oraz pozwala wyodrębnić dodatkowe klasy ze sklasyfikowanych wcześniej zbiorów danych laserowych. Ma to znaczenie w przypadku danych ISOK, pokrywających prawie całą powierzchnię kraju. Tym samym Autor wykazał słuszność postawionej tezy badawczej.

### 4. Ocena eksperymentu badawczego.

Przeprowadzony eksperyment badawczy to niewątpliwie mocna strona rozprawy. Autor poddał opracowaniu dane lotniczego skaningu laserowego z czterech pól testowych:

- Dane udostępnione przez ISPRS, stanowiące test międzynarodowy. Zawierają dane LIDAR o gęstości 4 p./m<sup>2</sup> oraz zdjęcia lotnicze o rozdzielczości GSD=0.08 m w zakresach zielonym, czerwonym i podczerwonym, przetworzone do postaci ortofotomapy;

- Dane ISOK (Informatyczny System Ochrony przed nadzwyczajnymi zagrożeniami) o średniej gęstości 19 p./m<sup>2</sup>, poddane klasyfikacji. Dostępna jest również kolorowa ortofotomapa (RGB) o rozdzielczości 0.10 m;
- Dane ze skanera wielospektralnego trzykanałowego pochodzące z konkursu organizowanego przez IEEE GRSS. Średnia gęstość danych to 42 p./m<sup>2</sup> (po 14 p./m<sup>2</sup> dla każdego z trzech kanałów). Do walidacji danych dostępny jest referencyjny plik rastrowy o rozdzielczości 0.50 m;
- Dane wielospektralne (dwukanałowe) udostępnione przez OPEGIEKA o średniej gęstości 60 p./m<sup>2</sup> (po 30 p./m<sup>2</sup> w każdym kanale), obszar miejski. Pole treningowe zawierało zbiór referencyjny (rozpoznane klasy obiektów).

Jak widać, w pierwszych dwóch polach testowych, oprócz danych LIDAR były wykorzystane zdjęcia lotnicze. W kolejnych dwóch były to tylko dane ze skanerów wielospektralnych. Warto zauważyć, że dane te dość istotnie różnią się między sobą, ale łącznie stanowią zestaw danych reprezentatywny dla współczesnych danych skaningu laserowego. W eksperymencie akcent położono na ocenę jakości wynikowej klasyfikacji.

Schemat klasyfikacji danych dla każdego z pól testowych był zbliżony i obejmował dobór elementów wektora cech, trenowanie klasyfikatora, oszacowanie istotności cech i ewentualna rezygnacja z niektórymi spośród nich.

W każdym z eksperymentalnych opracowań akcent położono na analizę wyników. W tym celu Autor posługiwał się macierzą niezgodności i parametrami z niej pochodnymi, w tym ogólną dokładnością klasyfikacji dla pola treningowego i pola testowego, współczynnikiem Kappa, oraz analizą przebiegu krzywej ROC. Wszystkie analizy są ilustrowane tabelami, wykresami i fragmentami opracowania wskazującymi wyniki klasyfikacji oraz punkty sklasyfikowane prawidłowo i błędnie.

Wszystkie eksperymenty dały zadawalające wyniki. Wykryte obiekty charakteryzują się ciągłością i spójnością. Ogólna dokładność klasyfikacji przekracza 80% dla pól testowych. Współczynnik Kappa przekracza 0.90 dla pól treningowych i 0.80 dla pól testowych, co należy uznać za dobry wynik. Wartość współczynnika Kappa powyżej 0.80 uznaje się za bardzo skuteczny klasyfikator. Przebieg krzywych ROC potwierdza te dobre wyniki.

W kontekście oceny metodologii zaproponowanej przez Autora i oceny wyników klasyfikacji, za szczególnie miarodajny można uznać test ISPRS. Wynika to z faktu, że test ten został udostępniony społeczności międzynarodowej a wyniki uzyskane przez różne ośrodki są poddawane niezależnej ocenie przez ISPRS i publikowane na oficjalnej stronie. Z tych danych wynika, że w teście wzięło udział 26 ośrodków stosujących różne metody klasyfikacji danych lotniczego skaningu laserowego. Porównanie wskazuje, że pod względem dokładności, wyniki uzyskane przez Autora rozprawy plasują się na czwartej pozycji, co należy uznać za bardzo dobry wynik.

Reasumując, należy podkreślić dobrze zaplanowany i wzorowo przeprowadzony eksperyment badawczy. Wyniki przeprowadzonego eksperymentu potwierdzają osiągnięcie głównego celu rozprawy. Autor opracował skuteczną metodę klasyfikacji danych skaningu laserowego bazującą na algorytmie Random Forests, możliwą do zastosowania do różnorodnych zbiorów danych.

##### 5. Ważniejsze osiągnięcia rozprawy.

Przeprowadzone badania oraz prace eksperymentalne potwierdziły potencjał i skuteczność metody Random Forests. W szczególności można tu wskazać:

- Rozprawa dowodzi dużej otwartości algorytmu Random Forests na włączanie do opracowania nowych parametrów opisujących zbiory danych laserowych np. pochodzących ze zdjęć lotniczych lub skanerów wielospektralnych, co bardzo zauważalnie podnosi dokładność klasyfikacji.
- Etap optymalizacji pokazał, że najbardziej istotnym parametrem w trenowaniu klasyfikatora są wagi poszczególnych klas. Autor wskazuje, że problem ten wymaga dalszych badań.
- W przypadku już sklasyfikowanych danych, jak ma to miejsce w danych ISOK pokrywających cały kraj, istnieje możliwość poprawy dokładności tej klasyfikacji i dodatkowego rozszerzenia listy identyfikowanych klas o klasę terenów utwardzonych i klasę samochodów.
- Metoda Random Forests zadawała się względnie niewielką próbką danych treningowych (próbki uczącej), co przekłada się korzystnie na czas trenowania klasyfikatora. Na tym tle metoda prezentuje się korzystniej niż metody oparte o sieci neuronowe CNN.
- Algorytm Random Forests jest bardzo skalowalny, co pozwala na wielowątkową realizację operacji oraz pracę w klastrach obliczeniowych. Ma to znaczenie przy klasyfikacji ogromnych zbiorów danych.

#### 6. Poziom edytorski.

Zauważalna jest dbałość Autora o staranną formę edytorską rozprawy. Do uwag edytorskich o niewielkim znaczeniu, można zaliczyć:

- występujące drobne potknięcia, tzw. literówki, strony: 2, 6, 9, 11, 15, 16, 21, 23, 25, 30, 36, 37, 38, 39, 57, 104, 110, 121, 126, 128, 139,
- brak znaków interpunkcyjnych, strony: 14, 15, 243, 28, 58,
- w pracy zastosowano ciągłą numerację rysunków, tabel i wzorów. Może to formalnie dopuszczalna forma, ale jednak znacznie praktyczniejsza jest numeracja dwuczłonowa, z pierwszym członem wskazującym na numer nadrzędnego rozdziału rozprawy.
- liczba zmiennych użytych do budowy pojedynczego drzewa: na str. 83 jest 6, a na str. 89 jest 5,
- str. 101: liczba danych uczących w klasie 0 (linie energetyczne) – w tekście jest 546, ale w tabeli 19 jest 246,
- str. 135: powołanie w tekście na rys. 93, powinno być 100.

W rozprawie występuje wiele mapek stanowiących ilustracje wyników uzyskanych przez Autora. Szczegółowszą analizę tych ilustracji utrudnia zbyt mała ich skala. Może stanowić to pewną trudność, szczególnie, że praca została udostępniona tylko w formie papierowej. Dodatkowo, niektóre z tych mapek mają lakoniczne komentarze w tekście, czasem zbyt lakoniczne. Interesujące byłyby komentarze, informujące co sam Autor widzi w tych ilustracjach, jak ocenia widoczne na nich wyniki. Dodatkowo, pomocne mogłyby być, obok samych mapek, powiększone ich fragmenty, szczególnie ilustrujące wskazane problemy.

## 6. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa wskazuje, że Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania zadań badawczych, doбором właściwych metod realizacji badań, analizy wyników i wnioskowania. Posiadał więc umiejętność samodzielnego prowadzenia eksperymentu naukowego i właściwej interpretacji jego wyników.

Wartym odnotowania jest fakt, że kilka lat pracy nad rozprawą pozwoliły Doktorantowi wypracować tzw. warsztat naukowy, co czyni Go wartościowym pracownikiem naukowym, gotowym do wsparcia zespołów zajmujących się również innymi problemami badawczymi.

Uzyskane wyniki potwierdzają udowodnienie tezy rozprawy. Osiągnięto postawione na wstępie cele. Na pokreślenie zasługuje aktualność podjętych badań i praktyczna przydatność ich wyników.

Recenzowana rozprawa doktorska spełnia zatem wymagania zawarte w ustawie z dnia 14 marca 2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz.U. z 2003 r. nr 65 poz. 595 ze zmianą w Dz.U. z 2005 r. nr 164 poz. 1365). Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Bogusława Kaczałka do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.

Jednocześnie stwierdzam, że studiowanie recenzowanej rozprawy skłania mnie do uznania jej za wyróżniającą się. W mojej opinii to co wyróżnia rozprawę to:

- dostrzeżenie potencjału w metodzie Random Forests i twórcze jej rozwinięcie,
- wzorowo zaplanowany i przeprowadzony eksperyment badawczy, z wiarygodną analizą uzyskanych wyników,
- duża wartość praktyczna wyników rozprawy.

Informuję zatem, że po pomyślnej publicznej prezentacji przez Autora głównych wyników rozprawy i pozytywnym przebieguu dyskusji zamierzam przedłożyć Radzie Wydziału stosowny wniosek o wyróżnienie rozprawy.

Warszawa, 2 kwiecień 2019 r.

