

Wpłynęło dnia16.12.2024

Zarejestrowano pod nr510-11-6/24

Podpis*Jm*



Delft Center for
Systems and Control



Marta Zagorowska
Delft Center for Systems and Control,
Department of Mechanical Engineering
Mekelweg 2, 2628 CD, Delft, Holandia

Sz. P.
Dr hab. inż. Ryszard Sroka, prof. AGH
Przewodniczący Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i
Technologie Kosmiczne,
Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Delft, 13 grudnia 2024

Recenzja rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Adriana Dudka zatytułowanej *Generatywne modele procesów Gaussowskich w analizie zjawisk funkcjonalnych i wykrywaniu usterek*

Recenzja została przygotowana na zlecenie prof. dr. hab. inż. Ryszarda Sroki, przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, pismo nr L. Dz. RD AEEiTK/510-11-4/24 z dnia 8 listopada 2024. Zlecenie dotyczy oceny spełniania przez rozprawę mgr. inż. Adriana Dudka kryteriów związanych z postępowaniem w sprawie nadania stopnia doktora w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, zgodnie z klasyfikacją określoną w Rozporządzeniu MNiSzW z dnia 11 października 2022r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz. U. 2022 poz. 2202).

Zakres i cel rozprawy

Tematyka recenzowanej rozprawy dotyczy zastosowania procesów Gaussowskich do modelowania i diagnostyki, ze szczególnym uwzględnieniem modeli generatywnych i ich złożoności obliczeniowej. Motywacją przeprowadzonych badań było zapotrzebowanie na metody diagnostyczne dla złożonych systemów, gdzie modele fizyczne nie są dostępne, lub dane potrzebne do tworzenia modeli uczenia maszynowego są niewystarczające.

Rozprawa zawiera dwie tezy, sformułowane w sposób następujący (tłumaczenie autora):

1. Procesy Gaussowskie mogą wypełnić lukę w analizie zjawisk funkcjonalnych i diagnostyce
2. Generatywne modele Procesów Gaussowskich mogą być użyteczne w diagnostyce

Udowodnienie tych tez opiera się na opracowaniu sześciu zagadnień z dziedziny modelowania i diagnostyki w systemach technicznych (tłumaczenie moje):

13.12.24

Jm

- A. Adoption of the GP in technical sciences (Wykorzystanie procesów Gaussowskich w naukach technicznych)
- B. Efficiency of GP generative model computing (Złożoność obliczeniowa Gaussowskich modeli generatywnych)
- C. Detecting transient anomalies in signals (Wykrywanie anomalii przejściowych w sygnałach)
- D. Challenges in induction motor diagnostics (Wyzwania w diagnostyce silników indukcyjnych)
- E. Li-Ion battery diagnostics (Diagnostyka baterii litowo-jonowych)
- F. Spatial modeling of air pollution (Modelowanie przestrzenne zanieczyszczenia powietrza)

Przedstawione opracowanie zagadnień A-C skupia się na aspektach teoretycznych procesów Gaussowskich (identyfikacja i przegląd metod stosowanych do tworzenia modeli (A), zaproponowanie metody opartej na wielomianach Czebyszewa i transformacie Fouriera do usprawnienia obliczeń (B), zaproponowanie metody opartej na połączeniu procesów Gaussowskich oraz *data depth* do wykrywania stanów przejściowych (C)). Zagadnienia D-F przedstawiają szereg zastosowań procesów Gaussowskich w systemach technicznych (zaproponowanie metody do diagnostyki silników indukcyjnych (D), zastosowanie procesów Gaussowskich do diagnostyki baterii litowo-jonowych, zastosowanie procesów Gaussowskich w połączeniu z fuzją danych z czujników do modelowania zanieczyszczenia powietrza). Połączenie aspektów teoretycznych z zastosowaniami opartymi na rzeczywistych danych jest wartościowe zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i praktycznego, potwierdzając tezę nt. użyteczności procesów Gaussowskich postawione w rozprawie.

Organizacja i redakcja rozprawy

Rozprawa jest napisana w języku angielskim i zawiera trzy rozdziały wprowadzające (ss. 1-41) oraz załącznik zawierający pełne teksty artykułów stanowiących podstawę rozprawy. Wybrane pozycje bibliograficzne znajdują się w końcowej części rozdziału trzeciego. Dodatkowo praca zawiera streszczenie w dwóch językach, spis skrótów oraz symboli matematycznych.

Rozdział pierwszy przedstawia motywacje do przeprowadzonych badań oraz stanowi wprowadzenie do tematyki procesów Gaussowskich. Struktura rozdziału jest prawidłowa, jednak sekcje 1.1 i 1.2 są bardzo uproszczone, jak zostanie szczegółowo omówione w sekcji „Uwagi krytyczne” recenzji. Rozdział jest zakończony sekcją 1.3, która wprowadza tezy pracy, listę publikacji, oraz skrótowy opis sześciu zagadnień wraz z wkładem autora.

Rozdział drugi przedstawia rozszerzony opis publikacji, które składają się na rozprawę. Struktura rozdziału jest poprawna i pozwala zapoznać się z głównymi elementami publikacji. Na uwagę zasługuje zastosowanie odpowiedniej struktury podrozdziałów, typu Wprowadzenie, Metody, Podsumowanie, która ułatwia zapoznanie się z najważniejszymi elementami. Szczegółowe komentarze dotyczące redakcji rozdziału znajdują się w sekcji „Uwagi krytyczne”.

Rozdział trzeci zawiera listę najważniejszych osiągnięć oraz bibliografię części wprowadzającej. Lista osiągnięć stanowi dobre podsumowanie rozprawy. Jednak w większości jest to powtórzenie informacji z rozdziału pierwszego (sekcja 1.3) oraz rozdziału drugiego (szczegółowy opis osiągnięć). Szczegółowe uwagi znajdują się w sekcji „Uwagi krytyczne”.

13. 12. 24


Załącznik A stanowi główna część rozprawy z sześcioma publikacjami. Wszystkie artykuły pochodzą z recenzowanych konferencji oraz czasopism. Wkład autora rozprawy został wskazany na co najmniej 50% we wszystkich publikacjach, a w czterech z nich na co najmniej 80%, tym samym potwierdzając, że badania zostały przeprowadzone przez autora rozprawy.


Uwagi pozytywne i ocena

Rozprawa skupia się na zastosowaniu procesów Gaussowskich w diagnostyce. Jedną z przeszkód, jakie pojawiają się przy zastosowaniu procesów Gaussowskich w praktyce przemysłowej jest ich złożoność obliczeniowa. Mocną stroną pracy jest skupienie na metodach i algorytmach pozwalających na zmniejszenie złożoności obliczeniowej przez zastosowanie kombinacji procesów Gaussowskich z klasycznymi metodami analizy sygnałów, takimi jak transformata Fouriera. Równocześnie autor wykazuje bardzo dobrą znajomość nowoczesnych metod, takich jak *Integrated Nested Laplace Approximation* oraz *Hamiltonian Monte Carlo*, oraz ich implementacji numerycznej.

Na pozytywną ocenę zasługuje również wykorzystanie przez autora rzeczywistych danych z silników indukcyjnych, laboratoryjnego układu zbiorników, oraz danych nt. zanieczyszczenia powietrza z Krakowa. Wykorzystanie danych potwierdza znajomość i zrozumienie wykorzystanych metod opartych na procesach Gaussowskich.

Uwagi krytyczne:

1. Wprowadzenie do rozprawy ma na celu przybliżenie procesów Gaussowskich i ich znaczenia w diagnostyce. Przedstawione stwierdzenia nie mają jednak odnośników do literatury, co utrudnia rozróżnienie między тезami autora, a stanem literatury. Wybrane przykłady:
 - a) s. 1 "However, over time, every machine experiences wear and tear or even failures, leading to production downtime and increased operational costs."
 - b) s. 1 "Traditional approaches, which primarily rely on statistical models and machine learning techniques based on historical data, are commonly used to predict system behavior."
 - c) s. 1 "In the diagnostics of technical systems, classical mathematical models such as linear regression or ARMA (AutoRegressive Moving Average) models are often used, assuming system stability under certain conditions"
 - d) s. 1 "The introduction of machine learning techniques, such as Random Forests or neural networks, has led to advancements in the analysis of large datasets and the identification of patterns. These algorithms handle nonlinearities and complex dependencies effectively, which are particularly valuable in the context of industrial systems"
 - e) s. 2 "Data scarcity refers to situations where there is an insufficient amount of data to properly train models, leading to unbalanced datasets. In many real-world applications, the available data may not evenly represent all possible states of a system, especially rare or abnormal conditions."
 - f) s. 5 "...set of well-understood functions commonly found in GP literature."
 - g) s. 10 "The most popular approach is the Maximum Likelihood Estimator (MLE). MLE comes in two variants: Type I and Type II. Type I optimizes the model parameters by maximizing the likelihood of the data, whereas Type II focuses on optimizing the model's hyperparameters by

13.12.24


maximizing the marginal likelihood of the data, which allows for a better fit of the model to the data.”

2. Podrozdział 1.2 wprowadza teoretyczny opis procesów Gaussowskich. Opisy pochodzą ze znanych w środowisku pozycji bibliograficznych, co potwierdza znajomość tematu przez autora. Autor nie wskazuje jednak, w jaki sposób wprowadzona teoria łączy się z tezami pracy. Przykładowo, nie zostało wyjaśnione, w jaki sposób brakujące dane wpływają na wyniki otrzymane przy pomocy procesów Gaussowskich oraz dlaczego pojawiają się problemy numeryczne (z uzasadnieniem w literaturze). Nie zostało również wyjaśnione, w jaki sposób procesy Gaussowskie umożliwiają interpretowalność wyników, zwłaszcza w porównaniu do innych przywołanych metod. Nie ma również informacji na temat generowania przez procesy Gaussowskie danych, które nie zostały wcześniej zaobserwowane.
3. Rozprawa dotyczy zastosowań procesów Gaussowskich w diagnostyce. We wprowadzeniu do pracy pojawia się szczegółowe wprowadzenie do procesów Gaussowskich, jednak brakuje wprowadzenia do diagnostyki oraz przeglądu metod innych niż oparte na procesach Gaussowskich. Takie wprowadzenie pozwoliłoby na lepsze zrozumienie użyteczności procesów Gaussowskich.
4. W podrozdziale 1.1 autor powołuje się na istniejący przegląd literatury autorstwa Gonzalez et al. (2019) jako potwierdzenie znaczenia procesów Gaussowskich. Brakuje nowszych pozycji literatury, np.
 - a) Marrel, A., & Iooss, B. (2024). Probabilistic surrogate modeling by Gaussian process: A review on recent insights in estimation and validation. *Reliability Engineering & System Safety*, 110094.
 - b) Pfingstl, S., & Zimmermann, M. (2022). On integrating prior knowledge into Gaussian processes for prognostic health monitoring. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 171, 108917.
 - c) Ochella, S., Shafiee, M., & Dinmohammadi, F. (2022). Artificial intelligence in prognostics and health management of engineering systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 108, 104552.

Dodatkowo korzystne byłoby umieszczenie informacji na temat użycia procesów Gaussowskich w zastosowaniach przedstawionych w pracy (silniki elektryczne, monitoring stanu powietrza).

5. Autor stosuje wymiennie „we” oraz „I” w opisach. Powinno to zostać ujednoczone, a ponadto rozprawa jest pracą indywidualną.
6. Na stronie 4 została wprowadzona definicja procesu Gaussowskiego, jednak bez podania źródła. Matematyczna forma tej definicji jest również niepełna. Przykładowo, z_n , które pojawia się w tekście, nie pojawia się w definicji. Dodatkowo, Z_t sugeruje, że dla różnych wartości t zbiór Z_t będzie się zmieniać – jednak prawa strona równości nie zawiera t , a wyłącznie t_n . Nie jest również jasne, w jaki sposób zdefiniowany jest skończony podzbiór Z_t , który pojawia się w definicji poniżej. Na tej samej stronie, poniżej definicji z książki Rasmussena pojawia się zastosowanie procesów Gaussowskich do modelowania nieznanymi funkcji f . Brakuje spójności między definicją procesu Gaussowskiego jako zbioru a zastosowaniem do funkcji f . W jaki sposób x łączy się z t , $f(x)$ z z_n ?

17.12.24


Dodatkowo, na stronie 3 X było oznaczone jako zmienna losowa, a na stronie 4 jako dziedziną, z której pochodzą x_i . Ujednolicenie notacji jest konieczne.


7. Nierówność (4) powinna mieć podane źródło oraz uzasadnienie, dlaczego jest trudna w weryfikacji. Dodatkowo, znaczenie własności funkcji kowariancji jest niejasne w kontekście reszty pracy – w jaki sposób funkcja kowariancji wpływa na wyniki diagnostyki?
8. Zależność (7) została wyprowadzona w książce Rasmussena przez stopniowe uogólnianie regresji liniowej (Zależność 2.14 w książce). Takie wyprowadzenie nie jest niezbędne w rozprawie, jednak funkcja f powinna być opisana bardziej szczegółowo. Taki opis pozwoliłby lepiej zrozumieć znaczenie danych w procesach Gaussowskich i potencjalne wyzwania związane z brakującymi danymi. Dodatkowo, (7) jest sposobem zapisu procesu Gaussowskiego, nie jest definicją.
9. Przegląd funkcji kowariancji powinien zostać rozszerzony o informacje, w jaki sposób te funkcje powinny być wybrane. Czy gładkość danych jest jedynym kryterium? Dodatkowo, przy opisie funkcji Bessela pojawia się zdanie „It is widely used in problems where the solution exhibits exponential decay or growth”, które powinno mieć odniesienie do literatury. Dodatkowo brakuje uzasadnienia, dlaczego tego typu zachowanie funkcji jest użyteczne w diagnostyce.
10. W podrozdziale 1.2.3 pojawiają się inne opisy procesów Gaussowskich. Nie jest jasne, czy te opisy są równoważne do pierwszej definicji wprowadzonej na s. 4, ani która definicja została przyjęta w rozprawie.
11. Podrozdział 1.2.4 najpierw wprowadza model hierarchiczny, który nie jest w założeniu ograniczony do procesów Gaussowskich. W jaki sposób zastosowanie tego modelu w połączeniu z procesami Gaussowskimi prowadzi do trudności numerycznych? Dodatkowo, podrozdział stosuje inną notację niż wcześniejsze definicje, zwłaszcza w kontekście danych (*features*). Notacja w całej pracy powinna zostać ujednoczona.
12. Na stronie 11 został wprowadzony algorytm pochodzący z książki Rasmussena (Algorytm 2.1). Nie jest to jednak algorytm do *maximum likelihood estimation*, jak sugerowałoby umieszczenie go w sekcji o tym tytule, a do *Gaussian process regression*. Brakuje informacji na temat użycia *maximum likelihood*, wspomnianego na początku sekcji.
13. W sekcji *Markov Chain Monte Carlo*, brakuje informacji, co jest wynikiem obliczeń. Sekcja ponownie używa innej notacji niż poprzednie, zwłaszcza *Hierarchical model*, co sprawia, że sprawia wrażenie odłączonej od reszty rozdziału. Nie jest również wyjaśnione, w jaki sposób MCMC, a HMC w szczególności, wpływa na problem obliczeniowy.
14. W sekcji *Sparse approximations* pojawia się informacja, że problem numeryczny związane z procesami Gaussowskimi są spowodowane koniecznością odwracania macierzy. Tutaj powinien pojawić się odnośnik do formuły, w której te macierze się pojawiają, razem z odnośnikiem do literatury. Ta sekcja wprowadza również pojęcia *latent variables* oraz *inducing variables*, które nie zostały wyjaśnione wcześniej przy wprowadzaniu procesów Gaussowskich. Sekcja wymaga również ujednoczenia notacji.
15. W podsekcji *Hilbert space approximation* również brakuje informacji, co jest wynikiem aproksymacji i w jaki sposób usprawnia to proces obliczeniowy. Szczegół techniczny – w drugiej linijce podsekcji pojawia się niepotrzebne “s based”.

13.12.24

16. Jeśli chodzi o podsekcje *Integrated Nested Laplace Approximation*, to podobnie jak wcześniej, należy ujednoczyć notacje. Przykładowo, czym różni się $\pi()$ od $p()$ używanego wcześniej? Dodatkowo, w jaki sposób INLA wpływa na interpretacyjność wyników? Dlaczego jest trudniej przeanalizować wyjścia modelu?
17. Sekcja 1.2.5 podsumowuje metody obliczeniowe do tworzenia modeli Gaussowskich, które były opisane w poprzednich podsekcjach. Brakuje jednak informacji, jakie konkretnie problemy pojawiają się w tych metodach oraz w jaki sposób zostały one rozwiązane w pracy w kontekście zastosowania w diagnostyce.
18. Sekcja 1.3 wprowadza dwie tezy pracy, które później są podzielone na 6 problemów. Teza pierwsza, *Gaussian Processes can fill a gap in functional phenomena analysis and diagnostics*, jest bardzo ogólna i nie precyzuje, jaka lukę i w jaki sposób procesy Gaussowskie mogą wypełnić. Opis tezy sugeruje, że chodzi o równoczesne oszacowanie niepewności oraz interpretowalność modelu. O ile oszacowanie niepewności zostało jasno wprowadzone w poprzedzających sekcjach, o tyle interpretowalność nie była do tej pory opisana. Jeśli chodzi o drugą tezę, *Generative Gaussian Processes models can be useful in the context of diagnostics with a lack of data*, to jest ona bardziej precyzyjna. Jednak zdolność procesów Gaussowskich do generowania nowych danych nie została wcześniej opisana.
19. Problem 1: *Adoption of the GP in technical sciences*. W pierwszym zdaniu tej podsekcji procesy Gaussowskie są nazwane *versatile tools in technical sciences*, co sugeruje, że problem został już rozwiązany i procesy Gaussowskie są wykorzystywane w naukach technicznych. Opis problem dalej precyzuje, że wykorzystanie procesów Gaussowskich jest ograniczone przez rozmiar danych i związane z tym problemy obliczeniowe. Doprecyzowanie problem pozwoliłoby lepiej zrozumieć wkład autora w jego rozwiązanie.
20. Problem 2 również dotyczy kwestii obliczeniowych, tym razem związanych z generatywnymi procesami Gaussowskimi. Nie jest jednak jasne, w jaki sposób procesy Gaussowskie mogą zostać użyte do generowania nowych danych i jakiego typu kwestii obliczeniowych należy się spodziewać.
21. Problem 5 wiąże się z modelowaniem *state of health* baterii. Jest to bardzo interesujący temat, o którym pojawiło się kilka artykułów, np.:
 - a) Xiong, X., Wang, Y., Li, K., & Chen, Z. (2023). State of health estimation for lithium-ion batteries using Gaussian process regression-based data reconstruction method during random charging process. *Journal of Energy Storage*, 72, 108390.
 - b) Pohlmann, S., Mashayekh, A., Stroebel, F., Karnehm, D., Kuder, M., Neve, A., & Weyh, T. (2024). State-of-Health prediction of lithium-ion batteries based on a low dimensional Gaussian Process Regression. *Journal of Energy Storage*, 88, 111649.

W związku z tym brakuje opisu literatury w tym zakresie, zarówno z perspektywy wykorzystania procesów Gaussowskich, jak i "traditional methods", wspomnianych w opisie wkładu autora.

22. W rozprawie pojawiają się zbyt nieformalne stwierdzenia. Przykładowo, Sekcja 1.2.3 rozpoczyna się zdaniem „It is worth noting that there are possibilities to define GP within a more mathematically rigorous context.”, które sugeruje, że definicje procesów Gaussowskich wprowadzone wcześniej w rozprawie nie są wystarczająco precyzyjne z matematycznego punktu

13.12.24


- widzenia. Dodatkowo, podsumowanie w sekcji 2.7 jest zbyt osobiste, np. "I encourage you". Sekcja 2.5 również zawiera sformułowanie typu "as the name suggests".
23. Numeracja formuł matematycznych jest niejednolita w pracy. Rozdział 2 rozpoczyna numerację formuł od (1), zachowując numerację wykresów zależną od rozdziału. Ponadto, zmienne użyte w (1) i (2) nie zostały wyjaśnione w pracy.
 24. Podrozdział 2.3 nie precyzuje, jakiego rodzaju *transient faults* zostały wprowadzone w pracy, co utrudnia ocenę trudności ich wykrycia. W tej podsekcji pojawia się również metoda LM-BFGS jako sposób znalezienia parametrów funkcji kowariancji – zakładam, że LM-BFGS został użyty do maksymalizacji funkcji *likelihood*?
 25. Podsekcja 2.5 przedstawia zastosowanie procesów Gaussowskich do modelowania baterii, porównując różne funkcje kowariancji. Nie zostało wyjaśnione, dlaczego te funkcje zostały wybrane i w jaki sposób odpowiadają one własnościom *state of health* baterii.
 26. Podsekcja 2.6 pokazuje zastosowanie procesów Gaussowskich do modelowania zanieczyszczenia powietrza z wykorzystaniem rzeczywistych danych. Brakuje jednak opisu zastosowanego *data fusion* i uzasadnienia, w jaki sposób procesy Gaussowskie umożliwiły *data fusion*.
 27. Rozdział 2 ma na celu przybliżenie szczegółów badań autora. Zastosowanie procesów Gaussowskich do analizy sygnałów z różnych dziedzin jest mocną stroną pracy. Jednak brakuje opisu, jakie dane zostały wykorzystane w analizie, zwłaszcza informacji, co stanowiło dane wejściowe, a co było przewidywane przez GP.
 28. Rozdział 3 podsumowuje osiągnięcia w rozprawie w kontekście systemów sterowania. Nigdzie w pracy nie pojawiło się wprowadzenie, czym są systemy sterowania i w jaki sposób systemy sterowania wpływają na zastosowanie procesów Gaussowskich.
 29. Lista najważniejszych osiągnięć jest użyteczna. Kilka komentarzy:
 - a) Czym są "various GP methods" w punkcie 2?
 - b) Czy ta rozprawa jest pierwszym miejscem, które wykorzystało procesy Gaussowskie do modelowania baterii?
 - c) Jeśli chodzi o implementację w punkcie 9, to do jakiego stopnia implementacja była autora, a do jakiego wykorzystany został Stan?
 - d) Jeśli chodzi o punkt 12, w jaki sposób (dlaczego) wprowadzenie modelu ze ścianami poprawiło jakość predykcji?
 30. Kwestie językowe:
 - we confirmed out -> we confirmed
 - highlated -> highlighted
 - figure 2.1 -> Figure 2.1
 - niosy -> noisy
 - scarification -> sacrificing
 - it's flexibility -> Its flexibility
 - szybką transformata -> szybka transformata (s. vii)
 - zachowaniu -> zachowanie (s. vii)
 - „Judging by Box and Jenkins (1970)...” -> „As indicated by Box and Jenkins (1970)...”

13.12.24

- Sposób cytowania powinien zostać ujednoczony i cytowania powinny stanowić integralną część zdania. Przykładowo, w rozprawie (s. 4) pojawia się zdanie "...in works like C. Rasmussen and Williams (2006)", które powinno brzmieć "...in works by Rasmussen and Williams (2006)".
- „...where the model base on Gaussian distribution” -> „...where the model is based on Gaussian distribution”
- “As I mentioned before”, “above mentioned” -> w takich miejscach powinny być odnośniki do formuł matematycznych, lub co najmniej do numeru sekcji, w której wspomniane opisy się pojawiły.
- „Due to after mentioned reasons” -> „Due to aforementioned reasons”, jednak bardziej precyzyjnie byłoby umieścić odnośnik do numeru podsekcji.
- ((16)) -> (16)
- „In the following sections, six key research problems are defined, which solutions are able to support the theses.” -> “In the following sections, six key research problems are defined, and their solutions are able to support the theses.”
- W równaniach różniczkowych (13) i (14) pojawia się operator d , który nie powinien być pisany kursywą. W rozprawie jest to istotne, ponieważ d zostało zdefiniowane jako odległość Euklidesowa wcześniej.

WNIOSKI KOŃCOWE

Mimo przedstawionych uwag krytycznych, uważam, że cel naukowy rozprawy został zrealizowany. Autor w poprawny sposób zidentyfikował problemy badawcze oraz przedstawił ich oryginalne rozwiązanie. Wykorzystanie rzeczywistych danych w badaniach potwierdza bardzo dobre przygotowanie autora i znajomość teorii. Liczba recenzowanych publikacji potwierdza umiejętności autora do prowadzenia pracy badawczej.

W rezultacie uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Adriana Dudka „Generatywne modele procesów Gaussowskich w analizie zjawisk funkcjonalnych i wykrywaniu usterek” spełnia wymagania dla rozpraw doktorskich w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, zgodnie z klasyfikacją określoną w Rozporządzeniu MNiSzW z dnia 11 października 2022r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz. U. 2022 poz. 2202). Wnoszę o przyjęcie rozprawy oraz dopuszczenie do publicznej obrony.

13.12.2024

[Signature]

Potwierdzam, że prace spełnia wymagania
 stawiane przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r.
 Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024,
 poz. 1571).

16.12.2024 M. *[Signature]*