

Dr hab. Karol Andrzejczak, prof. PP
Instytut Matematyki
Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki
Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań

Poznań, 16.02.2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pani mgr Beaty Magryty-Mut pt.:

**„Optymalizacja kosztów eksploatacji złożonych, wielostanowych,
starzejących się systemów technicznych”**

1. Podstawa opracowania recenzji

Postępowanie w sprawie nadania stopnia doktora Pani mgr Beaty Magryty-Mut zostało wszczęte przez Radę Naukową Instytutu Badań Systemowych PAN w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Podstawą formalną opracowania niniejszej recenzji jest uchwała nr BA3-0004-5/23 z dnia 8 grudnia 2023 r. Rady Naukowej IBS PAN, powołująca mnie na recenzenta, o czym zostałem poinformowany pismem z dnia 29 grudnia 2023 r. podpisanym przez Z-cę Dyrektora ds. Naukowych Pana dr hab. inż. Jana W. Owsńskiego.

Podstawą prawną wykonania recenzji są:

- Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. Nr 65 poz. 595 z późn. zm.),
- Ustawa z dnia 3 lipca 2018 r., Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668, z późn. zm.),
- Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzenia czynności w przewodach doktorskich oraz w postępowaniu o nadanie tytułu (Dz.U. Nr 2018 poz. 261).

2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. „*Optymalizacja kosztów eksploatacji złożonych, wielostanowych, starzejących się systemów technicznych*” przygotowana przez Panią mgr Beatę Magrytę-Mut zatrudnioną na Uniwersytecie Morskim w Gdyni. Rozprawa została napisana pod kierunkiem promotora dra hab. inż. Jacka Malinowskiego, profesora IBS PAN.

Rozprawa zawiera 96 stron formatu A4. Składa się z ośmiu rozdziałów obejmujących przedmowę i podsumowanie. Całość poprzedzona została stroną tytułową, stroną zawierającą podziękowanie oraz stroną ze spisem treści. Praca kończy się spisem literatury obejmującym 65 pozycji.

W rozdziale pierwszym zatytułowanym „Przedmowa” Autorka wprowadza Czytelnika w tematykę pracy. Został tu sformułowany cel pracy: **„modelowanie i optymalizacja kosztów eksploatacji złożonych, wielostanowych, starzejących się systemów technicznych z uwzględnieniem zmieniających się w czasie ich stanów eksploatacyjnych i stanów bezpieczeństwa oraz praktycznym wykorzystaniem wprowadzonych modeli do usprawnienia działania rzeczywistych systemów transportu portowego i morskiego”**. W tej części Doktorantka scharakteryzowała koncepcję rozprawy ze zwróceniem uwagi na zagadnienie optymalizacji kosztów eksploatacji systemu oraz jego bezpieczeństwo. Ponadto przedstawiła stan zagadnienia ze wskazaniem polskich i zagranicznych publikacji dotyczących poruszanego zagadnienia, w szczególności modelowania kosztów eksploatacji złożonych wielostanowych, starzejących się systemów technicznych.

W rozdziale 2 zatytułowanym „Koszt eksploatacji generycznego systemu” przedstawione zostały podstawy teoretyczne procesów semimarkowskich jako modeli procesu eksploatacji systemu. Autorka skorzystała przy tym m.in. z prac profesorów Franciszka Grabskiego i Krzysztofa Kołowrockiego. Wprowadzony tu zostały podstawowe elementy do opisu procesów stochastycznych, takie jak: skończony zbiór stanów, warunkowe czasy przebywania w poszczególnych stanach, macierz prawdopodobieństw przejść między stanami, macierz warunkowych dystrybuant oraz warunkowych gęstości. Pominięte zostały metody estymacji rozkładów warunkowych oraz sposób pozyskiwania danych eksploatacyjnych. W mojej ocenie zagadnienia są kluczowe, aby można było praktycznie zastosować przedstawione modele optymalizacji, tym bardziej że Doktorantka sama w rozprawie stwierdziła, cytując: *„Zaproponowane w niniejszej rozprawie procedury optymalizacyjne mogą być zastosowane do minimalizacji kosztów eksploatacji złożonych systemów technicznych i infrastruktury krytycznych, oraz do zwiększenia ich bezpieczeństwa i odporności na proces eksploatacji, co w konsekwencji dodatnio wpłynie na efektywność działania tych systemów.”* Warto również zwrócić uwagę na użycie w nazwach rozdziałów określenia „system generyczny” bez jego zdefiniowania.

Rozdział 3 zatytułowany *„Koszt eksploatacji portowej bazy paliw oraz systemu technicznego promu morskiego”* poświęcony jest części praktycznej. Doktorantka przedstawiła w nim analizę kosztów przykładowych rzeczywistych złożonych systemów technicznych, tj. infrastruktury krytycznej portowej bazy paliw oraz systemu technicznego promu morskiego.

Rozdział 4 pt. *„Optymalizacja kosztu eksploatacji generycznego systemu”* dotyczy optymalizacji kosztu eksploatacji złożonego systemu technicznego. Rozdział ten jest kluczowym rozdziałem rozprawy. Doktorantka korzystając z modeli kosztów eksploatacji systemu, przedstawionych w rozdziale 2 do optymalizacji kosztu eksploatacji zaproponowała wykorzystanie programowania liniowego do minimalizacji średniego całkowitego kosztu:

- eksploatacji systemu w danym przedziale czasu,

- eksploatacji systemu, podczas przebywania w danym podzbiorze stanów bezpieczeństwa nie gorszych niż stan krytyczny.

W rozdziale 5 zatytułowanym „*Optymalizacja kosztu eksploatacji portowej bazy paliw oraz systemu technicznego promu morskiego*” Doktorantka zaproponowała procedury optymalizacji kosztu eksploatacji systemu i zastosowała je do znalezienia minimalnych wartości kosztów eksploatacji analizowanych w pracy przykładowych rzeczywistych systemów technicznych. Otrzymane minimalne koszty eksploatacji tych systemów porównała z ich wartościami przed optymalizacją.

W jednostronicowym rozdziale 6 pt.: „*Łączna optymalizacja kosztu eksploatacji i bezpieczeństwa generycznego systemu*” przedstawiona została łączna analiza kosztów eksploatacji systemu oraz optymalizacja jego bezpieczeństwa.

W rozdziale 7 pt. „*Łączna optymalizacja kosztu eksploatacji i bezpieczeństwa portowej bazy paliw oraz systemu technicznego promu morskiego*” zgodnie z tytułem tego rozdziału Autorka zastosowała procedury łącznej optymalizacji kosztu eksploatacji i bezpieczeństwa systemu do analizowanych w pracy systemów transportu portowego i morskiego.

Rozprawa doktorska kończy się podsumowaniem, które zawiera ocenę uzyskanych wyników oraz perspektywę dalszych badań w tematyce pracy. Praca nie zawiera streszczenia w języku angielskim.

Ze względów praktycznych najbardziej wartościowe są rozdziały 3 i 7, które odnoszą się do części formalnej. Praca została zredagowana poprawnie, z bardzo niewielką liczbą usterek edytorskich i językowych. Została napisana poprawnym językiem naukowym, który odpowiada tematyce i poruszonym zagadnieniom. Część graficzna pracy jest bardzo estetyczna i zasługuje na wyróżnienie. Wszystkie rysunki wykonane są z dużą starannością, w sposób czytelny i przejrzysty. Dyskusyjne pozostaje umieszczenie jednostronicowego rozdziału szóstego.

3. Ocena doboru tematu, sformułowanego celu i tez rozprawy doktorskiej

Tytuł rozprawy w ocenie recenzenta został dobrany adekwatnie. Po zapoznaniu się z całą pracą należy stwierdzić, że przedstawiane zagadnienia oscyływały wokół zapisu treści tematu pracy. Wszystkie narzędzia i metody badawcze oraz analityczne konsekwentnie pozwalały Autorce na osiągnięcie sformułowanego w przedmowie dość złożonego celu. Tematyka pracy badawczej jest aktualna w kontekście optymalizacji kosztów eksploatacji systemów technicznych. Zakres pracy domyślnie wynika ze sformułowanego celu.

Należy jednak zwrócić uwagę, że w rozprawie brakowało wyraźnie postawionego problemu naukowego lub tez badawczych, które pokazałyby nowość lub innowacyjność w porównaniu ze znanymi z literatury koncepcjami badawczymi systemów wielostanowych. Dokładne zapytanie podane zostanie w szczegółowych uwagach merytorycznych. Należy jednak podkreślić, że analizy zawarte

w pracy stanowią wartościowe źródło informacji zachęcające do podejmowania dalszych prac badawczych.

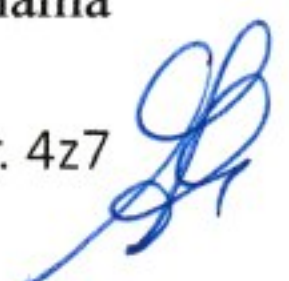
4. Ocena wkładu rozprawy doktorskiej do aktualnego stanu wiedzy w dziedzinie nauk technicznych i ocena dalszych badań

Zagadnienie modelowania i optymalizacji kosztów eksploatacji obiektów technicznych jest rozwijane od przeszło 50 lat. W tym czasie opublikowanych zostało mnóstwo artykułów poświęconych temu zagadnieniu. Podobnie teorie procesów stochastycznych oraz koncepcje różnych typów struktur złożonych systemów są rozwijane od przeszło 50 lat. Autorka z dobrym skutkiem podjęła próbę połączenia i zastosowania tych narzędzi badawczych do zamodelowania procesu eksploatacji systemu technicznego.

Należy zwrócić uwagę, że w punkcie 1.2. rozprawy podsumowując stan zagadnienia Autorka napisała, że podstawę rozważanego w pracy modelowania i optymalizacji kosztów eksploatacji i bezpieczeństwa systemu stanowią własne lub współautorskie publikacje. Na tle tych publikacji nie został wskazany oryginalny autorski wkład do aktualnego stanu wiedzy. Rozprawa w dużym stopniu stanowi zbiór opublikowanych już wyników, ze wskazaniem swoich lub współautorskich publikacji powstałych w zasadzie we współpracy z pracownikami Uniwersytetu Morskiego w Gdyni. Przykładowo definicja funkcji bezpieczeństwa systemu wielostanowego oraz rysunek 2.3 ze strony 12-tej są takie same jak w artykule Krzysztofa Kołowrockiego pt. „Safety analysis of complex multistate ageing system” oraz innych cytowanych artykułach. Stąd trudno jest Recenzentowi ocenić autorski wkład naukowy Doktorantki prezentowanych w rozprawie wyników.

Autorka zaproponowała dwa modele kosztu eksploatacji systemu. Mianowicie, model 1 – całkowitego kosztu eksploatacji systemu w danym przedziale czasu oraz model 2 – całkowitego kosztu eksploatacji systemu podczas przebywania w danym podzbiorze stanów bezpieczeństwa. W dalszej części rozprawy modele te zostały zastosowane do analizy kosztów eksploatacji infrastruktury krytycznej portowej bazy paliw oraz systemu technicznego promu morskiego.

W podsumowaniu Autorka stwierdziła, cytując: „Zaproponowane w niniejszej rozprawie procedury optymalizacyjne mogą być zastosowane do minimalizacji kosztów eksploatacji złożonych systemów technicznych i infrastruktury krytycznych, oraz do zwiększenia ich bezpieczeństwa i odporności na proces eksploatacji, co w konsekwencji dodatnio wpłynie na efektywność działania tych systemów.” Należy się zgodzić, że zagadnienie optymalizacji kosztów eksploatacji jest ważne dla operatorów zarządzających utrzymaniem i użytkowaniem złożonych systemów technicznych, niemniej zastosowanie zaproponowanych modeli i procedur wymaga zawsze formalnego sprawdzenia, czy rzeczywiste systemy spełniają przyjęte dość silne założenia modelowe. Ze swej strony zalecam odchodzenie od przyjętych w rozprawie silnych założeń, np. stochastycznej niezależności działania



elementów systemu oraz równoliczności stanów elementów i systemu, tj. koncepcji struktur niezawodnościowych pochodzących od Barłowa i Wu.

Co do dalszych kierunków badań Doktorantka dość ogólnikowo stwierdza, że:

- można rozważyć wpływ innych czynników niż proces eksploatacji systemu na jego bezpieczeństwo i koszt eksploatacji (np. wpływ czynników klimatyczno-pogodowych).
- można zastosować wielokryterialne modele optymalizacji i algorytmy ewolucyjne do łącznej optymalizacji bezpieczeństwa i kosztów eksploatacji złożonych systemów i infrastruktur krytycznych.

Uważam, że wskazane jest dokonanie przemyśleń Doktorantki nad poszerzeniem możliwości zastosowań obranego kierunku badań w dziedzinie nauk technicznych, w szczególności w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika. Tym bardziej, że ta dyscyplina przeżywa burzliwy rozwój, m.in. poprzez projektowanie systemów i urządzeń wyposażanych w układy sensoryczne monitorujące w czasie rzeczywistym ich stany eksploatacyjne i fizyko-chemiczne.

Ważne jest zagadnienie obsługiwanie i użytkowania nie tylko systemów nowych, ale również tych „starych” tj. takich, których stan fizyko-chemiczny osiągnął już pewien nieodwracalny poziom degradacji. Wyrażam nadzieję, że te aspekty będą zgłębiane w dalszych pracach badawczych.

5. Pytania i uwagi szczegółowe, które wymagają dyskusji

Niezależnie od sposobu odwoływania się do źródła należy pamiętać, aby wskazanie było ścisłe i jednoznaczne, a więc niepozostawiające wątpliwości co do tego, jaka treść (np. fragment tekstu, dane liczbowe, wykres, tabela, rycina, zdjęcie) została zapożyczona, od kogo, skąd i w jakiej postaci (czy w oryginalnej szacie znakowej, czy w zmienionej). Stąd mam pytania:

1. Czy definicja złożonych, wielostanowych, starzejących się systemów jest autorska, czy znana z literatury?

Dyskusja wyników wymaga starannego omówienia założeń, których przyjęcie warunkuje prawomocność uzyskanych wyników, a także sformułowania oceny arbitralności tych założeń oraz konsekwencji ich ewentualnego zmodyfikowania. Stąd kolejne pytania:

2. Pojęcia starzenia się i degradacji systemu są kluczowe w rozprawie. W pracy doktorskiej brakowało recenzentowi formalnych definicji tych pojęć. Proszę o ich zdefiniowanie.
3. Elementy macierzy (2.3), tj. dystrybuanty zmiennych losowych θ_{bl} oznaczających warunkowe czasy przebywania w stanie z_b przy warunku, że następne przejście nastąpi do stanu z_l dla $b, l = 1, 2, \dots, v$, $b \neq l$ zostały zdefiniowane wzorem $H_{bl}(t) = P(\theta_{bl} < t)$. Oznacza to, że warunkowe zmienne losowe θ_{bl} są niezależne od wieku systemu. Czy można więc mówić

- o degradacji lub starzeniu się systemu? Jaki jest związek tych dystrybuant z procesem eksploatacji $Z(t)$? Czy oznaczenie zmiennych w procesie i w dystrybuancie tym samym symbolem t nie prowadzi do kolizji oznaczeń?
4. Czy wzory (2.5)-(2.7) oraz dalsze można wyrazić w zapisie macierzowym?
 5. Pierwsze równanie układu równań (2.9), tj. $[\pi_b] = [\pi_b][p_{bl}]$ budzi moją wątpliwość. Proszę o jego objaśnienie.
 6. Po układzie równań (2.9) Doktorantka stwierdza, cytując: „...łączne czasy przebywania procesu eksploatacji w poszczególnych stanach przy wystarczająco długim czasie eksploatacji mają w przybliżeniu rozkład normalny o wartości oczekiwanej określonej przez [Grabski, 2002; Habibullah, et al., 2009; Kołowrocki, 2014; Kołowrocki, Soszyńska, 2010a; Mercier, 2008; Limnios, Oprisan, 2005]”. Czy nie wystarczyłoby tutaj powołać się na Centralne Twierdzenie Graniczne dla sumy zmiennych losowych, zaznaczając przy tym, jakie założenia powinny być spełnione? Problemem jest tu losowy podział przedziału θ na ν części, w szczególności podział na ν części o długościach równych wartościom oczekiwanym przebywania procesu w poszczególnych stanach. Brakuje graficznego zobrazowania trajektorii procesu zmiany stanów, które by przybliżyło omawiane zagadnienie. Czy wraz z przebiegiem trajektorii procesu wynika potrzeba lub konieczność podejmowania działań w czasie rzeczywistym przez eksploatatora systemu?
 7. Przyjęcie w modelu bezpieczeństwa założenia, cytując: „stany bezpieczeństwa systemu oraz elementów pogarszają się wraz z upływem czasu” oznacza, że eksploatator systemu zachowuje bierność w działaniu. Czy ze względów praktycznych, tj. wzmocnienia bezpieczeństwa użytkownika systemu nie należałoby od tego założenia odstąpić?
 8. Czy stany systemu i jego elementów są obserwowalne? Dlaczego stany bezpieczeństwa $s_i(t), s(t)$ nie zostały zdefiniowane jako procesy?
 9. W definicji funkcji $S(t, u)$ bezpieczeństwa systemu wielostanowego (Definicja 1, str. 12) zarówno dla chwili $t = 0$ jak i dla $t > 0$ użyty został czas teraźniejszy, że system znajduje się w określonych stanach. Uważam, że dla $t > 0$ powinien być użyty czas przyszły.
 10. Czy wszystkie 8 definicji podanych w punkcie 2.2.1 dotyczą nieodnawialnych systemów i ich elementów?
 11. Wprowadzona funkcja bezpieczeństwa kawałkami wykładnicza wymaga wykazania jej istnienia. Recenzent nie zna twierdzenia o istnieniu takiej możliwości.
 12. W rozdziale 3. dotyczącym egzemplifikacji modelu na podstawie danych dotyczących eksploatacji bazy paliw podane zostały oceny wprowadzonych w rozdziale 2 teoretycznych losowych charakterystyk. Dlaczego w sumie średnich czasów przebywania systemu bazy paliw w wyróżnionych siedmiu stanach brakuje 29 dni?

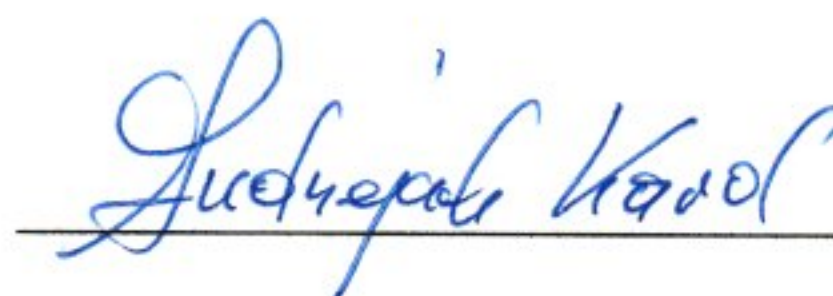
6. Podsumowanie oceny pracy

Przedstawioną do recenzji pracę, pomimo pewnych kwestii dyskusyjnych, oceniam wysoko. Dotyczy to zarówno jej strony naukowej jak i formalnej. Część uwag ma charakter dyskusyjny, wymaga krótkiego komentarza, pozostała część zawiera spostrzeżenia, które można wykorzystać w dalszej pracy badawczej. Wskazane w recenzji uwagi i niedociągnięcia, szczególnie te o charakterze teoretycznym, wpływają na moją ocenę rozprawy, lecz mimo to uważam, że Pani mgr Beata Magryta-Mut jest przygotowana do dalszej pracy naukowej.

7. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa Pani mgr Beaty Magryty-Mut pt. „*Optymalizacja kosztów eksploatacji złożonych, wielostanowych, starzejących się systemów technicznych*” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. poz. 1669) oraz na podstawie Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.).

Wobec powyższego **wnoszę o przyjęcie recenzowanej rozprawy naukowej jako podstawy do nadania Pani mgr Beacie Magryta-Mut stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne oraz o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony przed Komisją powołaną przez Radę Naukową Instytutu Badań Systemowych PAN.**



Dr hab. Karol Andrzejczak, prof. PP

