

Prof. dr hab. inż. Artur Babiarz
Politechnika Śląska
Katedra Automatyki i Robotyki
ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice

Gliwice, 20.08.2025 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mateusza Czyżniewskiego pt.

“Synthesis of state observers for non-linear uncertain systems in application to
biological/wastewater treatment plant”

Promotor rozprawy: Dr hab. inż. Robert Piotrowski, prof. PG

Promotor pomocniczy: Dr inż. Rafał Łangowski

Dyscyplina naukowa: automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne

Recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Gdańskiej prof. dr hab. inż. Piotra Jasińskiego z dnia 16 czerwca 2025 r.

1 Ocena formalna rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska posiada formę zbioru powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Jest to zbiór siedmiu opublikowanych artykułów dotyczących problemu syntezy obserwatorów stanu w zastosowaniu do biologicznej oczyszczalni ścieków. Do rozprawy doktorskiej został również dołączony jeden nieopublikowany artykuł będący w recenzji. Wspomniany nieopublikowany artykuł nie będzie uwzględniony w recenzji, ponieważ zgodnie z art. 187 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, rozprawę doktorską może stanowić zbiór tylko opublikowanych artykułów.

Rozprawa doktorska zawiera łącznie 307 stron z uwzględnieniem oświadczeń współautorów oraz dołączonych artykułów. Rozprawa została napisana w języku angielskim i została podzielona na cztery rozdziały stanowiące obszerny opis prowadzonych badań przez Doktoranta. Dołączone artykuły stanowią osobną część rozprawy doktorskiej.

Rozdział pierwszy zawiera krótkie wprowadzenie do tematyki rozprawy doktorskiej, uzasadnienie prowadzonych przez Doktoranta badań oraz krótki opis poszczególnych rozdziałów. W podrozdziale 1.4 Doktorant zamieścił główną hipotezę rozprawy:

For uncertain dynamic biochemical systems, such as a biological wastewater treatment plant, it is possible to synthesise a stable and robust state observer allowing the reconstruction of their unmeasured process variables.

W tym podrozdziale autor wskazuje jeszcze cztery cele prowadzonych badań, które zostały opisane w rozprawie doktorskiej:

1. *Study of the possibility of using robust non-linear state observers in wastewater treatment plant.*
2. *Analysis of the cognitive models in the face of the potential modification insisted on by observer synthesis purposes.*
3. *Comprehensive analysis of the observability, detectability, and cooperativity of newly devised utility models.*
4. *Synthesis of the state observers and their implementation into a computational environment.*

Rozdział drugi został poświęcony przeglądowi literatury dotyczącej biologicznych oczyszczalni ścieków. W rozdziale tym autor rozprawy przedstawia aspekty modelowania matematycznego oraz konkretne modele opisujące dynamikę biologicznych oczyszczalni ścieków.

W rozdziale trzecim Doktorant opisał metodologię przeprowadzonych badań. Zawiera on opis problemu obserwowalności, stabilności oraz uproszczenia modelu dynamiki biologicznych oczyszczalni ścieków.

Rozdział czwarty został poświęcony opisowi oryginalnego wkładu Doktoranta w treść artykułów stanowiących podstawę przedłożonej rozprawy doktorskiej. W rozdziale tym autor dokładnie przedstawił i połączył dane cele badawcze z konkretnymi pracami wchodzącymi w skład dołączonego cyklu artykułów.

Podsumowanie dotyczące przeprowadzonych badań oraz możliwości ich rozszerzenia Doktorant zawarł w rozdziale piątym.

Oceniając rozprawę doktorską pod względem edytorskim uwzględniono tylko pierwsze 97 stron, które przedstawiają opis problemu badawczego oraz zawartość cyklu publikacji stanowiącego rozprawę doktorską. Ta część rozprawy zawiera wiele wzorów matematycznych oraz założeń, które służą do dokładnego przedstawienia postawionego problemu oraz wyjaśnieniu pojęć niezbędnych do zrozumienia celu rozprawy. Autor skrupulatnie opisał zastosowane metody oraz własności dynamiczne biologicznej oczyszczalni ścieków, które zostały wykorzystane do rozwiązania postawionych celów badawczych. W tekście pojawia się kilka literówek, ale ogólnie trudno doszukać się większych uchybień edytorskich.

Generalnie, rozprawa doktorska jest napisana poprawnie. Pojawiają się odnośniki do rysunków lub wzorów co ma istotny wpływ na przejrzystość tekstu rozprawy doktorskiej. Spis literatury jest poprawny i zawiera bardzo aktualną literaturę. Podział rozprawy na rozdziały nie budzi żadnych wątpliwości.

2 Ocena merytoryczna rozprawy

Głównym celem Doktoranta jest przedstawienie różnych obserwatorów stanu z zastosowaniem do biologicznych oczyszczalni ścieków. Problem konstrukcji obserwatorów wynika głównie z faktu, że nie wszystkie parametry opisujące taki układ dynamiczny są mierzalne. Autor rozprawy skupił się na reaktorze zbiornikowym z ciągłym mieszaniem, który jest zamodelowany w postaci ciągłych równań stanu. Model reaktora zbiornikowego z ciągłym mieszaniem został zaczerpnięty z literatury.

Ogólnie rzecz ujmując, Doktorant wykorzystał następujący schemat postępowania: dla znanego modelu dynamiki został wyprowadzony model błędu oszacowania, a następnie sformułowano warunki stabilności błędu oszacowania. Takie podejście umożliwia rekonstrukcję wektora stanu z wykorzystaniem odpowiedniej konstrukcji obserwatora stanu. W artykułach, które stanowią zbiór opublikowanych prac, Doktorant każdorazowo modyfikował model dynamiki reaktora zbiornikowego, co pociągało za sobą konieczność wyprowadzenia równań opisujących dynamikę błędu oszacowania oraz formułowanie warunków jego stabilności. W większości przypadków autor wykorzystywał metody Lapunowa badania stabilności układów dynamicznych.

W pracach znajdują się niezbędne założenia, twierdzenia oraz dowody, które są niezbędne do poprawnego konstruowania obserwatorów wektora stanu. Wszystkie obliczenia oraz eksperymenty symulacyjne zostały wykonane w środowisku Matlab/Simulink. Należy też zwrócić uwagę na bardzo wysoką staranność i dbałość o szczegóły Doktoranta w opisie otrzymanych wyników, ich interpretację i dyskusję. Jednak należy zaznaczyć, że Doktorant do konstrukcji własnych obserwatorów stanu i rozwiązania postawionego problemu badawczego wykorzystał znane z literatury modele matematyczne opisujące dynamikę reaktorów zbiornikowych.

Podsumowując ocenę merytoryczną stwierdzam, że przedstawione w cyklu opublikowanych prac wyniki wskazują na szeroką wiedzę Doktoranta w zakresie projektowania obserwatorów nieliniowych obiektów dynamicznych, a w szczególności biologicznych oczyszczalni ścieków. Doktorant jednoznacznie wykazał realizację postawionych celów badawczych i udowodnił postawioną hipotezę.

3 Ocena dorobku publikacyjnego Doktoranta

W bazie Web of Science (WoS) indeksowanych jest 10 prac Doktoranta (dostęp 20.08.2025). Według bazy WoS indeks Hirscha wynosi **3**, a liczba cytowań **39** (bez auto cytowań **26**).

W bazie Scopus indeksowanych jest 10 prac. Indeks Hirscha wynosi **3** przy całkowitej liczbie cytowań równej **54**, a przy pominięciu auto-cytowań indeks Hirscha jest również równy **3**, a liczba cytowań wynosi **30**. Świadczy to o rozpoznawalności Doktoranta oraz o znaczeniu publikacji na arenie międzynarodowej.

4 Uwagi dyskusyjne

Zebrane w tym punkcie uwagi nie mają wpływu na końcową ocenę rozprawy doktorskiej. Poniżej zostały zawarte główne uwagi i komentarze:

- Autor rozprawy doktorskiej deklaruje, że wszystkie eksperymenty symulacyjne zostały przeprowadzone w środowisku Matlab/Simulink. Natomiast w samej rozprawie, jak i artykułach stanowiących cykl prac nie pojawia się żaden schemat blokowy zamodelowanego układu dynamicznego, ani fragment kodu skryptu, który realizuje obliczenia.
- We wszystkich artykułach trudno doszukać się porównania zaproponowanych obserwatorów z istniejącymi rozwiązaniami. Są to głównie teoretyczne badania i trudno ocenić ich efektywność w rzeczywistym układzie.
- Autor bazuje głównie na modelu dynamiki reaktora chemicznego opisanego w pracy *D. Dochain, P.A. Vanrolleghem, Dynamical Modelling and Estimation in Wastewater Treatment Processes, IWA Publishing, London, UK, 2001*. Czy w literaturze nie ma innych modeli, które pozwalają dokładnie modelować dynamikę biologicznych oczyszczalni ścieków?
- W rozprawie rozpatruje się ciągły model dynamiki, ale w artykułach można znaleźć informację o wykorzystywaniu metody Rungego-Kutty w celach obliczeniowych, która jest typowym algorytmem dyskretnym. Jak wyglądają dyskretne modele opisujące dynamikę biologicznych oczyszczalni ścieków?
- Jakie były lub są przesłanki do stosowania tylko wyżej wymienionego modelu dynamiki? Z opisu procesu oczyszczania można wywnioskować, że zastosowanie do opisu dynamiki np. modeli dodatnich będzie prawidłowe,
- Jak przedstawione metody i wyniki wypadają w zestawieniu z metodami opartymi na głębokim uczeniu, które również są stosowane w badaniach biologicznych oczyszczalni ścieków.

Ponadto, w mojej opinii, w rozprawie brak dokładnego odniesienia do modeli dynamicznych występujących w artykułach. Doktorant stosuje bardzo ogólne oznaczenia i symbole, które nie nawiązują do modeli dynamicznych wykorzystywanych w artykułach. W mojej opinii, rozbieżności w oznaczeniach i brak dokładnego opisu modyfikacji modeli dynamicznych występujących w cyklu publikacji powodują trudność w wychwyceniu znaczenia naukowego zaproponowanych metod.

5 Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę poprzednie punkty recenzji, moja ocena rozprawy doktorskiej jest następująca:

- Praca zawiera oryginalne wyniki oraz przedstawia rozwiązanie wszystkich postawionych celów i problemów badawczych oraz potwierdza hipotezę rozprawy doktorskiej.
- Doktorant posiada ogólną wiedzę teoretyczną z zakresu modelowania, syntezy i analizy nieliniowych układów dynamicznych opisujących biologiczne oczyszczalnie ścieków, która wpisuje się w dyscyplinę automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.
- Doktorant zdobył i posiada umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy badawczej.

Uwzględniając powyższą ocenę, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Mateusza Czyżniewskiego spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023, poz. 742) i wnoszę o jej przyjęcie oraz dopuszczenie do publicznej obrony.

Artur Babikun