



RPW/32440/2025 P
Data: 2025-08-08

Łódź, 1 sierpnia 2025 r.

Prof. Andrzej Bartoszewicz

Instytut Automatyki Politechniki Łódzkiej

Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki

ul. Stefanowskiego 18

90-537 Łódź

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pana

magistra inżyniera Mateusza Czyżniewskiego

pod tytułem „Synthesis of state observers for non-linear uncertain systems in application to
biological wastewater treatment plant”

“Synteza obserwatorów stanu dla niepewnych nieliniowych systemów w zastosowaniu do
biologicznej oczyszczalni ścieków”

promotor rozprawy: dr hab. inż. Robert Piotrowski, prof. uczelni

promotor pomocniczy rozprawy: dr inż. Rafał Łangowski

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Gdańskiej, Pana Prof. dr hab. inż. Piotra Jasińskiego, z dnia 12 czerwca 2025 roku.

1. Tematyka i założenia rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi spójny tematycznie cykl publikacji dotyczących projektowania obserwatorów stanu dla nieliniowych procesów dynamicznych w zastosowaniu do przemian biologicznych zachodzących w oczyszczalniach ścieków. Serię publikacji uzupełniono rozbudowanym opisem, pozwalającym na właściwe umiejscowienie podjętej problematyki w literaturze, identyfikację postawionej hipotezy i celów badawczych opracowanych w kolejnych pracach oraz zapewniającym spójną podstawę matematyczną dla dalszych rozważań.

W pracy postawiono hipotezę, że dla nieliniowych procesów dynamicznych obarczonych niepewnościami modelu, takich jak procesy zachodzące w biologicznych oczyszczalniach ścieków, możliwe jest zaprojektowanie stabilnego i odpornego

obserwatora niemierzonych zmiennych stanu. Dowodu tej hipotezy dokonano poprzez realizację następujących czterech celów badawczych:

- Analiza możliwości zastosowania nieliniowych obserwatorów stanu w biologicznych oczyszczalniach ścieków.
- Analiza modeli poznawczych zachodzących tam procesów dynamicznych w kontekście możliwości uproszczenia modelu na potrzeby syntezy obserwatora stanu.
- Analiza obserwowalności i wykrywalności stanów w powstałych modelach użytkowych omawianego procesu.
- Projekt obserwatorów stanu dla procesu biologicznego oczyszczania ścieków i jego implementacja w środowisku symulacyjnym.

W dysertacji zawarto obszerną analizę modelu poznawczego procesu biologicznego oczyszczania ścieków opartego na osadzie czynnym. Proces ten opisany jest modelem nieliniowym o aż trzynastu zmiennych stanu i jeszcze większej liczbie parametrów, wynikających z procesów nityfikacji, denityfikacji oraz oksydacji substratu. W celu syntezy obserwatora stanu dokonano zatem uproszczenia modelu, wprowadzając jednocześnie obciążoną niepewnościami strukturalnymi i parametrycznymi funkcję kinetyki reakcji, związaną z tempem przyrostu biomasy. Następnie model użytkowy poddano głębokiej analizie obserwowalności i wykrywalności stanów. Dzięki temu określono dla jakich sygnałów mierzonych na wyjściu możliwa jest rekonstrukcja przebiegu pozostałych, niemierzonych zmiennych procesowych i estymacja funkcji kinetyki reakcji. Na bazie otrzymanych wyników dokonano syntezy kilku hierarchicznych struktur obserwatorów stanu. Jako pierwszy w hierarchii wykorzystano obserwator asymptotyczny lub obserwator interwałowy, które dzięki transformacji zmiennych pozwalają wyeliminować nieznaną funkcję tempa przyrostu biomasy, a co za tym idzie mogą skutecznie rekonstruować przebieg niemierzonych wartości, takich jak stężenia biomasy, substratu i rozpuszczonego tlenu. Jako drugi w hierarchicznej strukturze zastosowano obserwator ślizgowy drugiego rzędu (tzw. *super-twisting sliding mode observer*), którego celem jest śledzenie przebiegu prędkości przyrostu biomasy. Dla zaprojektowanych struktur obserwatorów dokonano obszernej analizy stabilności, a ich pracę zweryfikowano symulacyjnie.

2. Struktura rozprawy

Dysertacja składa się z cyklu ośmiu publikacji, siedmiu już opublikowanych i ósmej pozycji na etapie recenzji. Prace dotyczą syntezy modelu, analizy obserwowalności i projektowania obserwatorów stanu dla nieliniowych procesów dynamicznych zachodzących w biologicznych oczyszczalniach ścieków.

Pierwszy z zawartych artykułów „*A robust sliding mode observer for non-linear uncertain bio-chemical systems*” stanowi niejako wstęp do dalszych prac. Zawiera on projekt ślizgowego obserwatora stanu pierwszego rzędu, którego zadaniem jest rekonstrukcja dwuelementowego wektora stanu. Praca zawiera zarówno elementy modelowania procesu, gdzie uwzględniono zarówno prędkość przyrostu jak i zjawisko śmiertelności biomasy, a cały obiekt zamodelowano jako reaktor zbiornikowy z

mieszaniem ciągłym. Dokonano analizy obserwowalności wykorzystując elementy geometrii różniczkowej oraz przeprowadzono dowód stabilności obserwatora oparty na drugiej zasadzie Lyapunowa.

Kolejne prace w cyklu („*An observability and detectability analysis for nonlinear uncertain CSTR model of biochemical processes*”, „*An analysis of observability and detectability for different sets of measured outputs—CSTR case study*”, „*Analysis of observability and detectability for CSTR model of biochemical processes under uncertain system dynamics and various sets of measured outputs*”) skupiają się na ścisłej analizie obserwowalności stanu w procesie biologicznego oczyszczania ścieków modelowanego jako reaktor zbiornikowy z mieszaniem ciągłym oraz, w części prac, z osadnikiem. W pracach przeanalizowano możliwość rekonstrukcji zmiennych procesowych takich jak łączne stężenia biomasy, substratu, rozpuszczonego tlenu czy recyrkulowanej biomasy w zależności od tego, które z nich są mierzone na wyjściu obiektu. Ponadto analizę przeprowadzono zarówno w obecności niepewności w funkcji kinetyki, jak i dla ich braku. W analizie posłużono się zaawansowanymi matematycznie metodami opartymi na teorii nierozróżnialnych trajektorii.

Taka baza matematyczna pozwoliła Autorowi na przejście do syntezy właściwych obserwatorów. W następnej pracy, zatytułowanej „*Respiration rate estimation using nonlinear observers in application to wastewater treatment plant*” dokonano syntezy i porównania obserwatora nieliniowego, wzorowanego na obserwatorze Luenbergera, oraz obserwatora ślizgowego drugiego rzędu, tzw. super-twisting sliding mode observer, zastosowanych do śledzenia przebiegu respiracji biomasy na podstawie pomiaru stężenia rozpuszczonego tlenu. Dokonano analizy obserwowalności w obecności niepewności modelu i dowiedziono stabilności zaprojektowanych obserwatorów drugą metodą Lyapunowa. Natomiast kolejne trzy prace („*A hierarchical observer for a non-linear uncertain CSTR model of biochemical processes*”, „*Robust asymptotic super twisting sliding mode observer for non-linear uncertain biochemical systems*”, „*Robust interval super twisting sliding mode observer for non-linear uncertain CSTR model of biochemical processes*”) zawierają projekt hierarchicznego połączenia obserwatorów. Zastosowano w nich połączenie obserwatora asymptotycznego lub interwałowego, służącego do rekonstrukcji zmiennych stanu, z obserwatorem ślizgowym drugiego rzędu estymującym przebieg funkcji przyrostu biomasy. Każdorazowo przyjęto inne założenia, takie jak np. obecność niepewności pomiaru i wykazano stabilność otrzymanych struktur.

Cykl publikacji dopełnia obszerny opis stanowiący niejako przewodnik po dokonaniach Autora. Składa się on z pięciu rozdziałów. Pierwszy zawiera wprowadzenie do tematyki rozprawy, przedstawia główną hipotezę i cele badawcze pracy. W drugim rozdziale Autor dokonuje obszernego, obejmującego ponad 200 pozycji, przeglądu literatury tematu, co pozwala umiejscowić tematykę podjętą w rozprawie na tle współczesnych osiągnięć w dziedzinie teorii sterowania. Autor analizuje funkcjonujące w literaturze modele poznawcze i użytkowe analizowanych procesów biologicznych oraz przedstawia dotychczasowe osiągnięcia w zakresie

syntezy obserwatorów stanu. Analizowane źródła są aktualne i właściwie dobrane. Trzeci rozdział przedstawia podstawy matematyczne dla analizy obserwowalności i wykrywalności stanów obiektu oraz analizy stabilności otrzymywanych estymat. Autor odwołuje się tu do teorii nierozróżnialnych trajektorii, geometrii różniczkowej, drugiej metody Lyapunowa oraz zasady jednostajnej ograniczoności funkcji. Wreszcie, rozdział czwarty przedstawia sposób realizacji kolejnych celów badawczych w poszczególnych publikacjach i jasno wykazuje nowe osiągnięcia Autora. Ostatni rozdział podsumowuje pracę i wskazuje potencjalne kierunki rozwoju badań.

Reasumując, praca ma właściwy układ i jest poprawna pod względem formalnym. Zagadnienia opisane w kolejnych publikacjach są logicznie ułożone i stanowią spójną całość. Autor wykazał się w nich znajomością zagadnień teoretycznych w zakresie teorii sterowania, wybranych metod analitycznych oraz zagadnień dotyczących symulacji numerycznych, a także ogólnymi zdolnościami prowadzenia prac naukowych.

3. Merytoryczna ocena rozprawy i oryginalne osiągnięcia Autora

Cele badawcze postawione w rozprawie odnoszą się do istotnych problemów naukowych związanych z rekonstrukcją niemierzonych zmiennych stanu oraz nieznanymi parametrami procesu dynamicznego. Problematyka identyfikacji parametrów i monitorowania zmiennych procesowych jest równie ważna, a być może nawet ważniejsza od zastosowanej strategii sterowania. To właśnie od dokładności pomiaru, czy estymacji zmiennych i parametrów modelu zależy skuteczność wdrożonej metody regulacji. Niejednokrotnie pomiar wszystkich wymaganych zmiennych procesowych nie jest fizycznie możliwy, jest obciążony dużymi niepewnościami lub wiąże się z wysokimi kosztami realizacji. Dlatego uważam temat podjętej rozprawy za aktualny i dobrze wpisujący się w zakres dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Główną tematyką rozprawy jest analiza obserwowalności stanów w procesach dynamicznych zachodzących w biologicznych oczyszczalniach ścieków i synteza wybranych struktur obserwatorów. Osiągnięcia Autora można podzielić na cztery kategorie, odpowiadające określonym celom badawczym:

- **Analiza literatury pod kątem możliwości zastosowania nieliniowych odpornych obserwatorów stanu w procesach biologicznego oczyszczania ścieków**

Autor dokonał obszernego przeglądu funkcjonujących w literaturze modeli poznawczych procesu. Na tej podstawie zidentyfikował następujące problemy, uniemożliwiające śledzenie wszystkich zmiennych procesowych.

1. W obiektach rzeczywistych nie dokonuje się oddzielnych pomiarów dla poszczególnych zmiennych takich jak łączne stężenie substratów czy łączne stężenie biomasy lub recyrkulowanej biomasy. Zazwyczaj wartości te mierzone są łącznie, co powoduje konieczność ich matematycznego odtworzenia.
2. Stosowanie pomiarów respiracji biomasy czy stężenia tlenu jest niejednokrotnie kosztowne i obciążone dużą niepewnością.
3. Funkcje kinetyki procesu opisujące prędkość przyrostu biomasy są obciążone dużą niepewnością, zarówno ich struktura jak i parametry, a mają one kluczowe

znaczenie dla przebiegu procesu. Dlatego konieczna jest ich estymacja na podstawie modeli matematycznych wykorzystujących najczęściej funkcje Monoda lub Haldane'a.

Przedstawione obserwacje uzasadniają podjęcie tematu rozprawy zarówno pod kątem teoretycznym, jak i utylitarnym.

- **Synteza modelu użytkowego procesu biologicznego oczyszczania ścieków**

Autor dokonał dokładnej analizy modeli poznawczych procesu opartych na osadzie czynnym. Na tej podstawie autor zidentyfikował trudności w syntezie obserwatorów, wynikające z wysokiego stopnia skomplikowania modelu. Zatem Autor dokonał syntezy i adaptacji modeli użytkowych, których struktura odpowiada wymaganiom poszczególnych obserwatorów stanu. W tym zakresie warto zwrócić uwagę na wprowadzenie obciążonej niepewnościami kinetyki procesu, opisującej tempo przyrostu biomasy, jako nieznanego wejścia. Ponadto, dzięki zastosowaniu transformacji stanu, funkcja ta została wyeliminowana z modelu, co pozwala na rekonstrukcję stanu obiektu. Ponadto, w kolejnych publikacjach Autor modyfikował model dodając parametry związane ze zjawiskiem śmiertelności biomasy, rozważając model uproszczony z osadnikiem lub bez, wprowadzając różne modele funkcji przejścia tlenu ze stanu gazowego do ciekłego, dodając niepewności pomiaru, czy uwzględniając dynamikę urządzeń pomiarowych.

- **Analiza obserwowalności modelu**

Autor posłużył się modelem procesu w postaci reaktora zbiornikowego z mieszaniem ciągłym. Zmienne stanu takiego modelu stanowią łączne stężenia biomasy, substratu, rozpuszczonego tlenu oraz recyrkulowanego osadu. Jednak w praktyce wszystkie z tych wartości nie są mierzone. Stąd konieczność analizy zależności pomiędzy mierzonym wyjściem obiektu, a obserwowalnością poszczególnych stanów. Autor dokonał takiej analizy zarówno w obecności niepewności w funkcji kinetycznej, jak i jej braku. W efekcie dysertacja przedstawia zbiór przypadków, pokazujący związek pomiędzy mierzonymi wyjściami, a możliwością rekonstrukcji pozostałych zmiennych procesowych oraz estymacji przebiegu funkcji kinetyki procesu, traktowanej jako nieznaną sygnal wejściowy. Oceny obserwowalności i wykrywalności stanów dokonano w oparciu o zaawansowane metody matematyczne, wykorzystujące zarówno geometrię różniczkową, teorię nierozróżnialnych trajektorii, drugą zasadę Lyapunowa oraz zasadę jednostajnej ograniczoności funkcji.

- **Synteza nowych struktur obserwatorów stanu**

Pomimo, że Autor wykorzystywał znane wcześniej modele obserwatorów stanu, takie jak obserwator asymptotyczny, czy obserwator ślizgowy pierwszego i drugiego rzędu, wykazał się on nowatorskością w zastosowaniu ich w kontekście modelowanego procesu przemian biologicznych oraz zaproponował ich nowe hierarchiczne połączenia, pozwalające na uzyskanie unikalnych właściwości. Głównym osiągnięciem Autora jest tu opracowana struktura hierarchicznego połączenia obserwatora asymptotycznego z obserwatorem ślizgowym drugiego

rzędu (tzw. super-twisting sliding mode observer). W pierwszej kolejności Autor zastosował transformację stanu, eliminującą dynamikę nieznanej funkcji kinetyki z modelu matematycznego. Dla tak określonego modelu zaprojektowany został obserwator asymptotyczny pozwalający na stabilną rekonstrukcję niemierzonych zmiennych stanu. Następnie, na podstawie otrzymanej estymaty wektora stanu dokonano syntezy obserwatora ślizgowego drugiego rzędu, którego zadaniem jest śledzenie przebiegu funkcji kinetyki procesu. Dzięki zaletom ruchu ślizgowego takim jak odporność na niepewności modelu, osiągnięto stabilność układu. W oparciu o teorię ograniczoności funkcji i drugą zasadę Lyapunowa wykazano globalną asymptotyczną stabilność zarówno estymaty stanu jak i funkcji kinetyki. W ten sposób dokonano asymptotycznie stabilnej rekonstrukcji wektora stanu oraz funkcji kinetyki reakcji w obecności niepewności strukturalnej i parametrycznej, co jest nietrywialnym zadaniem. Ponadto, syntezy obserwatorów dokonano w dwóch wariantach: dla pomiaru stężenia biomasy oraz dla pomiaru łącznego stężenia substratów. Wreszcie, w ostatniej publikacji z cyklu zbadano możliwość zastosowania obserwatora interwałowego jako pierwszego w hierarchii, wykazując stabilność takiej struktury w obecności niepewności pomiarowych.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne do pracy

Zakres tematyczny cyklu publikacji odpowiada postawionej hipotezie i celom badawczym. Jednak, w trakcie lektury, nasunęło mi się kilka wątpliwości, pytań o charakterze dyskusyjnym i uwag gramatycznych. Mianowicie:

1. W kilku miejscach dysertacji pojawia się określenie „matching condition,” czyli warunki dopasowania, które w klasycznym podejściu do regulatorów ślizgowych opisują sposób oddziaływania zakłócenia i niepewności modelu na obiekt regulacji tym samym kanałem, co sygnały sterujące. Jednak w dysertacji nie znalazłem jasnej definicji tego określenia. Stąd wynika pytanie co określają warunki dopasowania w kontekście opracowanych obserwatorów ślizgowych pierwszego i drugiego rzędu oraz jaki wpływ na otrzymane rezultaty miałyby ich niespełnienie?
2. W dysertacji zaproponowano hierarchicznie połączenia obserwatora asymptotycznego lub interwałowego, rekonstruującego zmienne stanu, z obserwatorem ślizgowym drugiego rzędu, którego zadaniem jest śledzenie nieznanej kinetyki procesu opisującej prędkość przyrostu biomasy. Jak słusznie zauważono ruchowi ślizgowemu nieodłącznie towarzyszy zjawisko chatteringu, w efekcie którego punkt opisujący dynamikę oscyluje wokół płaszczyzny ślizgowej. Jednak w pracy nie skomentowano rozmiaru tych oscylacji. Od jakich parametrów procesu są one uzależnione?
3. Wspomniane zjawisko chatteringu wprost wynika z obecności nieciągłej funkcji signum w strukturze regulatora czy obserwatora ślizgowego. W dysertacji zaproponowano eliminację tego zjawiska poprzez zastąpienie funkcji signum funkcją nasycenia (saturacji). Recenzentowi nasunęło się tutaj pytanie jaki wpływ na dokładność estymacji

i stabilność obserwatora ma taki zabieg. Czy rozważano zastosowanie w miejscu funkcji signum innych przebiegów, np. funkcji tangens hiperboliczny?

4. W pracy „*Respiration rate estimation using non-linear observers in application to wastewater treatment plant*” funkcję transferu tlenu z powietrza do ścieku oznaczoną jako $k_{La}(Q_{air}(t))$ zamodelowano jako liniowo zależną od przepływu powietrza $Q_{air}(t)$. Jednak, jak Autor sam wspomniał, wartość ta zależy od wielu czynników takich jak choćby ciśnienie czy temperatura gazu. Proszę o uzasadnienie wyboru liniowego modelu. Czy Autor rozważał możliwość syntezy obserwatora dla innych modeli?
5. Na potrzeby syntezy obserwatora stanu model poznawczy procesu biologicznego uzdatniania wody oparty na osadzie czynnym został uproszczony. W wyniku tego zabiegu pojawiają się obciążone niepewnościami funkcje kinetyki procesu, takie jak prędkość przyrostu biomasy, oznaczana jako $\mu(t)$. Autor opisał, że tempo przyrostu biomasy jest w literaturze najczęściej opisywane funkcją Monoda, w postaci
$$\mu(t) = \mu_{\max}(t) \frac{S(t)}{K_s(t) + S(t)}$$
, co zastosował także w swojej pracy. Jednak w literaturze równie często pojawia się model wykorzystujący funkcję Haldane’a. Czy zastosowanie takiego modelu było brane pod uwagę i czy pozwoliłoby to na syntezę zaproponowanych struktur obserwatorów?
6. W ostatniej publikacji z cyklu „*Robust interval super twisting sliding mode observer for non-linear uncertain CSTR model of biochemical processes*” pojawił się drobny błąd. W części symulacyjnej wykorzystano łączne stężenie substratu jako mierzoną zmienną wyjściową, a zadaniem zaprojektowanej hierarchicznej struktury obserwatorów jest odtworzenie przebiegów: łącznego stężenia biomasy oraz stężenia rozpuszczonego tlenu. Jednak w tytule podrozdziału 5.1.1 znalazło się sformułowanie „aggregated biomass concentration”, czyli stężenie biomasy. To przejęzyczenie nasunęło jednak pytanie czy w takim razie podobna hierarchiczna struktura obserwatora może zostać opracowana dla pomiaru stężenia biomasy lub recykulowanej biomasy?
7. W powyżej wspomnianej pracy pt. „*Robust interval super twisting sliding mode observer for non-linear uncertain CSTR model of biochemical processes*” obserwator ślizgowy drugiego rzędu zaprojektowany został w oparciu o parametry α , β oraz $\bar{p}$. Jednak dobór tych parametrów nie został przedyskutowany. Zatem jakim ograniczeniom podlegają wymienione parametry obserwatora, jaki mają one wpływ na stabilność oraz szybkość estymacji prędkości przyrostu biomasy $\mu(t)$?

8. Część z przedstawionych publikacji wykorzystuje dane otrzymane z rzeczywistego obiektu – oczyszczalni ścieków Swarzewo. Czy zostały także podjęte próby implementacji zaprojektowanych struktur obserwatorów w tym czy innym obiekcie?

Drobne uwagi gramatyczne i redakcyjne:

- Kolejność wykresów 3.6 oraz 3.7 na stronach 58 i 59 nie odpowiada kolejności ich opisu, co utrudnia odbiór. Logiczniejszym układem byłoby umieszczenie wykresu 3.7 jako pierwszego, zgodnie z treścią rozprawy.
- Na stronie 51 w punkcie 4 zdaje się być błąd gramatyczny. Zdanie jest niedokończone.
- Na stronie 65 w punkcie 1 w kontekście RT2 zdanie „Only introduce ...” wydaje się być błędnie skonstruowane. W języku angielskim nie istnieje podmiot domyślny.
- Na stronie 66 w zdaniu „(...) Section provides an introduction to the methodological aspects of the derivation utility models” brakuje przyimka *of* (“of utility models”).
- Na stronie 70 w sformułowaniu *super-twisting* brakuje litery *t* (*super-wisting*).
- W ostatnim artykule z cyklu „*Robust interval super twisting sliding mode observer for non-linear uncertain CSTR model of biochemical processes*” w tytule podrozdziału 5.1.1 sformułowanie “aggregated biomass concentration” powinno zostać zmienione na “aggregated substrate concentration” zgodnie z treścią pracy.

Wyżej wymienione uwagi mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają mojej zdecydowanie pozytywnej oceny całości rozprawy doktorskiej, tym samym nie powodują konieczności zmian ani uzupełnień.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi spójny tematycznie cykl publikacji dotyczących projektowania obserwatorów stanu dla nieliniowych procesów dynamicznych zachodzących w biologicznych oczyszczalniach ścieków. Serię publikacji uzupełnia obszerny opis, pozycjonujący prace na tle literatury tematu oraz jasno wskazujący postawioną hipotezę i cele rozprawy. Cele badawcze podjęte w pracy odnoszą się do istotnych problemów naukowych związanych z rekonstrukcją zmiennych stanu oraz estymacją nieznanymi parametrów dynamicznych procesu. W pracy wykazano, że możliwa jest synteza stabilnego i odpornego obserwatora niemierzalnych zmiennych stanu dla nieliniowych procesów dynamicznych zachodzących w biologicznych oczyszczalniach ścieków. Seria publikacji dowodzących powyższej tezie opiewa na osiem pozycji, z czego sześć opublikowano w czasopiśmie punktowanych na 140 i 100pkt według aktualnego wykazu MNiSW. Taki dorobek z nadmiarem spełnia wymogi formalne stawiane Doktorantom. Ponadto, wysokiego poziomu publikacji Kandydata dowodzą szybko pojawiające się cytowania, co jest znaczącym osiągnięciem na początku kariery naukowej. Przedstawione w cyklu publikacji rozwiązania postawionego problemu nie tylko stanowią oryginalny wkład Autora w stan wiedzy w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i

technologie kosmiczne, ale także pokazują jego specjalistyczną wiedzę w zakresie analizowanych zagadnień. Natomiast jasny i klarowny sposób opracowania i przedstawienia osiągniętych wyników dowodzi umiejętności Kandydata prowadzenia pracy naukowej.

W związku z powyższą wysoką oceną dysertacji stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska pt. „*Synthesis of state observers for non-linear uncertain systems in application to biological wastewater treatment plant*” spełnia z nadmiarem wymogi formalne określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z późniejszymi zmianami i wnioskuję o dopuszczenie Pana magistra inżyniera Mateusza Czyżniewskiego do publicznej obrony pracy doktorskiej.

Ze względu na wysoki, wyraźnie wykraczający poza przeciętny, poziom merytoryczny dysertacji, znaczący wkład przedstawionych wyników w stan wiedzy na temat projektowania i aplikacji ślizgowych obserwatorów stanu w procesach biologicznych oraz znaczący dorobek publikacyjny Kandydata **wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej.**

A. Bartoszewicz