

prof. dr hab. inż. Dariusz Horla
Instytut Robotyki i Inteligencji Maszynowej
Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki
Politechnika Poznańska

Poznań, dnia 5. września 2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: Sterowanie procesem dystrybucji produktów o zróżnicowanej trwałości w warunkach zmiennego popytu i opóźnień dostaw z uwzględnieniem niepewności układu oraz z wykorzystaniem metod optymalizacji jedno- i wielokryterialnej

Autorka rozprawy: mgr inż. Ewelina Chołodowicz

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Przemysław Orłowski, prof. ZUT

Dziedzina: nauki inżynieryjno-techniczne

Dyscyplina: automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne

1. Podstawa formalna opracowanej recenzji, przedmiot recenzji

Recenzja została opracowana w odpowiedzi na pismo dr. hab. inż. Pawła Dworaka, prof. ZUT z dnia 24 czerwca 2024 r., Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

Przedłożona do oceny rozprawa została przygotowana na podstawie dwunastu artykułów opublikowanych w recenzowanych czasopismach (w tym, w czasopismach z przypisaną wartością IF) oraz podczas jednej konferencji zawartej w bazie CORE. We wszystkich tych publikacjach Doktorantka figuruje jako pierwszy autor. Przedstawiona rozprawa składa się z części zasadniczej, zawierającej charakterystykę osiągnięć Doktorantki, dodatku zawierającego przedruki artykułów oraz oświadczenia autorów załączonych publikacji, wraz z podaniem udziału procentowego w ich powstaniu.

2. Uwagi ogólne

Tematyka rozpatrywana w opiniowanej rozprawie dotyczy zagadnień związanych z modelowaniem systemu magazynowego, sterowaniem dystrybucją produktów o skończonym czasie przydatności oraz optymalizacją procesu sterowania przy założeniu zarówno zmienności, jak i niepewności warunków pracy systemu. Wspomniany system wspiera docelowo optymalne funkcjonowanie całego łańcucha dostaw z punktu widzenia zapewnienia jakości i bezpieczeństwa produktu (przykładowo: żywności czy leków). Z powyższym wiąże się powstawanie i możliwość redukcji szeregu kosztów stowarzyszonych, jak np. kosztu magazynowania towaru, który może skłaniać do obniżania stanu magazynowego, ale nie zapewni tym samym własności odporności na opóźnienia, które mogą pojawić się podczas procesu dostaw.

Celem opiniowanej rozprawy jest poprawa jakości sterowania procesem dystrybucji produktów, biorąc pod uwagę zadanie minimalizacji wartości kryteriów: korzyści utraconych na skutek przestoju oraz zajętości powierzchni magazynowej, reprezentowanej w dysertacji jako ilość przechowywanego produktu. W pracy zawarto dodatkowo pięć celów szczegółowych, realizowanych przez poszczególne etapy prac na przestrzeni lat.

W rozprawie sformułowano tezę w następującej postaci: zastosowanie dyskretnych modeli dynamicznych wraz z metodami sterowania, wspieranych przez nowoczesne techniki optymalizacji jedno- i wielokryterialnej oraz metody sztucznej inteligencji, umożliwią poprawę jakości sterowania zamówieniami w systemach dystrybucji, szczególnie w warunkach niepewności związanych z opóźnieniami dostaw i zmiennego zapotrzebowania rynkowego. Teza jest sformułowana prawidłowo i nie budzi zastrzeżeń z punktu widzenia jej realizacji.

Zakres pracy wynikający z przedstawionego celu rozprawy jest szeroki i obejmuje następujące zagadnienia:

- a) opracowanie dyskretnoczasowego modelu matematycznego dla systemu dystrybucji z uwzględnieniem zmienności w czasie wartości opóźnień transportowych,
- b) analizę porównawczą klasycznego regulatora z predyktorem Smitha dla różnych metod/ wartości opóźnień i zaburzeń popytu,
- c) analizę porównawczą efektywności ewolucyjnych algorytmów optymalizacji, umożliwiającą znalezienie rozwiązania odpowiadającego najlepszemu kompromisowi,
- d) wzbogacenie modelu magazynu o informację dotyczącą losowości zmian trwałości produktu, a także jego odniesienie do danych referencyjnych,
- e) opracowanie odpornego regulatora, wykorzystującego metody sztucznej inteligencji, wraz z jego walidacją.

Szczegółowe rozwinięcie wyżej wymienionych zagadnień stanowi właściwą treść rozprawy, w postaci powiązanych tematycznie publikacji. Prezentowane tam wyniki są przedstawione w sposób pozwalający na weryfikację oraz ocenę efektów osiągnięcia tego celu, choć pozostawiają pewien niedosyt. Tematyka rozprawy jest aktualna i dotyczy zagadnień naukowych o istotnej wartości użytkowej, a jej podjęcie uważam za w pełni uzasadnione.

Rozprawa ma charakter badawczy, prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki, umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a dalsze plany badawcze Doktorantki jasno wskazują na perspektywę rozwoju uzyskanych w niej wyników i aktualność problemu.

3. Charakterystyka dorobku będącego podstawą dysertacji

Lista artykułów przedstawionych jako osiągnięcie naukowe:

- [1] Chołodowicz E., Orłowski P., *Dynamiczny dyskretny model systemu magazynowego ze zmiennym w czasie opóźnieniem*, Logistyka, t. 4, 2015, s. 28-32.
- [2] Chołodowicz E., Orłowski P., *Sterowanie przepływem towarów w magazynie z wykorzystaniem predyktora Smitha*, Pomiar Automatyka Robotyka, t. 19, z. 3, 2015, s. 55-60.
- [3] Chołodowicz E., Orłowski P., *A periodic inventory control system with adaptive reference stock level for long supply delay*, Measurement Automation Monitoring, t. 61, z. 12, 2015, s. 568-572.

- [4] Chołodowicz E., Orłowski P., *Comparison of a perpetual and PD inventory control system with Smith predictor and different shipping delays using bicriterial optimization and SPEA2*, *Pomiary Automatyka Robotyka*, t. 20, z. 3, 2016, s. 5-12.
- [5] Chołodowicz E., Orłowski P., *Porównanie systemów sterowania zapasami ze zmiennym opóźnieniem dostaw i zaburzonym zapotrzebowaniem: cyklicznego oraz z regulatorem PD i predyktorem Smitha*, *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, t. 17, z. 12, 2016, s. 67-90.
- [6] Chołodowicz E., Orłowski P., *Comparison of SPEA2 and NSGA-II applied to automatic inventory control using hypervolume indicator*, *Studies in Informatics and Control*, t. 26, z. 1, 2017, s. 67-74.
- [7] Chołodowicz E., Orłowski P., *Impact of control system structure and performance of inventory goods flow system with long-variable delay*, *Elektronika Ii Elektrotechnika*, vol. 24(1), 2018, s. 11-16.
- [8] Chołodowicz E., Orłowski P., *Development of new hybrid discrete-time perishable inventory model based on Weibull distribution with time-varying demand using system dynamics approach*, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 154, 2021, 107151.
- [9] Chołodowicz E., Orłowski P., *Control of perishable goods inventory system with uncertain perishability process using neural networks and robust multicriteria optimization*, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, vol. 70(3), 2022.
- [10] Chołodowicz E., Orłowski P., *Robust control of perishable inventory with uncertain lead time using neural networks and genetic algorithm*, w: Groen D., de Mulatier C., Paszyński M., Krzhizhanovskaya V.V., Dongarra J.J., Sloot P.M.A., *Computational Science – ICSS 2020, ICSS 2022, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 13350, Springer, Cham.
- [11] Chołodowicz E., Orłowski P., *Switching robust neural network control of perishable inventory with fixed shelf life products under time-varying uncertain demand*, *Journal of Computational Science*, 102035, 2023.
- [12] Chołodowicz E., Orłowski P., *Neural network control of perishable inventory with fixed shelf life products and fuzzy order refinement under time-varying uncertain demand*, *Energies*, vol. 17(4), 2024, 849.

Poniżej opisano skrótowo zawartość wymienionych artykułów.

W artykule [1] przedstawiono sposób opisu systemu magazynowego za pomocą dyskretnoczasowego modelu dynamicznego, umożliwiającego uwzględnienie zmian czasu opóźnienia związanego z transportem produktów między etapem produkcji, a etapem magazynowania. Uzyskany model powstał przez adaptację innego modelu, dostępnego w literaturze, a wyniki pracy pozwalają na dalszą rozbudowę tego modelu i poddanie optymalizacji powstałego docelowo układu zamkniętego.

Praca [2] przedstawia wyniki dotyczące sterowania przepływem towarów w systemie magazynowym, a także koncepcję usprawnienia tego przepływu, przez zastosowanie klasycznego regulatora PID rozbudowanego o predyktor Smitha i wykorzystanie optymalizacji nastaw tego pierwszego.

W pracy [3] przedstawiono układ sterowania cyklicznego z adaptacją poziomu magazynowego, porównując dwie strategie sterowania tym poziomem (bez oraz z adaptacją). W konkluzjach stwierdza się, że zidentyfikowano wpływ strategii sterowania na zachowanie układu magazynowania.

Artykuł [4] zawiera porównanie działania układu sterowania ciągłego oraz jak w [2] (z wyłączeniem akcji całkującej) przy zmianach opóźnień dostaw, z zastosowaniem metod optymalizacji wielokryterialnej opartych na ewolucyjnych algorytmach pozwalających na identyfikację frontu Pareto. Pokazano, że zastosowanie wybranych algorytmów optymalizacyjnych pozwala na znalezienie optymalnych w sensie Pareto niezdominowanych rozwiązań postawionego zadania.

W artykule [5] powrócono do tematyki badań jak w [3], ale w scenariuszu zaburzeń popytu, modelowanego za pomocą procesu stochastycznego o ustalonej wariancji. W konkluzjach wskazano na wyraźną różnicę między standardowym a proponowanym sposobem sterowania układem, odnosząc się do możliwości uniknięcia przestoju.

Praca [6] przedstawia porównanie jakości rozwiązań w zadaniu optymalizacji dwukryterialnej przy zastosowaniu dwóch algorytmów ewolucyjnych, z wprowadzeniem wskaźnika hiperobjętości. W konkluzji oceniono pozytywnie przydatność wybranych metod optymalizacyjnych do realizacji zadania sterowania poziomem zapasów.

W pracy [7] przedstawiono porównanie działania trzech układów sterowania: cyklicznego, ciągłego z adaptacją, a także znanego z prac [2, 4], przy założeniu profilu popytu na określony towar.

Artykuł [8] prezentuje rozwinięcie hybrydowego, dyskretnoczasowego modelu magazynu w oparciu o rozkład Weibulla, biorąc pod uwagę dni przestoju spowodowane przykładowo świętami, a także różne strategie dystrybucji produktów (FIFO, LIFO, etc.), włączając w to z góry przyjęty lub losowo zmienny czas trwałości produktu. W konkluzji do wyników i wniosków z raportowanego w artykule badania, stwierdzono że opracowany model pozwala na uwzględnienie wielu aspektów związanych z logistyką dostaw, umożliwiając poddanie go optymalizacji, predykcji i sterowaniu.

W artykule [9] przedstawiono nowe rozwiązanie zadania magazynowania towarów psujących się dla strategii FIFO i niepewności czasu trwałości produktu oparte na sieciach neuronowych, zastosowaniu optymalizacji wielokryterialnej i technik odpornościowych, przedstawiając uzysk w skali względnej w stosunku do rozwiązań uzyskanych bez odporności.

W pokonferencyjnej publikacji [10], przedstawiono metodę redukcji wpływu niepewności związanej z czasem realizacji zamówień na działanie układu sterowania magazynem towarów psujących się, stosując podejście łączące sieci neuronowe i algorytm genetyczne, przetestowane dla różnych wartości czasów realizacji zamówień, ich niepewności oraz warunków początkowych.

Artykuł [11] przedstawia zagadnienia sterowania przy scenariuszu niepewności informacji dotyczących dostaw, co przy wprowadzeniu odpowiedniego kryterium pozwala zidentyfikować najgorszy możliwy scenariusz, a następnie jemu przeciwdziałać. Omawiane podejście jest walidowane na danych historycznych odnoszących się do sieci Walmart, a poziom zapełnienia magazynu w najlepszym przypadku jest redukowany o niemal 10% w stosunku do referencji, umożliwiając ciągle płynne działanie systemu.

W artykule [12] odniesiono się do jednego z celów polityki EU jakim jest zapewnienie redukcji zużycia energii, co manifestuje się tutaj jako tzw. zielony łańcuch dostaw. Autorzy wprowadzają do rozważań możliwe zwiększenie kosztów operacyjnych z uwagi na dopuszczenie nieprzydatności do sprzedaży pewnej części produktu, aby uzyskać rozwiązanie odzwierciedlające najlepszy kompromis.

W poniższej tabeli zamieszczono informację o latach publikacji poszczególnych artykułów, przypisanej im liczbie punktów według odpowiedniej listy ministerialnej, a także wartości współczynników Impact Factor.

Poz.	Rok publikacji	Liczba punktów wg list MNiSW/MEiN	IF (odpowiedni dla roku wydania)	Udział Doktorantki
[1]	2015	10	-	50 %
[2]	2015	8	-	50 %
[3]	2015	8	-	50 %
[4]	2016	8	-	50 %

[5]	2016	14	-	50 %
[6]	2017	15	1.020	50 %
[7]	2018	15	0.684	50 %
[8]	2021	140	7.900	50 %
[9]	2022	100	1.200	50 %
[10]	2022	140	CORE A	50 %
[11]	2023	100	3.300	50 %
[12]	2024	140	3.200	50 %

Pewien niedosyt zostawia tutaj brak wiodącej roli Doktorantki w którejkolwiek z publikacji, natomiast znaczne rozciągnięcie w czasie prowadzonych badań potencjalnie mogło prowadzić do niebezpieczeństwa ich dezaktualizacji, a na pewno zmniejszenia znaczenia wniosków z nich płynących dla ważnego zadania zapewniania zielonego łańcucha dostaw. Dodatkowo, wydaje się, że prezentowany cykl publikacji jest zbyt długi i można było zrezygnować niektórych prac z lat wcześniejszych, które nie były publikowane w czasopiśmie z przypisanym wskaźnikiem IF. Cenne jest to, że Doktorantka prezentowała wyniki badań nie tylko publikując w renomowanych czasopiśmie o zasięgu światowym, ale również wygłaszając referat na konferencji, co umożliwiło bezpośrednią dyskusję z osobami zainteresowanymi obszarem badań.

4. Merytoryczna ocena pracy

Celem rozprawy jest poprawa jakości sterowania procesem dystrybucji produktów, ze szczególnym uwzględnieniem charakterystycznych cech procesu magazynowania i transportu, a także cech łańcucha logistycznego jak: zróżnicowana trwałość produktu, losowość i nieprzewidywalność opóźnień związanych z transportem czy produkcją oraz wahaniami po stronie popytu. Realizacja tego celu wymagała wykonania szeregu eksperymentów obliczeniowych, zadań związanych z modelowaniem i walidacją uzyskanych modeli, czy w końcu wykonania krytycznej analizy wiarygodności uzyskanych wyników. Wszystkie cele cząstkowe/pomocnicze uważam za zrealizowane.

Do najważniejszych osiągnięć badawczych pracy zaliczam:

- opracowanie hybrydowego modelu systemu magazynowego dla produktów nietrwałych,
- zaproponowanie metod sterowania, wykorzystujących techniki sztucznej inteligencji oraz podejście optymalizacyjne, z pełnym krytycznym odniesieniem do wad istniejących i raportowanych w literaturze rozwiązań.

Lektura dostarczonej dokumentacji, ze szczególnym uwzględnieniem publikacji wchodzących w cykl, z wykorzystaniem których są przedstawione osiągnięcia Doktorantki, pozwala jednoznacznie stwierdzić, że wszystkie raportowane prace prowadzą do rozwiązania postawionego problemu badawczego. Potrzeba prowadzenia prac podejmowanych na poszczególnych etapach jest dobrze uzasadniona, a nawiązanie do literatury świadczy o dobrej ogólnej wiedzy Doktorantki i korzystanie wpływa na odbiór treści zawartych w rozprawie.

W trakcie czytania pracy nasunęły mi się następujące uwagi krytyczne o charakterze ogólnym:

- 1) [A8, rys. 4] oraz s. 24, rys. 3 – rysunki, aby zachować czytelność powinny przedstawiać informacje o błędzie – czy istnieje możliwość porównania wybranych scenariuszy z punktu widzenia błędu i przeprowadzenia analizy, czy liczy się błąd kumulatywny, czy tylko chwilowy?
- 2) [A9] oraz s. 39 – jaka jest motywacja przy założeniu zmian zapotrzebowania $d(t)$ tylko o jedną jednostkę dziennie? Jak wygląda odniesienie do rzeczywistości? Dodatkowo, do czego właściwie odnoszą się warunki początkowe?
- 3) Proszę o wyjaśnienie metodologii doboru wag w_1 i w_2 w badaniach z [A2], jaki jest ich związek z zakresem wartości wskaźników j_1, j_2 oraz jak ich wybór wskazuje na cele projektowe. Dodatkowo, dlaczego w [A3] wagi te się zmieniają – czy zmiana wartości wagi w_1 ponad 300 z punktu widzenia [A3, tab. 1] daje jakkolwiek zysk? Czy do wskaźników nie powinna zostać wprowadzona jawnie kara za wartość poziomu magazynu (aby przykładowo unikać przekraczania 3000 jednostek)?
- 4) Z punktu widzenia [A6], czas obliczeń pozostaje niezdefiniowany, a jest on istotnym czynnikiem przy doborze metody optymalizacji – jak często powtarza się tego rodzaju obliczenia przy planowaniu łańcucha dostaw? Jak istotny jest reżim czasowy przy reagowaniu na bieżące zmiany?
- 5) W [A8], przykładowo, nie podano informacji o odchyleniach standardowych dla poszczególnych punktów pomiarowych – czy można je wprowadzić i porównać? Jak wygląda powtarzalność w obliczu rozważanej niepewności? Która z metod będzie cechowała się możliwością uzyskania rozwiązania o najmniejszym odchyleniu standardowym w rozpatrywanych scenariuszach? Podobne zastrzeżenie można mieć do przedstawionych [A10, tab. 3] wyników badań.
- 6) W pracach formułuje się ważne funkcje celu, przykładowo [A11, (6)] – czy składowe tej funkcji na skutek odpowiedniego doboru stałej c mają porównywalne wartości? Na co wskazuje wybór wartości c ? Jak przy obranej wartości $c = 3$ prezentuje się maksymalna i minimalna wartość tych składowych?
- 7) Jaka metodologia (rys. 14) stoi za doбором liczby neuronów w warstwie ukrytej? Co będzie się działo, gdy przekroczona zostanie liczba 5, czy były prowadzone badania nad potencjalnym uzyskiem? Jak wyglądają wyniki tych badań?
- 8) Dlaczego stan zapasów jest rozważany jako ułamkowy (rys. 25)? Czy na jakimkolwiek etapie wprowadzono dyskretyzację tej wartości, tak aby zapas nie odnosił się do ułamkowych części dostępnych sztuk towarów? Jakich efektów wtedy należy się spodziewać?
- 9) Jaka jest metodologia doboru granicznych wartości dla funkcji przynależności z [A12] problem (10).

Podział etapów badań i sposób ich raportowania jest prawidłowy, materiał ilustracyjny jest bogaty i czytelny, a przedstawiona w każdej publikacji bibliografia jest reprezentatywna dla problematyki poruszanej przez Autorkę.

Praca nie ma zasadniczych wad, można jednak wykazać drobne uchybienia lub elementy dyskusyjne (odnośniki podano albo względem omówienia składowych rozprawy, albo odnosząc się do artykułów z cyklu, co należy traktować jako tożsame):

- w trakcie czytania rozprawy „model” często jest stosowany zamiennie z terminem „obiekt” – czy magazyn może być przedstawiony jako obiekt, czy też można go jedynie modelować i wprowadzając odpowiednie uproszczenia, przedstawiać w taki czy inny sposób?
- s. 8₂ – czy elementy są nieliniowe, czy też to opis jest podawany za pomocą funkcji nieliniowej?

- s. 9₈ – dane odnoszące się do ilości marnowanej żywności są niereprezentatywne bez podania wartości w skali względnej;
- s. 19, [A1, (6)] nie podają informacji o włączeniu $d(t)$ do modelu inaczej niż w sposób opisowy;
- s. 19⁷⁻⁸ – zdanie jest niegrammatyczne i nie wiadomo na czym polega nieznamość funkcji $d(t)$; patrz również [A1, nad wzorem (1)];
- s. 20₄ – zmienna stanu nie może przechowywać informacji, ale co najwyżej być skojarzona z pewną informacją;
- s. 26, wzór (7) – powoduje wprowadzenie niepewności w nomenklaturze – czy to jest stan, czy jego składowa, czy tylko dodatkowa zmienna, która umożliwia moderowanie wartości opóźnienia?
- rys. 5 – symbol k nie ma podanej skali [dni];
- rys. 7 i pozostałe – w części zasadniczej opracowania część opisów na rysunkach jest po polsku, część po angielsku, co tworzy wrażenie braku spójności;
- zebrane w części zasadniczej opracowania zbitki informacji z poszczególnych artykułów nie pozwalają na łatwą identyfikację czy przykładowo k_1 , k_2 , k_3 z rys. 7 mają interpretację jak na rys. 4, gdzie były to konkretne wzmocnienia regulatora;
- rys. 8 nie definiuje co znajduje się w części (a) a co w (b);
- rozdział 3.3.3 (s. 33) ma myląca nazwę – pojawia się trudność zinterpretowania tego czym jest długie zmienne opóźnienie (i co jeżeli zmieni się na „krótkie”?);
- rys. 23 – jaką metodę optymalizacji wybrano do poprawy położenia funkcji przynależności, jak wyglądała funkcja celu, jakie narzucono ograniczenia, ile zmiennych decyzyjnych i jak były dobierane?
- [A2, p. 3] – czy można wyróżnić opóźnienia, które można uniknąć/zaniechać?
- [A2, p. 4] – nie tyle wskaźnik jakości procesu ma być optymalny, co jego wartość ma być optymalna, a skoro wprowadzone zostają dwa wskaźniki, może bezpieczniej powiedzieć o rozwiązaniu zapewniającym najlepszy kompromis?
- [A6, rys. 6] jest zupełnie nieczytelny i nie pozwala odczytać przebiegu frontu Pareto dla niewielkich wartości j_2 ;
- [A7, s. IV] stwierdza, że model optymalizacyjny powinien być prosty jak tylko się da - dlaczego więc Doktorantka korzysta z dwóch, a nie jednej funkcji celu i czemu zmienne decyzyjne są tak, a nie inaczej dobierane?
- [A8, p. 4.3] przedstawia horyzont wyrażony w dniach, będący na poziomie 14 – czy to nie za mało, biorąc pod uwagę inne składowe rozprawy – raportowane są wyniki badań z setek dni; czy zbyt duża wartość tego horyzontu będzie powodowała efekt uśredniający? Dodatkowo, dlaczego oś pozioma na rysunku 5 jest skalowana tylko do 22?

5. Ocena końcowa i wniosek

Mimo przedstawionych powyżej uwag krytycznych, które nie dotyczą zasadniczego dorobku Doktorantki, uważam, że postawiony cel pracy ma charakter naukowy i został zrealizowany. Praca stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego, Doktorantka wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej, ma bardzo dobre przygotowanie z zakresu technik modelowania, sterowania oraz opanowała ogólną wiedzę teoretyczną umożliwiającą prawidłowe wykorzystanie metod sztucznej inteligencji.

Wobec powyższych uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Elżbiety Chołodowicz pt. *Sterowanie procesem dystrybucji produktów o zróżnicowanej trwałości w warunkach zmiennego popytu i opóźnień dostaw z uwzględnieniem niepewności układu oraz z wykorzystaniem metod optymalizacji jedno- i wielokryterialnej* spełnia właściwe ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim oraz mieści się w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



/Dariusz Horla/

prof. dr hab. inż. Dariusz Horla
Instytut Robotyki i Inteligencji Maszynowej
Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki
Politechnika Poznańska

Poznań, dnia 5. września 2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: **Sterowanie procesem dystrybucji produktów o zróżnicowanej trwałości w warunkach zmiennego popytu i opóźnień dostaw z uwzględnieniem niepewności układu oraz z wykorzystaniem metod optymalizacji jedno- i wielokryterialnej**

Autorka rozprawy: **mgr inż. Ewelina Chołodowicz**

Promotor rozprawy: **dr hab. inż. Przemysław Orłowski, prof. ZUT**

Dziedzina: **nauki inżynieryjno-techniczne**

Dyscyplina: **automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne**

1. Podstawa formalna opracowanej recenzji, przedmiot recenzji

Recenzja została opracowana w odpowiedzi na pismo dr. hab. inż. Pawła Dworaka, prof. ZUT z dnia 24 czerwca 2024 r., Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

Przedłożona do oceny rozprawa została przygotowana na podstawie dwunastu artykułów opublikowanych w recenzowanych czasopismach (w tym, w czasopismach z przypisaną wartością IF) oraz podczas jednej konferencji zawartej w bazie CORE. We wszystkich tych publikacjach Doktorantka figuruje jako pierwszy autor. Przedstawiona rozprawa składa się z części zasadniczej, zawierającej charakterystykę osiągnięć Doktorantki, dodatku zawierającego przedruki artykułów oraz oświadczenia autorów załączonych publikacji, wraz z podaniem udziału procentowego w ich powstanie.

2. Uwagi ogólne

Tematyka rozpatrywana w opiniowanej rozprawie dotyczy zagadnień związanych z modelowaniem systemu magazynowego, sterowaniem dystrybucją produktów o skończonym czasie przydatności oraz optymalizacją procesu sterowania przy założeniu zarówno zmienności, jak i niepewności warunków pracy systemu. Wspomniany system wspiera docelowo optymalne funkcjonowanie całego łańcucha dostaw z punktu widzenia zapewnienia jakości i bezpieczeństwa produktu (przykładowo: żywności czy leków). Z powyższym wiąże się powstawanie i możliwość redukcji szeregu kosztów stowarzyszonych, jak np. kosztu magazynowania towaru, który może skłaniać do obniżania stanu magazynowego, ale nie zapewni tym samym własności odporności na opóźnienia, które mogą pojawić się podczas procesu dostaw.

Celem opiniowanej rozprawy jest poprawa jakości sterowania procesem dystrybucji produktów, biorąc pod uwagę zadanie minimalizacji wartości kryteriów: korzyści utraconych na skutek przestoju oraz zajętości powierzchni magazynowej, reprezentowanej w dysertacji jako ilość przechowywanego produktu. W pracy zawarto dodatkowo pięć celów szczegółowych, realizowanych przez poszczególne etapy prac na przestrzeni lat.

W rozprawie sformułowano tezę w następującej postaci: zastosowanie dyskretnych modeli dynamicznych wraz z metodami sterowania, wspieranych przez nowoczesne techniki optymalizacji jedno- i wielokryterialnej oraz metody sztucznej inteligencji, umożliwi poprawę jakości sterowania zamówieniami w systemach dystrybucji, szczególnie w warunkach niepewności związanych z opóźnieniami dostaw i zmiennego zapotrzebowania rynkowego. Teza jest sformułowana prawidłowo i nie budzi zastrzeżeń z punktu widzenia jej realizacji.

Zakres pracy wynikający z przedstawionego celu rozprawy jest szeroki i obejmuje następujące zagadnienia:

- a) opracowanie dyskretnoczasowego modelu matematycznego dla systemu dystrybucji z uwzględnieniem zmienności w czasie wartości opóźnień transportowych,
- b) analizę porównawczą klasycznego regulatora z predyktorem Smitha dla różnych metod/ wartości opóźnień i zaburzeń popytu,
- c) analizę porównawczą efektywności ewolucyjnych algorytmów optymalizacji, umożliwiającą znalezienie rozwiązania odpowiadającego najlepszemu kompromisowi,
- d) wzbogacenie modelu magazynu o informację dotyczącą losowości zmian trwałości produktu, a także jego odniesienie do danych referencyjnych,
- e) opracowanie odpornego regulatora, wykorzystującego metody sztucznej inteligencji, wraz z jego walidacją.

Szczegółowe rozwinięcie wyżej wymienionych zagadnień stanowi właściwą treść rozprawy, w postaci powiązanych tematycznie publikacji. Prezentowane tam wyniki są przedstawione w sposób pozwalający na weryfikację oraz ocenę efektów osiągnięcia tego celu, choć pozostawiają pewien niedosyt. Tematyka rozprawy jest aktualna i dotyczy zagadnień naukowych o istotnej wartości użytecznej, a jej podjęcie uważam za w pełni uzasadnione.

Rozprawa ma charakter badawczy, prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki, umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a dalsze plany badawcze Doktorantki jasno wskazują na perspektywę rozwoju uzyskanych w niej wyników i aktualność problemu.

3. Charakterystyka dorobku będącego podstawą dysertacji

Lista artykułów przedstawionych jako osiągnięcie naukowe:

- [1] Chołodowicz E., Orłowski P., *Dynamiczny dyskretny model systemu magazynowego ze zmiennym w czasie opóźnieniem*, Logistyka, t. 4, 2015, s. 28-32.
- [2] Chołodowicz E., Orłowski P., *Sterowanie przepływem towarów w magazynie z wykorzystaniem predyktora Smitha*, Pomiar Automatyka Robotyka, t. 19, z. 3, 2015, s. 55-60.
- [3] Chołodowicz E., Orłowski P., *A periodic inventory control system with adaptive reference stock level for long supply delay*, Measurement Automation Monitoring, t. 61, z. 12, 2015, s. 568-572.



- [4] Chołodowicz E., Orłowski P., *Comparison of a perpetual and PD inventory control system with Smith predictor and different shipping delays using bicriterial optimization and SPEA2*, *Pomiary Automatyka Robotyka*, t. 20, z. 3, 2016, s. 5-12.
- [5] Chołodowicz E., Orłowski P., *Porównanie systemów sterowania zapasami ze zmiennym opóźnieniem dostaw i zaburzonym zapotrzebowaniem: cyklicznego oraz z regulatorem PD i predyktorem Smitha*, *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, t. 17, z. 12, 2016, s. 67-90.
- [6] Chołodowicz E., Orłowski P., *Comparison of SPEA2 and NSGA-II applied to automatic inventory control using hypervolume indicator*, *Studies in Informatics and Control*, t. 26, z. 1, 2017, s. 67-74.
- [7] Chołodowicz E., Orłowski P., *Impact of control system structure and performance of inventory goods flow system with long-variable delay*, *Elektronika Ii Elektrotechnika*, vol. 24(1), 2018, s. 11-16.
- [8] Chołodowicz E., Orłowski P., *Development of new hybrid discrete-time perishable inventory model based on Weibull distribution with time-varying demand using system dynamics approach*, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 154, 2021, 107151.
- [9] Chołodowicz E., Orłowski P., *Control of perishable goods inventory system with uncertain perishability process using neural networks and robust multicriteria optimization*, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, vol. 70(3), 2022.
- [10] Chołodowicz E., Orłowski P., *Robust control of perishable inventory with uncertain lead time using neural networks and genetic algorithm*, w: Groen D., de Mulatier C., Paszyński M., Krzhizhanovskaya V.V., Dongarra J.J., Sloot P.M.A., *Computational Science – ICSS 2020, ICSS 2022, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 13350, Springer, Cham.
- [11] Chołodowicz E., Orłowski P., *Switching robust neural network control of perishable inventory with fixed shelf life products under time-varying uncertain demand*, *Journal of Computational Science*, 102035, 2023.
- [12] Chołodowicz E., Orłowski P., *Neural network control of perishable inventory with fixed shelf life products and fuzzy order refinement under time-varying uncertain demand*, *Energies*, vol. 17(4), 2024, 849.

Poniżej opisano skrótowo zawartość wymienionych artykułów.

W artykule [1] przedstawiono sposób opisu systemu magazynowego za pomocą dyskretnoczasowego modelu dynamicznego, umożliwiającego uwzględnienie zmian czasu opóźnienia związanego z transportem produktów między etapem produkcji, a etapem magazynowania. Uzyskany model powstał przez adaptację innego modelu, dostępnego w literaturze, a wyniki pracy pozwalają na dalszą rozbudowę tego modelu i poddanie optymalizacji powstałego docelowo układu zamkniętego.

Praca [2] przedstawia wyniki dotyczące sterowania przepływem towarów w systemie magazynowym, a także koncepcję usprawnienia tego przepływu, przez zastosowanie klasycznego regulatora PID rozbudowanego o predyktor Smitha i wykorzystanie optymalizacji nastaw tego pierwszego.

W pracy [3] przedstawiono układ sterowania cyklicznego z adaptacją poziomu magazynowego, porównując dwie strategie sterowania tym poziomem (bez oraz z adaptacją). W konkluzjach stwierdza się, że zidentyfikowano wpływ strategii sterowania na zachowanie układu magazynowania.

Artykuł [4] zawiera porównanie działania układu sterowania ciągłego oraz jak w [2] (z wyłączeniem akcji całkowitej) przy zmianach opóźnień dostaw, z zastosowaniem metod optymalizacji wielokryterialnej opartych na ewolucyjnych algorytmach pozwalających na identyfikację frontu Pareto. Pokazano, że zastosowanie wybranych algorytmów optymalizacyjnych pozwala na znalezienie optymalnych w sensie Pareto niezdominowanych rozwiązań postawionego zadania.



W artykule [5] powrócono do tematyki badań jak w [3], ale w scenariuszu zaburzeń popytu, modelowanego za pomocą procesu stochastycznego o ustalonej wariancji. W konkluzjach wskazano na wyraźną różnicę między standardowym a proponowanym sposobem sterowania układem, odnosząc się do możliwości uniknięcia przestoju.

Praca [6] przedstawia porównanie jakości rozwiązań w zadaniu optymalizacji dwukryterialnej przy zastosowaniu dwóch algorytmów ewolucyjnych, z wprowadzeniem wskaźnika hiperobjętości. W konkluzji oceniono pozytywnie przydatność wybranych metod optymalizacyjnych do realizacji zadania sterowania poziomem zapasów.

W pracy [7] przedstawiono porównanie działania trzech układów sterowania: cyklicznego, ciągłego z adaptacją, a także znanego z prac [2, 4], przy założeniu profilu popytu na określony towar.

Artykuł [8] prezentuje rozwinięcie hybrydowego, dyskretnoczasowego modelu magazynu w oparciu o rozkład Weibulla, biorąc pod uwagę dni przestoju spowodowane przykładowo świętami, a także różne strategie dystrybucji produktów (FIFO, LIFO, etc.), włączając w to z góry przyjęty lub losowo zmienny czas trwałości produktu. W konkluzji do wyników i wniosków z raportowanego w artykule badania, stwierdzono że opracowany model pozwala na uwzględnienie wielu aspektów związanych z logistyką dostaw, umożliwiając poddanie go optymalizacji, predykcji i sterowaniu.

W artykule [9] przedstawiono nowe rozwiązanie zadania magazynowania towarów psujących się dla strategii FIFO i niepewności czasu trwałości produktu oparte na sieciach neuronowych, zastosowaniu optymalizacji wielokryterialnej i technik odpornościowych, przedstawiając uzysk w skali względnej w stosunku do rozwiązań uzyskanych bez odporności.

W pokonferencyjnej publikacji [10], przedstawiono metodę redukcji wpływu niepewności związanej z czasem realizacji zamówień na działanie układu sterowania magazynem towarów psujących się, stosując podejście łączące sieci neuronowe i algorytm genetyczne, przetestowane dla różnych wartości czasów realizacji zamówień, ich niepewności oraz warunków początkowych.

Artykuł [11] przedstawia zagadnienia sterowania przy scenariuszu niepewności informacji dotyczących dostaw, co przy wprowadzeniu odpowiedniego kryterium pozwala zidentyfikować najgorszy możliwy scenariusz, a następnie jemu przeciwdziałać. Omawiane podejście jest walidowane na danych historycznych odnoszących się do sieci Walmart, a poziom zapełnienia magazynu w najlepszym przypadku jest redukowany o niemal 10% w stosunku do referencji, umożliwiając ciągle płynne działanie systemu.

W artykule [12] odniesiono się do jednego z celów polityki EU jakim jest zapewnienie redukcji zużycia energii, co manifestuje się tutaj jako tzw. zielony łańcuch dostaw. Autorzy wprowadzają do rozważań możliwe zwiększenie kosztów operacyjnych z uwagi na dopuszczenie nieprzydatności do sprzedaży pewnej części produktu, aby uzyskać rozwiązanie odzwierciedlające najlepszy kompromis.

W poniższej tabeli zamieszczono informację o latach publikacji poszczególnych artykułów, przypisanej im liczbie punktów według odpowiedniej listy ministerialnej, a także wartości współczynników Impact Factor.

Poz.	Rok publikacji	Liczba punktów wg list MNiSW/MEiN	IF (odpowiedni dla roku wydania)	Udział Doktorantki
[1]	2015	10	-	50 %
[2]	2015	8	-	50 %
[3]	2015	8	-	50 %
[4]	2016	8	-	50 %

[5]	2016	14	-	50 %
[6]	2017	15	1.020	50 %
[7]	2018	15	0.684	50 %
[8]	2021	140	7.900	50 %
[9]	2022	100	1.200	50 %
[10]	2022	140	CORE A	50 %
[11]	2023	100	3.300	50 %
[12]	2024	140	3.200	50 %

Pewien niedosyt zostawia tutaj brak wiodącej roli Doktorantki w którejkolwiek z publikacji, natomiast znaczne rozciągnięcie w czasie prowadzonych badań potencjalnie mogło prowadzić do niebezpieczeństwa ich dezaktualizacji, a na pewno zmniejszenia znaczenia wniosków z nich płynących dla ważnego zadania zapewniania zielonego łańcucha dostaw. Dodatkowo, wydaje się, że prezentowany cykl publikacji jest zbyt długi i można było zrezygnować niektórych prac z lat wcześniejszych, które nie były publikowane w czasopiśmie z przypisanym wskaźnikiem IF. Cenne jest to, że Doktorantka prezentowała wyniki badań nie tylko publikując w renomowanych czasopiśmie o zasięgu światowym, ale również wygłaszając referat na konferencji, co umożliwiło bezpośrednią dyskusję z osobami zainteresowanymi obszarem badań.

4. Merytoryczna ocena pracy

Celem rozprawy jest poprawa jakości sterowania procesem dystrybucji produktów, ze szczególnym uwzględnieniem charakterystycznych cech procesu magazynowania i transportu, a także cech łańcucha logistycznego jak: zróżnicowana trwałość produktu, losowość i nieprzewidywalność opóźnień związanych z transportem czy produkcją oraz wahaniami po stronie popytu. Realizacja tego celu wymagała wykonania szeregu eksperymentów obliczeniowych, zadań związanych z modelowaniem i walidacją uzyskanych modeli, czy w końcu wykonania krytycznej analizy wiarygodności uzyskanych wyników. Wszystkie cele cząstkowe/pomocnicze uważam za zrealizowane.

Do najważniejszych osiągnięć badawczych pracy zaliczam:

- opracowanie hybrydowego modelu systemu magazynowego dla produktów nietrwałych,
- zaproponowanie metod sterowania, wykorzystujących techniki sztucznej inteligencji oraz podejście optymalizacyjne, z pełnym krytycznym odniesieniem do wad istniejących i raportowanych w literaturze rozwiązań.

Lektura dostarczonej dokumentacji, ze szczególnym uwzględnieniem publikacji wchodzących w cykl, z wykorzystaniem których są przedstawione osiągnięcia Doktorantki, pozwala jednoznacznie stwierdzić, że wszystkie raportowane prace prowadzą do rozwiązania postawionego problemu badawczego. Potrzeba prowadzenia prac podejmowanych na poszczególnych etapach jest dobrze uzasadniona, a nawiązanie do literatury świadczy o dobrej ogólnej wiedzy Doktorantki i korzystanie wpływa na odbiór treści zawartych w rozprawie.

W trakcie czytania pracy nasunęły mi się następujące uwagi krytyczne o charakterze ogólnym:

- 1) [A8, rys. 4] oraz s. 24, rys. 3 – rysunki, aby zachować czytelność powinny przedstawiać informacje o błędzie – czy istnieje możliwość porównania wybranych scenariuszy z punktu widzenia błędu i przeprowadzenia analizy, czy liczy się błąd kumulatywny, czy tylko chwilowy?
- 2) [A9] oraz s. 39 – jaka jest motywacja przy założeniu zmian zapotrzebowania $d(t)$ tylko o jedną jednostkę dziennie? Jak wygląda odniesienie do rzeczywistości? Dodatkowo, do czego właściwie odnoszą się warunki początkowe?
- 3) Proszę o wyjaśnienie metodologii doboru wag w_1 i w_2 w badaniach z [A2], jaki jest ich związek z zakresem wartości wskaźników j_1, j_2 oraz jak ich wybór wskazuje na cele projektowe. Dodatkowo, dlaczego w [A3] wagi te się zmieniają – czy zmiana wartości wagi w_1 ponad 300 z punktu widzenia [A3, tab. 1] daje jakkolwiek zysk? Czy do wskaźników nie powinna zostać wprowadzona jawnie kara za wartość poziomu magazynu (aby przykładowo unikać przekraczania 3000 jednostek)?
- 4) Z punktu widzenia [A6], czas obliczeń pozostaje niezdefiniowany, a jest on istotnym czynnikiem przy doborze metody optymalizacji – jak często powtarza się tego rodzaju obliczenia przy planowaniu łańcucha dostaw? Jak istotny jest reżim czasowy przy reagowaniu na bieżące zmiany?
- 5) W [A8], przykładowo, nie podano informacji o odchyleniach standardowych dla poszczególnych punktów pomiarowych – czy można je wprowadzić i porównać? Jak wygląda powtarzalność w obliczu rozważanej niepewności? Która z metod będzie cechowała się możliwością uzyskania rozwiązania o najmniejszym odchyleniu standardowym w rozpatrywanych scenariuszach? Podobne zastrzeżenie można mieć do przedstawionych [A10, tab. 3] wyników badań.
- 6) W pracach formułuje się ważne funkcje celu, przykładowo [A11, (6)] – czy składowe tej funkcji na skutek odpowiedniego doboru stałej c mają porównywalne wartości? Na co wskazuje wybór wartości c ? Jak przy obranej wartości $c = 3$ prezentuje się maksymalna i minimalna wartość tych składowych?
- 7) Jaka metodologia (rys. 14) stoi za doбором liczby neuronów w warstwie ukrytej? Co będzie się działo, gdy przekroczona zostanie liczba 5, czy byłyby prowadzone badania nad potencjalnym uzyskiem? Jak wyglądają wyniki tych badań?
- 8) Dlaczego stan zapasów jest rozważany jako ułamkowy (rys. 25)? Czy na jakimkolwiek etapie wprowadzono dyskretyzację tej wartości, tak aby zapas nie odnosił się do ułamkowych części dostępnych sztuk towarów? Jakich efektów wtedy należy się spodziewać?
- 9) Jaka jest metodologia doboru granicznych wartości dla funkcji przynależności z [A12] problem (10).

Podział etapów badań i sposób ich raportowania jest prawidłowy, materiał ilustracyjny jest bogaty i czytelny, a przedstawiona w każdej publikacji bibliografia jest reprezentatywna dla problematyki poruszanej przez Autorkę.

Praca nie ma zasadniczych wad, można jednak wykazać drobne uchybienia lub elementy dyskusyjne (odnośniki podano albo względem omówienia składowych rozprawy, albo odnosząc się do artykułów z cyklu, co należy traktować jako tożsame):

- w trakcie czytania rozprawy „model” często jest stosowany zamiennie z terminem „obiekt” – czy magazyn może być przedstawiony jako obiekt, czy też można go jedynie modelować i wprowadzając odpowiednie uproszczenia, przedstawiać w taki czy inny sposób?
- s. 8₂ – czy elementy są nieliniowe, czy też to opis jest podawany za pomocą funkcji nieliniowej?



- s. 9₈ – dane odnoszące się do ilości marnowanej żywności są niereprezentatywne bez podania wartości w skali względnej;
- s. 19, [A1, (6)] nie podają informacji o włączeniu $d(t)$ do modelu inaczej niż w sposób opisowy;
- s. 19⁷⁻⁸ – zdanie jest niegrammatyczne i nie wiadomo na czym polega nieznamość funkcji $d(t)$; patrz również [A1, nad wzorem (1)];
- s. 20₄ – zmienna stanu nie może przechowywać informacji, ale co najwyżej być skojarzona z pewną informacją;
- s. 26, wzór (7) – powoduje wprowadzenie niepewności w nomenklaturze – czy to jest stan, czy jego składowa, czy tylko dodatkowa zmienna, która umożliwia moderowanie wartości opóźnienia?
- rys. 5 – symbol k nie ma podanej skali [dni];
- rys. 7 i pozostałe – w części zasadniczej opracowania część opisów na rysunkach jest po polsku, część po angielsku, co tworzy wrażenie braku spójności;
- zebrane w części zasadniczej opracowania zbiór informacji z poszczególnych artykułów nie pozwalają na łatwą identyfikację czy przykładowo k_1, k_2, k_3 z rys. 7 mają interpretację jak na rys. 4, gdzie były to konkretne wzmocnienia regulatora;
- rys. 8 nie definiuje co znajduje się w części (a) a co w (b);
- rozdział 3.3.3 (s. 33) ma myląca nazwę – pojawia się trudność zinterpretowania tego czym jest długie zmienne opóźnienie (i co jeżeli zmieni się na „krótkie”?);
- rys. 23 – jaką metodę optymalizacji wybrano do poprawy położenia funkcji przynależności, jak wyglądała funkcja celu, jakie narzucono ograniczenia, ile zmiennych decyzyjnych i jak były dobierane?
- [A2, p. 3] – czy można wyróżnić opóźnienia, które można uniknąć/zaniechać?
- [A2, p. 4] – nie tyle wskaźnik jakości procesu ma być optymalny, co jego wartość ma być optymalna, a skoro wprowadzone zostają dwa wskaźniki, może bezpieczniej powiedzieć o rozwiązaniu zapewniającym najlepszy kompromis?
- [A6, rys. 6] jest zupełnie nieczytelny i nie pozwala odczytać przebiegu frontu Pareto dla niewielkich wartości j_2 ;
- [A7, s. IV] stwierdza, że model optymalizacyjny powinien być prosty jak tylko się da - dlaczego więc Doktorantka korzysta z dwóch, a nie jednej funkcji celu i czemu zmienne decyzyjne są tak, a nie inaczej dobierane?
- [A8, p. 4.3] przedstawia horyzont wyrażony w dniach, będący na poziomie 14 – czy to nie za mało, biorąc pod uwagę inne składowe rozprawy – raportowane są wyniki badań z setek dni; czy zbyt duża wartość tego horyzontu będzie powodowała efekt uśredniający? Dodatkowo, dlaczego oś pozioma na rysunku 5 jest skalowana tylko do 22?

5. Ocena końcowa i wniosek

Mimo przedstawionych powyżej uwag krytycznych, które nie dotyczą zasadniczego dorobku Doktorantki, uważam, że postawiony cel pracy ma charakter naukowy i został zrealizowany. Praca stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego, Doktorantka wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej, ma bardzo dobre przygotowanie z zakresu technik modelowania, sterowania oraz opanowała ogólną wiedzę teoretyczną umożliwiającą prawidłowe wykorzystanie metod sztucznej inteligencji.

Wobec powyższych uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Elżbiety Chołodowicz pt. *Sterowanie procesem dystrybucji produktów o zróżnicowanej trwałości w warunkach zmiennego popytu i opóźnień dostaw z uwzględnieniem niepewności układu oraz z wykorzystaniem metod optymalizacji jedno- i wielokryterialnej* spełnia właściwe ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim oraz mieści się w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



/Dariusz Horla/