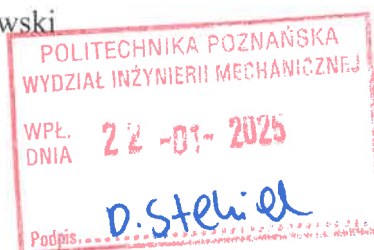


Prof. dr hab. inż. Józef Kuczmarszewski
emerytowany profesor
Politechniki Lubelskiej

Lublin, 2025 – 01 - 15



**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Artura Mellerera „SYSTEM
ADAPTACYJNEGO STEROWANIA WYBRANYM PROCESEM PRODUKCJI
Z ZASTOSOWANIEM TECHNOLOGII CYFROWYCH W ŚREDNIEJ WIELKOŚCI
PRZEDSIĘBIORSTWIE METALOWYM”**

Promotor: prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko, dr h.c., prof. h.c.

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Marcin Suszyński

1. Podstawy formalne i ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzję wykonano na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej wyrażone w piśmie DIM.075.290.2024, oraz w umowie o dzieło 0600/2024/274, które podpisał Dziekan Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr hab. inż. Bartosz Gapiński, prof. Politechniki Poznańskiej.

2. Informacja o ocenianej rozprawie doktorskiej

2.1. Tytuł rozprawy, ocena układu treści, zakresu i struktury rozprawy

Analizowana rozprawa doktorska mgr inż. Artura Mellerera, wykonana w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy”, pod tytułem „System adaptacyjnego sterowania wybranym procesem produkcji z zastosowaniem technologii cyfrowych w średniej wielkości przedsiębiorstwie metalowym” została napisana na 164 stronach maszynopisu i zawiera:

Spis treści

Streszczenie (w języku polskim i angielskim)

1. Wprowadzenie
2. Analiza literatury związanej z tematem rozprawy
3. Cel i zakres pracy
4. Proces produkcji korpusu wodomierza w FAS
5. Wdrożenie: Zintegrowany system do adaptacyjnego sterowania procesem produkcji korpusów wodomierza

6. Walidacja systemu do adaptacyjnego sterowania produkcją korpusu wodomierza
7. Podsumowanie uzyskanych wyników i plan dalszych działań

Załączniki

Spis rysunków

Spis tabel

Spis załączników

Bibliografia.

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko, dr h.c., prof. h.c., promotorem pomocniczym dr hab. inż. Marcin Suszyński.

Struktura rozprawy jest typowa dla prac naukowo-badawczych o charakterze wdrożeniowym. Po zdefiniowaniu problemu, genezy i tytułu rozprawy, to zawarto we wprowadzeniu, Doktorant przeprowadza analizę stanu wiedzy, następnie szczegółowo omawia stan aktualny procesu produkcji korpusu wodomierza w Fabryce Armatur „Swarzędz”. Następnie Doktorant definiuje istotę i cele adaptacyjnego sterowania procesem produkcji korpusu wodomierza w kontekście poprawy efektywności przedsiębiorstwa. W tym zakresie omawia wspomaganie decyzji, metody pozyskiwania danych, metody oceny stanu procesu, definiuje podstawowe cechy wskaźników efektywności. W kolejnym etapie definiuje założenia projektowe procesu cyfryzacji produkcji korpusu wodomierza w warunkach FAS. Efektem tych prac analityczno-badawczych i projektowych jest wdrożenie zintegrowanego systemu do adaptacyjnego sterowania procesem produkcji korpusów wodomierza oraz następnie jego walidacja. Rozprawę kończy podsumowanie oraz dalsze plany badawcze Doktoranta. Układ rozprawy jest logiczny, kolejne etapy prac są naturalnym następstwem postępu w analizach, projektowaniu i badaniach. Z formalnego punktu widzenia rozprawa spełnia kryteria prawne.

2.2. Ocena celu rozprawy, hipotezy badawczej oraz zastosowanych metod pracy badawczej

Cel rozprawy jest przedstawiony w sposób konkretny i nie budzi wątpliwości. Rozprawa ma charakter wdrożeniowy, ale zastosowane metody analizy oraz zaproponowany zakres rozwiązań zawierają także istotne elementy o charakterze naukowym, co jest istotne dla tego typu rozpraw. Tezę badawczą Doktorant przedstawił na str. 43 rozprawy i brzmi ona następująco: *Adaptacyjne sterowanie procesem produkcji zwiększa efektywność procesu produkcji oraz poziom jakości produkowanych wyrobów.* Teza jest poprawna, ale jeżeli przyjąć, że sprzężenie zwrotne, które jest istotą sterowania adaptacyjnego, z założenia ma skrócić czas reakcji na niepożądane stany w procesie, to posiada ona pewne cechy oczywistości i nie wymaga nadmiernego dowodu. Zastosowane metody pracy badawczej są poprawne,

Doktorant wykazał się umiejętnością głębokiej i wysoko przeze mnie ocenianej analizy stanu procesu, umiejętnością definiowania obszarów funkcjonowania przedsiębiorstwa, w których można poszukiwać poprawy efektywności, oraz umiejętnością syntetycznego, systemowego i holistycznego spojrzenia na proces produkcyjny.

Wysoko oceniam logikę w realizacji zadań jakie kolejno podejmuje Doktorant. Kolejność procesu badawczego, następstwo prac jako efekt wniosków z prac poprzedzających, zasługują na uznanie. Tytuł rozprawy mógłby być nieco krótszy, bez szkody dla jej istoty, nadmiernie żargonowo brzmi także określenie „przedsiębiorstwo metalowe”, to zbyt duży skrót myślowy.

2.3. Ocena wykorzystanego piśmiennictwa oraz opisu stanu wiedzy

Analizowana literatura obejmuje 152 pozycje, jest to wystarczające jak na przyjęte standardy dla tego typu rozpraw doktorskich. Jest to literatura bardzo zróżnicowana, ale należy podkreślić, że dominują pozycje z ostatnich 10 lat. Jest to więc literatura aktualna i dobrze skorelowana z merytoryczną zawartością rozprawy. Sposób przywoływania poszczególnych pozycji, najczęściej pojedynczo, dojrzałość wyboru treści, daje ogólnie pozytywny obraz Kandydata, świadcząc o jego zaawansowanej wiedzy, umiejętności formułowania wniosków i umiejętności oceny użytkowej analizowanych treści. Pewien niedosyt budzi brak syntetycznego podsumowania stanu wiedzy w kontekście celów rozprawy, zwłaszcza osobistej oceny, a zwłaszcza krytycznej refleksji Kandydata na temat tego stanu. To nie tylko jest ważnym argumentem do przyznania stopnia naukowego doktora, jako swego rodzaju patentu na samodzielność badawczą, ale także znakomicie ułatwia formułowanie tez lub hipotez badawczych, definiowanie celów oraz zakresu rozprawy.

2.4. Ocena uzyskanych wyników badań oraz poziomu ich naukowej dyskusji

Zaplanowanie i przeprowadzenie obszernego programu prac analitycznych, projektowych oraz walidacji w rzeczywistej przestrzeni przedsiębiorstwa pozwoliło Doktorantowi na realizację zakładanych celów oraz wdrożenie do praktyki przemysłowej szerokich zmian zarówno w warstwie hardwarowej jak i softwarowej. Ważniejsze efekty uzyskane przez Doktoranta są następujące:

- A. Przeprowadzona w szerokim zakresie cyfryzacja technologii produkcji korpusu wodomierza wspomagająca adaptacyjne sterowanie procesem podejmowania decyzji pozwoliła na poprawę efektywności przepływu informacji pomiędzy różnymi elementami systemu.

- B. Doktorant kompetentnie przeprowadził diagnozę czynników wpływających na efektywność pracy przedsiębiorstwa oraz opracował odpowiednie, mierzalne wskaźniki tej efektywności.
- C. Opracowany system hierarchicznej struktury wskaźników może być podstawą do budowy cyfrowych bliźniaków dla innych technologii, także w innych przedsiębiorstwach.
- D. Wdrożony system adaptacyjnego sterowania procesem produkcji korpusu wodomierza oraz skuteczna walidacja tego procesu jest wymiernym dla przedsiębiorstwa osiągnięciem Doktoranta.
- E. Przeprowadzone zmiany w architekturze sieciowej oraz dodatkowe wyposażenie hardwarowe niezbędne do wdrożenia systemu są dowodem kwalifikacji Doktoranta w zakresie implementacji technologii cyfrowych do praktyki produkcyjnej. To kosztowne zmiany, szkoda, że Doktorant nie przedstawił bliżej źródeł finansowania tego dodatkowego wyposażenia.

Należy podkreślić, że w każdym obszarze prac niezbędnych do uzyskania efektów przedstawionych w pkt A-E, Doktorant wykazał się kompetencjami, a dyskusja wyników jest na dobrym poziomie.

2.5. Ocena wartości praktycznej uzyskanych wyników

Jako miary poprawy efektywności procesu wytwarzania korpusu wodomierza w FAS Doktorant przyjął trzy kwantytatywne wskaźniki: czas przejścia materiału w procesie, czyli czas jaki upływa od momentu przyjęcia materiału do magazynu do czasu dostarczenia wyrobu gotowego do klienta, wskaźnik braków oraz ogólną efektywność wyposażenia. Z przeprowadzonych badań walidacyjnych wynika, że po wprowadzeniu autorskich zmian w systemie sterowania procesem produkcji wszystkie wymienione wskaźniki uległy znaczącej poprawie. Dane te, w postaci liczbowej zostały przez Doktoranta przedstawione w tab. 6.1 – 6.7. Pozytywna ocena uzyskanych wyników praktycznych wynika wprost z faktu wdrożenia zaprojektowanego i wdrożonego procesu cyfryzacji w FAS. Wysoko oceniam wartość praktyczną uzyskanych wyników. Ocena ta wynika nie tylko z faktu poprawy wskaźników efektywności ale także z dobrze opisanej procedury postępowania w procesie cyfryzacji produkcji. Ta procedura może być dobrym przewodnikiem dla innych firm podejmujących głębokie zmiany w zakresie filozofii zarządzania opartej na cyfryzacji, nie tylko czynności bezpośrednio związanych z inżynierią wytwarzania, ale także w zakresie procesów pomocniczych, logistyki, inżynierii jakości i innych.

2.6. Uwagi do ocenianej rozprawy

2.6.1. Uwagi i sugestie dotyczące otrzymanych rezultatów

Pewne elementy dotyczące interpretacji otrzymanych wyników, ze względu na znaczenie faktu wdrożenia technologii do produkcji seryjnej, wymagają dodatkowych wyjaśnień Doktoranta:

- A. Uważam, że Doktorant powinien dokładniej opisać istotę proponowanego modelu sterowania adaptacyjnego przedstawionego na rys. 4.9. Jak wynika z rysunku, efektem procesu monitorowania jest dynamiczna modyfikacja „Wyznaczanie celów”, co jest istotą sterowania adaptacyjnego. Dotyczy to zarówno celów strategicznych, taktycznych jak i operacyjnych. Uzyskane efekty zależą od czasu reakcji na symptomy zmian w procesie oraz personalizacji odpowiedzialności za oczekiwaną reakcję. Doktorant wprowadził napis, że istnieją oprogramowane algorytmy decyzyjne, ale brak jest bliższej informacji o tych algorytmach.
- B. Co Doktorant sądzi o możliwości wykorzystania sztucznej inteligencji w obszarze korekcji celów w przedstawionym na rys. 4.9 modelu sterowania adaptacyjnego? Czy nie skróciłoby to wspomnianego czasu reakcji na niekorzystne symptomy przebiegu procesu i nie unowocześniłoby przeprowadzonego procesu cyfryzacji?
- C. Pewnego uporządkowania wymagają metryki opisu wskaźników przedstawione w tab. 4.3 – 4.5. Dla celów praktyki produkcyjnej można to zaakceptować, ale rozprawa doktorska jest pracą naukową i należy dochować odpowiednich standardów zapisu. Jako przykład podaję zapis z tab. 4.4, jeżeli jednostką miary wskaźnika S.C. jest %, a wzór do obliczenia tego wskaźnika ma postać $S.C. = SQ/PQ$ to otrzymany wynik nie będzie wyrażony w %. Uwaga ta dotyczy także współczynnika OEE.
- D. Dodatkowych wyjaśnień wymaga zależność (4.1), str. 75. Doktorant nie przywołuje źródła skąd zaczerpnął ten wzór, sądzę więc, że jest to wzór własny. W oparciu o jaki rozkład obliczono minimalną liczebność próby i czy jest on adekwatny do prowadzonych analiz?

2.6.2. Uwagi redakcyjne

Rozprawa, w ocenie ogólnej napisana jest bardzo starannie, mało występuje tzw. „literówek”, pomijam je jako nieistotne dla wartości rozprawy, zdania są logiczne, Doktorant stosuje poprawną terminologię techniczną. Na niektóre jednak usterki, zgodnie z zasadami redagowania prac naukowych, zwracam uwagę:

- w rozprawie Doktorant używa wielu skrótowców, korzystne byłoby zamieszczenie ich wykazu wraz z rozwinięciem, znacznie ułatwiłoby to analizę treści,
- Doktorant używa zamiennie różnych określeń dla swojej rozprawy: praca, rozprawa, dysertacja, Doktorant na stronie tytułowej swoje dzieło określił jako rozprawa i należy konsekwentnie takie określenie stosować,
- jest trochę błędów w redakcji zdań, np. str. 56, przytaczam fragment zdania „np. poprzez dzięki wykorzystaniu”,
- str. 72 jest WPP, powinno być WPR.

3. Ocena osiągnięć Doktoranta w aspekcie wymagań prawnych (wiedza, umiejętność prowadzenia badań, redagowanie prac , naukowa dyskusja wyników)

Biorąc pod uwagę ocenę rozprawy w kontekście spełniania wymagań w rozumieniu Art. 186 pkt 1-5 oraz 187 pkt 1- 4 Ustawy o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia z dnia 20 lipca 2018 roku, Dziennik Ustaw RP z dnia 30 sierpnia 2018 roku, poz. 1668, jak też standardy zawarte w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku, Dziennik Ustaw RP z 30 stycznia 2018 roku, poz, 261, w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora, należy stwierdzić, że Doktorant spełnił te wymagania poprzez:

1. Skuteczne i na dobrym poziomie, w aspekcie wymagań prawnych, rozwiązanie problemu naukowo-technicznego, o charakterze analityczno-eksperymentalnym, poprzez autorskie opracowanie i wdrożenie adaptacyjnego sterowania procesem produkcji korpusu wodomierza w przedsiębiorstwie FAS.
2. Doktorant wykazał się adekwatną do standardów przewodu doktorskiego wiedzą ogólną i szczegółową, odpowiadającą specyfice dyscypliny w której ubiega się o stopień naukowy doktora. Wiedza ta zawarta jest w obszernym omówieniu, na podstawie 152 pozycji literatury, stanu wiedzy w interesującym Doktoranta obszarze, kompetentnie cytowanych źródłach, także w procesie projektowania i wdrażania projektu do praktyki produkcyjnej, ocenie i interpretacji uzyskanych wyników, logice wywodów i formułowaniu wniosków.
3. Doktorant wykazał, że potrafi samodzielnie formułować zadania badawcze, logicznie zaplanować konieczne prace, wykorzystywać nowoczesne narzędzia w zakresie cyfryzacji produkcji oraz rozwiązywać złożone problemy w problematyce doskonalenia procesów wytwarzania.

4. Doktorant wdrożył zaprojektowany system do praktyki przemysłowej, dodatkowe aspekty Jego osiągnięć przedstawiono w pkt 2.4, spełnił więc kluczowy warunek przyjęty dla „doktoratu wdrożeniowego”. Dobrze byłoby jednak, aby Doktorant zamieścił w załącznikach jakąś formę potwierdzenia ze strony FAS o wdrożeniu opisywanego systemu lub przynajmniej potwierdzenie o pozytywnym zakończeniu Umowy nr DWD/4/22/2020.

Analizując wiedzę zawartą w rozprawie doktorskiej oraz cytowanym piśmiennictwie nie ulega wątpliwości, że jest ona dobrze skorelowana z istotą dyscypliny inżynieria mechaniczna. W efekcie całościowego spojrzenia na ocenianą rozprawę doktorską uważam, że stanowi ona wartościowe opracowanie o charakterze naukowym i aplikacyjnym, wzbogaca wiedzę Doktoranta w ważnym obszarze inżynierii mechanicznej, jest też dowodem na innowacyjne spojrzenie Autora na problemy nowoczesnego wytwarzania.

4. Wniosek końcowy

Przeprowadzone prace studialne, analiza teoretyczna, i przeprowadzone, według własnych koncepcji, prace projektowe i wdrożeniowe, w odczuciu opiniującego stanowią zamkniętą i logiczną część ważnej problematyki w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Uważam, że wykonanie tej pracy wzbogaca wiedzę Doktoranta o złożonych zjawiskach w procesie implementacji technologii cyfrowych do praktyki gospodarczej. Jest także ważnym opracowaniem dla praktyki przemysłowej.

Analizowana rozprawa doktorska, w przekonaniu opiniującego, w dobrym stopniu spełnia wymagania w rozumieniu przepisów prawa przedstawionego w pkt. 3 recenzji i wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Artura Mellerera do jej publicznej obrony w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*.



