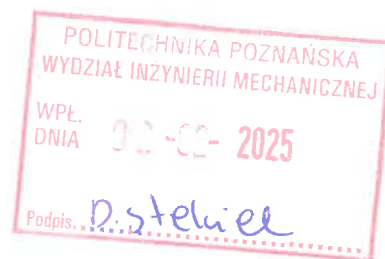


dr hab. inż. Dariusz Plinta, prof. UBB
Katedra Inżynierii Produkcji
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki
Uniwersytet Bielsko-Bialski
ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała



Recenzja
rozprawy doktorskiej
mgr inż. Huberta Kędziora
p.t.

Inteligentny system nadzorowania zautomatyzowanego procesu
technologicznego konfekcjonowania wyrobów

Promotor: dr hab. inż. Małgorzata Jasiulewicz-Kaczmarek
Promotor pomocniczy: dr inż. Justyna Trojanowska

Recenzję opracowano na podstawie umowy o dzieło nr 0600/2025/296.

1. Formalna prezentacja rozprawy, uwagi ogólne

Tematyka pracy jest związana z opracowaniem i wdrożeniem inteligentnego systemu nadzorowania zautomatyzowanego procesu technologicznego konfekcjonowania wyrobów w przedsiębiorstwie Mróz S.A.

Przedstawiona do recenzji praca składa się z wprowadzenia, 6 rozdziałów zawartych na 162 stronach tekstu wraz z dziesięcioma załącznikami, spisami rysunków, tabel i załączników oraz z wykazem literatury liczącym 149 pozycji. Układ pracy, sposób ujęcia tematu w poszczególnych rozdziałach jest prawidłowy.

W kolejnych rozdziałach zawarto treści związane z analizą literatury z tematyki pracy, oraz z opisem badań własnych. W rozdziale pierwszym prawidłowo przedstawiono ogólnie problematykę procesu konfekcjonowania mającego istotny wpływ na zapewnienie jakości i efektywność wytwarzania. Zaprezentowano genezę tematu, problem badawczy, cele pracy oraz jej strukturę.

Rozdział drugi zawiera analizę literatury związanej z tematyką nadzorowania procesów produkcyjnych oraz z tematyką procesów konfekcjonowania. Bardzo dobrze scharakteryzowano tu ewolucję podejść do nadzorowania procesów produkcyjnych w kontekście rewolucji przemysłowych, kluczowe funkcje i architekturę systemów nadzorowania procesów technologicznych. Szczególną uwagę zwrócono na metody oceny skuteczności procesów nadzorowania oraz wykorzystanie wskaźników efektywności technicznej, organizacyjnej i informacyjnej. W rozdziale zawarto również ogólną

charakterystykę procesów konfekcjonowania, ich znaczenie, wyzwania operacyjne i jakościowe, wykorzystywane metody i narzędzia oraz perspektywy rozwoju systemów nadzorowania procesów konfekcjonowania. Zawarte w rozdziale opisy stanowią bardzo dobre wprowadzenie do badań własnych, w tym do opracowania projektu wdrożenia nowego inteligentnego systemu nadzorowania procesu konfekcjonowania wyrobów, projektu opisanego w kolejnych rozdziałach pracy.

Rozdział trzeci prawidłowo definiuje założenia projektowe nowego systemu. Pokazano w nim koncepcję inteligentnego systemu, środowisko wdrożeniowe, w tym zakład produkcyjny, infrastrukturę linii badawczej oraz bariery techniczne i organizacyjne. Do projektu wybrano operacje ważenia, pakowania i etykietowania. Pokazano koncepcję systemu, wymagania projektowe oraz założenia pięciu modułów funkcjonalnych, które razem stworzą spójną koncepcję systemu nadzorowania.

Kolejny czwarty rozdział opisuje szczegółowo budowę zaprojektowanego systemu. Bardzo dobrze opisano tu szczegóły następujących modułów funkcjonalnych: modułu nadzorowania masy porcji, modułu detekcji nieszczelności metodami wizyjnymi, modułu predykcji oceny ryzyka występowania mikronieszczelności, modułu kontroli etykiet oraz modułu automatycznego odrzutu wyrobów niezgodnych. Dodatkowo przedstawiono aspekty cyberbezpieczeństwa i ochrony danych.

W kolejnym piątym rozdziale przedstawiano etap weryfikacji i walidacji działania systemu w warunkach przemysłowych. Prawidłowo dokonano oceny skuteczność poszczególnych modułów i całego systemu. Analiza wykazała poprawę wskaźników jakości i efektywności, redukcję przeważań surowca oraz skuteczność predykcji i klasyfikacji wad.

Ostatni szósty rozdział stanowi bardzo dobre opracowanie podsumowania uzyskanych wyników, wniosków poznawczych, wniosków użytkarnych oraz kierunków dalszych prac.

Przedstawiona w pracy problematyka tworzenia inteligentnych systemów nadzorowania zautomatyzowanych procesów technologicznego pokrywa się z współczesnymi koncepcjami doskonalenia procesów produkcyjnych, w szczególności z koncepcją Przemysłu 4.0. W zaproponowanym rozwiązaniu zastosowano nowoczesne technologie związane z cyfrową akwizycją danych, wykorzystaniem systemów wizyjnych, opracowaniem modeli predykcyjnych i diagnostycznych, które łącznie tworzą jeden zintegrowany system. Jego wdrożenie umożliwiło znaczną poprawę stabilności i efektywności procesu konfekcjonowania wyrobów. Z tego punktu widzenia tematyka recenzowanej rozprawy jest istotna i aktualna.

2. Ocena zamierzenia badawczego

Zamierzenia badawcze prawidłowo opisano na początku pracy. W rozdziale pierwszym przedstawiono genezę tematu, problem i pytania badawcze oraz sformułowano cel główny wraz z celami szczegółowymi.

Jako główny cel pracy przyjęto zaprojektowanie i wdrożenie inteligentnego systemu nadzorowania procesu konfekcjonowania, który integruje różne źródła danych, wykorzystuje metody analityczne i sztuczną inteligencję oraz wspiera operatorów w podejmowaniu decyzji w czasie rzeczywistym. Dla osiągnięcia przedstawionego celu konieczne było

przeprowadzenie szeregu badań, które miały odpowiedź na zdefiniowane trzy następujące pytania badawcze:

1. Jakie czynniki determinują efektywność i stabilność procesu konfekcjonowania oraz charakterystyki jakościowe wyrobów?
2. Jakie dane procesowe są kluczowe dla skutecznego identyfikowania niezgodności w zautomatyzowanym procesie konfekcjonowania?
3. Jakie narzędzia i metody będą w sposób skuteczny wspierać nadzorowanie parametrów procesu konfekcjonowania?

Odpowiedź na powyższe pytania umożliwiła zidentyfikowanie ograniczeń dotychczasowych funkcjonujących rozwiązań oraz opracowanie koncepcji nowych rozwiązań w warunkach rzeczywistych konkretnego przedsiębiorstwa.

Na podstawie analizy stanu obecnego prawidłowo zdefiniowano potrzebę opracowania koncepcji inteligentnego systemu nadzorowania zautomatyzowanego procesu konfekcjonowania wyrobów oraz jej weryfikacji w warunkach przemysłowych. Zaproponowano wdrożenie nowego systemu, który będzie wykorzystywał metody zaawansowanej analizy danych oraz metody sztucznej inteligencji. Jako cele szczegółowe projektu prawidłowo założono:

1. Identyfikację krytycznych operacji i parametrów procesu konfekcjonowania, które wymagają nadzorowania.
2. Określenie i ustandaryzowanie zbioru parametrów technologicznych o decydującym wpływie na stabilność procesu oraz jakość wyrobów.
3. Zaprojektowanie i uruchomienie systemu cyfrowej akwizycji danych z urządzeń i czujników linii, zapewniającego ciągłość zapisu, jednoznaczną identyfikację i synchronizację czasową.
4. Dobór i weryfikację metod nadzorowania, umożliwiających detekcję odchyleń w czasie rzeczywistym oraz ocenę ryzyka powstania niezgodności.
5. Integrację modułów w spójny system nadzorowania.
6. Walidację systemu w środowisku produkcyjnym na podstawie uzgodnionych wskaźniki jakości i efektywności procesu.

W kolejnych rozdziałach recenzowanej pracy bardzo dobrze przedstawiono przeprowadzone analizy oraz zaproponowane rozwiązania spełniające wszystkie założone wymienione wyżej cele.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Stronę merytoryczną recenzowanej pracy oceniam pozytywnie. Uzyskane wyniki badań dotyczących analizy czynników wpływających na efektywność procesów konfekcjonowania, wyniki analiz literaturowych, metodyka badania zależności czynników wpływających na efektywność procesu konfekcjonowania, projekt inteligentnego systemu nadzorowania zautomatyzowanego procesu konfekcjonowania wyrobów i jego weryfikacja w realnym przedsiębiorstwie produkcyjnym, mogą przynieść wymierne korzyści w praktyce produkcyjnej.

Rozprawa stanowi przykład skutecznego wdrożenia architektury warstwowej i modułowej zgodnie z koncepcją Przemysłu 4.0, pokazując jednocześnie jej potencjał dostosowania do różnych linii technologicznych i branż przemysłowych. Przedstawione w ramach pracy analizy oraz zaproponowane rozwiązania mogą znaleźć zastosowanie w analizach funkcjonowania różnych przedsiębiorstw produkcyjnych, w których występują zautomatyzowane procesy.

Głównymi osiągnięciami autora są rozwiązania zweryfikowane i wdrożone w środowisku produkcyjnym, w tym opracowanie modelu predykcyjnego mikronieszczelności opakowań opartego na regresji logistycznej oraz opracowanie modelu inspekcji wizyjnej bazującego na konwolucyjnych sieciach neuronowych, w którym zastosowano klasyfikatory umożliwiające skuteczne rozróżnianie jednostek zgodnych i niezgodnych.

Na uwagę zasługuje kompletność przeprowadzonych badań od analizy literatury związanej ze scharakteryzowaniem nadzorowania procesów konfekcjonowania, identyfikacji problemów, opracowania projektu, przez weryfikację i walidację wdrożonych rozwiązań, po podsumowanie i wnioski z przeprowadzonych analiz.

W pracy wystąpiły pewne nieścisłości, których część ma charakter dyskusyjny. Są nimi uwagi, które zestawiono poniżej w grupy odnoszące się do poszczególnych części dysertacji.

Rozdział związany z przeglądem aktualnego stanu wiedzy (rozdział 2)

Tą część pracy uważam za poprawną. Zaletą tej części pracy jest bardzo dobrze opracowana charakterystyka systemów nadzorowania procesów produkcyjnych oraz systemów konfekcjonowania wyrobów.

Za dyskusyjne w tej części pracy uważam sposób przedstawienia metod oceny skuteczności funkcjonowania przedsiębiorstw oraz wybranych wskaźników KPI, które w każdym przedsiębiorstwie powinny tworzyć spójny system pomiaru wydajności, jakości, niezawodności i ekonomiki procesów. Różne przedsiębiorstwa mają różne cele i priorytety, które determinują wybór kluczowych wskaźników produkcyjnych. Warto byłoby uzupełnić analizę o np. ocenę istotności wskaźników, z szczególnym odniesieniem do analizowanego przedsiębiorstwa i procesów konfekcjonowania.

Podobnie jest z integracją różnych systemów wspomagających procesy technologiczne. Istnieje wiele opracowań teoretycznych opisujących ogólnie ideę integracji lub są to studia przypadków. Brakuje praktycznych rozwiązań systemów łączących akwizycję, analitykę i sterowanie z poziomu całego procesu, a nie pojedynczej maszyny lub operacji. Warto byłoby zaproponować ideę takiego zintegrowanego systemu, która byłaby punktem wyjścia do części badawczej pracy.

Zbyt ogólnie przedstawiono ideę inteligentnego systemu oraz wykorzystania algorytmów opartych na sztucznej inteligencji. Skupiono się na charakterystyce architektury „inteligentnych” aplikacji, w której wyróżniono warstwę sztucznej inteligencji. Warto byłoby jeszcze bardziej szczegółowo przedstawić jej działanie i uzyskiwane efekty.

Pytania:

W jaki sposób zidentyfikowano najważniejsze wskaźniki KPI i które z nich są istotne z punktu widzenia procesów konfekcjonowania?

W jaki sposób można byłoby zintegrować w jednym systemie informatycznym wybrane do badań metody i narzędzia?

Jakie są efekty zastosowania sztucznej inteligencji w automatyzacji procesu konfekcjonowania?

Rozdziały związane z badaniami własnymi (rozdziały 3-6)

Rozdziały te zawierają szczegółowy opis przeprowadzonych badań, od koncepcji projektu, przez budowę systemu do walidacji i oceny jego działania.

W przedstawionych obliczeniach przyjęto uproszczone założenia, zaokrąglenia i uśrednienia, dlatego wyniki mogą być obarczone błędem oszacowania. Celem kalkulacji było jednak wskazanie rzędu wielkości korzyści ekonomicznych w analizowanych obszarach, co uzasadnia tego typu uproszczenia. Uszczegółowienie analiz może być przedmiotem przyszłych badań.

Uzyskane wyniki jednoznacznie potwierdzają, że wdrożenie zintegrowanego systemu nadzoru łączy aspekt jakościowy z ekonomicznym i przekłada się na wymierne korzyści dla przedsiębiorstwa. Dla pełniejszej oceny wdrożonego inteligentnego systemu nadzorowania procesu konfekcjonowania wyrobów przeprowadzono analizę SWOT, którą można byłoby bardziej szczegółowo opracować np. przez bardziej szczegółowy opis zestawionych czynników oraz opracowanie dalszej strategii rozwoju wdrożonych rozwiązań.

Pytania:

Jakie są możliwości wykorzystania opracowanego systemu w innych procesach np. w procesach obróbki i montażu?

Jakie czynniki mają wpływ na koszty oraz opłacalność wdrożenia inteligentnego systemu nadzorowania zautomatyzowanego procesu technologicznego?

Jakie czynniki mają wpływ na wydajność, produktywność oraz koszty przyszłego funkcjonowania zaprojektowanego inteligentnego systemu nadzorowania zautomatyzowanego procesu technologicznego?

Jakie są możliwości dalszego rozwoju zaprojektowanego i wdrożonego systemu?

Rozdział związany z podsumowaniem i wnioskami końcowymi

Przeprowadzone analizy, ich podsumowanie i wnioski końcowe uważam za właściwe.

W wyniku przeprowadzonych analiz prawidłowo zidentyfikowano zależności pomiędzy parametrami technologicznymi a stabilnością procesu, w szczególności potwierdzono możliwość zastosowania metod sztucznej inteligencji w środowisku przemysłowym oraz

opracowano przykład skutecznego wdrożenia architektury warstwowej i modułowej zgodnej z koncepcją Przemysłu 4.0.

Prawidłowo sformułowano wnioski poznawcze, odnoszące się do wymienionej wyżej identyfikacji zależności między parametrami procesu a jego stabilnością oraz wnioski utylitarne, związane z opracowaniem i wdrożeniem zaprojektowanego systemu spełniającego założone cele praktyczne.

Zaproponowane rozwiązania oraz uzyskane wyniki badań mogą zostać wykorzystane w innych przedsiębiorstwach o podobnej zautomatyzowanej produkcji. Mogą być również podstawą do dalszych analizy, usprawnienia kolejnych procesów, ich automatyzacji, zastosowania technik wizualizacji i sztucznej inteligencji.

4. Literatura

Zestaw źródeł bibliograficznych (149 pozycji) uważam za prawidłowy, aktualny oraz wystarczający do przedstawienia tematyki pracy.

5. Uwagi redakcyjne

Praca jest dobrze zredagowana, zawiera jednak drobne niedociągnięcia. Przykładowo są to:

- drobne błędy literowe;
- niekompletne wzory zestawione w tabeli 2.3 – np. we wzorach wskaźnika FPY, OTD, CCR, RCR i wskaźnika braków brakuje nawiasów otwierających;
- na stronie 39 znajduje się przypis „Matuszek i Opolska (2012)”, a powinno być „Matuszek (2012)”;
- na stronie 68 na rysunku 4.3 powinien być widoczny „panel monitoringu, na którym operator może śledzić wyniki pomiarów w czasie rzeczywistym wraz z sygnalizacją kolorystyczną progów tolerancji”, a jest tylko ekran konfiguracji;
- mało czytelne tabele z danymi (np. na stronie 69 rysunek 4.4 i na stronie 92 rysunek 4.28).

Poza drobnymi błędami redakcyjnymi, praca świadczy o dobrym opanowaniu techniki pisania prac. Zauważone drobne nieścisłości czy błędy redakcyjne nie mają istotnego wpływu na pozytywną ocenę pracy.

6. Wnioski końcowe

Oceniając przedstawioną pracę doktorską pragnę, mimo podanych wyżej uwag, podkreślić następujące jej walory, do których można zaliczyć:

- zasadność podjętej tematyki badawczej,

- znajomość i umiejętność przedstawienia aktualnego stanu zagadnienia,
- praktyczne podejście do rozwiązania problemu.

W pracy autor wykazał się ogólną wiedzą z zakresu „inżynierii produkcji”, w szczególności z obszaru analizy czynników wpływających na efektywność procesu technologicznego konfekcjonowania wyrobów.

Powyższe czynniki skłaniają do stwierdzenia, że praca spełnia wymagania ustawowe (Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o tytule i stopniach naukowych oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki) stawiane pracom doktorskim oraz że doktorant na podstawie przeprowadzonych badań wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Biorąc pod uwagę sformułowane wyżej opinie, stawiam wniosek o uznanie pracy jako spełniającej ustawowe wymagania stawiane rozprawie doktorskiej w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony pracy.

Bielsko-Biała, 22.01.2026 r.


.....