

**dr hab. inż. Dariusz Plinta, prof. ATH**  
**Katedra Inżynierii Produkcji**  
**Wydział Budowy Maszyn i Informatyki**  
**Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej**  
**ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała**

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej**  
**mgr inż. Tomasza Nalewa**  
**p.t.**

**Analiza czynników wpływających na efektywność procesów montażu  
w przedsiębiorstwach produkcyjnych o niskim poziomie automatyzacji**

**promotor pracy: dr hab. inż. Sławomir Kłos prof. UZ**

Recenzję opracowano na podstawie umowy o dzieło nr IIM/D-ka/350/2023 zawartej w dniu 30.03.2023 r.

## **1. Formalna prezentacja rozprawy, uwagi ogólne**

Przedstawiona do recenzji praca składa się z wprowadzenia, 6 rozdziałów zawartych na 190 stronach tekstu wraz z wykazem literatury liczącym 149 pozycji oraz spisem tablic, rysunków i trzema załącznikami.

Układ pracy, sposób ujęcia tematu w poszczególnych rozdziałach jest prawidłowy. Tematyka pracy jest związana z analizą czynników wpływających na efektywność procesów montażu w przedsiębiorstwie o niskim poziomie automatyzacji. Podstawą proponowanego rozwiązania jest analiza rzeczywistych danych produkcyjnych, które umożliwiły budowę modelu predykcji efektywności systemu produkcyjnego dla zadanych parametrów.

Na podstawie analizy literatury w rozdziale pierwszym dokonano prawidłowej charakterystyki produkcji o niskim poziomie automatyzacji. Wskazano rolę przedsiębiorstw branży motoryzacyjnej na współczesnym rynku, dokonano charakterystyki procesów manualnego montażu wiązek elektrycznych dla branży motoryzacyjnej oraz przedstawiono tendencje w zarządzaniu produkcją. Do analizy przyjęto następujące czynniki wpływające na efektywność procesów w przedsiębiorstwach produkcyjnych o niskim stopniu automatyzacji: produktywność, wydajność, absencja pracowników, PPM (ang. parts per milion), reklamacje oraz koszty złej jakości.

W rozdziale drugim prawidłowo scharakteryzowano problem badawczy. Następnie w rozdziale trzecim przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań ankietowych, które

pozwoili na zgromadzenie danych dotyczacych stanu i dzialan w zakresie zwiekszenia efektywnosci produkcji w przedsiebiorstwach o niskim stopniu automatyzacji.

W rozdziale czwartym przedstawiono opracowany model liniowy do predykcji efektywnosci w przedsiebiorstwach produkcyjnych o niskim poziomie automatyzacji oraz wlasna propozycje metodyki badan skladajaca sie z V krokow.

Rozdzial piaty pokazuje implementacje danych rzeczywistych do opracowanego modelu w celu zbadania zaleznosci przyjetych do analizy czynnikow wplywajacych na efektywnosc produkcji. Do weryfikacji poprawnosci opracowanego modelu liniowego wybrano sieci neuronowe ze wzgledu na ich zblizone mozliwosci w eksploracji danych. Weryfikacje koncową przeprowadzono poprzez porownanie predykcji wydajnosci dla symulacji zmiennych poszczegolnych parametrów wyznaczonych poprzez opracowany model i sieci neuronowe. W rozdziale tym przeprowadzono szczegolowa analize otrzymanych wynikow badan.

W rozdziale szostym stanujacym podsumowanie wykazano realizacje celu pracy i uzasadniono uzytecznosc opracowanego modelu badania zaleznosci czynnikow wplywajacych na efektywnosc w przedsiebiorstwach o niskim stopniu automatyzacji.

## **2. Ocena zamierzenia badawczego**

W drugim rozdziale prawidlowo sformulowano problem badawczy, tezy badawcze, pytania badawcze oraz cel i zakres pracy.

Jako glowny cel pracy prawidlowo przyjeto opracowanie liniowego modelu systemu produkcyjnego przedsiebiorstwa o niskim poziomie automatyzacji, ktory umozliwi predykcje efektywnosci procesow montazu na podstawie dlugoterminowej analizy wybranych czynnikow. Natomiast jako cele szczegolowe zalozono:

1. Identyfikacje czynnikow wplywajacych na efektywnosc procesu montazu w przedsiebiorstwach produkcyjnych o niskim stopniu automatyzacji.
2. Zbadanie potrzeb przedsiebiorstw produkcyjnych w zakresie analizy wplywu wybranych czynnikow na efektywnosc produkcji.
3. Okreslenie zaleznosci pomiedzy czynnikami wplywajacymi na efektywnosc procesu montazu w przedsiebiorstwach produkcyjnych.
4. Zbudowanie modeli, liniowego i opartego o sztuczne sieci neuronowe, przedsiebiorstwa produkcyjnego o niskim poziomie automatyzacji, ktore umozliwia predykcje wydajnosci w oparciu o wybrane czynniki efektywnosci.

W kolejnych rozdzialach bardzo dobrze przedstawiono rozwiazania speiniajace wszystkie zalozone wymienione powyzej cele.

Zakres opisanych badan wlasnych autora recenzowanej pracy obejmuje nastepujace dzialania ukierunkowane na przedsiebiorstwa z branzy motoryzacyjnej i procesy o niskim poziomie automatyzacji:

1. Analiza literatury przedmiotu z zakresu roli przedsiebiorstw z branzy motoryzacyjnej w przemyśle.

2. Ogólna charakterystyka zadań montażowych.
3. Identyfikacja czynników wpływających na efektywność produkcji.
4. Analiza potrzeb przedsiębiorstw produkcyjnych w zakresie analizy wpływu wybranych czynników na efektywność produkcji w oparciu o badania ankietowe.
5. Opracowanie modelu liniowego w celu predykcji efektywności procesu montażu.
6. Opracowanie metodyki badania zależności czynników wpływających efektywność procesu montażu.
7. Implementacja rzeczywistych danych produkcyjnych do opracowanego modelu.
8. Analiza zależności badanych czynników wpływających na efektywność.
9. Sformułowanie wniosków dotyczących przeprowadzonej analizy zależności badanych czynników wpływających na efektywność.
10. Weryfikacja poprawności założeń modelu liniowego za pomocą sieci neuronowych.
11. Opracowanie wniosków końcowych oraz wskazanie odpowiedzi na postawione pytania badawcze.

Opracowane w ramach pracy analizy oraz zaproponowane procedury związane z analizą czynników wpływających na efektywność procesów montażu przyczynią się do poprawy funkcjonowania przedsiębiorstwa produkcyjnego. Stąd próbę podjęcia opracowania takiego tematu uważam za uzasadnioną i trafną, wychodzącą naprzeciw zapotrzebowaniu przedsiębiorstw produkcyjnych o niskim poziomie automatyzacji.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

Merytorycznie pracę oceniam pozytywnie. Uzyskane wyniki badań dotyczących analizy czynników wpływających na efektywność procesów montażu, wyniki analiz literaturowych, opracowane metodyki badania zależności czynników wpływających efektywność procesu montażu i jego weryfikacja w realnym przedsiębiorstwie produkcyjnym, mogą przynieść wymierne korzyści w praktyce produkcyjnej.

Przedstawione w ramach pracy analizy mogą znaleźć zastosowanie w analizach funkcjonowania różnych przedsiębiorstw produkcyjnych – nie tylko w analizowanej firmie produkującej wiązki elektryczne dla branży motoryzacyjnej.

Na uwagę zasługuje kompleksowość przeprowadzonych badań od analizy literatury związanej z scharakteryzowaniem produkcji o niskim poziomie automatyzacji, zdefiniowaniem celu pracy i pytań badawczych, badaniem potrzeb przedsiębiorstw w zakresie analizy efektywności produkcji, badaniem zależności czynników wpływających na efektywność w przedsiębiorstwach o niskim poziomie automatyzacji, z implementacją modelu w rzeczywistym przedsiębiorstwie, po podsumowanie i wnioski z przeprowadzonych analiz.

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

## **Rozdziały związane z wprowadzeniem i analizą literatury (rozdział pierwszy z charakterystyką produkcji o niskim poziomie automatyzacji)**

Tą część pracy uważam za poprawną. Zaletą tej części pracy jest bardzo dobra charakterystyka systemu produkcyjnego, systemu zarządzania jakością, ogólnie procesu montażu, oraz szczegółowy opis najważniejszych czynników wpływających na efektywność procesu montażu.

Za dyskusyjne w tej części pracy uważam jednak:

- Niejednoznaczne wstawki dotyczące przedsiębiorstwa, w którym przeprowadzono badania, szczególnie w podrozdziale „1.4. System zarządzania jakością w branży motoryzacyjnej”. Przedstawienie przedsiębiorstwa z użyciem czasu przeszłego, może sugerować, że w przedsiębiorstwie zaszły znaczące zmiany, których opis znajdzie się w kolejnych rozdziałach, nie wiadomo jednak kiedy. Przykładowo napisano, że „zakład spełniał wymagania określone przez swoich klientów dotyczące wyrobów, procesów i działań”. A jak jest obecnie?
- Stosowanie angielskojęzycznych pojęć, np. opisy na rysunkach, jeżeli jest to możliwe, powinny być przetłumaczone na język polski. Przykładowo tytuł osi pionowej na rysunku nr 7 (str.29) powinien być przetłumaczony na „Udział w całkowitym koszcie (%)”.
- Zróznicowanie odwołań do źródeł literaturowych – należałoby je ujednolicić. Przykładowo w tabeli nr 5 na stronie 33 przy jednej z definicji PPM podano opis źródła, a przy pozostałych definicjach znajdują się odnośniki do spisu bibliograficznego. W tabeli nr 6 na stronie 32 w jednej z cytowanych definicji wydajności pozostawiono odwołania do źródeł, których brak w spisie bibliografii.
- Założenie ograniczonej liczby czynników wpływających na efektywność procesu montażu. Wybrano najważniejsze czynniki, ale ich wybór warto byłoby poprzedzić np. przedstawieniem sposobu identyfikacji i analizą porównawczą możliwych czynników wpływających na przebieg procesu montażu.
- Brak bardziej szczegółowego opisu algorytmów Sztucznych Sieci Neuronowych stosowanych w praktyce produkcyjnej, wykorzystanych w badaniach własnych autora opisanych w podrozdziale 5.4 (weryfikacja opracowanego modelu).
- W rozdziale „1.8.6. Koszty złej jakości” przedstawiono definicję i klasyfikację kosztów, do której warto byłoby dodać jeszcze sposób ich wyznaczania.

Pytania:

*W jaki sposób zidentyfikowano i wybrano czynniki wpływającej na efektywność procesu montażu?*

*Jak mógłby wyglądać algorytm kalkulacji składowych kosztów złej jakości (sposób obliczenia: kosztów zapobiegania, koszty oceny, koszty błędów zewnętrznych oraz kosztów błędów wewnętrznych)?*

## Rozdziały związane z badaniami własnymi (rozdziały 2-5)

Rozdziały 2-5 zawierają szczegółowy opis przeprowadzonych badań, od zdefiniowania celu i pytań badawczych, przez ankietowe badanie potrzeb przedsiębiorstw oraz zależności czynników wpływających na efektywność przedsiębiorstwa z niskim poziomem automatyzacji, po opis zaproponowanego modelu analizy efektywności procesu montażu w rzeczywistym przedsiębiorstwie.

Badania ankietowe (zrealizowane w 123 przedsiębiorstwach) potwierdziły potrzebę przeprowadzania analizy czynników wpływających na efektywność procesów produkcji. Na wstępie przeprowadzono kolejną ankietową w analizowanym przedsiębiorstwie produkującym wiązki elektryczne dla branży motoryzacyjnej, która pokazała poziom zadowolenia oraz zaangażowania pracowników w poprawę efektywności. W kolejnych krokach, na przykładowych danych rzeczywistych pokazano przebieg analizy zgodnie z wytycznymi zaproponowanej metodyki. Między innymi, prawidłowo przeanalizowano dynamikę zmian, średnie tempo zmian, oceniono korelację zmiennych oraz określono zależności pomiędzy czynnikami wpływającymi na efektywność procesów montażu. W badanym okresie określono szereg decyzji strategicznych, które umożliwiły bardziej efektywne wykorzystanie posiadanych zasobów oraz lepsze wykorzystanie potencjału przedsiębiorstwa. Następnie zweryfikowano poprawność założeń stworzonego modelu za pomocą sieci neuronowych, które pozwoliły na przeprowadzenie symulacji. Skuteczność oraz zasadność wykorzystania zaproponowanego modelu została potwierdzona wynikami z symulacji.

Przeprowadzone badania wykazały, że zaproponowana metoda umożliwia przeprowadzenie właściwie analizy czynników wpływających na efektywność procesów montażu w przedsiębiorstwach produkcyjnych o niskim poziomie automatyzacji. Potwierdzają to wyznaczone wartości wskaźników, na podstawie których dokonano porównania uzyskanych wyników.

Za dyskusyjne w tej części pracy uważam jednak:

- Ograniczenie stosowania opracowanego modelu do wprowadzania nowych wariantów wyrobów - można byłoby rozszerzyć zastosowania modelu właściwie do każdej zmiany w procesie produkcyjnym, np. przy bieżącym planowaniu realizacji różnych zleceń produkcyjnych.
- Sposób przedstawienia informacji na rysunku nr 33 na stronie 82 (Wykres współczynników uwzględniających zmiany do czasów zadanych) – rysunek przedstawia zestawienie liczby sztuk do wykonania podczas 1 zmiany, czy może w jednej serii (jak w opisie pod rysunkiem) w zależności od zadanych czasów formowania oraz przyjętego wskaźnika. Na rysunku jest widoczna tylko jedna wartość wskaźnika (1,5) przy osi Y. Pozostałe wartości wskaźnika są niewidoczne.
- Ograniczenie sposobu weryfikacji do wykorzystania sieci neuronowych - w celu określenia zależności zachodzących między zmiennymi opisującymi proces produkcyjny stosuje się różne metody i narzędzia, głównie regresję oraz sieci neuronowe. Warto byłoby w pierwszym rozdziale pracy bliżej je przedstawić i uzasadnić wybór sieci neuronowych do weryfikacji opracowanego modelu.

- Dane rzeczywiste, jako wartości wejściowe poddane dalszej analizie, przedstawiono zbyt ogólnie. Niektóre z tych danych są wyznaczane według określonego algorytmu np. koszty złej jakości. Przedstawienie sposobu wyznaczenia takich danych mogłoby pokazać dodatkowe czynniki wpływające na jakość jak i efektywność analizowanego procesu.
- Koszty powinny być podane w jednostkach walutowych, a nie w minutach (tabela nr 8 na stronie 70). Koszty zależą między innymi od liczby minut poświęconych na sortowanie oraz naprawę wadliwych modułów. Aby obliczyć koszty, należałoby wyznaczony czas przemnożyć przez stawkę godzinową pracownika wykonującego wymienione prace. Dodatkowym kosztem mogą być koszty wytworzenia wybrakowanych wyrobów oraz wymienionych nienaprawialnych komponentów.

#### Pytania:

*Jakie są możliwości wykorzystania opracowanego modelu poza rozruchem nowych wariantów wyrobu?*

*Jakie czynniki mają wpływ na wydajność, produktywność oraz powstanie kosztów złej jakości w analizowanym przedsiębiorstwie?*

*W jakim zakresie wykorzystywany jest zaproponowany model analizy czynników wpływających na efektywność procesów montażu w analizowanym przedsiębiorstwie?*

*Jak poprawiła się efektywność procesu po wdrożeniu modelu w analizowanym przedsiębiorstwie?*

### **Rozdział związany z podsumowaniem i wnioskami końcowymi**

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

Uzyskane wyniki badań mogą zostać wykorzystane do predykcji wskaźników wydajnościowych również w innych zakładach o podobnej produkcji wielowariantowej z niskim poziomem automatyzacji.

Opracowany i przedstawiony w rozprawie model analizy czynników wpływających na efektywność procesu produkcyjnego, ma potencjał do oceny wpływu produktu, procesu i czynników ludzkich na jakość, szczególnie przed wdrożeniem zmian w rzeczywistym środowisku. Jest to przydatne narzędzie ułatwiające określanie tendencji zmian podczas uruchomienia nowej produkcji.

Opracowany model oraz uzyskane wyniki badań mogą posłużyć jako podstawa do dalszych analizy w zakładach o niskim poziomie automatyzacji, na przykład do bardziej szczegółowych analiz jakościowych, usprawnienia procesów kontroli, czy opracowania systemu wizualizacji zależności występujących w procesach montażowych.

### **4. Literatura**

Zestawienie źródeł literaturowych uważam za poprawne.

## 5. Uwagi redakcyjne

Praca jest dobrze zredagowana. Poza drobnymi błędami literowymi, stylistycznymi i redakcyjnymi, praca świadczy o dobrym opanowaniu techniki pisania prac. Zauważone drobne nieścisłości czy błędy redakcyjne (np. drobne błędy literowe, stylistyczne, różne wcięcia akapitów) nie mają istotnego wpływu na merytoryczną 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 wykazała się ogólną wiedzą z zakresu „inżynierii produkcji”, w szczególności analizy czynników wpływających na efektywność procesu montażu w przedsiębiorstwach o niskim poziomie automatyzacji.

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 naukowych.

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, 29.05.2023 r.

*Danina Piłk*

.....