

prof. dr hab. inż. Józef Matuszek, dr h.c.  
Katedra Inżynierii Produkcji  
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki  
Akademia Techniczno – Humanistyczna w Bielsku-Białej  
ul. Willowa 2  
43-309 Bielsko-Biała  
tel. [048] (033) 8279253  
e-mail: kip@ath.bielsko.pl

**Recenzja**  
rozprawy doktorskiej  
mgr inż. Krzysztofa Niemca  
p.t.

**Opracowanie metody identyfikacji przyczyn zmienności  
wysokowydajnych ciągłych procesów produkcyjnych**

Promotor pracy: dr hab. inż. Damian Krenczyk, prof. Pol. Śl.

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak, L. Dz. RD<sub>(Me)</sub>: 42/006/2021/2022 z dnia 22.12.2021r.

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

Przedstawiona do recenzji praca składa się z 8 rozdziałów zawartych na 150 stronach tekstu wraz z wykazem literatury liczącym 170 pozycji i streszczeniami pracy. Praca została opracowana w ramach prac naukowo-badawczych prowadzonych w ramach programu „Doktoraty wdrożeniowe”, we współpracy firmy Valmet Automation Sp. z o.o. i Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej.

Układ pracy, sposób ujęcia tematu w poszczególnych rozdziałach można uznać za poprawny, odpowiedni do redakcji prac naukowych. Tematyka pracy jest poświęcona zagadnieniom wczesnego wykrywania wystąpienia awarii maszyn i urządzeń w procesach zautomatyzowanej produkcji papieru. Przedstawiony problem ma jednak pewne cechy ogólne i jako taki jest jednym z najbardziej istotnych elementów procesów zarządzania produkcją jakim jest bezawaryjna praca stanowisk roboczych.

W pracy można wyróżnić pięć części. Część pierwsza - (rozdział pierwszy i drugi) - to wprowadzenie, określenie obszaru badań, przedstawienie celu i zakresu pracy, sformułowanie problemu badawczego oraz przegląd literatury i praktyki produkcyjnej dotyczący zarządzania ciągłym procesem produkcyjnym, procesami produkcji papieru, analizą danych produkcyjnych. W części drugiej, badawczej - (rozdział trzeci, czwarty) - przedstawiono model procesu produkcyjnego realizowanego w wybranej fazie procesu produkcyjnego papieru, przedstawiono metodę identyfikacji symptomów i przyczyn zmienności procesu, opracowano algorytm oceny parametrów realizowanego procesu, określono zasady detekcji i przewidywania występowania anomalii w przebiegu procesu. W części trzeciej, w której zawarto dalszą część przeprowadzonych badań - (rozdział piąty) - przedstawiono przykład implementacji opracowanej w ramach pracy metody postępowania. Przedostatnia część – część czwarta - (rozdział szósty) - to podsumowanie pracy. Na zakończenie pracy (część piąta) zestawiono bibliografię i streszczenia pracy.

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 17 LST 2022

RD/Me/42/57/2022  
nr ..... zał. 2 egz. 2cm.pl

## 2. Ocena zamierzenia badawczego

Głównym celem rozprawy było opracowanie metody doskonalenia ciągłych procesów produkcyjnych opartej na analizie danych produkcyjnych, mającej zapewnić bezawaryjną pracę stanowisk roboczych oraz odpowiednią jakość przebiegu procesu. Celem użytkowym pracy było opracowanie na przykładzie procesu produkcji papieru systemu doradczego, który będzie umożliwiał identyfikację pojawiających się symptomów i możliwych miejsc utraty szeroko rozumianej jakości i wydajności procesu.

Przedstawiona w pracy tematyka nawiązuje do ważnych występujących w praktyce produkcyjnej zagadnień potrzeby opracowania metod identyfikacji symptomów i przyczyn zmienności wpływających na zakłócenia w wysokowydajnych ciągłych procesach produkcyjnych.

Opracowane w ramach pracy zagadnienie ukierunkowane jest na udoskonalenie procesu produkcji papieru. Tematyka ta nie jest przedmiotem zainteresowania wielu badaczy. W ostatnich latach da się zauważyć w tematyce badawczej ośrodków naukowych trend zaniechania tematów specjalistycznych, często niszowych, ściśle powiązanych z praktyką produkcyjną w sensie wdrożeniowym. Taki stan rzeczy można było tłumaczyć, w okresie transformacji krajowej gospodarki, brakiem większego zainteresowania przemysłu do współpracy z uczelniami. Wydaje się jednak że sytuacja aktualnie się zmienia wynika to z faktu pojawienia się istotnego własnego wkładu intelektualnego w produkowane wyroby i stosowane technologie produkcji, organizowania działów rozwoju w firmach, zwłaszcza o krajowym rodzimym kapitale własnościowym. Stąd dla potrzeb rozwoju krajowej gospodarki pojawiło się zapotrzebowanie na specjalistów, ekspertów posiadających specjalistyczną wiedzę, mających doświadczenie produkcyjne, cechujących się dorobkiem wdrożeniowym.

Praca, mimo omawiania specjalistycznych zagadnień ma również pewne cechy uniwersalne. W ostatnich latach w przemyśle znacząco wzrósł nacisk na zapewnienie bezawaryjnej pracy maszyn i urządzeń. Obniżenie liczby awarii i przestojów znacząco wpływa na jakość i wydajność systemów produkcyjnych. Równocześnie wraz z rozwojem nowych technologii monitorowania stanu pracy stanowisk pracy pojawiły się nowe perspektywy rozwoju i opracowania nowych metod i narzędzi detekcji i przewidywania zdarzeń w przebiegu procesów produkcyjnych. Stąd opracowane w ramach pracy autorskie podejście do analiz i zaproponowanego toku postępowania może przyczynić się do podniesienia skuteczności funkcjonowania przedsiębiorstw produkcyjnych.

Podsumowując - próbę podjęcia opracowania uważam za trafną, wychodzącą naprzeciw zapotrzebowaniu gospodarki.

## 3. Ocena merytoryczna rozprawy

Merytorycznie pracę oceniam pozytywnie. Uzyskane wyniki badań, opracowane procedury postępowania wychodzą naprzeciw zapotrzebowaniu praktyki produkcyjnej. Obok kształtowania przebiegu procesu produkcji papieru, przedstawione w ramach pracy analizy mogą znaleźć zastosowanie przy przygotowaniu produkcji i zarządzaniu projektami wdrażania do produkcji nowych stanowisk roboczych.

Na uwagę zasługują zastosowane w pracy narzędzia analizy i identyfikacja przyczyny zmienności ciągłego procesu produkcji papieru, które wpływają na występowanie zrywów i przez to oddziałują na jakość produktu i ciągłość procesu.

Pozytywnie również oceniam sposób przeprowadzenia analizy danych o parametrach przebiegającego procesu i identyfikację zakresu ich zmienności. Poprawnie ujęte zostały

wzajemne oddziaływania tych parametrów w postaci zaprojektowanych algorytmów umożliwiające wnioskowanie o wydajności i jakości realizowanego procesu. W sposób poprawny zastosowano narzędzia statystycznej kontroli procesu jak i metody wnioskowania i akwizycji wiedzy. Na uwagę zasługuje w opracowaniu sformułowany model procesu produkcyjnego wraz ze zidentyfikowanymi kluczowymi parametrami jego przebiegu oraz zaproponowany autorski sposób postępowania, w którym po przeprowadzeniu parametryzacji algorytmów identyfikacji symptomów, możliwe jest wczesne wykrywanie groźących uszkodzeń, zakłóceń przebiegu procesu produkcji papieru. Opracowany sposób postępowania poddano praktycznej implementacji oraz poddano weryfikacji. W końcowej fazie badań dokonano oceny jej przydatności oraz z sformułowano wnioski końcowe.

Na uwagę zasługuje kompleksowość przeprowadzonych w pracy badań od analizy stanu zagadnienia w praktyce, przez analizę problemu badawczego, do opracowania autorskiego podejścia do rozwiązania przedstawionych zagadnień, połączenie teorii naukowych z praktyką.

Uzyskane w ramach pracy wyniki badań, wysunięte wnioski mogą stać się przyczynkiem do rozwoju metod zarządzania innymi złożonych ciągłych procesów produkcji.

Niemniej w pewnych fragmentach tekstu chciałbym przedstawić pewne nieścisłości, których część ma charakter dyskusyjny, są nimi uwagi, które zestawiono w grupy odnoszące się do poszczególnych części dysertacji.

### **Rozdziały związane z wprowadzeniem, określeniem obszaru badań, przedstawienie celu i zakresu pracy, sformułowanie problemu badawczego oraz przegląd literatury i praktyki produkcyjnej - (rozdział pierwszy i drugi) i trzeci)**

Tą część pracy uważam za poprawną. Określone cele pracy uważam za trafne i wychodzące naprzeciw zapotrzebowaniu praktyki produkcyjnej. Za cenne należy uznać wyjaśnienie specjalistycznych uwarunkowań przebiegu produkcji papieru. Doktorant trafnie zdiagnozował stan potrzeby badań związanych z kształtowaniem procesu produkcji papieru.

Za poprawne należy uznać przedstawione w podrozdziale 2.1 i 2.2 uwarunkowania produkcji papieru oraz w dalszych podrozdziałach analizę literatury z zakresu monitorowania stanów pracy maszyn i urządzeń i metody analizy danych produkcyjnych. Podobnie w kolejnych rozdziałach 2.3 – 2.6 doktorant poprawnie scharakteryzował opisywane w literaturze sposoby monitorowania stanowisk roboczych oraz stosowane metody i techniki analizy danych produkcyjnych.

Za dyskusyjne w tej partii materiału uważam jednak:

- Brak zwięzłego podania na końcu rozdziału 1.3, w postaci jego podsumowania, celu i zakresu pracy. Autor przedstawił cel i zakres pracy zbyt rozwlekły w postaci opisu liczącego półtorej strony, zamiast zdefiniowania celu i jego uzasadnienia.
- Sposób zredagowania rozdziału drugiego. W rozdziale tym treści mające charakter ogólny nie związane z procesem produkcji papieru włączono w opisy przebiegu wytwarzania wyrobów papierowych. Uważam że tym rozdziale należało rozdzielić opisywaną tematykę np. najpierw przedstawić stan literatury związany z monitorowaniem parametrów ciągłych procesów produkcyjnych i kolejno omówić metody i techniki związane z inżynierią analiz przedstawionych wg analizy literatury danych produkcyjnych a na końcu najpierw omówić ogólne uwarunkowania procesu produkcji papieru i przedstawić uzasadnienie wyboru takich czy innych narzędzi do rozwiązania postawionego problemu.
- W rozdziale drugim np. podrozdziale 2.3, zbyt mało uwagi poświęcono coraz powszechniej stosowanym systemom MES (j. ang. – Manufacturing Execution System, - System Realizacji Produkcji) wspomagającym monitorowanie stanu

stanowisk roboczych, umożliwiających przeprowadzenie uprzedzających przeglądów, remontów maszyn i urządzeń oraz wspomagających zarządzanie produkcją. Nie wspomniano również o problemie bezpieczeństwa i higieny pracy na stanowisku. Postępująca automatyzacja powoduje ukierunkowanie zagadnienia niezawodności i jakości pracy, uniknięcie przestojów, awarii (w tym również takich, które mogą być związane z bezpieczeństwem pracy), itd.

### **Rozdziały związane z przedstawieniem modelu procesu produkcyjnego papieru (rozdział trzeci i czwarty)**

Model przebiegu procesu produkcyjnego papieru opracowano na przykładzie konkretnej maszyny papierniczej. Określono parametry dla których przeprowadzono pomiary. Opracowano model przebiegu procesu w fazie procesu dotyczącego pracy maszyny.

Uważam również, że odpowiednio do badanego zagadnienia przeprowadzono identyfikację symptomów i przyczyn zmienności badanych parametrów procesu.

Za dyskusyjne w tej partii materiału uważam jednak:

- Str. 51 – może dla lepszego przedstawienia treści pracy lepiej by było zmienić tytuł rozdziału 3 z „Model procesu produkcyjnego” na „Model procesu produkcyjnego papieru”.
- Str. 56 i dalsze – uważam, że przy opracowaniu modelu procesu można by było, obok parametrów badanych, określić czynniki zakłócające i czynniki stałe związane z realizowanym procesem.

### **Część badawcza (trzecia) związana z przykładem implementacji opracowanej w ramach pracy metody postępowania (rozdział piąty)**

Cennym wkładem do praktycznego zastosowania zaproponowanego rozwiązania było zastosowanie implementacji komputerowej. Zastosowanie oprogramowania umożliwiło weryfikację opracowanej metody.

Za dyskusyjne w tej partii materiału uważam jednak:

- str. 21, rys. 2.2., - ze względu na przedmiot badań uważam, że rysunek przedstawiający samą maszynę winien być dokładniejszy np. uzupełniony o opis stanu przechowywania wsadu do maszyny, sposób usytuowania otoczenia itd. Co ułatwiłoby na określenie analizy czynnikowej obiektu badań, (określenie czynników zakłócających, które mają wpływ na jakość a tym samym wydajność przebiegu procesu).

### **Część czwarta obejmująca podsumowanie pracy (rozdział szósty)**

Uważam, że przedstawienie toku postępowania byłoby jednak pełniejsze gdyby na końcu pracy w podsumowaniu podano w jasny sposób cechy określające nowość i oryginalność opisywanej metody w stosunku do wcześniej opisywanych sposobów postępowania np. w procedurach związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa eksploatacji systemów sterowania maszyny.

Za cenne należy uznać przedstawienie w pracy implementacji komputerowej w środowisku Python i przeprowadzenie weryfikacji opracowanego toku postępowania. Otrzymane wyniki z weryfikacji okazały się satysfakcjonujące dla praktyki produkcyjnej. Wykazano, że wdrożenie opracowania dla strony przemysłowej, dla której to rozwiązanie

było opracowywane przyniesie wymierne korzyści finansowe. Według danych przedstawionych przez doktoranta kwota oszczędności wyniesie 2.184.000 Euro rocznie.

Przeprowadzone analizy, wnioski końcowe z punktu widzenia założonego zakresu pracy uważam za poprawne. Uważam jednak, że dla poprawy czytelności pracy w podsumowaniu powinno się wyróżnić wnioski o charakterze:

- poznawczym (wykazujące wykonanie postawionych celów pracy, podkreślające oryginalność zaproponowanych rozwiązań),
- utylitarnym (wykazujące praktyczną przydatność opracowania, obszary potencjalnych zastosowań),
- wniosków do dalszych badań (podające perspektywy rozwoju zaproponowanych rozwiązań).

Mimo poprawnie sformułowanych wniosków wynikających z przeprowadzonych badań uważam, że zagadnieniom do dalszych badań np. zbyt mało uwagi poświęcono w nich tendencjom rozwoju systemów sterowania maszyn, tendencjom zdalnego monitorowania ich pracy, możliwościom zastosowania sztucznej inteligencji opisywanego sposobu postępowania przy tak rozumianym rozwoju systemów sterowania maszyn. Doktorant mógłby we wnioskach końcowych podać również korzyści (czasowe, finansowe) wynikające z planowanego wdrożenia opracowania.

Można by było również w podsumowaniu do pracy wspomnieć o uniwersalnym charakterze przedstawionego sposobu postępowania np. możliwości jego dostosowania do procesów produkcyjnych w innych branżach przemysłowych.

#### **4. Literatura**

Zestaw źródeł literaturowych uważam za poprawny. Wydaje mi się jednak, że dla wygodniejszego zapoznawania się ze źródłami literaturowymi należałoby:

- zestawić źródła w porządku alfabetycznym, sposób przedstawienia bibliografii w pracy robi wrażenie przypadkowego zestawienia i utrudnia wyszukiwanie odpowiedniej pozycji literaturowej,
- wydzielić w osobnym zestawieniu źródła Internetowe, za poprawne uważam podawanie przy źródłach dat pobrania informacji. Nie mniej przy podawaniu ww. źródeł powinno się również podać pełną nazwę instytucji firmującej stronę, uwaga dotyczy dla przykładu takich pozycji w zestawieniu literatury jak np. poz. 12 na str. 139 i dalszych.

#### **5. Uwagi redakcyjne**

Ponadto w treści rozdziałów można znaleźć drobne nieścisłości czy błędy redakcyjne nie mające istotnego wpływu na merytoryczną ocenę pracy np.:

- Str. 3 - brak wyjaśnienia w wykazie akronimów oznaczenia „OLS”.
- Str. 4 – wprowadzono pojęcie „Spis skrótów” powinno być „Spis akronimów”.
- Str. 51 – może dla lepszego przedstawienia treści pracy lepiej by było zmienić tytuł rozdziału 3 z „Model procesu produkcyjnego” na „Model procesu produkcyjnego papieru”.
- Str. 73 - rys.4.3. – nieczytelny rysunek.
- Str. 77 – rys.4.4. – nie przedstawiono jednostek na osi rzędnych, podobnie na innych rysunkach np.4.5, 4.6 itd. - nie podanych jednostek na osi rzędnych.

- Str. 94 i dalsze – uważam, że można było dla poprawy czytelności zmienić kolory na rys. 4.8 i dalszych - nie od ciemno niebieskiego do ciemno czerwonego ale np. w różnych odcieniach od białego do czarnego. Dalej nie zinterpretowano skali korelacji wg kolorów zamieszczonych na rysunku.
- Str. 100 – rys.4.13 i rys.4.14 na str. 1001 – nie wyjaśniono skali parametrów na osi wykresu (podobnie dalsze rysunki przedstawiające wizualizacje klasteryzacji np.rys. 4.16 na str.103).
- Str. 102 – rys. 4.15 – rysunek mało czytelny.
- Str. 104 – tytuł podrozdziału 4.3.5.2. powinien być „Minimalna liczba próbek w klastrze” zamiast cytuję – „min-samples”.
- Str. 117 – powinno być „przy sterowaniu automatycznym” a nie cytuję ”w sterowaniu automatyką”.
- Str. 120 – rys.4.36 i rysunki następne – brak podania jednostek na osi rzędnych.
- Str. 150 – brak przedstawienia w streszczeniu w j. angielskim przetłumaczenia tytułu i słów kluczowych dysertacji .

## 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 znajomością procesu produkcji papieru, umiejętnością zastosowania w praktyce produkcyjnej współczesnych narzędzi analizy danych przemysłowych.

Pragnę podkreślić dużą złożoność tematu, który ze względu na zakres pracy musiał być ograniczony, pracochłonność wykonania pracy oraz znajomość problematyki badawczej przez doktoranta, która była podstawą wykonania dysertacji.

Powyższe czynniki skłaniają do stwierdzenia, że praca pomimo przedstawionych uwag spełnia wymagania stawiane pracy doktorskiej oraz że doktorant na podstawie przeprowadzonych badań wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w zakresie systemów zarządzania produkcją w przedsiębiorstwach produkcyjnych oraz umiejętnościami samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Biorąc pod uwagę sformułowane wyżej opinie, stawiam wniosek o uznanie pracy jako spełniającej ustawowe wymagania stawiane rozprawie doktorskiej w zakresie nauk technicznych. Zgodnie z obecnie obowiązującym ustawodawstwem stawiam wniosek aby pracę doktorską zakwalifikować do dyscypliny „Inżynieria mechaniczna” oraz wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony pracy.

Bielsko-Biała, 14.02.2022.

.....  
