

Warszawa, 20.03.2022r.

dr hab. inż. Dawid Myszka, prof. PW  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Politechnika Warszawska

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej

**Pana mgra inż. Piotra Kamińskiego**

pt. „Identyfikacja technologiczna wytwarzania prętów mosiężnych przy wykorzystaniu modeli symulacyjnych i probabilistycznych”

przedstawionej w dyscyplinie inżynieria mechaniczna

wykonanej pod opieką promotora Pana dr hab. inż. Roberta Drobina, prof. ATH

### **Podstawa opracowania recenzji**

Opinię opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej z dnia 24 stycznia 2022r. (sygnatura: W-1/23/2022).

### **1. Ocena tematyki rozprawy**

Nowoczesna analiza procesu produkcyjnego wykorzystująca porównanie wirtualnych parametrów technologii z rzeczywistymi wynikami produkcji, przetwarzanie informacji elektronicznych z optymalizacji produkcji, wielokrotne tworzenie i wykorzystanie symulacji procesów, itp. wymaga wyspecjalizowanej integracji oprogramowania przy jednoczesnej dbałości przedsiębiorstwa o wprowadzanie systemów wspomagających procesy zarządzania (np. CRM, ERP, CAM). Spełnienie kryteriów dostosowania się do warunków zewnętrznych dzisiejszej, skomputeryzowanej rzeczywistości może determinować przewagę konkurencyjną przedsiębiorstwa. Wprowadzenie cyfryzacji oraz związanych z nim odpowiednich form zarządzania do przedsiębiorstwa postrzegane jest i oceniane jako możliwość zwiększenia produktywności nawet do 20%. Recenzowana rozprawa doktorska poświęcona jest zagadnieniu zarządzania wydajnością procesu produkcyjnego w nowoczesnym przedsiębiorstwie. Przedstawia cały szereg znanych metod zarządzania i organizacji produkcji tj. od podejścia systemowego, przez „teorię ograniczeń”, do symulacji numerycznych i modelowania. Wskazano zalety, ale również ograniczenia tych metod w zmieniającym się obecnie świecie, nastawionym z jednej strony na szybkozmienną jednostkową produkcję, a z drugiej wysokowydajną produkcję seryjną oraz rozwiązania samowystarczalnych linii produkcyjnych pracujących w układzie Przemysłu 4.0. Na bazie takiego szerokiego opracowania możliwe było określenie celowości podejmowanej problematyki oraz wskazanie możliwości doświadczalnej weryfikacji zaproponowanej metodyki badawczej bazującej na

gromadzeniu i przetwarzaniu danych oraz wykorzystaniu do tego celu wybranych narzędzi i modeli zarządzania. Określono cel naukowy rozprawy, którym było opracowanie nowego sposobu technologicznego i organizacyjnego przygotowania produkcji przy zastosowaniu modeli probabilistycznych i symulacyjnych odzwierciedlających rzeczywiste warunki produkcji.

W pracy skoncentrowano się na opracowaniu nowego, autorskiego modelu zarządzania zwiększającego wydajność procesu produkcyjnego w zakresie branży metalurgicznej. Przedstawione rozwiązanie oparte jest na konsolidacji znanych metod zarządzania i technik wspomagających produkcję tj. eliminacji marnotrawstwa, poszukiwania ograniczeń, technik analizy statystycznej danych, modelowania i symulacji komputerowej oraz modelowania probabilistycznego. Analiza wykonana na przykładzie wybranych procesów produkcyjnych wybranego przedsiębiorstwa, pozwoliła na stwierdzenie, że znane sposoby „szczipłego zarządzania” produkcją są niewystarczające do opisu zmian zachodzących na nowoczesnych stanowiskach produkcyjnych. Stwierdzono, że w procesie ciągłego doskonalenia procesu produkcyjnego należy poszukiwać nowych rozwiązań systemowych, które nie wykluczają poprzednich, lecz stanowią ich uzupełnienie. Do udowodnienia przedstawionych tez oraz zobrazowania działania przyjętych metod wybrano przedsiębiorstwo z branży metalurgicznej oraz proces produkcyjny wytwarzania okrągłych pretów mosiężnych metodami odlewniczymi i obróbki plastycznej.

**Na podstawie powyższego stwierdzam, że praca wpisuje się w najnowsze trendy naukowe, a podjęcie tej tematyki oceniam jako ciekawe i wartościowe uwzględniając również fakt zastosowania jej wyników w branży metalurgicznej. Praca została rozpoczęta w dyscyplinie „inżynieria produkcji”, która wg obowiązujących obecnie przepisów mieści się w znacznej mierze w dyscyplinie „inżynieria mechaniczna”, stwierdzam jednak, że praca w całości wpisuje się w obszar obu dyscyplin.**

## **2. Zawartość rozprawy**

Praca składa się z 15 numerowanych rozdziałów i napisana jest na 233 numerowanych stronach w typowym dla prac doktorskich układzie z podziałem na dwie główne części tj. literaturową i badawczą. Obie części pracy połączone są rozdziałem o nazwie „Cel rozprawy”, gdzie sformułowano cele i tezy rozprawy. Po wnioskach znajdują się załączone dwa listy, z których pierwszy jest potwierdzeniem znaczącego wpływu pracy doktorskiej na poprawę analizowanego w pracy procesu produkcyjnego, natomiast drugi wskazuje na odbycie przez Autora rozprawy stażu naukowego w Walcowni Metali „Dziedzice” S.A., co jest bardzo wartościowym doświadczeniem.

Praca jest bardzo obszernym opracowaniem, w którym przegląd literatury stanowi około 25% całości, co wskazuje na bogatą część badawczą. Układ pracy i wspomniane proporcje uważam za właściwe biorąc pod uwagę nacisk na organizacyjno-technologiczne rozwiązania badawcze. Przedstawiona na 45 strona analiza literatury pozostawia pewien niedosyt np. nie odnosząc się niemal wcale do zagadnień Przemysłu 4.0, choć mówi o najnowocześniejszych rozwiązaniach w zakresie zarządzania produkcją. Można to jednak wytłumaczyć tym, że Autor koncentruje się na zagadnieniach odmiennych, a wprowadzenie tego wątku rozszerzyłoby niepotrzebnie i tak obszerną pracę. Część badawcza znakomicie

wynagradza szczupłość opracowania w części literaturowej prezentując umiejętność Autora do poruszania się w złożonej przestrzeni produkcyjnej oraz mądrego wybrania i zastosowania właściwych narzędzi badawczych. Doktorant zawarł w Bibliografii 221 pozycje literatury z których większość to pozycje z ostatnich 10 lat.

### **3. Ocena stosowanej metodologii, opisu badań własnych oraz dyskusji wyników**

Rozprawa doktorska pana mgr inż. Piotra Kamińskiego stanowi moim zdaniem osiągnięcie naukowe i posiada szereg bardzo istotnych cech, do których odniosę się w tej części recenzji. Praca ma w większości charakter użytkowy co dodatkowo podnosi jej ocenę, ale powoduje też, że ma ona pewne ograniczenia związane z odnoszeniem się jedynie do pojedynczego procesu produkcyjnego. Jednak moim zdaniem zdecydowaną większość wyników pracy można uogólnić i zastosować w innych procesach produkcyjnych Zakładu lub innych przedsiębiorstwach jako oryginalną metodykę zarządzania produkcją zwiększającą wydajność i prognozującą moment zakończenia procesu, co nie zostało w pracy odpowiednio uwypuklone. Do tych zagadnień odnoszą się sformułowane cele pracy w zakresie naukowym, użytkowym oraz metodycznym. **Lektura części badawczej pracy, a zwłaszcza ostatniej części odnoszącej się do poprawy funkcjonalności stanowiska produkcyjnego oraz wyznaczenia modelu probabilistycznego oraz ostateczne wnioski pracy pozwalają mi stwierdzić, że cele te zostały osiągnięte.**

Praca, moim zdaniem, w nowatorski sposób odnosi się do sposobów zarządzania procesem produkcyjnym również poprzez specyficzne podejście do wykorzystania złożonych narzędzi badawczych tj. na poziomie uogólniającym oraz na poziomie jednostkowym. Uogólnienie polegało na ocenie całego przedsiębiorstwa i wytypowaniu procesów oraz możliwych metod zarządzania. Natomiast spojrzenie jednostkowe na dotarcie do stanowiska lub pojedynczego człowieka związanego ze swoim miejscem pracy oraz określony wpływ na jego zachowanie. Warto podkreślić działania Autora na tych dwóch płaszczyznach.

W szerokim zakresie opracowano metodykę, na którą składała się: analiza przedsiębiorstwa, określenie zasad przepływu komponentów, opracowanie indywidualnego modelu procesu uwzględniającego dostępne zasoby produkcyjne, określenie „wąskich gardeł”. Zrealizowano rozbudowane badania cyklu produkcyjnego bazujące na dobrze opracowanym planie eksperymentu, możliwego do zaakceptowania dla Zakładu produkcyjnego, weryfikującego założenia teoretyczne. Wrażenie robi rozmiar eksperymentu zakładający analizę 720 wariantów populacji przez 15 dni roboczych w trybie trzymianowym, podczas których pobrano 75 próbek dla każdej operacji procesu technologicznego (bez wstrzymania produkcji, bez nadmiernych strat). Określono, że całkowite przeprowadzenie eksperymentu wymagało przeprowadzenia 600 doświadczeń.

W pracy wykorzystywane były szeroko różnorodne narzędzia związane z oceną procesu produkcyjnego i jego optymalizacją. Wykorzystane narzędzia pozwoliły na krzyżową weryfikację poprawności symulacji z rzeczywistością, co uwiarygadnia wyniki pracy. Stosowane narzędzia tj. oprogramowanie Statistica – generowanie liczb pseudolosowych, oprogramowanie ARENA pracujące na bazie mechanizmów modelowania dyskretnego – do planowania i tworzenia modeli procesów produkcyjnych, test t-Studenta, pozwalają stwierdzić, że Doktorant ma szerokie rozeznanie w możliwościach badawczych tego typu i

właściwie je wykorzystuje. Należy podkreślić również, że zaproponowano procedurę prowadzenia badań symulacyjnych, która sprawdziła się w warunkach produkcyjnych, co nie jest takie oczywiste.

Poprzez te szeroko zakrojone działania, wykorzystując przyjętą metodykę i narzędzia symulacyjne, określono, że istotnym ograniczeniem w badanym procesie produkcyjnym jest operacja ciągnięcia drutów, a tym samym skoncentrowano się na skali jednostkowego stanowiska pracy. Analiza stanowiska ciągnięcia ukazała możliwości skrócenia zabiegów w ramach operacji technologicznej. Ta część pracy umożliwiła Autorowi zaproponowanie nowatorskich rozwiązań w zakresie: stosowania technik audiowizualnych do analizy stanowiska, zaproponowanie modyfikacji napędu ciągarci, zaproponowanie rozwiązań organizacyjnych i konstrukcyjnych usprawniających obsługę stanowiska, przeszkolenie pracowników obsługujących maszyny z zagadnień „Lean manufacturing”, przeprowadzenie części zabiegów do układu zewnętrznego, co oznaczało skrócenie albo wyeliminowanie ich realizacji przez pracownika, i inne. Działania te dając ostatecznie pozytywny wynik weryfikacji (przeprowadzono weryfikację czasu trwania operacji w warunkach rzeczywistych co umożliwiło stwierdzenie, że obniżono tę wartość zgodnie z przewidywaniami modelu) pozwoliły na wybór modelu probabilistycznego na podstawie wygenerowania różnych modeli spośród najczęściej wykorzystywanych. Model ten posłużył do analizy pracy stanowiska produkcyjnego z wykorzystaniem danych z systemu rzeczywistego. Stwierdzono, że zweryfikowany model umożliwia dokładne określenie prawdopodobieństwa z jakim nastąpi zakończenie procesu produkcyjnego.

**Podsumowując stwierdzam, że praca jest wartościowym opracowaniem zarówno pod względem stosowanej metodologii oraz realizacji badań własnych.** Uzyskane wyniki jednak można było w bardziej skonsolidowany sposób podsumować proponując w bezpośredni sposób przedstawienie autorskiej metodyki i narzędzi w postaci gotowej procedury postępowania. W obecnej formie cała praca doktorska stanowi niejako przewodnik po ww. metodyce.

#### **4. Strona edycyjna pracy oraz poprawność językowa i stylistyczna**

Praca napisana jest ładnym, czytelnym i dobrym technicznie językiem polskim, szczególnie w części literaturowej. Na szczególną pochwałę zasługuje strona graficzna, która w sposób wyróżniający podnosi wartość opracowania. Część związana z badaniami własnymi została gorzej opracowana pod względem językowym, jednak jest znacznie bardziej wartościowa merytorycznie. W tekście rozprawy występują usterki o różnym charakterze – stylistycznym, terminologicznym oraz dotyczącym układu logicznego pracy. Oto najważniejsze z nich:

- Niewłaściwy zapis dla odniesień publikacyjnych oraz ich przestawne używanie np. [35], [30], [31], [32] na str. 17.
- Na wykresach pojawiają się zwroty i symbole które są nieczytelne lub nie są opisane w tekście, np.: Takt Time na str. 21; „redakcja liczebności partii” na str. 22.
- Na stronie 25 znajduje się informacja o nowej metodzie „wyznaczania standardów stosowania 3S” – ta nowa metoda nie jest nigdzie opisana!

- Znaczna liczba literówek w części „Badania własne”: „zarządzani jakością” na str. 62; (rys.10.3), (rys.10.3.) na str. 64; „skupiając się ma możliwej” na str.177.
- Na Rys.10.1 Schemat odlewni nie jest „projektem modelu symulacyjnego”.
- Na stronie 9, w pierwszym zdaniu, powtarza się trzykrotnie słowo „produkcyjny”, co w pracach na tym poziomie nie powinno się zdarzać.

## 5. Uwagi krytyczne o charakterze merytorycznym od dyskusji

Praca doktorska mgr inż. Piotra Kamińskiego posiada niewątpliwie ważne walory poznawcze i utylitarne oraz stanowi wartościowy wkład w obszar zarządzania produkcją. Lektura rozprawy ujawnia zdaniem recenzenta pewne jej mankamenty oraz prowokuje pytania dyskusyjne, wymienione i omówione poniżej, na które oczekuję odpowiedzi Doktoranta:

- Dlaczego w pracy nie pojawia się wątek Przemysłu 4.0?
- Jaki jest wskaźnik OEE w realizowanym w ramach badań cyklu produkcyjnym? Czy można ocenić w jaki sposób poprawiła się wydajność maszyn i urządzeń w analizowanym przykładzie produkcyjnym?
- W rozdziale dotyczącym modelowania procesów nie ma mowy o znanych modelach twardych i miękkich. Ten podział jest dość znany i zakłada również podejście do zagadnień związanych z pracą. Dlaczego nie ma odniesienia do tych modeli?
- Co oznacza sformułowanie, że wytworzony wyrób powinien się odznaczać równomiernymi parametrami fizykochemicznymi i wytrzymałościowymi zapisany na stronie 61?
- Co oznacza, że „procesy podlegają sterowaniom zgodnym z opisem jakościowym zachodzących zjawisk” na stronie 62?
- Co oznacza w kontekście pracy zasada ergodyczności (wartość średnia parametrów jest taka sama w każdym czasie trwania procesu)?
- Nie jest jasne na jakiej podstawie określono liczbę 75 próbek dla każdej operacji procesu technologicznego. Brak uzasadnienia nie umożliwia wskazania uniwersalności tworzonego narzędzia.
- Na czym polega niejednorodność materiału pręta (95% wyrobów wykonanych prawidłowo, 5% wadliwych) co zostało wskazane w pracy jako powód ich oceny.
- Choć intencja autora jest jasna, niezrozumiałe są stwierdzenia o ile rzeczywiście zostanie skrócony czas operacji ciągnięcia analizowany na w rozdziale 12.1 na stronie 148. Podane są różne wartości (np.: do 30 sekund, o 4 minuty), które sugerują odniesienie do różnych wartości operacyjnych. Podobnie jak podpis pod rysunkiem 12.1.
- Nie jest wiadomym czy opracowana oryginalnie metodyka oraz narzędzie badawcze umożliwiające wytypowanie i eliminację „wąskiego gardła” procesowego jest możliwe do zastosowania w innym przedsiębiorstwie. A jeśli jest to możliwe, to w jaki sposób?

## 6. Podsumowanie recenzji i wniosek końcowy

Praca doktorska przedstawiona do recenzji jest wartościowym opracowaniem naukowym, zawiera ważne wnioski badawcze, które mają szczególne znaczenie dla zastosowań aplikacyjnych. Rozprawa stanowi niewątpliwie oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, w którym zastosowano podstawowe i zaawansowane metody badawcze oraz przeprowadzono analizy na wysokim poziomie merytorycznym. Jest przykładem pracy, w której rozwiązanie złożonego problemu naukowego jest ściśle powiązane z pomyślnym zastosowaniem przemysłowym. Przedstawione uwagi krytyczne dotyczą kilku pobocznych zagadnień merytorycznych, które wymagają wyjaśnienia oraz zwracają uwagę na dbałość o poprawność językową konieczną w rozprawach doktorskich. Uwagi te nie ujmują pracy z jej wartości i solidności opracowania. Biorąc powyższe pod uwagę, jak również fakt, iż doktorant wykazał należytą wiedzę teoretyczną z zakresu reprezentowanej przez siebie dyscypliny naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia prac badawczych uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Kamińskiego pt. „Identyfikacja technologiczna wytwarzania prętów mosiężnych przy wykorzystaniu modeli symulacyjnych i probabilistycznych” spełnia wymagania stawiane przez Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. z dnia 30 stycznia 2018r. poz. 261) oraz Ustawę z dnia 18 marca 2011r. o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw, wobec czego wnioskuję do Rady Wydziału Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.

David Mysiek