

dr hab. inż. Marek Karkula, prof. AGH  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica  
Wydział Zarządzania  
Katedra Informatyki Biznesowej i Inżynierii Zarządzania  
ul. Gramatyka 10, 30-067 Kraków  
☎ (+48)12 617 43 30  
✉ mkarkula@zarz.agh.edu.pl

Kraków, 25.03.2022

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgra inż. Piotra Kamińskiego, pt.:  
**Identyfikacja technologiczna wytwarzania prętów mosiężnych  
przy wykorzystaniu modeli symulacyjnych i probabilistycznych**

Promotor rozprawy doktorskiej: dr hab. inż. Robert Drobina, prof. ATH

Podstawa formalna opracowania recenzji: pismo Pana dr hab. inż. Jacka Pezdy, prof. ATH, Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku Białej (W-1/25/2022 z dnia 24 stycznia 2022 roku), do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

### 1. Kryteria oceny rozprawy

Biorąc pod wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* podczas oceny rozprawy doktorskiej mgra inż. Piotra Kamińskiego przyjęto następujące kryteria: znaczenie, aktualność i oryginalność podjętej tematyki, stopień rozeznania Autora w przedmiotowym obszarze badań, poprawność sformułowania celów i hipotez badawczych, zasadność zastosowania metodyki badań, spójność struktury rozprawy oraz jej stronę warsztatową.

### 2. Ocena doboru i aktualności tematu rozprawy

Tematyka rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Piotra Kamińskiego dotyczy istotnego i aktualnego problemu doskonalenia procesów produkcyjnych. Przedstawione w pracy zagadnienia są odpowiedzią na potrzeby ciągłego usprawniania i dostosowywania procesów produkcyjnych realizowanych w przedsiębiorstwach do zmian wymuszanych przez globalne otoczenie i zmieniających się wymagań i potrzeb interesariuszy.

Jednym z kierunków prac w tym zakresie jest stosowanie praktyk szczupłego wytwarzania (ang. *lean manufacturing* – LM). Można zauważyć, że wykorzystanie metod i narzędzi LM w ostatnich dwóch dekadach jest powszechne. Przedsiębiorstwa produkcyjne, które chcą uzyskać przewagę konkurencyjną, wykorzystują zasady szczupłej produkcji do obniżania kosztów, racjonalizacji wykorzystania zasobów i optymalizacji procesów. Jednak wraz z rozwojem komputerowych metod sterowania produkcją, wzrostem dostępności danych procesowych

prostota stosowania narzędzi LM przestała być wystarczająca. Konieczne staje się prowadzenie systematycznych i pogłębionych analiz procesów i danych oraz uwzględnianie w nich czynników losowości i niepewności związanych z procesami produkcyjnymi. Wymagania te prowadzą do potrzeby opracowania nowych metod i modeli integrujących różne koncepcje i poziomy opisu rzeczywistości.

Uwzględniając powyższe uwagi wstępne podjętą przez Kandydata tematykę rozprawy uważam za istotną i oryginalną, zarówno ze względów poznawczych, jak i utylitarnych. Pomimo dużej liczby publikacji dotyczących stosowania naukowych metod w doskonaleniu i sterowaniu procesami produkcyjnymi można zaobserwować lukę teoretyczną, metodyczną i empiryczną w obszarze przedmiotowym badań. Dotyczy ona braku koncepcji, metodyk i modeli pozwalających ująć przedmiotową problematykę w sposób systemowy, uwzględniając przy tym wpływ czynników niepewnych. Moim zdaniem postawiony w pracy problem i sposób jego rozwiązania można postrzegać jako próbę wypełniania tych luk.

Reasumując, uważam, że postawiony przez Doktoranta problem badawczy ma charakter dysertabilny i w pełni nawiązuje do współczesnych osiągnięć oraz potrzeb nauki i praktyki gospodarczej w obszarze doskonalenia systemów i procesów produkcyjnych.

### 3. Układ rozprawy

Treść pracy została przedstawiona na 233 ponumerowanych stronach wydruku komputerowego formatu A4, a jej kompozycja zawiera: wykaz symboli i oznaczeń, trzy części składające się z piętnastu rozdziałów, spis literatury, dwa załączniki oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Rozprawę wzbogaca materiał ilustracyjny i tabelaryczny, składający się ze 123 rysunków oraz 24 tabel.

Przedstawione wyniki rozprawy są efektem badań i eksperymentów wspartych starannym rozpoznaniem literaturowym. Spis źródeł jest bogaty – zawiera 221 pozycji (186 polskojęzycznych, 35 anglojęzycznych), a Doktorant jest współautorem dwóch z nich. Nie brakuje tutaj aktualnych pozycji z obszaru przedmiotowego rozprawy, chociaż moim zdaniem bibliografia powinna być uzupełniona o ważne pozycje z prestiżowych czasopism i konferencji międzynarodowych. Zauważono także brak konsekwencji w zapisie kilku pozycji w spisie literatury załącznikowej.

### 4. Analiza zakresu, celu i charakterystyka treści pracy

Dysertacja składa się z trzech części – w pierwszej Autor zaprezentował przesłanki wyboru tematu oraz zwięźle scharakteryzował zawartość poszczególnych rozdziałów (rozdział 1 – *Wstęp*). W kolejnej części Doktorant przedstawił analizę aktualnej literatury przedmiotu, natomiast w ostatniej, trzeciej zamieścił wyniki badań własnych.

Część pracy stanowiąca ocenę stanu badań w zakresie poruszanej problematyki składa się z ośmiu rozdziałów.

Rozdział drugi rozprawy, zatytułowany *Podejście systemowe w przedsiębiorstwie* (3 str.) ma charakter sprawozdawczy stanowiący teoretyczno-metodyczne wprowadzenie do instrumentarium sterowania i zarządzania procesami produkcyjnymi. Tworzy ono przesłanki do wykorzystania teorii systemów w holistycznym podejściu do zarządzania i doskonalenia tych procesów. Doktorant powołał się na definicje podstawowych kategorii pojęciowych teorii systemów. Moim zdaniem brakuje tutaj bardziej szczegółowego odniesienia teorii systemów do

systemów produkcyjnych oraz wskazania obszarów zastosowań tzw. inżynierii systemów, jako podejścia do projektowania, tworzenia i obsługi systemów.

W rozdziale 3. pt. *Szczupłe zarządzanie w przedsiębiorstwie produkcyjnym – LEAN* (23 str.) przedstawiono studium literaturowe dotyczące koncepcji Lean Manufacturing. Autor dokonał analizy najważniejszych narzędzi i metod tej koncepcji (SMED, 5S, Poka-Yoke, TPM) na podstawie bogatych źródeł literaturowych. Słuszne wydaje się spostrzeżenie Autora, że prezentowane w literaturze sposoby zastosowania narzędzi LM są niewystarczające do scharakteryzowania zmian zachodzących w procesach produkcyjnych.

W kolejnym rozdziale zatytułowanym *Techniki zarządzania przedsiębiorstwem – teoria ograniczeń* (4 str.) Pan mgr inż. Piotr Kamiński odnosi się do zastosowania teorii ograniczeń w identyfikacji wąskich gardeł w procesach i systemach produkcyjnych.

Rozdziały piąty (*Analiza danych wejściowych do modelu symulacyjnego*, 4 str.) oraz szósty (*Modelowanie i symulacja procesów produkcyjnych*, 9 str.) dotyczą metod modelowania symulacyjnego procesów produkcyjnych oraz zagadnień związanych z pozyskaniem i analizą danych wejściowych dla tych modeli. Moim zdaniem kolejność rozdziałów 5 i 6 powinna być zmieniona – w rozdziale 6 omówiono ogólne zasady i etapy konstruowania modeli symulacyjnych, natomiast w rozdziale 5 przedstawiono zagadnienia odnoszące się do akwizycji i analizy danych wejściowych do modeli symulacyjnych. Pewien niedosyt pojawia się po lekturze rozdziału piątego, w którym Autor ograniczył się w zasadzie do analizy metod normowania czasu pracy, pomijając inne ważne zagadnienia związane z przygotowaniem, analizą i oceną jakościową danych wejściowych do modeli symulacyjnych.

W rozdziale siódmym dystertacji pt. *Zastosowanie modeli probabilistycznych w planowaniu produkcji* (2 str.) Autor przedstawił dosyć pobieżnie analizę piśmiennictwa dotyczącego modeli probabilistycznych w zastosowaniu do opisu zmienności i zjawisk losowych występujących w procesach produkcyjnych. Moim zdaniem należałoby także skorygować tytuł rozdziału, ponieważ w pracy Doktorant nie zajmuje się zagadnieniem planowania produkcji. Budzi również wątpliwość objętość tej sekcji, na którą składają się jedynie dwie strony pracy.

Rozdział ósmy, zatytułowany *Podsumowanie literatury* (3 str.) stanowi krytyczną analizę studium literaturowego przeprowadzonego w poprzednich sekcjach pracy. Wynikiem tej analizy była identyfikacja przez Autora rozprawy luk teoretycznej i metodycznej w odniesieniu do identyfikacji technologicznej procesu produkcyjnego, wykorzystania narzędzi Lean, oraz zastosowania modelowania symulacyjnego i probabilistycznego.

Moim zdaniem analiza literaturowa przeprowadzona została rzetelnie i poprawnie, natomiast pewien niedosyt może budzić brak ustosunkowania się Doktoranta do wyzwań, jakie w zakresie obszaru badań rodzi czwarta rewolucja przemysłowa (Industry 4.0).

W konsekwencji swoich obserwacji, w rozdziale dziewiątym rozprawy (*Cel rozprawy*, 3 str.) Doktorant sformułował następujące cele rozprawy w treści:

- jako cel naukowy – *opracowanie nowego sposobu technologicznego i organizacyjnego przygotowania produkcji przy wykorzystaniu modeli probabilistycznych i symulacyjnych odzwierciedlających rzeczywiste warunki panujące na produkcji;*
- jako cel użytkowy – *wskazanie kierunków zmian w aspekcie organizacyjnym dążących do doskonalenia jakości prowadzonego procesu produkcyjnego oraz przedstawienie*

*rekomendacji w obszarze określenia daty zakończenia zlecenia produkcyjnego, dzięki czemu przedsiębiorstwo mogłoby zwiększyć terminowość dostaw;*

- jako cel o charakterze metodycznym – *opracowanie podejścia oraz narzędzia badawczego umożliwiającego wytypowanie i eliminację wąskiego gardła w przedsiębiorstwie oraz wyznaczenie modeli probabilistycznych prowadzonego procesu produkcyjnego.*

W związku z postawionymi celami Autor sformułował także zakres zadań, których realizacja pozwoli na osiągnięcie wyznaczonych celów. Do zadań tych należały m.in.:

- identyfikacja technologiczna badanego procesu produkcyjnego;
- modelowanie probabilistyczne czasu trwania operacji technologicznych w cyklu produkcyjnym;
- opracowanie modelu symulacyjnego procesu produkcyjnego w pakiecie symulacyjnym Arena;
- zastosowanie narzędzi LM (wykres Ishikawy, metoda 5 Why, 5S, PokaYoke) w eliminacji wąskich gardeł i redukcji czasu cyklu produkcyjnego (SMED),
- opracowanie autorskiego modelu probabilistycznego czasu trwania realizacji zleceń produkcyjnych.

Realizacja tak sformułowanych celów rozprawy i zakresu związanych z nimi zadań została podporządkowana weryfikacji tezy rozprawy w brzmieniu:

*Opracowanie nowego zintegrowanego systemu łączącego różne metody i narzędzia takie jak: modelowanie i symulacja komputerowa, narzędzia statystyczne i probabilistyczne, metody 5S oraz SMED jest podstawą efektywnego doskonalenia procesu produkcyjnego.*

*Wykorzystując zaprezentowane w pracy modele probabilistyczne procesu produkcyjnego można opisać fluktuacje prowadzonego procesu produkcyjnego oraz określić prawdopodobieństwo realizacji zlecenia produkcyjnego.*

Uważam, że cele pracy zostały sformułowane jasno, są ścisłe i konkretne oraz poddają się operacjonizacji. Wyrażam również pogląd, że hipoteza pracy w przytoczonym powyżej brzmieniu została określona prawidłowo.

W części drugiej rozprawy Doktorant przedstawił wyniki badań własnych.

W rozdziale 10. rozprawy (*Charakterystyka eksperymentu*, 10 str.) omówił charakterystykę obiektu badań – procesu produkcji prętów mosiężnych. Kandydat realizował badania w zakładzie produkcyjnym przedsiębiorstwa Walcownia Metali Dziedzice S.A., a na podstawie pozyskanych danych dokonał weryfikacji i walidacji opracowanych modeli.

Najbardziej wartościową częścią rozprawy, moim zdaniem, są rozdziały od 11 do 13.

W związku z tym, że część badań wymagała działań na rzeczywistym procesie należało opracować plan eksperymentów. Zagadnienie to zostało przedstawione w kolejnym,

11. rozdziale (*Ocena czasu trwania procesu produkcyjnego prętów mosiężnych w ujęciu probabilistycznym*, 77 str.). Doktorant uzasadnił wybór metody planowania eksperymentu oraz zaprezentował realizowany w trakcie prac badawczych plan eksperymentu. W kolejnej sekcji niniejszego rozdziału Autor przedstawił wyniki pomiarów czasów operacji technologicznych badanego procesu wytwórczego. Zebrane dane zostały poddane analizie statystycznej: wyznaczono podstawowe statystyki opisowe dla zmiennych, zbudowano histogramy i przeprowadzono statystyczne testy zgodności (ang. *goodness of fit tests*) danych eksperymentalnych z założonymi rozkładami teoretycznymi dla poszczególnych zmiennych losowych (czasów kolejnych operacji technologicznych). Doktorant przyjął do opisu zmiennych losowych procesu produkcyjnego prętów mosiężnych trzy typy rozkładów: trójkątny, normalny oraz jednostajny.

Wyznaczone charakterystyki statystyczne istotnych zmiennych procesu oraz opracowane ich modele probabilistyczne zostały wykorzystane przez Autora rozprawy w kolejnym etapie realizacji badań – konstrukcji modelu symulacyjnego procesu wytwarzania prętów mosiężnych. Opracowany model, który należy do klasy modeli symulacyjnych dyskretnych sterowanych zdarzeniami (ang. *discrete-event simulation model*) został zaimplementowany w profesjonalnym pakiecie symulacyjnym Arena. Wyniki eksperymentów symulacyjnych przeprowadzone na zbudowanym modelu posłużyły Kandydatowi do określenia wydajności procesu produkcyjnego oraz identyfikacji wąskich gardeł w procesie. Opis modelu symulacyjnego jest niestety dosyć powierzchowny.

Ocena wyników badań symulacyjnych przeprowadzonych na modelu odwzorowującym sytuację zastaną (AS-IS) stała się podstawą do sformułowania przez Doktoranta działań usprawniających badany proces. I tak w rozdziale 12. (*Poprawa funkcjonalności stanowiska stanowiącego wąskie gardło w procesie produkcyjnym*, 46 str.) Autor przedstawił wyniki analizy przyczyn zidentyfikowanego problemu. W tym celu zastosował narzędzia statystyczne i wybrane metody Lean Manufacturing: analizę Pareto, diagramy Ishikawy, metod 5 WHY oraz metodę SMED. Wyniki analiz posłużyły Doktorantowi do sformułowania zmian organizacyjnych w procesie oraz usprawnień technologicznych w problematycznych etapach procesu.

W rozdziale 13. zatytułowanym *Wyznaczenie modelu probabilistycznego procesu produkcyjnego* (6 str.) Doktorant zaproponował autorski algorytm budowy modelu wspomagającego zarządzanie procesem wytwarzania wykorzystujący model probabilistyczny i model symulacyjny opracowany w środowisku Arena. Wyniki eksperymentów symulacyjnych (przeprowadzono 75 prób) stały się podstawą do analizy statystycznej wskaźnika oceny badanego procesu – czasu realizacji zlecenia produkcyjnego. Analiza statystyczna wskaźnika dała podstawę do określenia prawdopodobieństwa czasu realizacji zlecenia. Oceniając pozytywnie rozdział, muszę jednak zgłosić istotną krytyczną uwagę. W tytule jest zawarta sugestia, że w treści zostanie przedstawiony model probabilistyczny procesu produkcyjnego. Lektura rozdziału wskazuje, że chodziło raczej o model wspomagający zarządzanie procesem produkcyjnym. Myślę, że należało inaczej sformułować tytuł rozdziału.

Rozdział 14. (*Podsumowanie badań własnych*, 4 str.) stanowi podsumowanie dysertacji i zrealizowanych badań. W ostaniu, 15. rozdziale Doktorant przedstawił wnioski końcowe.

## 5. Ocena merytoryczna

Dokonany przegląd treści rozdziałów pozwala mi stwierdzić, że Autor podjął się trudnego zadania badawczego i wykonał je w stopniu zadowalającym. Prezentacja wyników prac

badawczych świadczy także o dobrej znajomości realiów praktycznych przez Autora rozprawy. Należy podkreślić, że Doktorant wykonał żmudną pracę gromadzenia i przygotowania danych.

Realizację sformułowanych celów pracy oraz weryfikację postawionej tezy Autor oparł na podejściu badawczym składającym się z faz:

- analitycznej – bazującej na metodzie analizy i studiowania literatury przedmiotu wykorzystanej dla potrzeb wyjaśnienia podstawowych pojęć związanych z tematyką rozprawy oraz zaprezentowania metodycznych aspektów sterowania procesem produkcyjnym;
- diagnostyczno-projekcyjnej opartej na własnych badaniach empirycznych i podejściu indukcyjno-dedukcyjnym, która zaowocowała identyfikacją kluczowych parametrów procesu wytwórczego, a przede wszystkim opracowaniem modeli probabilistycznych i symulacyjnych wzbogaconych wynikami eksperymentów symulacyjnych.

Oceniając podejście badawcze należy stwierdzić, że Doktorant posłużył się dobrze dobranymi i właściwymi do podjętej problematyki narzędziami badawczymi.

## 6. Spostrzeżenia i uwagi krytyczne

Pomimo wszystkich zalet i pozytywnej oceny rozprawy pod względem zawartości merytorycznej, podczas lektury pracy zauważyłem pewne jej niedostatki i usterki. Nasunęły się także pewne spostrzeżenia i pytania, na które chciałbym, aby Doktorant udzielił odpowiedzi podczas publicznej obrony.

### Pytania i spostrzeżenia ogólne

- 1) W opisie modelu symulacyjnego procesu wytwarzania prętów mosiężnych Doktorant skoncentrował się głównie na czasach operacji technologicznych. Nie wspomniał jednak w jaki sposób uwzględniono w modelu strumień wejściowy reprezentujący zlecenia produkcyjne. Mam prośbę o udzielenie komentarza w tej sprawie – czy rozpatrywano losowy charakter tego strumienia?
- 2) W dyskusji nad modelami i wynikami oraz w podsumowaniu dysertacji Autor nie przedstawił ograniczeń proponowanej metodyki i modeli oraz nie wskazał potencjalnych dalszych prac dotyczących problemu badawczego. W przypadku tej uwagi także proszę o stosowny komentarz Autora rozprawy.
- 3) Czy w modelu symulacyjnym uwzględniono możliwość powstawania kolejek zadań oczekujących na realizację zleceń produkcyjnych? W pracy nie ma na ten temat żadnej wzmianki.
- 4) Czy podczas prowadzonych badań analizował Pan potrzebę uwzględnienia w opracowanych modelach zakłóceń w realizacji procesu wytwórczego i ewentualnej oceny ich wpływu na jego wydajność i efektywność?
- 5) W kilku miejscach pracy Autor używa niewłaściwie pojęcia weryfikacji zamiast walidacji (np. str. 147 – *Przeprowadzona weryfikacja modelu symulacyjnego za pomocą*

*testu t-Studenta ...*”. Prosiłbym o ściśle podanie zastosowanych metod weryfikacji opracowanych modeli oraz metod ich walidacji. W teorii modelowania pojęcia weryfikacji i walidacji nie są tożsame i dopiero zweryfikowany i zwalidowany model można uznać za wiarygodny.

- 6) Proces doboru danych wejściowych do modelu symulacyjnego stanowi w praktyce duże wyzwanie. Jednym z etapów jest określenie źródeł danych, sposób ich pobrania a w kolejnym ich analiza jakościowa i ewentualne operacja umożliwiające ich użycie w modelu, czyli tzw. preprocessing danych. Chciałbym zapytać czy sprawdzano w jakiś formalny sposób jakość danych wejściowych, a jeżeli tak, to jak to zrealizowano?

### Uwagi szczegółowe

- 1) W pracy zauważono liczne usterki interpunkcyjne, stylistyczne i edytorskie, nie mają one istotnego wpływu na jej ocenę merytoryczną.
- 2) W strukturze pracy można zauważyć dosyć dużą dysproporcję w objętości poszczególnych rozdziałów – w przypadku dziewięciu rozdziałów ich objętość nie przekracza czterech stron.
- 3) W kilku fragmentach pracy zauważono problem z jednoznacznością stosowanego nazewnictwa – swobodnie i zamiennie używane są terminy “metoda”, “narzędzie”.
- 4) Na stronie 12 mamy następujące sformułowanie “*Podczas **wdrażania poszczególnych faz systemu** ważne jest rozróżnianie różnych celów...*”. Co Autor rozumie przez wdrażanie poszczególnych faz systemu?
- 5) Z kolei na stronie 40 Kandydat napisał, że “Akwizycja danych wejściowych, które implementuje się do modelu...”. To kolejne niezręczne określenie, raczej zamiast “implementuje się” powinno być “wykorzystuje się”.
- 6) Na stronie 57 można zauważyć sformułowanie „... co powoduje błędy w **metodologii**”. Chodzi tutaj raczej o błędy w **metodyce**, a nie w **metodologii**.<sup>1</sup> usterka ta pojawia się jeszcze w kilku miejscach rozprawy.
- 7) Zdanie ze strony 63 w brzmieniu “*Procesy te podlegają sterowaniom zgodnym z opisem jakościowym zachodzących zjawisk*” jest niejasne. Należałoby wyjaśnić jakie to procesy i przedstawić powoływany opis jakościowy zjawisk.
- 8) Tytuł podrozdziału 11.3. *Plan eksperymentu wytwarzania prętów mosiężnych* (str. 78) jest moim zdaniem niefortunny. Co oznacza eksperyment wytwarzania?
- 9) Na stronie 97 zauważono szereg nieścisłości. Moja wątpliwość dotyczy stwierdzenia “*Tworząc model symulacyjny danego procesu produkcyjnego w środowisku komputerowym należy uwzględnić zmienność czasu trwania poszczególnych operacji. Dokonuje*

<sup>1</sup> **Metodologia** to nauka o metodach i metodykach stosowanych w badaniach naukowych, natomiast **metodyka** jest zbiorem dyrektyw i metod ułożonych w odpowiedniej sekwencji umożliwiającym rozwiązanie problemu naukowego w sposób poprawny z punktu widzenia zasad obowiązujących w konkretnej dziedzinie nauki.

się tego tworząc ciąg danych, będących odzwierciedleniem procesu stochastycznego, wynikającego z czasu trwania danej operacji”. Jak wygląda operacja tworzenia takiego ciągu danych? Kolejnym niefortunnym sformułowaniem na tej stronie są zdania “Proces ten można potraktować jako funkcję losową. Mając do czynienia z tak zdefiniowanym szeregiem czasowym.”. Po pierwsze proces nie jest funkcją losową, a po drugie zebrane dane nie da się raczej określić jako szereg czasowy, czyli ciągu wartości liczbowych uporządkowanych według czasu (raczej zebrane dane należy traktować jako zbiór próbek pomiarów).

- 10) Stwierdzenie “Praca maszyn opisana przy pomocy rozkładu normalnego świadczy o losowym charakterze zachodzących zmian” podane na stronie 101 jest także niezrozumiałe. Rozkładem prawdopodobieństwa można opisać parametr, zmienną, ale nie pracę maszyn!
- 11) W sekcji 11.7, na stronie 106 mamy kolejne niefortunne sformułowanie – “Z uwagi na skomplikowany charakter prowadzenia obliczeń w celu wykreślenia założonych rozkładów, formalny zapis w postaci zebranych i przetworzonych informacji przeprowadzony został wstępnie w programie Statistica 9.0”. To sformułowanie wymaga wyjaśnienia i przerezegowania – niezrozumiałe jest jaki formalny zapis dokonano w pakiecie Statistica.
- 12) Na stronie 144 można znaleźć następujące stwierdzenie “Weryfikacji wygenerowanego modelu symulacyjnego przeprowadzono przy pomocy statystyk testu t-Studenta dla jednej próby”. Chodzi tutaj chyba o walidację wyników wygenerowanych w trakcie eksperymentów na modelu symulacyjnym.
- 13) Również sformułowanie ze strony 148 jest niejasne i niejednoznaczne – “Na jego podstawie wykonano eksperyment symulacyjny polegającym na skróceniu średniego czasu trwania operacji ciągnięcia do 30 sekund przy zachowaniu pozostałych parametrów statystycznych czasu trwania tej operacji do momentu”. Chodzi chyba o to, że w tym eksperymencie założono, że średni czas trwania operacji ciągnięcia wynosi 30 sekund.

## 5. Ocena końcowa rozprawy doktorskiej

Podsumowując ocenę rozprawy doktorskiej stwierdzam, że praca stanowi udaną próbę rozwiązania zagadnienia naukowego. Za oryginalny wkład Doktoranta należy uznać opracowanie autorskiej metodyki budowy modelu decyzyjnego opartego na modelach probabilistycznych i modelu symulacyjnym procesu wytwórczego oraz weryfikację i walidację proponowanej metody na danych rzeczywistych. O pozytywnym odbiorze wyników prac mogą także świadczyć opinie kierownictwa zakładu, w którym Doktorant realizował badania (zaoprezentowane w załącznikach pracy).

Na podstawie przeprowadzonej analizy rozprawy uważam, iż mgr inż. Piotr Kamiński porusza się z dużą swobodą w badanej tematyce, wykazuje umiejętność samodzielnego zdefiniowania problemu naukowego i prowadzenia badań, interpretacji i uzasadnienia wyników oraz weryfikowania hipotez na podstawie przyjętych założeń. Zaprezentowane w części empirycznej rozprawy rozważania potwierdziły dojrzałość naukową Doktoranta, który udowodnił, że jest w stanie prowadzić prace badawcze, potrafi w sposób krytyczny dokonać przeglądu



literatury. Doktorant posiada umiejętność zastosowania odpowiednich narzędzi i programów komputerowych do analiz i weryfikacji wyników badań oraz potrafi wyciągać właściwe wnioski z przeprowadzonych badań. Uważam, że recenzowana rozprawa, mimo przedstawionych w poprzednich częściach recenzji uwag krytycznych została wykonana na dobrym poziomie merytorycznym. Przyjęte, przez mgra inż. Piotra Kamińskiego, tezy rozprawy zostały udowodnione, a wyznaczone cele konsekwentnie osiągnięte. Chciałbym jeszcze raz podkreślić, że przedstawiona rozprawa doktorska należy do aktualnego i ważnego nurtu badawczego, związanego z wdrażaniem nowych metod doskonalenia wydajności i efektywności złożonych procesów produkcyjnych.

Za najważniejsze wyniki badań Kandydata będące osiągnięciem naukowym, wnoszące postęp w wiedzy dotyczącej modelowania złożonych procesów produkcyjnych uważam:

- 1) prawidłowe sformułowanie oryginalnego tematu rozprawy oraz kompetentne osadzenie go w ramach literatury przedmiotu;
- 2) systemowe ujęcie problematyki identyfikacji technologicznej procesu produkcji;
- 3) opracowanie autorskiej metodyki budowy modelu decyzyjnego wspomagającego zarządzanie procesem produkcyjnym z łącznym wykorzystaniem metod modelowania probabilistycznego, symulacji dyskretnej sterowanej zdarzeniami i narzędzi szczupłego wytwarzania;
- 4) weryfikację i walidację wyników analiz z zastosowaniem symulacji komputerowej oraz danych rzeczywistych.

Biorąc pod uwagę merytoryczne i formalne aspekty rozwiązania tematu podjętego w pracy stwierdzam jednoznacznie, że rozprawa doktorska **Pana mgra inż. Piotra Kamińskiego** pt.: *Identyfikacja technologiczna wytwarzania prętów mosiężnych przy wykorzystaniu modeli symulacyjnych i probabilistycznych* **spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce** stawiane dysertacjom doktorskim.

**Konkludując, stawiam wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji – jako rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Kamińskiego na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie *Inżynieria mechaniczna* i dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

dr hab. inż. Marek Karkula, prof. AGH



