

Dr hab. inż. Arkadiusz Gola, prof. uczelni
Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Katedra Informatyzacji i Robotyzacji Produkcji
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin

Lublin, 13.09.2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Elżbiety Malec

pt.: „**Model systemu zarządzania produkcją wybranego przedsiębiorstwa
z uwzględnieniem efektywności procesu produkcyjnego**”

(recenzja wykonana na podstawie pisma Prodziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki
Krakowskiej – prof. dr hab. inż. Marka S. Kozienia nr M.00-55/2023 z dnia 12 lipca
2023 roku).

1. Obszar problemowy rozprawy – ocena celowości podjęcia tematu pracy

Funkcjonowanie przedsiębiorstw w dzisiejszym świecie związane jest z nieustanną presją redukcji kosztów wytwarzania przy jednoczesnej konieczności zachowania wysokiej elastyczności, umożliwiającej realizację procesów w małych seriach produkcyjnych. W konsekwencji pociąga to za sobą, zarówno wymóg optymalizacji przepływu produkcji w projektowanych lub eksploatowanych systemach wytwórczych, jak również sprawnego zarządzania informacją i procesami produkcyjnymi. Ze względu na wysokie koszty weryfikacji przyjętych założeń projektowych w rzeczywistych systemach wytwórczych standardem staje się „sięganie” po specjalistyczne oprogramowanie umożliwiające modelowanie i symulację przepływu produkcji (zarówno w procesach ciągłych, jak i dyskretnych). Tego typu podejście stanowi również kluczowy element cyfryzacji produkcji – będącej jednym z filarów Przemysłu 4.0.

W ocenianej pracy Autorka podjęła się zadania opracowania modelu komputerowego procesu produkcyjnego w wybranym przedsiębiorstwie z założeniem poprawy efektywności realizacji procesu wytwórczego. Do tego celu wykorzystwała dostępne na rynku oprogramowanie Vensim, dedykowane do modelowania i symulacji procesów z wykorzystaniem metody dynamiki systemu. Tego typu podejście należy uznać jako prawidłowe, m.in. ze względu na chęć realizacji ww. zadania bez konieczności rzeczywistej weryfikacji przyjętych założeń projektowych na rzeczywistym obiekcie (linii produkcyjnej).

Ponadto opracowane podejście ma charakter cyfrowego bliźniaka, co stanowi istotny krok w kierunku cyfryzacji produkcji w analizowanym przedsiębiorstwie produkcyjnym. Tym samym można stwierdzić, iż podjęta przez Autorkę tematyka jest ważna i wpisuje się w bieżące potrzeby i trendy badawcze, a opracowany model symulacyjny umożliwiający zwiększenie efektywności realizowanych procesów jest uzasadniony zarówno ze względów poznawczych, jak i możliwości zastosowania prezentowanych rozwiązań w warunkach przemysłowych.

2. Ocena struktury i zakresu pracy

W ogólnym ujęciu układ i struktura pracy są właściwe. Zasadniczo pracę podzielono na dwie części: teoretyczną i badawczą (określaną przez Autorkę jako modelowo-analityczną). W części teoretycznej (obejmującej rozdziały 1, 2 i 3) zawarto ważniejsze informacje dotyczące znaczenia przepływu informacji w zarządzaniu produkcją (rozdział 1), wybrane aspekty efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa (rozdział 2) oraz zagadnienia dotyczące modelowania i symulacji procesów produkcyjnych (rozdział 3). Część praktyczna zawiera cel pracy i zakres badań (rozdział 4), metodykę badań i budowy modelu (rozdział 5) oraz wyniki eksperymentów mających na celu weryfikację zbudowanego modelu (rozdział 6). Pracę kończy podsumowanie zrealizowanych prac badawczych, zawierające kierunki przyszłych badań a także streszczenia w języku polskim i angielskim, spisy tabel, rysunków i wykresów, spis bibliografii oraz aneks przedstawiający model opracowanego systemu zarządzania produkcją.

Taki sposób przedstawienia treści nie budzi żadnych zastrzeżeń (układ pracy stanowi logiczną i przejrzystą strukturę, ułatwiającą czytanie pracy oraz zrozumienie kolejnych etapów realizacji zdefiniowanego celu). Jedynie pewien niedosyt budzi brak wykazu użytych symboli i skrótów, który ułatwiłby czytanie pracy (zwłaszcza, że nie wszystkie z oznaczeń zostały wytłumaczone w tekście pracy – np. oznaczenia na rys. 7, s. 68). Na pozytywną uwagę zasługuje jednakże zamieszczenie schematów planu rozprawy doktorskiej (strona 6) i programu części badawczej rozprawy doktorskiej (strona 97), które stanowią swoistego rodzaju „mapę” ułatwiającą poruszanie się po treści pracy.

3. Ocena oryginalności i wartość merytoryczna rozprawy

3.1. Ocena merytoryczna rozprawy

Oceniana rozprawa ma charakter projektowo-analityczny. W ramach zrealizowanych prac badawczych Autorka opracowała oryginalny model systemu zarządzania produkcją w wybranym przedsiębiorstwie oraz dokonała jego implementacji i weryfikacji

z wykorzystaniem oprogramowania Vensim. W szczególności zrealizowano następujące badania i analizy:

1. Wybór narzędzia do budowy modelu komputerowego i opracowanie struktury przepływu informacji w modelu.
2. Budowę modelu komputerowego procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie (na wybranym przykładzie).
3. Określenie możliwości i ograniczeń modelu.
4. Weryfikację funkcjonowania poszczególnych modułów modelu wraz ze wskazaniem parametrów wpływających na efektywność procesu produkcyjnego.
5. Opracowanie zaleceń dla użytkowników opracowanego modelu.

Praca niewątpliwie wpisuje się w obszar badawczy „cyfryzacja i automatyzacja procesów produkcyjnych - komputerowe wspomaganie procesów wytwarzania” zdefiniowanego przez Komitet Inżynierii Produkcji Polskiej Akademii Nauk jako obszar zainteresowań *Inżynierii produkcji* (wchodzącej obecnie w skład dyscypliny naukowej *Inżynieria mechaniczna*).

Od strony merytorycznej pracę oceniam w sposób pozytywny. Autorka, na podstawie rzeczywistych procesów wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego zidentyfikowała problem, uzasadniający konieczność opracowania modelu umożliwiającego zwiększenie stopnia efektywności realizowanego procesu. Biorąc pod uwagę specyfikę analizowanego przedsiębiorstwa opracowała wirtualny model systemu oraz przeprowadziła jego weryfikację z wykorzystaniem danych z konkretnego procesu produkcyjnego, obejmujący swoim zakresem zarządzanie zamówieniami (zleceniami produkcyjnymi), zarządzanie procesem produkcyjnym (prace ślusarskie, spawanie lakierowanie, cynkowanie, montaż), kontrolę jakości oraz zarządzanie zapasami produkcji w toku.

3.2. Ocena oryginalności pracy

Biorąc pod uwagę całokształt opiniowanej pracy, poziom jej oryginalności uznaję jako „umiarkowany”. Mimo, iż opracowany przez Autorkę model ma charakter nowatorski – odniesienie go do konkretnego systemu produkcyjnego oraz wykorzystanie do jego budowy standardowych narzędzi mocno zawęża uniwersalność przedstawionego w pracy rozwiązania – a tym samym jego wartość naukową. W mojej ocenie wartość dodaną ocenianej pracy stanowi próba implementacji oprogramowania Vensim (z założenia dedykowanego do modelowania procesów ciągłych) do modelowania procesu dyskretnego oraz szczegółowy opis budowy modelu symulacyjnego. Wartościowym elementem opracowanego modelu jest próba integracji

procesów podstawowych (procesy wytwarzania) z procesami zarządzania zamówieniami, magazynowania oraz kontroli jakości.

3.3. Uwagi krytyczne

Mimo, iż praca jest napisana w sposób zrozumiały i na dobrym poziomie merytorycznym Autorka pracy nie ustrzegła się pewnych błędów, do których należy zaliczyć:

- Brak jasno zdefiniowanego problemu naukowego (w pracy nie określono w sposób jednoznaczny jaki problem naukowy chce rozwiązać Autorka).
- Zbyt mała korelacja pomiędzy częścią teoretyczną a częścią praktyczną pracy. Szczególnie dotyczy to rozdziału pierwszego (tj. „*Znaczenie przepływu informacji w zarządzaniu produkcją*”), który choć bardzo obszerny (obejmujący 42 strony) w niewielkim zakresie nawiązuje do zagadnień poddanych analizie w rozdziałach 5 i 6). Wydaje się, iż pominięcie tego rozdziału nie stanowiło by obniżenia jakości (a nawet wręcz odwrotnie) ocenianej pracy. Co więcej w rozdziałach 2 i 3 również występują treści, które nie są bezpośrednio związane z problemem podjętym w części badawczej (np. metody oceny efektywności na poziomie strategicznym).
- Nie do końca właściwy sposób przedstawienia treści w części teoretycznej pracy (przestawione treści mają bowiem charakter „podręcznikowy”, podczas gdy w większym stopniu powinny być one ukierunkowane na przegląd publikacji (zwłaszcza tych najnowszych), prezentację ważniejszych rezultatów zawartych w niniejszych opracowaniach oraz zdefiniowanie luki badawczej, którą ma „wypełnić” oceniana praca doktorska).
- Niewłaściwe sformułowanie tytułu podrozdziału 2.2.2 (w tytule rozdziałów nie powinno się bowiem używać sformułowań typu „Omówienie...”).
- Błędne sformułowany cel pracy (celem pracy nie jest bowiem – jak zostało to zapisane na stronie 96 usprawnienie procesu zarządzania produkcją w przedsiębiorstwach typu MŚP z zastosowaniem metody symulacji komputerowej). Po zapoznaniu się z treścią pracy wydaje się, iż celem pracy jest bardziej „Analiza możliwości zastosowania oprogramowania Vensim dla celów modelowania i symulacji procesów produkcyjnych” lub „Opracowanie i weryfikacja modelu systemu wytwarzania wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego”.
- Niewystarczające uzasadnienie zastosowania oprogramowania Vensim dla celów modelowania procesów produkcyjnych (należy zaznaczyć, iż oprogramowanie Vensim

z założenia dedykowane jest do modelowania i symulacji procesów ciągłych, podczas gdy procesy produkcyjne (również te wykorzystane w pracy do weryfikacji opracowanego modelu) są w przeważającej liczbie procesami dyskretnymi).

- Zbyt lakoniczne wyjaśnienie formuł prezentowanych w rozdziale 5.2 uniemożliwiające ich zrozumienie i ocenę prawidłowości ich zastosowania (przykładem może być tu chociażby formuła „*Bank zamówień = $\int$ wpływające zlecenia – przygotowanie zleceń dt* ”).
- Brak wyjaśnienia wielu założeń dotyczących doboru parametrów wykorzystanych w procesie weryfikacji opracowanego modelu (np. na jakiej podstawie przyjęto założenie, że jeden robot ma wydajność dwóch spawaczy – s. 148, itp).
- Zbyt pobieżna analiza efektywności opracowanego modelu (o ile w ramach przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych wykazano poprawność funkcjonowania modelu oraz sposób jego wykorzystania dla potrzeb doskonalenia przepływu – pewien niedosyt budzi brak analizy wskaźników efektywności procesu wyszczególnionych w rozdziale 2 pracy).

Ponadto lektura treści pracy skłania do sformułowania następujących pytań i uwag o charakterze dyskusyjnym lub wymagających dodatkowych wyjaśnień:

1. Na stronie 8, powołując się na źródło [39] zamieszczono sformułowanie „*Wymienione cztery filary, na których opiera się sprawne zarządzanie produkcją, to następujące po sobie etapy, od których zależy utrzymanie produkcji*”. Czytając je pojawia się pytanie: *Co Autorka ma na myśli pod hasłem „utrzymanie produkcji”?*
2. Na stronie 9, zawarto sformułowanie „*Proces technologiczny to zbiór metod wytwarzania produktów, które obejmują zmianę stanu, właściwości i kształtu surowców i półproduktów*”. Wydaje się, że takie sformułowanie nie do końca jest definicją procesu produkcyjnego (bo czy na pewno proces technologiczny to zbiór metod wytwarzania?). Dlatego bardzo proszę o komentarz w tej sprawie.
3. Na stronie 13 zamieszczono „zagadkowe” sformułowanie „*Obowiązkiem każdego przedsiębiorcy jest dokonanie redukcji danych*”. Bardzo proszę o rozwinięcie i uszczegółowienie tej tezy.
4. W tabelach 1 i 2 na stronach 15 i 16 dokonano klasyfikacji informacji m.in. wg kryterium ich pochodzenia. W tabeli 1 zawarto podział na „informacje zewnętrzne” i „informacje wewnętrzne”, podczas gdy w tabeli 2 oprócz tych dwóch kategorii pojawia się dodatkowo

kategoria „informacje wspólne”. Skąd wynika ta różnica? Bardzo proszę o wyjaśnienie tej kwestii.

5. Na stronie 33 czytamy *„Rozwój technologii informacyjnej, w tym szczególnie coraz powszechniejszy dostęp do usług internetowych, wraz z globalizacją gospodarki, spowodują zdecydowany wzrost uniwersalności projektowanych i wdrażanych systemów informacyjnych”*. Na jakiej podstawie sformułowano takie stwierdzenie? Skąd wiadomo, że ono jest prawdziwe?
6. Na stronach 33 i 34 przedstawiono 9 etapów tworzenia systemu informacyjnego (SI). Nie podano jednak źródła pochodzenia tej informacji. Czy jest to opracowanie własne Autorki?
7. Na stronie 73 zawarto sformułowanie *„Producenci dążą do tego, aby ich produkt był kupowany przez jak największą liczbę klientów. Dlatego ważne jest, aby produkować tanie i wysokiej jakości produkty, dostarczając je tylko wtedy, gdy klient tego potrzebuje”*. Wydaje się, że jest to pewne uogólnienie pomijające kwestię segmentacji rynku (np. segment dóbr luksusowych). Bardzo proszę o komentarz w tej sprawie.
8. Na stronie 78 zawarto stwierdzenie *„Przedsiębiorstwa, które chcą odnosić sukcesy... zobligowane są do wykorzystywania systemów komputerowych do modelowania i symulacji procesów produkcyjnych...”*. Czy nie jest to sformułowanie „na wyrost”? Czy na pewno przedsiębiorstwa są zobligowane aby takie systemy posiadać?
9. Na stronie napisano *„Programów, które można wykorzystać do zbudowania modelu i symulowania procesów jest wiele, niektóre dostępne są nieodpłatnie i posiadają przyjazny użytkownikowi interfejs (jak np. Vensim), dzięki czemu niwelują argumenty związane z niechęcią do wdrażania systemów klasy ERP przez mniejszych przedsiębiorców.”* Jako, że jest to swoistego rodzaju skrót myślowy proszę o wyjaśnienie dlaczego programy do symulacji „niwelują argumenty związane z niechęcią do wdrażania systemów klasy ERP”.
10. W module zamówienia do formuły (1) wprowadzono tzw. „współczynnik pomnażający WP. Brakuje jednak wyjaśnienia w jaki sposób jest ustalana jego wartość.
11. Jak wynika z opisu na stronie 109, w module „zapasy materiałów” podstawową jednostką jest „uogólniona sztuka materiału” oznaczana jako [sztM]. Co w praktyce oznacza ta jednostka i na czym polega to „uogólnienie”?
12. W przypadku modelowania procesu spawania przyjęto wartość podziału zleceń na poziomie 0,4 (strona 115). Na jakiej podstawie przyjęto akurat taką wartość? W jaki sposób powinna być ona definiowana w przypadku próby implementacji niniejszego modelu w innych systemach produkcyjnych?

13. Jak wynika z przedstawionego opisu, na wykresie 12 (strona 144) przedstawiono „optymalną kombinację zdolności produkcyjnej i wydajności ślusarzy”. Skąd wiadomo, że akurat ta kombinacja jest optymalna?

3.3. Uwagi szczegółowe

W ogólnej ocenie praca została przygotowana starannie, a prezentowane treści ilustrowane są umiejętnie rysunkami, tabelami i wykresami. Autorka posługuje się językiem właściwym dla prac naukowych (jedynym zastrzeżeniem w tym zakresie jest stosowanie w niektórych miejscach formy osobowej, np. „...*Możemy mówić o...*” – s. 86, „*Przedstawiam poniżej algorytm...*” – s. 88, „... *w zależności od rodzaju symulacji, którą przeprowadzamy*” – s. 90, „...*aż osiągniemy satysfakcjonujące rezultaty...*” – s. 90 oraz – dosyć często pojawiających kolokwializmów i tzw. skrótów myślowych np. „*Jeżeli któryś z filarów zaczyna się kruszyć, wówczas powodzenie produkcji staje pod znakiem zapytania*” – s. 9, „*Informacja była zawsze integralną częścią pracy każdego przedsiębiorcy*” – s. 12, „*Każde przedsiębiorstwo wykorzystuje komplety różnych informacji*” – s. 15, „*Niektórzy ludzie zwiększają swoje zaangażowanie w pracy, którą teraz bardziej lubią, bo bawi ich stosowanie nowej techniki*” – s. 39, „*Przy podejmowaniu decyzji nie wystarczy obchód po hali i ogólny obraz sytuacji*” – s. 65, „*Przedsiębiorcy poszukują odpowiedzi na wiele pytań. Ilu ludzi wysłać do domu, a ilu wystarczy aby realizować bieżące zamówienia? Jakich zasobów trzeba by zwiększyć produkcję i nie przeoczyć pojawiającej się okazji?*” – s. 65, „*Manipuluje się parametrami, scenariuszami i warunkami symulacji, aby zbadać różne przypadki i osiągnąć zamierzone cele*”. – s. 89 - co raczej nie powinno mieć miejsca w tego typu opracowaniach). Pojawiające się w pracy błędy o charakterze stylistycznym, gramatycznym i edytorskim mają charakter bardzo sporadyczny a ich przykładami są np.:

- błędy stylistyczne i gramatyczne:
 - s. 18 – „*Poziom operacyjny, czyli najniższy poziom zarządzania.*” (to nie jest zdanie),
 - s. 38 – „*Chociaż systemy informacyjne mogą zwiększyć zdolność organizacji do szybkiego przerobu liczb i produkcji dokumentów, trudno zmierzyć, czy prędkość jest uzasadniona w świetle olbrzymich kosztów z jakimi należy się liczyć podczas wdrażania systemu.*”,
 - s. 39 – „*Z jednej strony bowiem systemy informacyjne zazwyczaj powodują poprawę indywidualnej sprawności.*”,

- s. 42 – „DSS jest szczegółowym i potężnym systemem, który może automatycznie wyszukiwać, przetwarzać oraz sumować informacje...”,
- s. 49 – „Efektywność, która jest definiowana jako wzajemne relacje między nakładami i efektami, może być wyrażana poprzez trzy podstawowymi formułami: [36]”,
- s. 65 – „Czas cyklu produkcyjnego – to całkowity czas potrzebny na przeprowadzenie procesu produkcyjnego od początku do końca”,
- s. 72 – „Mimo, iż istnieje możliwość pozyskiwania dużej ilości informacji bezpośrednio z procesu produkcyjnego za pomocą systemów do rejestrowania czasu pracy, samo posiadanie suchych danych nie gwarantuje...”
- s. 113 – „W analizowanym modelu prace ślusarskie są wykonywane przez zy zatrudnionych w przedsiębiorstwie (na etat lub zlecenie), co pokazano na Rysunku 19.
- s. 124 – „Z pomocą przychodzi regulator zatrudniania spawaczy”.
- powtórzenia:
 - s. 14. – „organizacji”, „organizacji”; „zarządzania”, „zarządzania”,
 - s. 92 – „symulacji”, „symulacyjne”
- błędy o charakterze edytorskim:
 - s. 8 – jest: „... gospodarowani...”, powinno być: „...gospodarowaniu ..”,
 - s. 68 – jest: „...zostały krótko omówione w punkcie 2.3.1.”, powinno być: „...zostały krótko omówione w punkcie 2.2.1.”,
 - s. 109 – jest: „... kiedy forma będzie chciała rozwijać działalność.”, powinno być: „... kiedy firma będzie chciała rozwijać działalność”,

Ponadto w niektórych miejscach brakuje znaków interpunkcyjnych (przecinki) oraz nie usunięto tzw. „sierot” na końcach wierszy.

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę całokształt ocenianej pracy stwierdzam, iż recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Elżbiety Malec stanowi oryginalne rozwiązanie problemu z obszaru Inżynierii Produkcji, wykazuje ogólną wiedzę Kandydata w dyscyplinie „Inżynieria mechaniczna” oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Jako oryginalne rozwiązanie problemu naukowego (choć nie zostało to wyeksponowane w treści pracy) uznaję opracowaną metodę modelowania, oceny adekwatności modelu oraz realizacji eksperymentów

symulacyjnych mających na celu zarządzanie procesem produkcyjnym ukierunkowanym na poprawę jego efektywności.

Po zapoznaniu się z treścią pracy stwierdzam, iż Doktorantka wykazał się znajomością podstawowej literatury przedmiotu rozprawy, umiejętnością praktycznego wykorzystania dotychczasowych zdobyczy nauki dla potrzeb rozwiązania realnych problemów z obszaru inżynierii produkcji. Zauważone w rozprawie doktorskiej nieprawidłowości oraz wskazane w punktach 3.2 i 3.3 uwagi nie mają zasadniczego znaczenia dla wartości merytorycznej pracy, odpowiadającej współczesnemu standardowi prac doktorskich. Dlatego też rozprawa w całości może być oceniona pozytywnie.

Konkludując uważam, że opiniowana praca spełnia warunki stawiane przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 *o stopniach i tytule naukowym* (Dz.U. z 2017, poz. 1789 ze zm.) w dyscyplinie „Inżynieria mechaniczna” i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Aleksander Gola