

dr hab. inż. Izabela Rojek, prof. uczelni  
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

Bydgoszcz, dnia 30.04.2023 r.

Członek Komitetu Inżynierii Produkcji Polskiej Akademii Nauk  
Przewodnicząca Sekcji Cyfryzacji Produkcji KIP PAN

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamila Musiała zatytułowanej:

### **„Metodyka harmonogramowania produkcji w aspekcie optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich z wykorzystaniem metaheurystyk”**

Promotorzy:

dr hab. inż. Anna Burduk, prof. uczelni

dr hab. inż. Jarosław Pempera, prof. uczelni

Recenzję sporządzono na zlecenie

Przewodniczącego RDN Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej,

prof. dra hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego

przedstawione w piśmie nr W10/RDND07/16/2023, z dnia 14 marca 2023 roku.

### **I. TEMATYKA I UKŁAD ROZPRAWY**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska reprezentuje dziedzinę nauk inżynieryjno-technicznych dyscypliną naukową inżynieria mechaniczna. W ogólnym ujęciu tematyka badawcza recenzowanej rozprawy obejmuje opracowanie metodyki harmonogramowania produkcji w aspekcie optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich opartej na metodach inteligentnych z uwzględnieniem takich kryteriów optymalizacyjnych jak minimalna liczba pracowników lub minimalny czas realizacji zadań produkcyjnych z uwzględnieniem kompetencji pracowników. Jest ona zgodna z dyscypliną naukową, w ramach której została opracowana.



Szczegółowa tematyka rozprawy dotyczy opracowania poszczególnych etapów metodyki harmonogramowania produkcji w aspekcie optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich, w tym opracowania algorytmu optymalizacyjnego Neuro-Tabu Search (NTS), który został wykorzystany w metodyce harmonogramowania produkcji w kontekście minimalizacji czasu realizacji zadań produkcyjnych oraz weryfikacji opracowanej metodyki w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Pomimo, że podobne zagadnienia są rozpatrywane i publikowane w literaturze, ważność tematu podjętego przez Autora pracy nie budzi wątpliwości. Ważnym elementem wyróżniającym pracę było opracowanie algorytmu optymalizacyjnego opartego na metodach inteligentnych. Wykorzystując opracowany algorytm możliwe jest harmonogramowanie produkcji w aspekcie optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich. Weryfikacja opracowanej metodyki w przedsiębiorstwie produkcyjnym jest istotną wartością dodaną rozprawy.

Stwierdzam, że tematyka podjęta w rozprawie wypełnia lukę badawczą w obszarze harmonogramowania produkcji przy użyciu algorytmu metaheurystycznego pozwalającego na optymalizację wykorzystania zasobów ludzkich z uwzględnieniem różnych kompetencji pracowników oraz wielowariantowości sposobów wykonania produktów.

Tytuł pracy jest zgodny z podjętą tematyką badawczą oraz treścią pracy. Cel pracy został jasno i poprawnie sprecyzowany, a zakres pracy jest spójny i powiązany z tematyką rozprawy.

Rozprawa obejmuje 159 stron i składa się z 9 rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim wraz ze słowami kluczowymi, bibliografii (łącznie 177 pozycji, w tym 10 współautorskich, anglojęzycznych publikacji Doktoranta), spisu rysunków oraz spisu tabel. Bibliografia zawiera ważniejsze pozycje z zakresu przedmiotu pracy. Jedynym mankamentem tego układu pracy jest brak spisu skrótów, który ułatwiłby dalsze czytanie pracy.

Układ pracy odpowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim. Praca ogólnie jest dobrze opracowana pod względem edytorskim, zawiera schematy, rysunki i wykresy. Niestety niektóre elementy rozprawy są mało czytelne (np. rysunki w rozdziale 8). Czasami zdarzają się drobne błędy językowe (np. „literówka” w opisie rys. 8.1 słowo „marsztury”, a powinno być „marszruty”). Tekst pracy napisany jest poprawną polszczyzną. Mimo pewnych mankamentów układ rozprawy i jej stronę edycyjną oceniam dobrze.

## II. OGÓLNA OCENA TREŚCI I ZAKRESU ROZPRAWY

We **Wstępie** dokonano wprowadzenia i omówienia zakresu pracy. Przedstawiono krótki przegląd literatury w zakresie harmonogramowania produkcji, zarządzania zasobami ludzkimi, szeregowania zadań, czy stosowania algorytmów heurystycznych do wybranych zagadnień. Dokonano



analizy liczby artykułów opisujących zastosowanie metod inteligentnych w harmonogramowaniu produkcji na przestrzeni lat 2014-2020. Na podstawie tego przeglądu oraz analizy liczby artykułów sformułowano cel rozprawy doktorskiej.

**Uwaga 1.** *W rozdziale tym podczas analizy liczby artykułów pominięto lata 2021 i 2022. Analizę wykonano do roku 2020.*

**Uwaga 2.** *W celu zwiększenia czytelności rozprawy rysunki 2, 3 i 4 powinny się znaleźć przed celem rozprawy, bliżej miejsca powołania w tekście.*

W **Rozdziale 1** dokonano charakterystyki harmonogramowania produkcji na podstawie dostępnej literatury przedmiotu, w tym planowania i sterowania produkcją, istoty harmonogramowania produkcji, problemów, czy kryteriów jakości występujących przy budowie harmonogramów. Po analizie tych zagadnień Doktorant dokonał wyboru określonego kryterium i w dalszej części rozprawy skoncentrował się na optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich podczas opracowania metodyki harmonogramowania produkcji.

**Uwaga 3.** *Niektóre zagadnienia zostały potraktowane dosyć skrótowo, w celu większej klarowności wypowiedzi mogłyby być opatrzone komentarzem Autora.*

**Uwaga 4.** *Czy rysunek 1.1. to opracowanie własne Autora, czy został zacytowany z literatury?*

W **Rozdziale 2** zaprezentowano analizę dostępnej literatury przedmiotu w zakresie wybranych metod inteligentnych. Dokonano przeglądu wybranych metod, krótko omówiono programowanie równoległe oraz porównano opisane wcześniej algorytmy. Wartością dodaną pracy jest porównanie wybranych algorytmów w inżynierii produkcji na podstawie analizy literatury, w tym algorytmów najbardziej odpowiednich w obszarze harmonogramowania produkcji.

**Uwaga 5.** *W tabeli 2.2. wskazano kilka algorytmów, które są wykorzystywane w harmonogramowaniu produkcji. Co prawda Doktorant na koniec rozdziału krótko napisał o przydatności tych algorytmów w zakresie harmonogramowania. Jednak w mojej opinii jest tutaj pewien niedosyt w tym uzasadnieniu. Dlaczego Doktorant zdecydował się ostatecznie na algorytm Tabu Search. Czy wykonał jakieś eksperymenty, które pozwoliły na taki wybór? Czy dokonał tego wyboru na podstawie literatury?*

W **Rozdziale 3** określono lukę badawczą, na podstawie której sformułowano problem badawczy, a następnie tezę rozprawy. Dla przyjętej tezy określono cel główny i cele szczegółowe pracy,



dla zrealizowania których zdefiniowano zadania badawcze. Dodatkowo przedstawiono cel użyteczny pracy.

W **Rozdziale 4** opracowano metodykę harmonogramowania produkcji w aspekcie optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich. W metodyce wyróżniono 6 etapów, które zostały opisane w rozdziale.

**Uwaga 6.** *Czy Doktorant w trakcie opracowywania własnej metodyki analizował inne metodyki dotyczące harmonogramowania produkcji występujące w literaturze?*

**Rozdział 5** przedstawia autorski algorytm optymalizacyjny Neuro-Tabu Search, który został zastosowany w opracowanej wcześniej metodyce harmonogramowania produkcji. Algorytm ten jest modyfikacją algorytmu Tabu Search, w którym mechanizm zabronień został połączony z samoorganizującą się siecią neuronową. Bardzo ważnym elementem pracy jest ocena efektywności proponowanego algorytmu poprzez porównanie jakości rozwiązań generowanych przez autorski algorytm z jakością rozwiązań generowanych przez algorytmy: Tabu Search (TS), symulowanego wyżarzania (SA), czy szukania zstępującego (DS) (tabela 5.3). Doktorant wykonał szereg badań eksperymentalnych dotyczących oceny efektywności.

**Uwaga 7.** *Doktorant zastosował określone algorytmy do porównania z własnym. Zrozumiałym jest, że porównał własny algorytm z algorytmem TS. Proszę o wyjaśnienie dlaczego wybrał też SA i DS, a nie inne? W mojej opinii w tabeli 2.2. nie przedstawiono algorytmu DS oraz nie omówiono go w rozdziale 2.*

W **Rozdziale 6** omówiono charakterystykę systemu produkcyjnego, dla którego została przeprowadzona weryfikacja metodyki harmonogramowania produkcji w aspekcie optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich. Na podkreślenie zasługuje bardzo dobrze omówiona specyfikacja wybranej grupy wyrobów DOPEL, charakterystyka głównych procesów produkcyjnych Zakładu produkcyjnego Brose Sitech Sp. z o.o. Polkowice wraz z charakterystyką procesu produkcji grupy wyrobów DOPEL. Szczegółowo opisano sposób obliczania zapotrzebowania na pracowników produkcyjnych obowiązujący w Zakładzie wraz z przykładem zastosowania tego sposobu.

**Rozdział 7** stanowi weryfikację autorskiej metodyki harmonogramowania produkcji w aspekcie optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich. W tej części pracy przeprowadzono



weryfikację praktyczną opracowanej metodyki. Weryfikacja odbyła się zgodnie z etapami metodyki opisanymi w rozdziale 4 i na danych z Zakładu w Polkowicach. Cennym elementem tego rozdziału jest końcowe podsumowanie, w którym Doktorant zawarł wnioski z praktycznej weryfikacji metodyki i wskazał zalety własnego rozwiązania. Weryfikacja metody w rzeczywistym przedsiębiorstwie została ukazana w sposób transparentny.

**Rozdział 8** opisuje autorską aplikację wspierającą generowanie harmonogramów. W celu ułatwienia użycia algorytmu Neuro-Tabu Search opracowano interfejs graficzny. W ten sposób parametry oraz polecenia są wprowadzane w oknie aplikacji, a wyniki - zamiast w postaci liczbowej - są przedstawiane w postaci wykresów czy diagramów, które są zrozumiałe i przyjazne dla użytkownika. Na teraz aplikacja generuje harmonogram dla 27 produktów, należących do różnych grup produktów w ramach jednego projektu. W mojej opinii jest to przyszłościowe narzędzie, które może wspomóc pracowników Zakładu.

W **Rozdziale 9** dokonano podsumowania pracy. Wskazano oryginalne naukowe i użytkarne osiągnięcia w pracy. Ponadto zaproponowano kierunki rozwoju dalszych badań, dotyczące poszerzenia zakresu i obszarów zastosowania metodyki harmonogramowania produkcji w aspekcie optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich.

### **III. OCENA METODOLOGICZNEJ I METODYCZNEJ KONCEPCJI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

Na podstawie przeprowadzonej analizy w rozprawie doktorskiej i procedury rozwiązywania postawionych zadań badawczych, metodologiczną i metodyczną koncepcję rozprawy doktorskiej oceniam bardzo pozytywnie, ponieważ zawiera ona opracowanie metodyki harmonogramowania produkcji w aspekcie optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich z wykorzystaniem metaheurystyk.

Za oryginalne i ważne pod względem naukowym oraz użytkarnym, rezultaty badań uzyskane przez Doktoranta, uznaję:

1. Opracowanie metodyki harmonogramowania procesów produkcyjnych, na podstawie której możliwe jest generowanie różnych wariantów harmonogramów produkcyjnych pod kątem wykorzystania zasobów ludzkich.
2. Opracowanie autorskiego algorytmu optymalizacyjnego Neuro-Tabu Search.
3. Opracowanie autorskiej aplikacji wspierającej generowanie harmonogramów zgodnie z opracowaną metodyką.



4. Przedstawienie weryfikacji opracowanej metodyki poprzez przeprowadzenie wielu eksperymentów badawczych, które potwierdziły tezę rozprawy.

Podczas przygotowania rozprawy doktorskiej Doktorant wykazał się dojrzałością naukową. O właściwym przygotowaniu mgra inż. Kamila Musiała do prowadzenia prac badawczych świadczą: rzeczowa analiza literatury, zastosowanie właściwej wiedzy z zakresu harmonogramowania produkcji i metod inteligentnych, poprawny dobór narzędzi do badań, autorskie opracowanie procedur badawczych, weryfikacja możliwości zastosowania opracowanej metodyki oraz umiejętność wskazania kierunków dalszych badań. Doktorant wykazał postawioną w rozprawie tezę badawczą.

**Podsumowując stwierdzam, że zadania badawcze, które podjął Doktorant uzupełniają oraz poszerzają wiedzę z zakresu harmonogramowania produkcji. Rozprawę doktorską mgra inż. Kamila Musiała oceniam pozytywnie.**

### III. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Przytoczone uwagi mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają wartości osiągniętych w pracy doktorskiej rezultatów. Mają one na celu pomóc w doskonaleniu warsztatu naukowego Doktoranta i stać się jedynie inspiracją oraz zachęcić do prowadzenia dalszych badań. Doktorant udowodnił, że potrafi prowadzić badania oraz rozwiązywać problemy naukowe.

Biorąc pod uwagę całość pracy stwierdzam, że **przedstawiona rozprawa doktorska mgra inż. Kamila Musiała pt. „Metodyka harmonogramowania produkcji w aspekcie optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich z wykorzystaniem metaheurystyk” stanowi oryginalną pracę, mieszczącą się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i odpowiada wymaganiom określonym w ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami). W związku z tym wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

*Trabela Rojek*