

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Banaszak
Wydział Elektroniki i Informatyki
Politechnika Koszalińska
ul. Śniadeckich 2
75-453 Koszalin

Koszalin, 13.04.2023 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej Kamila Musiała zatytułowanej:

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

Podstawa opracowania recenzji

Ocena recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamila Musiała pt.: *„Metodyka harmonogramowania produkcji w aspekcie optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich z wykorzystaniem metaheurystyk”*, której promotorką jest dr hab. inż. Anna Burduk, prof. PWr. A promotorem pomocniczym dr hab. inż. Jarosław Pempera, prof. PWr., opracowana została na zlecenie Przewodniczącego RDN Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej, prof. dra hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego przedstawione w piśmie nr W10/RDND07/14/2023, z dnia 14 marca 2023 roku.

Recenzja stanowi element postępowania o nadanie mgr inż. Kamilowi Musiałowi stopnia naukowego doktora w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna, a jej celem jest udzielenie odpowiedzi na pytanie czy przedmiotowa rozprawa spełnia wymogi określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz U. z 2022 r. poz.574 z późn. zm.), a w szczególności z *art. 187 ust. 1*.

1. Obszar problemowy rozprawy

Szybko rosnące wymagania rynku konsumenta związane z rosnącym zapotrzebowaniem na coraz bardziej różnorodne, coraz częściej zmieniające się, produkty i usługi wymuszają poszukiwanie nowych, efektywniejszych sposobów wykorzystania zdolności produkcyjnych przedsiębiorstw. Znaczy to, że w czasach, gdy każdy producent może korzystać z tych samych zasobów o jego konkurencyjności, w procesie realizacji danego zamówienia (produktu lub usługi) decyduje sposób ich wykorzystania. Posiadając te same możliwości dostępu do tych samych zasobów przedsiębiorstwa konkurować mogą zatem tylko w obszarze wypracowywania szybkich i trafnych decyzji, a w szczególności doboru i wykorzystania metod/technologii wspomagających te wybory.

W przedstawionym kontekście, opiniowana rozprawa koncentrując się na zagadnieniach planowania jednoczesnej wielowersyjnej produkcji średnioseryjnej realizowanej w przedsiębiorstwie branży motoryzacyjnej, podejmuje problematykę harmonogramowania i sterowania przepływem materiałów w procesie wytwórczym oraz zagadnienia przydziału zasobów ludzkich do zadań występujących w tych procesach. Rozważany problem sprowadza się do poszukiwania metodyki wyznaczania harmonogramów produkcyjnych optymalizujących wykorzystanie zasobów ludzkich przy ograniczeniach uwzględniających różne kompetencje pracowników oraz możliwości wielowariantowego wykonania produktów. Zakłada się, że docelowa metodyka implementowała będzie autorski algorytm heurystyczny pozwalający na generowanie różnych wersji harmonogramów przepływu produkcji (minimalizujących bądź to liczbę zatrudnianych pracowników bądź też czas realizacji zadań produkcyjnych) dla zadanych warunków i ograniczeń.

Zaproponowane podejście posiada cechy nowości w stosunku do innych, znanych z literatury, metod planowania produkcji. Na elementy te składają się, m.in. autorskie metody harmonogramowania uwzględniające tak możliwość alternatywnego (wielowariantowego) wykonania wyrobu, jak i potrzebę optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich (uwzględniającą zmienną liczbę pracowników oraz ich różne kompetencje, predyspozycje i umiejętności). Oznacza to, że opiniowana rozprawa podejmuje ważny i aktualny problem planowania jednoczesnej, wieloasortymentowej produkcji średnioseryjnej realizowanej w sektorach zaawansowanych technologii, m.in. branży motoryzacyjnej i lotniczej, zatrudniających pracowników o różnych kompetencjach.

Tematyka rozprawy leży na styku co najmniej trzech dyscyplin: Inżynierii Mechanicznej, Automatyki, Elektroniki, Elektrotechniki i Technologii Kosmicznych oraz Informatyki Technicznej i Telekomunikacji. Jej tytuł: „**Metodyka harmonogramowania produkcji w aspekcie optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich z wykorzystaniem metaheurystyk**” odpowiada treści rozprawy. Uważam, że wnosi ona interesujący wkład w rozwój efektywnych metod planowania produkcji dyskretniej w firmach motoryzacyjnych, a akcentując rolę czynnika ludzkiego, tzn. odpowiadając na potrzeby Przemysłów 4.0 i 5.0, wpisuje się merytorycznie w zakres dyscypliny Inżynieria Mechaniczna.

Uważam, że podjęcie przedstawionej problematyki, w rozprawie o charakterze metodologiczno-eksperymentalnym jest uzasadnione zarówno ze względów poznawczych, jak i możliwości wielu praktycznych zastosowań związanych z analizą sytuacji powodowanych wzmożoną absencją pracowników produkcyjnych, oraz wypracowaniem przydziałów pracowników do zadań zgodnie z ich kompetencjami i zróżnicowanymi potrzebami.

2. Kompozycja i treść rozprawy

Opiniowana praca liczy 152 strony i składa się z 9 rozdziałów, liczącego 177 pozycji spisu cytowanych źródeł bibliograficznych, polsko- i anglojęzycznych streszczeń rozprawy oraz spisów zamieszczanych rysunków i tabel. W załączonym wykazie cytowanej bibliografii, występuje 9 współautorskich, anglojęzycznych publikacji Doktoranta. Dwie z tych prac opublikowanych zostało w czasopiśmie z listy JCR posiadających IF, a pozostałe 7 w materiałach konferencyjnych wydanych przez wydawnictwo Springer.

Lista cytowanych publikacji obejmuje ważniejsze pozycje z zakresu przedmiotu pracy. Należy jednak odnotować brak kilku istotnych pozycji z obszaru „optymalizacji wykorzystania zasobów ludzkich” (wskazującego na istniejącą lukę badawczą), a pochodzących z innych krajowych ośrodków akademickich, jak np.:

Marcin Klimek, Predyktyno-reaktywne harmonogramowanie produkcji z ograniczoną dostępnością zasobów, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Rozprawa doktorska, Kraków, 2010, <https://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy2/10260/full10260.pdf>

Agnieszka Bieńkowska, Bról Marian Waldemar, Zarządzanie przez kompetencje, W: M. Hożej, Z. Kral (red.): Współczesne metody zarządzania w teorii i praktyce (pp.173-190), Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2011, https://www.researchgate.net/publication/270686883_Zarządzanie_przez_kompetencje#fullTextFileContent

Maria Wojtas-Klima, Istota tworzenia modeli kompetencji w przeprowadzeniu efektywnej rekrutacji i selekcji pracowników, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 2014, Seria: Organizacja i Zarządzanie z. 72 Nr kol. 1918, pp.197-207.

Z merytorycznego punktu widzenia, w rozprawie wyodrębnić można trzy zasadnicze części. W części pierwszej, posiadającej wprowadzająco-systematyzujący charakter (obejmującej rozdziały 1 - 3) przedstawione zostały: geneza, cel i teza rozprawy, a także podany został jej zakres. W części tej, w Rozdziale 1, podejmowana jest próba wprowadzenia w wybrane problemy planowania produkcji wielowersyjnej oraz metody badań operacyjnych wykorzystywane do ich rozwiązywania.

Przyjęta, lapidarna formuła prezentacji, stwarzająca wrażenie swoistych wypisów z literatury przedmiotu, nadaje tej części pewien faktograficzny charakter okupiony jednak brakiem szerszych autorskich uwag i komentarzy. W tym kontekście, do zalet tej części rozprawy należy zaliczyć próbę opracowania swoistej taksonomii metod wykorzystywanych w zagadnieniach harmonogramowania dyskretnych procesów produkcyjnych. Do wad natomiast zaliczyć należy milczące założenie przyjmujące, że w procesach planowania produkcji występują tylko problemy optymalizacyjne. Łatwo zauważyć, że wielu przypadkach planowania produkcji np.

zakładających poszukiwanie rozwiązań gwarantujących jednoczesny brak oczekiwania maszyn i przestoju procesów (ang. no-wait, no-idle), podstawową kwestią staje się gwarancja istnienia jakiegokolwiek, spełniającego te ograniczenia, rozwiązania dopuszczalnego – a zatem rozstrzygnięcie stosownego problemu decyzyjnego związanego z istnieniem niepustej przestrzeni rozwiązań.

W części drugiej, zawierającej główne wyniki rozprawy (obejmującej rozdziały 4 - 6) przedstawiono metodykę planowania zleceń produkcyjnych umożliwiającą wyznaczanie harmonogramów minimalizujących czas ich wykonania oraz liczbę zatrudnianych przy nich pracowników. Kluczową rolę w opracowanej, 6-cio etapowej metodyce odgrywają etapy: wyznaczania sposobów produkcji wyrobów (etap 4) oraz generowania i wyboru zoptymalizowanego harmonogramu ich produkcji (etap 5). Na etapach tych, przyjmując, że każde zlecenie produkcyjne podzielone jest na zadania (polegające na wyprodukowaniu określonej liczby sztuk wyrobu), dobierane są sposoby ich wykonania (określające rodzaj i ilość zasobów wykorzystanych do ich produkcji) oraz wyznaczana jest kolejność ich realizacji na zasobach. Tak rozumiany harmonogram realizacji zlecenia produkcyjnego wyznaczany jest przez autorski algorytm optymalizacyjny o nazwie **Neuro-Tabu Search**. Ostatni, 6 etap metodyki, dotyczący jej oceny, sprowadza się do porównania harmonogramu uzyskanego z ww. algorytmu z harmonogramem zbudowanym z wykorzystaniem metod tradycyjnych. Za punkt odniesienia przyjęto przedsiębiorstwo Brose Sitech Sp. z o.o w Polkowicach specjalizujące się m.in. w produkcji systemów siedzisk samochodowych. Wyniki przeprowadzonych badań koncentrujące się na procesie produkcji grupy wyrobów DOPEL wykorzystane zostały do weryfikacji opracowanej metodyki.

Do zalet tej części rozprawy należy zaliczyć przejrzyste udokumentowaną (ilustrowaną graficznie) specyfikację części wyrobów grupy **DOPEL**, specyfikacji występujących operacji technologicznych (m.in. czasów operacji, kompetencji pracowników), a także opisy wybranych sposobów obliczania zapotrzebowania na pracowników produkcyjnych.

Do niedostatków tej części zaliczyć należy sposób reprezentacji Algorytmów 5.1 i 5.2. Przyjęty w nich zapis listy kroków odbiega od wcześniej wykorzystywanych reprezentacji typu flowchart ilustrujących schematy działania algorytmu Tabu Search (rys. 2.3), Scatter Search (rys. 2.4), symulowanego wyżarzania (rys. 2.5), a także algorytmów: ewolucyjnego (rys. 2.7), zachłannego (rys. 2.8), poszukiwania rojem cząstek (rys. 2.9), przeszukiwania rojem pszczół (rys. 2.10). Swoisty niedosyt budzi też brak porównania autorskiego algorytmu **Neuro-Tabu Search** z innymi tego typu, jak np. wcześniej omawianymi w rozdziale 2.

W części trzeciej, obejmującej rozdziały 7 - 9, stanowiącej próbę oceny praktycznej użyteczności zebranych wyników badań, a zwłaszcza badań weryfikujących przydatność zaproponowanej metodyki dla danych specyfikujących procesy produkcji grupy wyrobów DOPEL (pochodzących z przedsiębiorstwa Brose Sitech). przedstawiono opis aplikacji wspierającej generowanie harmonogramów produkcyjnych oraz wyniki wybranych eksperymentów przeprowadzonych z jej pomocą. Weryfikacji dokonano porównując dane historyczne uzyskane z przedsiębiorstwa Bros Sitech, z wynikami symulacji przeprowadzonymi w aplikacji *Kalkulator-Sitech* implementującej algorytm Neuro-Tabu Search. Eksperymenty przeprowadzone z wykorzystaniem tego narzędzia (tj. oprogramowania umożliwiającego wariantowanie harmonogramów wytwarzania wyrobów należących do różnych grup produktów) potwierdziły konkurencyjność opracowanej metodyki w zakresie generowania harmonogramów produkcji optymalizujących wykorzystywane zasoby ludzkie. Omawianą część rozprawy zamykają rekomendacje dotyczące innych potencjalnych implementacji proponowanej metodyki, a także propozycje związanych z nimi przyszłych badań.

Do zalet tej części rozprawy można zaliczyć dokumentację szeregu czołowych i pracochłonnych rzetelnie przeprowadzonych eksperymentów weryfikujących konkurencyjność proponowanego rozwiązania na danych rzeczywistych dostarczonych przez dział planowania produkcji.

Do niedostatków należy zaliczyć brak tabelarycznych zestawień przeprowadzonych eksperymentów umożliwiających ilościową ocenę weryfikacji, a także brak struktury funkcji (menu) *Kalkulator-Sitech* (wspierającego generowanie harmonogramów) przybliżającej możliwości nawigowania w opcjach tej aplikacji.

Reasumując ww. części rozprawy składają się na spójną i na ogół logicznie uzasadniającą się całość. Spośród niedostatków, posiadających głównie redakcyjny charakter, warto wskazać na brak podsumowań kluczowych rozdziałów rozprawy. Brak takich podsumowań utrudnia wychwycenie łączących je związków przyczynowo skutkowych, a w konsekwencji weryfikację logiki prowadzonej narracji. W tym kontekście warto zauważyć, że płynność prowadzonej narracji zaburzają również (przytłaczające swoją szczegółowością) oddające skalę procesów opisy ich specyfikacji. Szkoda również, że Doktorant nie spuentował przebiegu swoich badań opisem krótkiego scenariusza ilustrującego sposób implementacji opracowanej metodyki co pozwoliłoby ocenić możliwości jej wykorzystania w innych sytuacjach.

3. Oryginalne osiągnięcia

Zmierzając do osiągnięcia zamierzonych przez siebie celów, m.in. wykazania, że implementacja metaheurystyk w planowaniu procesów typowych dla firm motoryzacyjnych może być wykorzystana do opracowaniu metodyki wyznaczania alternatywnych wariantów harmonogramów produkcyjnych uwzględniających kompetencje pracowników, Doktorant uzyskał szereg nowych rezultatów. Do ważniejszych z nich można zaliczyć:

1. Opracowanie metodyki harmonogramowania dyskretnych procesów produkcyjnych występujących w przemyśle motoryzacyjnym umożliwiające prototypowanie alternatywnych wariantów harmonogramów produkcyjnych uwzględniających możliwości wykorzystania kompetencji pracowników.
2. Opracowanie autorskiego algorytmu optymalizacyjnego Neuro-Tabu Search, którego komputerowa implementacja (Kalkulator-Sitech) w proponowanej metodyce harmonogramowania produkcji pozwala na optymalizację wykorzystania zasobów ludzkich.
3. Zaplanowanie i przeprowadzenie wielu eksperymentów symulacyjnych potwierdzających empirycznie postulowaną tezę rozprawy o możliwości opracowania metodyki umożliwiającej generowanie harmonogramów produkcyjnych konkurencyjnych w porównaniu z metodami tradycyjnymi.

Uzyskane rozwiązanie cechują nie tylko walory poznawcze, ale również wartości praktyczne o wysokim potencjale wdrożeniowym. Wszystkie one wskazują na to, że Doktorant potrafi podejmować i samodzielnie realizować zaplanowane cele badawcze.

Reasumując uważam, że uzyskane rezultaty potwierdzają wysokie kwalifikacje Doktoranta, który wykazał się ogólną wiedzą z zakresu metod modelowania, planowania i harmonogramowania procesów produkcyjnych, modelowania matematycznego (badań operacyjnych), metod i technik wspomagania decyzji, a także umiejętnością praktycznego wykorzystania nowoczesnych technik IT (planowania i przeprowadzania eksperymentów komputerowych). Swoją wiedzę i umiejętności zdobyte w tych obszarach umiejętnie wykorzystał przy budowie algorytmów umożliwiających wariantowanie alternatywnych scenariuszy realizacji zleceń produkcyjnych, a w szczególności harmonogramów optymalizujących wykorzystanie zasobów ludzkich uczestniczących w ich wykonaniu. Prace prowadzone w tym zakresie należą do aktualnych i ważnych zagadnień badawczych podejmowanych w pracach prowadzonych w obszarze nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

4. Uwagi

Lektura rozprawy skłania do kilku uwag, tak ogólniejszej, jak i bardziej szczegółowej natury.

Uwagi ogólne:

1. Lapidarny sposób prezentacji odbił swoje piętno na przykładach i ilustracjach zamieszczonych w pracy. Szczególny niedosyt w tym względzie budzi brak ilustracji przybliżających intuicje związane z ustalaniem harmonogramów i marszrut (ścieżek) przemieszczania się pracowników w sytuacjach gdy obsługę sąsiednich stanowisk pracy nie można przydzielić temu samemu pracownikowi.
2. Opracowana metodyka „przeznaczona jest dla przedsiębiorstw z branży produkcyjnej o masowej i wieloasortymentowej produkcji realizowanej przez zasoby ludzkie o różnych kompetencjach, dla których koszty zasobów ludzkich stanowią duży udział w kosztach całkowitych wytworzenia wyrobów”. Wiążące się z tym założeniem pytanie odnosi się do kompetencji decydenta odpowiedzialnego za praktyczną implementację takiej metodyki?
3. Interesującą, w kontekście wyżej wymienionej uwagi, byłaby również próba odpowiedzi na pytanie odnoszące się do kompetencji oczekiwanych od potencjalnego użytkownika aplikacji Kalkulator-Sitech, a także możliwości implementacji tej aplikacji w oprogramowaniu klasy ERP lub też w komercyjnie zorientowanej wersji systemu doradczego.

Uwagi szczegółowe

Redakcja rozprawy sprawia wrażenie pisanej w pośpiechu, bardzo widoczny jest tutaj brak korekty tak autorskiej, jak i redakcyjnej. Lekturę pracy bardzo utrudnia brak pełnej listy stosowanych w jej tekście skrótów, symboli i oznaczeń, a także (z uwagi na jej interdyscyplinarny charakter) stosownego glosariusza terminów technicznych. Brak należytej staranności widać m.in. w wielu usterkach typograficznych, niezręcznościach i/lub błędach stylistycznych, przykłady niektórych z nich przytaczam poniżej:

- sporadyczne usterki typu: „literówka”, np. w opisie rys. 8.1 widnieje „*marsztury*” podczas gdy winno być „*marszrut*”, błąd w zapisie formuły (5.5) definiującej nienazwaną funkcję $F(a_i, b_i, c_i, \pi_v, a_v)$ występującą dalej również w formule (5.8),
- używanie różnych określeń opisujących te same zjawiska i obiekty, np. „*poszukiwań*”, „*przeszukiwań*”, a także „*praca*” i „*zadanie*”,
- brak–lub niepełny opis „Legend”, utrudniającego analizę rysunków, jak np. w przypadku rys. 5.1, rys. 2.6 i rys. 6.8 z opisami w języku niemieckim,
- ograniczona czytelność rysunków, np. rys. 7.6, 8.3 – 8.9,
- nieprecyzyjne sformułowania i/lub określenia, np. 8⁶, „...*widoki aplikacji...*”, 15₃ „*Problem harmonogramowania występuje wówczas, gdy procesy konkurują o dostęp do wspólnych, ograniczonych zasobów.*”, 27¹⁵ „...*niemożność...*”,

- niezręczności, skróty myślowe i/lub błędy stylistyczne, np. 27¹⁸ „*O ile heurystyka jest metodą ogólną, służącą do rozwiązywania wielu problemów, o tyle przy stosowaniu metaheurystyki używana jest heurystyka do rozwiązania konkretnego problemu, który nie może zostać rozwiązany przy pomocy wyłącznie heurystyki [27, 143].*”, 48² „...zachłanny oraz pszczeli również...”, 27⁹ „*Pomimo dynamicznego rozwoju metod inteligentnych w optymalizacji, istnieją liczne problemy optymalizacyjne, niemożliwe do rozwiązania w sposób matematyczny poprzez określenie funkcji celu i znalezienie rozwiązania optymalnego [27, 120].*”,
- nagminnie używanie zwrotu: „...w oparciu o...” w miejsce np. „...opierając się na...” nie wspominając już o powtarzających się frazach „...w aspekcie...”, czy też „*Neuro-Tabu Search (NTS)*”, „*Neuro-Tabu Search*”, „*NTS*”.

Większość tego typu uwag przekazałem bezpośrednio Autorowi.

5. Konkluzja

Przytoczone uwagi krytyczne nie podważają mojej ogólnie bardzo pozytywnej oceny pracy. Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa wnosi wkład w rozwój metod planowania produkcji realizowanej w przedsiębiorstwach branży motoryzacyjnej, w szczególności metod optymalizujących wykorzystanie zasobów ludzkich.

Stwierdzam, że w recenzowanej rozprawie doktorskiej mgr. inż. Kamila Musiała został właściwie postawiony i rozwiązany oryginalny problem badawczy, polegający na opracowaniu metodyki generowania harmonogramów produkcyjnych pozwalających na konkurencyjny, w porównaniu do metod tradycyjnych, przydział pracowników do zadań produkcyjnych, a w szczególności na przyporządkowanie uwzględniające posiadane przez nich kwalifikacje. Doktorant wykazał się znajomością literatury tematu, a uzyskane wyniki otrzymał odpowiednimi metodami naukowymi; wykazał się również bardzo dobrą znajomością metod i technik modelowania i optymalizacji dyskretnych procesów produkcyjnych, a także umiejętnością praktycznego wykorzystania nowoczesnych technik komputerowych.

Reasumując uważam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Kamila Musiała spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2022, poz. 574 z póź. zm.) w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania.

