

Dr hab. inż. **Aleksander Gwiazda**, prof. PŚ
Katedra Automatykacji Procesów Technologicznych
i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr. inż. **Małgorzaty Skrzyszewskiej** nt.: „**Model oceny efektywności działu utrzymania ruchu w aspekcie wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0**”

Promotor: dr hab. inż. **Justyna Patalas-Maliszewska**, prof. UZ

Promotor pomocniczy: dr inż. **Iwona Pająk**

Podstawa opracowania: pismo IIM/D/165/2020 z dnia 16.11, 2020 r. Dyrektora Instytutu Inżynierii Mechanicznej, dr hab. inż. Justyny Patalas-Maliszewskiej, prof. UZ wystosowane na podstawie Uchwały Senatu Uniwersytetu Zielonogóskiego nr 47 z dnia 30.10.2020 r.

1. Zakres i charakterystyka rozprawy.

Przedstawiona do recenzji rozprawa obejmuje 200 stron, a w tym: 2 str. streszczenia w j. polskim, 2 str. streszczenia w j. angielskim, 3 str. spisu treści, 12 str. spisu literatury (158 pozycji), 4 str. spisu rysunków i wykresów; 20 załączniki (str. 175-200). Sama rozprawa składa się z 8 rozdziałów .

We wstępie (rozdział 1) Autorka rozprawy przedstawia genezę pracy podkreślając rolę i znaczenie dostosowania się polskich przedsiębiorstw produkcyjnych do wymogów koncepcji Industry 4.0 w celu zachowania swojej pozycji konkurencyjnej zarówno na rynku krajowym, europejskim jak i światowym. Wskazała, że obecnie odbywa się proces poszukiwania rozwiązań pozwalających na ukierunkowanie decyzji odnoszących się do przekształcenia przedsiębiorstw w zgodzie z wymogami przyszłej gospodarki.

Analizując ten problem Doktorantka doszła do trafnego wniosku, że przygotowanie do wdrożenia rozwiązań Przemysłu 4.0 można diagnozować na podstawie oceny automatyzacji procesów utrzymania ruchu w przedsiębiorstwach. Jednakże jak sama wskazała „*dynamika zmian będących konsekwencją zmian technologicznych sprawia, że badania wpływu Przemysłu 4.0 na rozwój przedsiębiorstw wymagają nowych koncepcji i metod. Zbudowanie innowacyjnej metody oceny efektywności działu utrzymania ruchu w aspekcie wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0 jest konieczne, nie tylko z uwagi na aktualne potrzeby przedsiębiorstw, ale również, jako rozszerzenie badań w dyscyplinie inżynierii produkcji w obszarze Industry 4.0.*” W świetle analizy stanu wiedzy opracowanej przez mgr. inż. Małgorzatę Skrzyszewską, podjęcie tego problemu badawczego w ramach rozprawy doktorskiej uważam za trafne i w pełni uzasadnione.

W rozdziale tym zostały także sformułowane pytania badawcze, cele, zakres pracy oraz postawiła hipotezy odnośnie do przedmiotu pracy i metody badań. W świetle przeprowadzonej analizy Doktorantka słusznie stwierdza, że działy utrzymania ruchu pełnią wiodącą rolę w ocenie przygotowania przedsiębiorstw do wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0.

Dodatkowo wskazuje, iż „*aby móc realizować założenia koncepcji Industry 4.0 firmy produkcyjne powinny dokonać inwestycji w technologie informatyczne wspierające realizowanie procesy. Ta warstwa technologiczna służy, bowiem jako fundament do inwestycji w bardziej „inteligentne” technologie*”. Stąd też wskazanie na technologie MES w pierwszej hipotezie badawczej.

Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam dwie uwagi:

1. Czy celem pracy nie powinno być zbadanie możliwości opisu wskaźnikami (nie znanymi a priori) poziomu gotowości do wdrożenia rozwiązań Przemysłu 4.0. Nie dowiedziono, że jest to możliwe. A przecież w toku pracy Doktorantka dokonała takiej analizy i przeprowadziła związany z tym dowód. Przed pytaniem badawczym Doktorantka nie zdefiniowała żadnych wskaźników.
2. Wskazanie kryterium efektywności jest jak najbardziej zasadne. Chociaż po pierwsze wskazana została efektywność ekonomiczna. Szerszą definicję podał Tadeusz Pszczołowski w Małej encyklopedii prakseologii i teorii organizacji. Z drugiej strony ciekawym jest, dlaczego, w kontekście wdrażania rozwiązań informatyczno sprzętowych Przemysłu 4.0 nie wskazano kryterium produktywności.
3. W drugiej hipotezie badawczej powinno być opracowanie modelu **oceny** poziomu automatyzacji przedsiębiorstwa produkcyjnego. Doktoranka zbudowała klasyfikator oceniający a nie model neuronalny poziomu automatyzacji.

W **rozdziale 2** została omówiona problematyka czwartej rewolucji przemysłowej (koncepcja Przemysłu 4.0). Doktorantka słusznie podkreśliła, że „*czwarta rewolucja przemysłowa zmierza do zjednoczenia zasobów materialnych i cyfrowych*”. Jak sama to przedstawia „*przyjmuje się, że czwarta rewolucja przemysłowa wynika z rozwoju nowych technologii takich jak: chmura obliczeniowa, Big Data czy Internet rzeczy (IoT, ang. Internet of Things)*”. Dodatkowo podkreśla, że „*polskie przedsiębiorstwa produkcyjne dążąc do dostosowania swojej działalności do wymogów koncepcji przemysłu 4.0 powinny prowadzić działania związane z wdrożeniem i stosowaniem systemów informatycznych*”. Analiza ta w zasadniczych elementach jest jak najbardziej właściwa. Słusznym jest także wniosek, że działania w zakresie utrzymania ruchu są czynnikiem łączącym różne typy systemów produkcji i gałęzi przemysłowych. Uważam także, że w świetle analizy przedstawionej w tym rozdziale, odwołanie się w zakresie badań Doktorantki do dużych przedsiębiorstw jest w zasadzie jedyne i właściwe.

Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:

1. Określenie „Przemysł 4.0, albo inaczej Internet rzeczy i usług”, chociaż będące cytatem, nie jest precyzyjne i wymagałoby skomentowania w pracy naukowej. Nie można wszystkich sformułowań nawet w literaturze naukowej przyjmować w sposób bezkrytyczny.
2. Poziom robotyzacji lub inny wskaźnik bazujący na liczbie robotów jest łatwy do określenia, ale nie jest precyzyjny. Liczba robotów nie definiuje poziomu automatyzacji. A jeżeli to nie wprost i fakt ten należałoby wskazać. Piszący te słowa zna sytuację, kiedy przedsiębiorstwo kupowało roboty i wstawiało je do magazynu, aby mieć dobre wskaźnik bowiem podlegało ocenie zewnętrznej.
3. Sformułowanie „*wszystko to umożliwi powstawanie w pełni zautomatyzowanych zrobotyzowanych inteligentnych fabryk (ang. Smart Factory), w których systemy*

informatyczne sterują, kierują, zarządzają, nadzorują przebiegiem procesów wytwórczych” nie jest precyzyjne. Zgodnie z teorią Trista i Emery’ego przedsiębiorstwa są systemami socjotechnicznymi. W obszarze technicznym można wskazywać na sterowanie oraz ewentualnie nadzorowanie (jeżeli system informatyczny ma elementy sztucznej inteligencji). Natomiast w obszarze socjalnym (pracowników) odbywają się procesy kierowania i zarządzania a także nadzorowania. Zgodnie z nauką o zarządzaniu kierowanie i zarządzania to procesy oddziaływania przez przełożonych na podwładnych w celu sprawnego realizowania celów danej komórki organizacyjnej.

4. Chciałby zwrócić uwagę, że w kontekście Przemysłu 4.0 w Polsce Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii wskazuje (raporty na zamówienie Ministerstwa), że w naszym kraju wymiar koncepcji Przemysłu 4.0 musi być dostosowany do sektora MSP, gdyż koncepcja oryginalna Industrie 4.0 jest opracowana dla przemysłu dużego. Ministerstwo też, w celu rozwoju tej koncepcji powołało Fundację Platforma Przemysłu Przyszłości, o czym brak informacji w pracy a jest to w Polsce działanie kluczowe dla rozwoju tej koncepcji.
5. Uważam, że rozdział ten jest zbyt obszerny w zakresie przedmiotu dysertacji.

W **rozdziale 3** zostały omówione technologie informacyjne w służbie utrzymania ruchu. Doktorantka wskazała, że *„systemy informatyczne wspierające produkcję i utrzymanie ruchu można podzielić na trzy główne grupy: systemy odpowiedzialne za monitoring i wizualizację procesów, systemy odpowiedzialne za zarządzanie produkcją i monitoring efektywności maszyn oraz systemy do zarządzania informacją dotyczącą stanu parku maszynowego”*. Zwróciła też uwagę, że *„w warstwie kompleksowego zarządzania informacją z procesów i produkcji, wiodącą rolę pełnią zaawansowane systemy informatyczne klasy MES”*. Rzeczywiście system MES jest aplikacją wyższego rzędu w stosunku do systemów informatycznych utrzymania ruchu. Na podkreślenie zasługuje bardzo wyczerpująca analiza porównawcza systemów MES oraz analiza ich wykorzystania w polskich przedsiębiorstwach. Również wniosek z tych badań wskazuje na wysoką pozycję systemu klasy MES wśród informatycznych systemów przedsiębiorstwa.

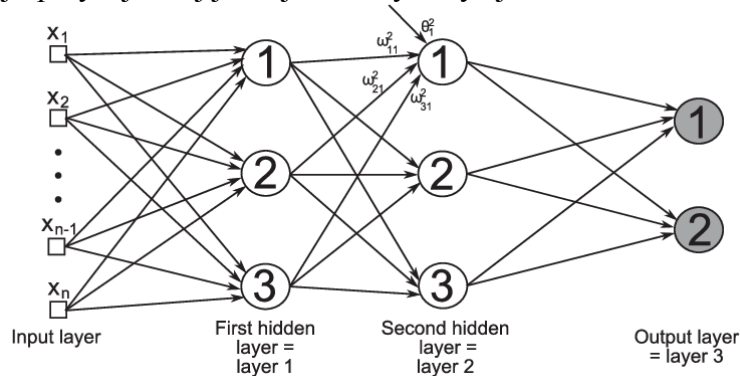
Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:

1. W pracy nie rozdzielono wyraźnie jasno (nie twierdzą, że w ogóle) systemów utrzymania ruchu CMMS od systemów zarządzania produkcją MRP/ERP. Tym pierwszym poświęcono wiele miejsca (podano nawet analizę sprzedaży) a tym drugim nie, chociaż zdefiniowano obszar badawczy, jako analiza procesów utrzymania ruchu (opisano je częściowo dopiero w rozdziale 5). Nie określono także relacji między systemami informatycznymi CMMS a MES. Zrobiono to natomiast w odniesieniu do systemów klasy MRP oraz MES (ANSI/ISA-95).
2. Budzi pewne wątpliwości opis systemu SAP w postaci: *„głównym atutem oprogramowania SAP jest możliwość analizy dużej ilości danych w czasie rzeczywistym”*. Bez analizy tej klasy oprogramowania brzmi to, dla piszącego te słowa, jak cytat z broszury reklamowej SAP.
3. Pomimo wykazania w końcowej części rozdziału istotnej roli oprogramowanie MES nie sformułowano wnioski, że jest to przesłanka dla wyboru tej klasy oprogramowania do badań w pracy pozostając jedynie przy opisie wyników ankiety czasopisma Control Engineering Polska. Cały ten rozdział ma na celu dowiedzenie, że wybór oprogramowania klasy MES był wyborem właściwym.

W rozdziale 4 zostały omówione zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do oceny działu utrzymania ruchu. W rozdziale tym Doktorantka omówiła charakterystykę sieci neuronowych i przedstawiła podstawowe zagadnienia związane z ich funkcjonowaniem. Jak sama zaznaczyła „badania przemysłowe związane z rozwojem systemów sztucznej inteligencji wpisują się w strategię Przemysł 4.0”. Określiła też podstawowe zasady pracy sieci perceptronowej, proponowanej, jako narzędzie badawcze: „warstwa wejściowa pobiera dane z otoczenia i przesyła je do pierwszej warstwy ukrytej, reprezentuje ona zwykle ilości parametrów opisujących dane wejściowe, natomiast warstwa wyjściowa np. ilości klas. Ilość neuronów w warstwach ukrytych odpowiada za możliwości modelu”. Rozdział ten w miarę wyczerpuje zakres zagadnienia koniecznego do omówienia.

Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:

1. W analizie tego zakresu tematycznego brakuje mi odniesienia do osiągnięć w tym zakresie w Polsce. Ponieważ obszar badawczy wiąże się z tematyką inżynierii produkcji zwrócę uwagę, że brakuje pozycji *Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji* (Knosala i zespół). Jest to jedyna pozycja o takiej tematyce, jak dotychczas, w Polsce. Piszący te słowa był autorem rozdziału o zastosowaniu sieci neuronowych w inżynierii produkcji.
2. Brak jest opisu matematycznego, który warunkuje pracę sieci i na bazie którego tworzone są ich algorytmy pracy. Natomiast same programy opracowane na bazie algorytmów zostały przez Doktorantkę przedstawione w załącznikach.
3. Stwierdzenie Doktorantki: „sieci wielowarstwowe posiadają minimalnie dwie warstwy neuronów oraz warstwę wyjściową, pomiędzy którymi występuje jedna lub więcej warstw ukrytych, w których może występować różna ilość neuronów” wymaga sprecyzowania. Rozumiem, że mowa jest o sieciach dwuwartswowych i wyższych. W tym kontekście sieć taka składa się z warstwy wejściowej (nieliczonej), warstwy wyjściowej i przynajmniej jednej warstwy ukrytej.



4. Stwierdzenie Doktorantki: „model AC-MD sformułowano na podstawie rzeczywistych danych, uzyskanych z działów utrzymania ruchu dwóch firm przemysłu motoryzacyjnego. W pierwszej analizowanej firmie produkcyjnej pracownicy na poziomie strategicznym, taktycznym i operacyjnym w dziale obsługi technicznej obsługują 380 maszyn, natomiast w drugiej firmie pracownicy obsługują 20 maszyn” wymaga sprecyzowania. Proszę o wyjaśnienie czy chodzi o określenie parametrów modelu na podstawie liczby analizowanych danych czy o jego weryfikację.
5. Chciałbym zwrócić uwagę, że w przypadku takich określeń jak *klasyfikacja bezwzorcowca* czy *klasteryzacja*, w branży używamy pojęcia grupowanie, jako antonimu do klasyfikacji. Mówi się zatem o procesach klasyfikacji (klasy są a priori ustalone) i grupowania (grupy nie są, powstają a posteriori).

6. W przypadku standardowego opisu wag sieci neuronowych stosuje się zazwyczaj dwa indeksy, gdzie pierwszy indeks oznacza warstwę a drugi numer połączenia. Stąd też powinno być δ_{2k} – błąd popełniany przez k-ty neuron warstwy wyjściowej sieci, δ_{1j} – błąd popełniany w warstwie ukrytej w przez j-ty neuron (uważam, że tak powinien brzmieć drugi opis).
7. Odwołanie literaturowe na str. 67 powinno brzmieć: wg Haykina [43] oraz Hertz. Mamy do czynienia z Simonem Haykinem i Johnem Hertzem.
8. W zdaniu: „w celu poprawy zgodności oraz szybszego znalezienia rozwiązania bliskiego optymalnemu dla danej sieci, wykorzystuje się algorytm minimalizacji funkcji celu wzdłuż wyznaczonego kierunku np. metodą złotego podziału, interpolacji kwadratowej, Charalambousa, Brenta [33, 19] ... ” dziwi oznaczenie nazwisk twórców metod italiakiem. Christakis Charalambous jest twórcą algorytmu Charalambousa a Richard Brent jest twórcą metody Brenta.
9. Brak jest podsumowania tego rozdziału wskazującego na powody wyboru danego narzędzia badawczego do dalszych badań.

Oceniając część rozprawy dotyczącą analizy literatury oraz w zakresie rozwoju systemów informatycznych przedsiębiorstwa a także odnoszących się do charakterystyki i zasad działania sieci neuronowych stwierdzam, że jest to profesjonalnie opracowany materiał, świadczący o dużej wiedzy i rzetelności w przygotowaniu mgr. inż. Małgorzaty Skrzyszewskiej do podjęcia własnych badań. Mojej opinii nie umniejszają zawarte powyżej uwagi szczegółowe.

W **rozdziale 5** został omówiony model referencyjny działu utrzymania ruchem przedsiębiorstwa produkcyjnego w kontekście Industry 4.0. Doktorantka przedstawiła samodzielnie zaprojektowany model oceny efektywności działu utrzymania ruchu w aspekcie wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0 (model EffectMES). Model ten składa się z sześciu etapów prowadzących do oceny efektywności działu utrzymania ruchu. W ramach tego modelu ocenie poddana była efektywność działania czterech procesów działania: przygotowań parku maszyn do pracy, konserwacji, napraw oraz szkoleń dotyczących utrzymania ruchu. Doktorantka zidentyfikowała też osiem celów, których realizacją zajmują się służby utrzymania ruchu. Jak sama wskazała „*głównym celem działu utrzymania ruchu pozostaje zapewnienie płynnej realizacji zleceń produkcyjnych poprzez utrzymywanie dostępności i pracy maszyn na jak najwyższym poziomie. Sprawne funkcjonowanie tego aspektu produkcji jest jednak możliwe tylko dzięki odpowiedzialnemu nadzorowaniu wielu obszarów jednocześnie*”. W sposób szczególny należy pochwalić przedstawione wyniki pracy badawczej Doktorantki, a zwłaszcza analizy wykorzystania systemów MES w kontekście opracowanego modelu oceny poziomu efektywności wdrożenia automatyzacji. Dotyczy to także statystycznego opracowania wyników. Wskazała ona, że 57,14% czasu pracy system MES wspomaga pracę kierownika działu utrzymania ruchu w zakresie działań o charakterze strategicznym. Oceniając stan obecny wskazała ona, iż „*zastosowanie systemu informatycznego MES w dziale utrzymania ruchu wspomagane jest w większości wyłącznie częściowo na wszystkich trzech poziomach pracy pracowników tego działu (poziom strategiczny prawie 50%, poziom taktyczny 30% również poziom operacyjny jest mniej więcej na tym samym poziomie, bo jest to około 26%) w stosunku do wszystkich czynności ...*”. Ponadto wykazała, że „*dokonyjąc analizy czasu, który zajmuje wykonywanie czynności w dziale SUR przy całkowitej pomocy systemu MES w ciągu 8h dnia pracy można stwierdzić, że prawie 60%, czyli około 5 godzin pracy wspomagane jest informatycznie na stanowisku*

pracy strategicznym, natomiast na stanowisku taktycznym, jest to, około 25% co stanowi 2 godziny pracy. Najmniej, bo tylko 1% czasu pracy jest wspomagany całkowicie przez system na stanowisku operacyjnym". Odnosząc się do tych wyników skonstatowała, iż *w bardzo dużym stopniu odbiega to modelu przedsiębiorstwa przygotowanego do wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0*".

Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:

1. Doktorantka stwierdziła, że *„w pracy przedstawiono procesy realizowane dziale utrzymania ruchu w celu przygotowania przedsiębiorstwa do wdrożenia systemu MES*". Piszący te słowa nie znalazł w pracy informacji na ten temat. Zresztą nie byłby one istotne dla jej przedmiotu.
2. Uważam, że model EffectMES powinien zostać przedstawiony na początku rozdziału, a rozdział powinien traktować o jego wyprowadzeniu i zakresie funkcjonalności a także badaniu.
3. Biorąc pod uwagę zakresy definicyjne modeli procesów biznesowych i map procesów biznesowych uważam, że na rysunkach 5.1 i 5.4 przedstawiono mapy procesów. Jest to kwestia leksykalna i nie wpływa na wysoką ocenę zaprezentowanych opracowań.
4. W przypadku Tabeli 5.1 brak jest opisu symboli: MES_1, MES_2 itp.
5. W rozdziale przedstawiono zakresy czynności na poziomach: strategiczny, taktycznym i operacyjnym. Ich analiza prowadzi do stwierdzenia, że nie pokrywają się one z powszechnym znaczeniem tych pojęć. Stąd należy stwierdzić, że czytelność pracy poprawiłyby definicje mówiące, co należy rozumieć pod czynnościami na takich poziomach (horyzont czasowy, rozległość przestrzenna, itp.).
6. Odnosząc się do relacji zakresu czynności realizowanych z wykorzystaniem MES na różnych poziomach należy zapytać, jak wyglądałby wykres dla przedsiębiorstwa przygotowanego do wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0 (docelowa wartość wskaźnika), jeżeli wartość niska to układ malejący od poziomu strategicznego do operacyjnego.
7. Pod koniec doktorantka stwierdziła: *„nasuwa się, więc pytanie: czy zastosowanie systemu typu MES pozwala przedsiębiorstwom dostosować się do wymagań Industry 4.0*". W tym rozdziale nie odpowiedziała na tak postawione pytanie w sposób zasadniczy i nie wskazała, czy zamierza na nie tak odpowiedzieć a jest ono dla pracy istotne.
8. Uważam, że jest to pierwszy rozdział empiryczny pracy Doktorantki, stąd dalsze analizy literaturowe tematyki pobocznej (np. analiza sprzedaży systemów MES) są w tym zakresie niewiele wnoszące.

W **rozdziale 6** została omówiona metoda oceny efektywności MES w dziale utrzymania ruchu w kontekście Industry 4.0. Rozdział ten stanowi zasadniczą część pracy. Liczy sobie 36 stron. W rozdziale tym scharakteryzowano elementy autorskiej metody EffectMES, której zastosowanie umożliwiło określenie poziomu automatyzacji w przedsiębiorstwie produkcyjnym w dziale utrzymania ruchu, w aspekcie wdrażania koncepcji przemysłu 4.0. Doktorantka przedstawiła wskaźniki efektywności, na każdym poziomie zarządzania biznesowego firmy (strategicznym, taktycznym, operacyjnym). Zaprezentowała też wyniki badań w dziale utrzymania ruchu w trzech wybranych przedsiębiorstwach produkcyjnych, na podstawie których określiła poziom automatyzacji badanych przedsiębiorstw. Jak sama stwierdziła: *„dokonując przeglądu literatury można dostrzec lukę dotyczącą stosowania obecnych wysoko specjalistycznych, z informatyzowanych metod oraz wskaźników dotyczących*

efektywności, wydajności procesów wykonywanych przez służby utrzymania ruchu, co mogłoby wskazywać np. na dostosowanie przedsiębiorstwa do koncepcji Przemysłu 4.0". Stwierdzenie to uzasadnia w pełni dążenie do wypracowania przedstawionego w pracy modelu. W tabeli 6.1 Doktorantka zaprezentowała działania prowadzone w dziale utrzymania zakładów produkcyjnych, które wykorzystala do uczenia sieci neuronowej (model AC-MD). Wykorzystała też dane z tabeli 6.2 (czas potrzebny na ukończenie działań prowadzonych w przedsiębiorstwach produkcyjnych) do oceny efektywności działań związanych ze zwiększeniem wykorzystania systemu MES. Doktorantka stwierdziła, że „z analizy wyników w pierwszej fazie badania stwierdzono, że wdrożenie i efektywne wykorzystanie systemu MES w firmie produkcyjnej w dziale utrzymania ruchu może doprowadzić do zwiększenia poziomu automatyzacji całego działu”. Docelów analizy Doktorantka zdefiniowała siedem wskaźników efektywności procesów w dziale utrzymania ruchu na każdym poziomie: strategicznym taktycznym i operacyjnym. Jak sama stwierdza: „wskaźniki te są odzwierciedleniem czasów czynności wykonywanych na poszczególnych poziomach przez pracowników służb utrzymania ruchu. Następnie określiła ona architekturę perceptronu wykorzystywanego jako klasyfikator: „liczba węzłów wejściowych wynikała z liczby atrybutów branych pod uwagę podczas kwalifikacji. Klasyfikator sieci w tej dysertacji/w tym badaniu posiada/przyjmuje 8 węzłów wejściowych”. Korzystając z opracowanej aplikacji sieci neuronowej Doktorantka przeprowadziła badania jej funkcjonowania jako klasyfikatora. **Interesującym jest powiązanie sieci perceptronowi z algorytmem genetycznym jako narzędzia szkolenia sieci.** Stwierdziła ona, że „model najgorszą/ najmniej precyzyjną dokładność prognoz miał/posiadał dla średniego stopnia automatyzacji i był na poziomie 94,1%”.

Opracowany model i algorytm są podstawą do badań i oceny stopnia przygotowania przedsiębiorstwa do wdrażania koncepcji Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwie dużym a także do podejmowania racjonalnych decyzji odnośnie do określenia zakresu prac koniecznych do przygotowania do tego procesu.

Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:

1. Doktorantka stwierdziła, że „Stosując techniki oparte na danych: MPC (Model Predictive Control), RMPC (Robust Model Predictive Control) [126] można opracować zaawansowane narzędzie analityczne do inteligentnej produkcji [143, 152]”. Uważam, że zwrot *zaawansowane narzędzie analityczne do inteligentnej produkcji* jest przynajmniej niefortunny.
2. Na rysunku 6.1 Doktorantka pokazuje, że dane o przedsiębiorstwie 1 i 2 wprowadzane są do sieci jednocześnie. Czy jest to prawidłowe? Jeżeli prezentowałbym dane oddzielnie to uzyskam wynik (poziom automatyzacji) za każdym razem dla prezentowanego przedsiębiorstwa. Czego zatem poziom reprezentuje wynik jak wprowadzam jednocześnie dane dla obu przedsiębiorstw a mam tylko 1 wyjście z sieci? Nie zdefiniowano symboli U_1 , U_2 itp. Ponadto wagi zazwyczaj oznaczają się małą literą w.
3. Nie rozumiem funkcji aktywacji (wzór 1). Jeżeli jest to wzór empiryczny to należałoby wskazać jego wyprowadzenie i uzasadnienie. Gdyby nie ujemne wartości powiedziałbym, że wygląda jak specyficzna suma ważona – wynik działania sumatora.
4. W Tabeli 6.2 występują niezdefiniowane symbole E_1 , E_2 , E_3 , E_4 . Czy to są wskaźniki? Na rysunku 6.2 określono je jako czas wykonywanych czynności. Jeżeli to są wskaźniki to czy odpowiadają zdefiniowanym dalej wskaźnikom E_1 , E_2 ... E_4 ?

5. Co oznacza wartość prognozowana indeksu automatyzacji. Jak zinterpretować wartość tego wskaźnika na poziomie 18. Jak zdefiniować zależność indeks a poziom automatyzacji (domyślam się, że empirycznie definiuje to Tabela 6.3).
6. Uważam, że teoretyczna dyskusja definicji powinna znaleźć się w rozdziałach teoretycznych we wcześniejszej części pracy.
7. W rozdziale zdefiniowano Wskaźniki E1 ... E5, E7. Według mnie to jeden wskaźnik wykorzystany do oceny różnych procesów. Odmienną konstrukcję ma tylko wskaźnik E6.
8. W opisie sieci neuronowej nie zdefiniowano wejścia LM (Level Management) – jakie wartości przyjmuje to wejście? (opis ten znajduje się dopiero na str. 147). Ponadto mam pytanie: w jakiej postaci wprowadzano dane do sieci ?
9. Doktorantka stwierdziła: *w związku z niezadawalającymi wynikami osiągniętymi przy zastosowaniu sieci neuronowej z jednym neuronem na warstwie ukrytej uczonej metodą Levenberg – Marquadt, ilość węzłów ukrytych została zwiększona o jeszcze jeden węzeł*. Stwierdziła ona także: *„dla ustalenia/zbudowania najlepszej architektury dla perceptronu wielowarstwowego w pierwszej kolejności została zbudowana sieć z jedną warstwą ukrytą i jednym ukrytym węzłem”*. Przypomnę jej stwierdzenie z rozdziału poprzedniego: *Ilość neuronów w warstwach ukrytych odpowiada za możliwości modelu*. Dlaczego zatem rozpoczęto badania od warstwy ukrytej złożonej z 1 neuronu? Dlaczego nie przeanalizowano wariantu z 3 neuronami w warstwie ukrytej? Co Doktorantka sądzi o poprawie jakości działania sieci przy dodaniu 2 neuronu?

W **rozdziale 7** została omówiona weryfikacja metody EffectMES. Baza do jej przeprowadzenia były dane empiryczne zebrane w trzecim przedsiębiorstwie. Korzystając z opracowanego modelu EffectMES Doktorantka zidentyfikowała procesy działania działu utrzymania ruchu i opracowała siedem wskaźników efektywności. Oceniała poziom automatyzacji korzystając z opracowanego przez siebie klasyfikatora neuronalnego ANN_EffectMES. Wynikiem przeprowadzonego eksperymentu były rekomendacje dla kadry zarządzającej tym przedsiębiorstwem produkcyjnym. Zaproponowała ona także zarys procedury oceny *efektywności działu utrzymania ruchu w aspekcie wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0* wraz z jej modelem przedstawionym na rysunku 7.3.

Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam dwie uwagi:

1. Weryfikacja została przeprowadzona na przykładzie jednego przedsiębiorstwa. Rozumiem problem ze zbieraniem tak dużych zbiorów danych w przedsiębiorstwach jednakże w dyskusji w tym rozdziale Doktorantka powinna się odnieść do tej kwestii. Koroboracja przeprowadzona na jednej próbie jest słabym potwierdzeniem niemożności falsyfikacji hipotezy (za metodologią badań naukowych).
2. Pewne stwierdzenia zawarte w rozdziale nie przystają do formuły pracy naukowej, w tym doktorskiej (np.: *„Wsluchują się w rytm pras, obserwują wiązkę lasera i jak mówią osoby zatrudnione w tym przedsiębiorstwie zawsze wiedzą, co należy zrobić, jak ustawić parametry, żeby wszystko pracowało sprawnie”*). Brzmi to raczej jak tekst marketingowy a nie wyraz krytycznej naukowej analizy.

Rozprawę zamyka **rozdział 8 – Podsumowanie i kierunki dalszych prac**. Zawarte w nim stwierdzenia odzwierciedlają wyniki prac badawczych opisanych w dysertacji. Doktorantka

przeprowadziła dyskusję pokazującą potwierdzenie prawidłowości ob. Hipotez badawczych. W przypadku hipotezy pierwsze stwierdziła, że „wyniki badań potwierdziły, że zastosowanie wskaźników oceny efektywności Działu Utrzymania Ruchu pozwoliło na dokonanie analiz w wyniku, których stwierdzono, że zastosowanie technologii typu MES oraz wspomaganie pracy przez narzędzia informatyczne wpływa na efektywność procesów w przedsiębiorstwach produkcyjnych”. Natomiast w przypadku drugiej stwierdziła, że „dzięki zastosowaniu modelu EffectMES ... możliwe jest wyznaczenie poziomu automatyzacji w przedsiębiorstwie produkcyjnym”. Wykazała ona, że „wyniki badań mogą posłużyć przy podejmowaniu decyzji, co do, wdrażania nowoczesnych technologii, technik, informatyzacji, a w szczególności inwestowania w systemy wspomaganie produkcji i decyzji typu MES. Mogą stać się bardzo przydatne do wyznaczania strategii dla przedsiębiorstwa przez menadżerów firm”. A także, że „wyniki badań można wykorzystać podczas formułowania ryzyk dotyczących awaryjności sprzętu jak czynnika ludzkiego na wpływ działalności działu utrzymania ruchu jak i przedsiębiorstwa”. Doktorantka wskazała także, że „dalsze prace badawcze będą dotyczyły przeprowadzenia badania efektywności zastosowania technologii typu MES z zastosowaniem zaprezentowanego modelu na większej populacji i zróżnicowania typu przedsiębiorstw na duże, średnie i małe oraz z pogłębieniem analizy jakościowej i wpływie czynnika ludzkiego oraz struktury podziału zadań w dziale utrzymania ruchu tych przedsiębiorstw”.

Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:

1. W podsumowaniu brakuje mi wskazania, jaki byłby docelowy układ wartości wskaźnika i wyników oceny stopnia automatyzacji.
2. Chciałbym przypomnieć, że badania i raporty polskie pokazują, że formuła Przemysłu 4.0, w przypadku MSP, ma zdecydowanie inny charakter niż w przypadku przedsiębiorstw dużych, w których prowadzono badania.

Podsumowując całość badań i uzyskanych wyników stwierdzam, że zostały one wykonane i opracowane na bardzo dobrym poziomie. Istotną zaletą jest także weryfikacja zaproponowanej metodyki na przykładzie realnie działających przedsiębiorstw w wytypowanej ich kategorii. Pani mgr inż. Małgorzata Skrzyszewska potwierdziła, że jest bardzo dobrze przygotowana do prowadzenia prac badawczych.

2. Merytoryczna ocena pracy

Treść przewodnia rozprawy doktorskiej dotyczy opracowania metodyki oceny efektywności działu utrzymania ruchu. W badaniach Autorka określiła i zebrała dane empiryczne konieczne do wyznaczenia wartości zaproponowanych przez siebie wskaźników efektywności. Opracowała także modele analityczne dla wyznaczania stopnia automatyzacji działów utrzymania ruchu. Doktorantka wskazała również, które zadania powinny być wykonywane przez przedsiębiorstwa w celu przygotowania do wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0. Nadało to pracy charakter użyteczny i pokazało jej potencjał aplikacyjny.

Rozprawa doktorska Pani mgr Małgorzaty Skrzyszewskiej mieści się w dziedzinie nauk Inżynierjno-Technicznych, w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna, w zakresie będącej obecnie jej częścią Inżynierii Produkcji. Przeprowadzone badania nad opracowaniem modelu oceny efektywności działu utrzymania ruchu wpisują się w następujące obszary prac naukowo-badawczych mieszczących się w zakresie inżynierii produkcji: Organizacja i zarządzanie produkcją oraz usługami (obszar I za KIP PAN), Wybrane zagadnienia

inżynierii procesów wytwarzania (obszar I za KIP PAN), Systemy wspomaganie decyzji. Zarządzanie wiedzą produkcyjną (obszar VII za KIP PAN) oraz Efektywność, produktywność i organizacja przedsiębiorstw (obszar X za KIP PAN),

Wybór problematyki badawczej oceniam jako trafny. Autorka poprawnie rozpoznała lukę badawczą w zakresie oceny stopnia przygotowania przedsiębiorstw do wdrażania koncepcji Przemysłu 4.0. Dotychczas nie stosowano żadnej ilościowej miary oceny, która odzwierciedlałaby rzeczywiste przygotowanie przedsiębiorstw do udziału w rewolucji przemysłowej. Tematyka badań stanowi aktualny i istotny temat zarówno dla przemysłu samochodowego, jak i innych branż a także nauki inżynierii produkcji (inżynierii mechanicznej).

Problem badawczy został poprawnie rozpoznany i sformułowany, Autorka w pełni uzasadniła wybór tematyki badań oraz jej ważność, motywując ją wynikami dokonanej analizy literatury i dokumentacji źródłowej oraz przeprowadzonych wywiadów z kadrą inżynieryjno-techniczną działów utrzymania ruchu.

Rozprawa ma charakter interdyscyplinarny, ponieważ łączy w sobie zagadnienia dotyczące automatyzacji, utrzymania ruchu, inżynierii produkcji (inżynierii mechanicznej) oraz informatyki (sieci neuronalne).

Rozwiązanie problemu badawczego jest oryginalne ze względu na:

- opracowanie metody oceny efektywności działu utrzymania ruchu w aspekcie wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0, która dotychczas stanowiła lukę badawczą,
- zdefiniowanie i opracowanie oryginalnego sposobu wyznaczania wskaźników efektywności,
- opracowanie modelu analitycznego, służącego do ilościowej oceny stopnia automatyzacji działań działu utrzymania ruchu,
- uwzględnienie danych empirycznych z działów utrzymania ruchu w zakresie, w jakim dotąd nie były wykorzystane,
- dostarczenie przedsiębiorstwa z branży samochodowej (generalnie przedsiębiorstwo dużym) narzędzia oceny ich stopnia przygotowania do wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0,
- opracowanie procedury wyznaczania kierunków doskonalenia w aspekcie przygotowania do wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0.

3. Ocena metodologicznej i metodycznej koncepcji rozprawy doktorskiej

Metodyka została przez Autorkę zdefiniowana jako ciąg uporządkowanych działań, prowadzących do wyznaczenia wskaźnika stopnia automatyzacji pracy działu utrzymania ruchu za pomocą wyznaczonych wartości indeksów automatyzacji.

Praca doktorska potwierdza umiejętności Doktorantki w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Pani mgr Małgorzata Skrzyszewska wykazała się umiejętnością zidentyfikowania luki badawczej, rozpoznania problemu badawczego, formułowania celów naukowych, dokonania analizy prawidłowego doboru metod badawczych oraz wnioskowana.

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i jest nowym podejściem do tematyki oceny stopnia przygotowania przedsiębiorstw do wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0. Ma potencjał aplikacyjny. Opracowana metodyka może być praktykowana przez zakłady

przemysłowe (duże), nie tylko z branży samochodowej, jako narzędzie oceny ich poziomu automatyzacji. Wynika to stąd, że Autorka w dużej mierze uwzględniła w niej rozwiązania już funkcjonujące przedsiębiorstwach. Pod względem merytorycznym cele główne pracy i jej cele użyteczne zostały poprawnie sformułowane. Odnoszą się one do istoty podjętej tematyki badawczej i odpowiadają poszczególnym etapom badań. Wszystkie cele zostały pomyślnie zrealizowane. Wnioski sformułowane przez Doktorantkę odpowiadają uzyskanym wynikom badań. Oceniam je jako poprawne, realne i wiarygodne. Są spójne z założonymi w pracy celami i potwierdzają realizację tematu rozprawy doktorskiej. Ponadto mogą zostać wykorzystane w przyszłości do prowadzenia dalszych badań.

Na podstawie przedstawionej analizy rozprawy doktorskiej i procedury rozwiązywania zadań badawczych **metodologiczną i metodyczną koncepcję rozprawy doktorskiej oceniam jednoznacznie pozytywnie**, albowiem zawiera ona spójną merytoryczną analizę stanu wiedzy nt. dotychczas stosowanych metod i procedur oceny automatyzacji produkcji oraz automatyzacji pracy działów utrzymania ruchu, oraz opracowanie logicznych procedur do rozwiązania sformułowanego w pracy problemu badawczego.

4. Ocena końcowa rozprawy doktorskiej

Przedstawiona rozprawa doktorska należy do aktualnego i ważnego obszaru badawczego, związanego z metodologią i metodyką wdrażania koncepcji Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Praca zawiera oryginalne propozycje rozwiązań, które zostały przetestowane na podstawie danych przemysłowych.

Przedstawione w recenzji uwagi w żadnym stopniu nie umniejszają walorów naukowych pracy. Odnoszą się one do kwestii technicznych i edytorskich. Nie poddają jednak w wątpliwość zasadniczych elementów pracy.

Opiniowana rozprawa doktorska, mieszcząca się w dyscyplinie „Inżynieria Mechaniczna” posiada oryginalne cechy nowości i walory użyteczne.

Na podstawie przedstawionej opinii stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Małgorzaty Skrzyszewskiej nt.: „Model oceny efektywności działu utrzymania ruchu w aspekcie wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0” spełnia wymagania ustawy o naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (ustawa z dnia marca 2003 r., tekst ujednolicony z dnia 29 września 2014 r. wraz z ustawą z dnia 21 kwietnia 2017 r. o zmianie ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz niektórych innych ustaw a także rozporządzeniem Ministra Nauki Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r.) i wnoszę o dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony.



Gliwice, dnia 30.01 2021