

AUTOREFERAT

Dr inż. Paweł Izidor Litwin

Zakład Informatyki

Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych	4
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).....	5
4.1. Uzasadnienie wyboru obszaru badawczego.....	7
4.2. Rezultaty pracy naukowo – badawczej	8
4.3. Podsumowanie prowadzonych badań i osiągniętych rezultatów.....	19
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....	20
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.....	23
7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej wnioskodawcy	24
Bibliografia:	25

1. Imię i nazwisko

Paweł Izydor Litwin

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

12.11.2003 r. doktor nauk technicznych

Dziedzina: nauki techniczne

Dyscyplina: mechanika

Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Wyznaczanie podstawowych parametrów procesu gięcia otwartych i zamkniętych profili konstrukcyjnych”.

Promotor: prof. dr hab. inż. Feliks Stachowicz (Politechnika Rzeszowska)

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Kazimierz Świątkowski (AGH w Krakowie),
prof. dr inż. Emil Spisak (TU w Koszycach),
prof. dr hab. inż. Romana Śliwa (Politechnika Rzeszowska).

14.06.1996 r. magister inżynier

Dziedzina: nauki techniczne

Dyscyplina: budowa i eksploatacja maszyn

Kierunek studiów: mechanika i budowa maszyn

Specjalność: organizacja i zarządzanie w przemyśle

Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

Tematyka pracy: Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w diagnostyce tłokowego silnika lotniczego.

Promotor: dr inż. Lucyna Pyzik

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

1.02.2022 – obecnie:	Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Zakład Informatyki,
Stanowisko:	adiunkt w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych
01.02.2020 – 31.01.2022:	Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Zakład Informatyki,
Stanowisko:	profesor uczelni w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych
01.10.2019 – 31.01.2020:	Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Zakład Informatyki,
Stanowisko:	adiunkt w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych
15.12.2003 – 30.09.2019:	Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Zakład Informatyki,
Stanowisko:	adiunkt
01.10.1996 – 14.12.2003:	Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Zakład Informatyki,
Stanowisko:	asystent

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

Jako osiągnięcia naukowe wynikające z art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.) i stanowiące podstawę ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego wskazuję :
monografię naukową, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2a Ustawy oraz cykl powiązanych tematycznie 7 publikacji naukowych, zgodnie z art. 219 ust.1 pkt 2b Ustawy.

Monografia naukowa:

M1. Litwin P.: Zastosowanie metody dynamiki systemów w analizie procesów produkcyjnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów **2023**, s. 139, ISBN: 978-83-7934-673-8, **80 pkt.** wg punktacji MEiN w 2023 r.

Recenzenci wydawniczy:

Prof. dr hab. inż. Jan Sieniawski (Politechnika Rzeszowska)

Prof. dr hab. inż. Antoni Świć (Politechnika Lubelska)

Cykl powiązanych tematycznie publikacji naukowych:

A1. Litwin P., Jakiela J., Olech M.: Dynamic simulation based optimization of information flow in extended enterprise and its impact on business partners production efficiency and stock replenishment. Advances in Manufacturing Science and Technology, 2016, t.40, z.1, s.33-45, ISBN/ISSN: 0137-4478, 6 pkt. wg punktacji MNiSW w **2016** r.

Mój wkład w powstanie publikacji obejmował: zainicjowanie tematu badań, przegląd literatury z zakresu modelowania łańcucha dostaw, przygotowanie planu badań, opracowanie modelu łańcucha dostaw i przeprowadzenie eksperymentów symulacji numerycznej, analizę wyników i opracowanie wniosków, przygotowanie manuskryptu artykułu i koordynację procesu wydawniczego. Mój udział stanowi 33% pracy.

A2. Antonelli D., Litwin P., Stadnicka D.: Multiple System Dynamics and Discrete Event Simulation for manufacturing system performance evaluation. Procedia CIRP, **2018**, CIRP Global Web Conference Envisaging the future manufacturing, design, technologies and systems in innovation era [CIRPe], 15 pkt. wg punktacji MNiSW w 2018 r.

Mój wkład w powstanie publikacji obejmował: przegląd literatury z zakresu modelowania systemów produkcyjnych metodą SD, opracowanie modelu operacji wykonywanych manualnie z uwzględnieniem dobowej zmiany produktywności pracowników i zmiany obsady stanowisk (liczby pracowników), opracowanie planu badań dynamiki systemu produkcyjnego, symulację modelu i analizę wyników. Uczestniczyłem także w opracowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu artykułu. Mój udział stanowi 33% pracy.

A3. Litwin P., Antonelli D., Stadnicka D.: Disabled employees on the manufacturing line: Simulations of impact on performance and benefits for companies. IFAC-PapersOnLine, **2022**, t.55, z.10, s.848-853, ISBN/ISSN: 2405-8963, 10th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control MIM **2022**, 20 pkt. wg punktacji MEiN w 2022 r.

Mój wkład w powstanie publikacji obejmował: propozycję rozwiązania problemu badawczego, przegląd literatury z zakresu zastosowania metody SD w analizie systemu

produkcyjnego, opracowanie modelu produkcji i sprzedaży zależnej od popytu. Określenie wpływu zatrudnienia niepełnosprawnych pracowników na kształtowanie ceny wyrobu, popyt i przychód przedsiębiorstwa, opracowanie planu badań, symulację modelu i analizę wyników. Uczestniczyłem także w opracowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu artykułu. Koordynowałem proces wydawniczy. Mój udział stanowi 33% pracy.

A4. Stadnicka D, Litwin P.: Value stream and system dynamics analysis - an automotive case study. Procedia CIRP 2017, CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering [CIRP ICME] **2017**, 15 pkt. wg punktacji MNiSW w 2017 r.

Mój wkład w powstanie publikacji obejmował: opracowanie metodyki badań, przedstawienie propozycji rozwiązania problemu badawczego przez opracowanie modelu metody SD procesu produkcyjnego na podstawie mapy przepływu strumienia wartości, analizę literatury z zakresu zastosowań metody SD, symulację modelu i analizę wyników, przedstawienie modyfikacji procesu i określeniu ich wpływu na zapas produkcji w toku i czas pracy urządzeń. Uczestniczyłem także w opracowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu artykułu. Mój udział stanowi 50% pracy.

A5. Stadnicka D., Litwin P.: Value stream mapping and system dynamics integration for manufacturing line modelling and analysis. International Journal of Production Economics, **2019**, t.208, s.400-411, ISBN/ISSN: 0925-5273, 140 pkt. wg punktacji MNiSW w 2019 r., IF: 5,134.

Mój wkład w powstanie publikacji polegał na: zainicjowaniu tematu badawczego, przedstawieniu koncepcji połączenia metody dynamiki systemów (SD) z danymi przedstawionymi na mapie strumienia wartości (VSM), określeniu zestawu danych wymaganych do opracowania modelu procesu produkcyjnego, opracowaniu metodologii prowadzenia badań symulacyjnych, współpracy w przygotowaniu procedury integracji metody SD z VSM – konsultacji i korekty proponowanej procedury. Wykonałem także przegląd literatury z zakresu zastosowania metody SD w obszarze inżynierii produkcji, opracowałem model procesu produkcyjnego na podstawie mapy stanu obecnego, zrealizowałem symulację modelu i analizę wyników, przedstawiłem wnioski i propozycje doskonalenia procesu produkcyjnego. Opracowałem model SD dla przygotowanej mapy stanu przyszłego, przeprowadziłem jego symulację i analizę wyników. Uczestniczyłem także w opracowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu artykułu. Mój udział stanowi 50% pracy.

A6. Stadnicka D., Litwin P.: Problems of System Dynamics model development for complex product manufacturing process. Journal of Physics: Conference Series, **2022**, t.2198, s.1-9, ISBN/ISSN: 1742-6588, 15th Global Congress on Manufacturing and Management, 40 pkt. wg punktacji MEiN w 2022 r.

Mój wkład w powstanie publikacji obejmował: propozycję tematyki badań, przegląd literatury z zakresu modelowania systemów produkcyjnych, wykazanie możliwości zastosowania metody SD w modelowaniu złożonych procesów, opracowanie modeli stanowisk produkcyjnych na podstawie mapy przepływu strumienia wartości, omówienie konstrukcji modeli, przedstawienie alternatywnych modeli dla tego samego stanowiska i omówienie różnic w ich działaniu. Uczestniczyłem także w opracowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu artykułu. Mój udział stanowi 50% pracy..

A7. Litwin P., Stadnicka D.: Computer Modeling and Simulation in Engineering Education:

Intended Learning Outcomes Development. [in:] *Advances in Manufacturing II: Volume 3 -Quality Engineering and Management*, (pod red.) Adam Hamrol, Marta Grabowska, Damjan Maletic, Ralf Woll, 2019, Cham: Springer, t.3, s.169-184, ISBN/ISSN: 978-3-030-17268-8, Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Manufacturing 2019", 40 pkt. wg punktacji MNiSW w 2019 r.

Mój wkład w powstanie publikacji obejmował: analizę literatury z zakresu zastosowań SD w inżynierii mechanicznej i kształceniu inżynierów, analizę korzyści z wykorzystania modelowania i symulacji w kształceniu inżynierów, zdefiniowanie zamierzonych efektów kształcenia dla modelowania i symulacji, przygotowanie propozycji treści kształcenia z zakresu analizy przepływu pracy w projekcie narażonym na ryzyko oraz modelowania procesu produkcyjnego (Vensim). Uczestniczyłem także w opracowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu artykułu. Mój udział stanowi 50% pracy.

4.1. Uzasadnienie wyboru obszaru badawczego

Podstawę przemysłu 4.0 stanowią zaawansowane technologie w obszarze automatyzacji, cyfryzacji, internetu rzeczy, sztucznej inteligencji i robotów autonomicznych. Implementacja tych nowatorskich rozwiązań wiąże się często z dużymi kosztami i ryzykiem ich wprowadzania. Współczesne procesy produkcyjne, wymagają także nieustannego doskonalenia i dostosowywania do zmieniającego się otoczenia rynkowego. Cechują się również znaczną złożonością, ponieważ ich wyroby są wytwarzane w wielu skomplikowanych operacjach technologicznych obróbki i montażu. Ze względu na dużą ich złożoność, analiza przebiegu tych procesów, również uwzględnienie wprowadzanych zmian i występujących zakłóceń z zastosowaniem metod analitycznych jest utrudniona [1]. Stąd często występuje konieczność opracowania ich modeli i prowadzenia symulacji numerycznych tych procesów. Modelowanie i symulacja numeryczna są niezbędne dla oceny nowych lub modyfikowanych procesów i systemów przed ich wdrożeniem. Umożliwiają skuteczną analizę i doskonalenie złożonych systemów, których rozwiązanie analityczne jest trudne lub niewykonalne [2, 3].

Metoda dynamiki systemów (ang. *System Dynamics* – SD) jest szczególnie przydatna w rozwiązywaniu skomplikowanych zagadnień badawczych. Umożliwia analizę systemów złożonych z wielu elementów składowych, powiązanych zależnościami przyczynowo skutkowymi, często w formie pętli sprzężeń zwrotnych. Podstawą metody SD jest teoria sterowania [4] i myślenie systemowe [5]. Metoda SD dostarcza narzędzi do numerycznej symulacji i analizy interakcji między elementami badanego systemu. Obszerne dane literaturowe wskazują, że metodę SD cechuje wszechstronne zastosowanie, jest przydatna w prowadzeniu analiz systemów społecznych, gospodarczych i technicznych [13, 14]. W obszarze inżynierii mechanicznej metoda SD jest wprowadzana obecnie do realizacji badań w niemal wszystkich etapach cyklu życia produktu i technologii [6 – 12].

Modele systemów tworzone metodą SD zawierają dwie podstawowe kategorie elementów: zasoby i przepływy, oraz zależności przyczynowo – skutkowe łączące te elementy. Zasób reprezentuje chwilową wartość elementu w modelowanym systemie, przepływ natomiast określa tempo zmiany zasobu. Schemat struktury stanowiska produkcyjnego zwykle cechuje się zawartością zasobu *Materiał do produkcji* z dwoma przepływami: *Dostawa materiału* i *Produkcja* (rys. 1.). Zasób jest tożsamy z dowolnym magazynem (zapasem) przetwarzanych wyrobów. Przepływy reprezentują operacje przekazywania i przetwarzania materiału, odpowiednio zwiększające lub zmniejszające wartość zasobu. Krzywa zależności

łączącej zasób *Materiał do produkcji* i przepływ *Produkcja* wskazuje na wzajemne powiązanie tych elementów – produkcja występuje przy dostępności materiałów.



Rys. 1. Schemat struktury modelu stanowiska produkcyjnego
Źródło: Opracowanie własne.

Pomimo wykazanych zalet, metoda dynamiki systemów jest najczęściej stosowana wyłącznie w analizie ogólnego funkcjonowania systemów, z ograniczonym odwzorowaniem szczegółów [9], przede wszystkim do wspierania decyzji na poziomie strategicznym lub taktycznym [15, 16]. Nie jest natomiast często używana do modelowania i symulacji numerycznej systemów na poziomie operacyjnym, z dokładnym odwzorowaniem elementów procesów wytwórczych: stanowisk roboczych i linii produkcyjnych oraz kontroli przepływu materiału i gotowych wyrobów [17]. Symulacje numeryczne z użyciem metody SD skupiają się więc dotychczas na prowadzeniu analizy interakcji poszczególnych działów przedsiębiorstwa, m. in.: sprzedaży, produkcji, utrzymania ruchu czy zaopatrzenia, oraz na określeniu stopnia ich interakcji z otoczeniem: klientami, dostawcami, konkurentami oraz instytucjami państwa i samorządu.

Dotychczasowa analiza rezultatów zastosowania modelowania i symulacji numerycznej współczesnych procesów produkcyjnych pozwala stwierdzić, że głównym problemem jest ich znaczna złożoność [18]. Złożoność procesów produkcyjnych utrudnia opracowanie modelu na wysokim poziomie szczegółowości. Ponadto, czasochłonne gromadzenie danych charakteryzujących proces produkcyjny poddany analizie stanowi kolejne wyzwanie w tworzeniu modeli [4].

W prowadzonych dotychczas badaniach własnych podejmowałem próby opracowania modeli i realizacji symulacji numerycznych procesów produkcyjnych uwzględniających wiele operacji technologicznych. Analiza wyników własnych badań oraz dostępnych danych literaturowych stanowiła podstawę sformułowania założenia, że możliwa jest poprawa procesu modelowania przez opracowanie zestawu modeli wzorcowych oraz integrację metody SD z mapowaniem strumienia wartości (ang. *Value Stream Mapping – VSM*). Spowoduje to zwiększenie obszaru stosowania metody SD w symulacji numerycznej procesów produkcyjnych i przede wszystkim doprowadzi do zwiększenia użyteczności wyników analizy i poprawy funkcjonowania tych procesów w przedsiębiorstwie.

4.2. Rezultaty pracy naukowo – badawczej

Współpraca przedsiębiorstwa produkcyjnego z dostawcami materiałów i odbiorcami wyrobów przyjmuje często formę łańcucha dostaw [19 – 21]. Obecnie firmy często organizują swoją działalność w formie rozszerzonych przedsiębiorstw – organizacji, które wyróżniają się dużą elastycznością, dynamiką zmiany produkcji i skoordynowanym zarządzaniem procesami w celu zapewnienia możliwie najwyższej wartości oferty dla nabywcy. Rozszerzone przedsiębiorstwa, ze względu na nieodłączną złożoność obecnego biznesu, zmuszone są do zarządzania całymi procesami – docierają do partnerów biznesowych, dostawców i klientów. Nowoczesne struktury biznesowe muszą więc sprostać ciągłym zmianom rynkowym. Dlatego

rozszerzone przedsiębiorstwo jest swobodnie powiązaną, samoorganizującą się siecią firm, które łączą swoje wyniki ekonomiczne w celu dostarczania produktów i usług na rynek [22].

Współczesne przedsiębiorstwa tworzą szczególnie rozbudowane sieci współpracy i łańcuchy dostaw. Utrudnione jest opisanie ich działania metodami analitycznymi. Często opracowane modele matematyczne są silnie złożone i stąd trudność do uzyskania rozwiązania analitycznego. Podejmowane są więc próby symulacji numerycznych procesów realizowanych w rozszerzonych przedsiębiorstwach, zwłaszcza w przypadku scenariuszy niemożliwych do zweryfikowania w rzeczywistym otoczeniu rynkowym. Dotyczą przede wszystkim: zmiany liczby klientów (popytu), zmiany strategii konkurentów, opóźnienia lub pogorszenia jakości dostaw. Symulacje numeryczne są również używane do oceny planowanej strategii i reguł decyzyjnych, szczególnie przed wprowadzeniem zmian cechujących się dużym ryzykiem.

Szeroka skala działalności i problemy z właściwą organizacją przepływu informacji między partnerami sprawiają, że rozszerzone przedsiębiorstwo jest podatne na wahania popytu. Zmiana losowa popytu na towary lub poziomu zapasów powoduje, że zachowanie się całego rozszerzonego przedsiębiorstwa staje się bardzo złożone. J.W. Forrester w symulacji numerycznej łańcucha dostaw [13, 23] wykazał, że strategia zarządzania zapasami oparta na „zdrowym rozsądku”, np. zapewnienie zapasu produktów do sprzedaży w kolejnych okresach w oparciu o dane z okresu bieżącego, może prowadzić do amplifikacji zmiany popytu w kierunku od klienta do producenta. Zjawisko to, związane z czasem przepływu i przetwarzania informacji w łańcuchu dostaw, określane jest efektem Forreстера lub „byczego bicza” [24, 25, 26]. Efekt ten jest powodowany trzema głównymi czynnikami: niewłaściwym przepływem informacji, strukturą łańcucha dostaw i brakiem współpracy. Eliminacja efektu „byczego bicza” umożliwia zwiększenie zysku uczestników łańcucha dostaw o 10-20%, a zmniejszenie oddziaływania tego efektu, prowadzi do wzrostu zysku o 5-10% [27].

W prowadzonych badaniach własnych podjęto próbę ustalenia wpływu przyjętej organizacji przepływu informacji na poziom zapasów uczestników łańcucha dostaw w warunkach zmieniającego się popytu. Przyjęto założenie, że opracowanie modelu i realizacja symulacji numerycznej, będzie podstawą do prowadzenia analizy przepływu materiałów i zamówień w rozszerzonym przedsiębiorstwie [A1]. Eksperymenty symulacji numerycznej umożliwią przygotowanie przedsiębiorstwa na ryzyko wystąpienia efektu „byczego bicza” i podejmowanie świadomych decyzji.

Dla określenia wpływu efektu „byczego bicza” na efektywność łańcucha dostaw przeprowadzono eksperymenty symulacji numerycznej z uwzględnieniem popytu o rozkładzie normalnym oraz z jego okresowymi zwiększonymi zmianami. Eksperymenty wykonano dla modeli ze standardowym oraz ze zmodyfikowanym przepływem informacji. W modelu ze standardowym przepływem informacji uwzględniono rejestry zamówień u każdego partnera biznesowego. Natomiast w modelu ze zmodyfikowanym przepływem informacji wszyscy partnerzy biznesowi korzystają wyłącznie z rejestru zamówień końcowych odbiorców wyrobów. Oba modele cechuje jednak taki sam poziom popytu. W modelach łańcucha dostaw uwzględniono różne dwa procesy produkcji występujące u dostawcy komponentów i u producenta produktów. Procesy produkcji realizowano na wysokim poziomie abstrakcji – każdy proces produkcji był reprezentowany przez pojedynczy przepływ. Prowadzona symulacja numeryczna miała długoterminowy charakter, jej czas obejmował 300 dni. W modelu z usprawnionym przepływem informacji, wprowadzenie centralnego rejestru zamówień, dostępnego dla wszystkich uczestników łańcucha dostaw, umożliwiło

ograniczenie wpływu efektu „byczego bicza” na wielkość zapasów. Średni poziom zapasów u każdego uczestnika łańcucha dostaw dla symulacji numerycznej modelu ze zmodyfikowanym przepływem informacji był co najmniej dwukrotnie niższy, w porównaniu do uzyskanego dla modelu ze standardową organizacją przepływu informacji. Analiza wyników eksperymentów symulacji dostarcza więc wskazówek do ustalenia sposobu organizacji przepływu informacji między partnerami biznesowymi, umożliwiającego efektywne zarządzanie zapasami. **Wykonane badania i uzyskane wyniki potwierdziły zasadność zastosowania metody dynamiki systemów do analizy funkcjonowania przedsiębiorstw w sieci współpracy. Eksperymenty symulacji numerycznej wykazały konieczność modyfikowania organizacji przepływu informacji w łańcuchu dostaw dla zmniejszenia negatywnego oddziaływania efektu „byczego bicza” na gromadzenie nadmiernych zapasów** . Podkreślić należy, że symulacja numeryczna w badaniach funkcjonowania procesu produkcyjnego w rozszerzonym przedsiębiorstwie, ze względu na ograniczone możliwości zastosowania metod analitycznych, jak również realizacji eksperymentów dla rzeczywistego systemu, jest jedynym możliwym do użycia narzędziem [2, 3]. W kolejnym etapie prac podjęto badanie stopnia oddziaływania efektu „byczego bicza” na wynik ekonomiczny uczestników łańcucha dostaw wyliczany z uwzględnieniem przychodów ze sprzedaży wyrobów oraz kosztów utrzymania zapasów [M1].

Analiza danych literaturowych dotyczących stosowania symulacji numerycznej w inżynierii produkcji wykazuje, że metoda dynamiki systemów jest często wykorzystywana do prowadzenia symulacji numerycznej systemów wytwórczych bez odwzorowania poszczególnych ich elementów składowych. Ustalono jednocześnie, że wielu przypadkach założono występowanie wyłącznie ciągłego przepływu produkcji i ograniczoną liczbę stanowisk produkcyjnych (zwykle od 1 do 3) [28 – 32]. Analiza danych literaturowych była również podstawą do stwierdzenia, że wprowadzane modele systemów produkcyjnych budowane metodą SD są na wysokim poziomie abstrakcji i często są łączone z innymi metodami symulacji. Wykazano, że w szczegółowej symulacji procesów wytwórczych najczęściej stosuje się symulację hybrydową – połączenie metody SD i DES (ang. *Discrete Event Simulation – DES*) lub SD i ABMS (ang. *Agent Based Modeling and Simulation*) [33, 34]. Ustalono jednocześnie, że w symulacji hybrydowej metoda SD jest używana głównie do analizy strategicznej łańcuchów dostaw, przedsiębiorstw i systemów produkcyjnych. Bardziej szczegółowe modele systemów produkcyjnych opracowane są natomiast metodą DES lub ABMS. Stąd do analizy przetwarzania zamówień w przedsiębiorstwie wykonującym druk na folii do pakowania żywności zaproponowano połączenie 2 metod symulacji (SD i DES) [A2]. Metodę dynamiki systemów przyjęto do analizy niestacjonarnego zachowania się systemu. Jest ono spowodowane brakiem automatyzacji operacji technologicznych oraz złożoną strukturą systemu zawierającą pętle sprzężenia zwrotnego. Model SD wprowadzono do symulacji numerycznej operacji wykonywanych ręcznie – przygotowania materiałów do druku (matryca, farba, folia). Przyjęto trzymianową, ciągłą pracę systemu produkcji i uwzględniono krzywą dobowej produktywności pracowników [35]. Analizie poddano uzyskane rezultaty oceny wpływu zmiany popytu na obsadę stanowisk roboczych. Przeprowadzona symulacja numeryczna z użyciem opracowanego modelu SD umożliwiła określenie liczby przygotowanych zestawów materiałów do druku w czasie zmiany roboczej. Uzyskane wyniki stanowiły jednocześnie źródło danych dla modelu symulacji zdarzeń dyskretnych – DES. Jego celem jest odwzorowanie pracy automatów drukarskich. Symulacja zdarzeń dyskretnych została wprowadzona dla wykonania analizy działania systemu produkcyjnego z różnymi scenariuszami uwzględniającymi zmienną, zależną od obsady liczbę

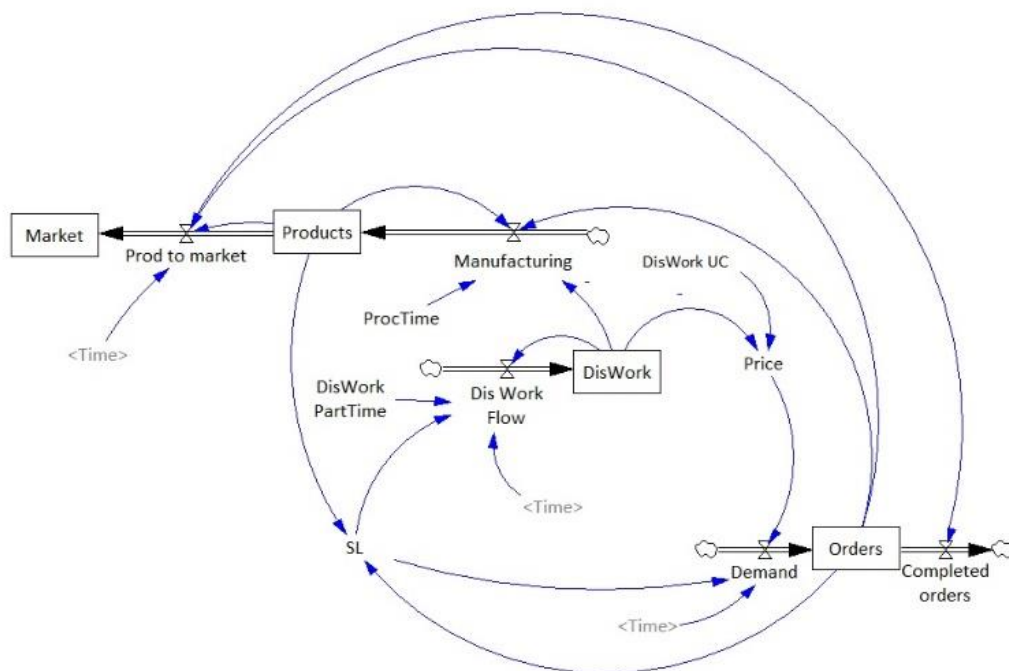
przygotowanych zestawów materiałów drukarskich. W badaniach wykorzystano więc zalety zarówno metody SD (odzworowanie złożonych zależności i pętli sprzężeń zwrotnych), jak również metody DES (odzworowanie przebrojenia urządzeń dla przetwarzania różnych rodzajów wyrobów) do analizy wydajności linii drukarskiej. **Osiągnięciem realizowanych badań jest opracowanie modelu obsady stanowisk roboczych, z uwzględnieniem zmiennego popytu (zamówienia klientów) oraz zmiany produktywności pracowników w ciągu doby [A2]. Wykazano, że proponowane podejście pozwala na ocenę ogólnej wydajności linii drukarskiej dla wybranej rodziny wyrobów.** Ustalono jednocześnie, że jego stosowanie jest ograniczone koniecznością opracowania modeli dla 2 metod symulacji oraz obsługi wymiany danych pomiędzy tymi modelami.

Rezultaty prowadzonych badań stanowiły podstawę wprowadzenia hybrydowej symulacji SD – DES do rozwiązania zadania badawczego związanego z zagadnieniem zatrudniania i włączania osób z niepełnosprawnością do pracy w przedsiębiorstwach produkcyjnych [A3]. Obecnie występuje wiele przesłanek do zwiększania poziomu zatrudniania pracowników z niepełnosprawnością. Dodatkowo część z nich jest regulowana traktatami międzynarodowymi. W 2015 r. ONZ przyjęło „Agendę na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030”. Zawiera ona 17 Celów Zrównoważonego Rozwoju (SDGs). Cel 8. dotyczy "Godnej pracy i wzrostu gospodarczego" i promuje m. in. pełne i produktywne zatrudnienie oraz godną pracę dla wszystkich, w tym dla osób z niepełnosprawnością. W 2021 r. Komisja Europejska opublikowała „Strategię Unii Europejskiej na rzecz równości praw osób niepełnosprawnych na lata 2021-2030”. Strategia ta ma na celu sprostanie wyzwaniom stojącym przed osobami z niepełnosprawnością i zapewnienie postępów w zakresie ich praw. Uwzględnia wiele inicjatyw wspierających ich integrację na rynku pracy, w tym udzielanie wsparcia finansowego dla pracodawców.

Dane literaturowe wskazują, że pracownicy z niepełnosprawnością, przy zapewnieniu właściwego planowania i organizacji pracy, mogą stanowić dużą wartość dla firmy. Jednak, z uwagi na ich dodatkowe prawa i ograniczenia w ich pracy, proces organizacji i planowania produkcji staje się bardziej skomplikowany [A3]. Stąd w kolejnym etapie realizowanych badań podjęto próbę wykazania, w jakim stopniu zatrudnienie osób z niepełnosprawnością może wpłynąć na działanie linii produkcyjnej oraz jakie czynniki należy uwzględnić przed przydzieleniem im zadań produkcyjnych. Efektywność pracowników z niepełnosprawnością jest zwykle niższa od pracowników w pełni sprawnych i zależy przede wszystkim od rodzaju ich niepełnosprawności. Oddziałuje więc na wydajność produkcji, koszty, poziom obsługi oraz popyt. Jednocześnie jednak działania UE oraz rządów wielu krajów wprowadzają dodatkowe wsparcie finansowe, które ma na celu zachęcanie przedsiębiorców do zatrudniania pracowników z niepełnosprawnością. Obecnie, w niektórych krajach, występuje także obowiązek prawny zatrudniania określonego udziału procentowego pracowników z niepełnosprawnością.

Wykazano w wykonanych badaniach, że symulacja hybrydowa SD – DES jest skutecznym narzędziem analizy stopnia wpływu zatrudnienia pracowników z niepełnosprawnością na funkcjonowanie systemu produkcyjnego [A3]. Ustalone w procesie symulacji numerycznej zmiany parametrów systemu wytwarzania wynikały przede wszystkim z różnicy efektywności pracowników sprawnych i z niepełnosprawnością (wpływ na wydajność procesu produkcyjnego) oraz publicznego, finansowego wsparcia dla pracodawcy (wpływ na koszty produkcji i kształtowanie ceny wyrobu). Prowadzono analizę pracy stanowisk montażu zatrudniających 4 pracowników poprzez opracowanie modelu DES i symulację numeryczną

procesu produkcji. W badaniach uwzględniono możliwe konfiguracje obsady stanowisk montażu. Przyjęto zatrudnienie od 0 do 4 pracowników z niepełnosprawnością. Określono przepustowość operacji montażu z uwzględnieniem czasu transportu wyrobów i losowo występujących, dodatkowych przerw w pracy pracowników z niepełnosprawnością. Model metody SD opracowano dla odwzorowania złożonych zależności pomiędzy: liczbą pracowników z niepełnosprawnością, wydajnością montażu, poziomem obsługi klientów (wartość ilorazu zamówień zrealizowanych i złożonych w danym dniu), ceną wyrobu oraz popytem (ustalono zależność popytu od ceny wyrobu i poziomu obsługi). Przyjęto w opracowanym modelu SD systemu produkcji i sprzedaży wyrobów (rys. 2.), że dobór liczby pracowników z niepełnosprawnością jest realizowany w zależności od warunków rynkowych, w sposób umożliwiający osiągnięcie przez przedsiębiorstwo maksymalnej wielkości sprzedaży.



Rys. 2. Schemat modelu systemu produkcji i sprzedaży
Źródło: [A3].

Analiza wyników wykonanych badań potwierdza, że zwiększenie udziału pracowników z niepełnosprawnością w produkcji powoduje zmniejszenie ogólnej wydajności procesu produkcyjnego. Dlatego aktywizacja oraz poprawa jakości życia, pozostaje głównym powodem zatrudniania pracowników z niepełnosprawnością. Często jednak zatrudnienie osób z niepełnosprawnością wiąże się z dodatkowym zewnętrznym wsparciem finansowym. Pozwala więc na zmniejszenie kosztów pracy, co umożliwia obniżenie cen wyrobów i tym samym zwiększenie popytu. Wykazano w symulacji numerycznej z zastosowaniem modelu SD, że zatrudnienie dwóch pracowników z niepełnosprawnością umożliwia osiągnięcie największej rocznej produkcji i jednocześnie zapewnia wysoki poziom obsługi klienta. **Głównym osiągnięciem prowadzonych badań jest wykazanie, że oprócz argumentów społecznych, w określonych warunkach prawnych, występują przesłanki ekonomiczne do zatrudniania osób z niepełnosprawnością. Ustalono, że zaangażowanie pracowników z niepełnosprawnością, mimo mniejszej ich produktywności może prowadzić do zwiększenia przychodów przedsiębiorstwa [A3].**

Analiza wyników badań z zastosowaniem hybrydowej symulacji SD – DES [A3] prowadzi

do wniosku, że model metody DES ma ograniczone zastosowanie i umożliwia tylko wyznaczenie łącznej wydajności stanowisk montażowych – równania przepływu *Manufacturing* (rys. 2.). Model opracowany metodą SD natomiast zapewnia odwzorowanie wszystkich zależności, także złożonych pętli sprzężeń zwrotnych kształtujących dynamikę systemu. Ustalono więc ograniczone zastosowanie metody DES i jednocześnie konieczność budowy dodatkowego modelu i organizacji wymiany danych pomiędzy modelami metody DES i SD. Powyższe stwierdzenie prowadzi do postulatu realizacji kompleksowych modeli złożonych procesów i systemów produkcyjnych z zastosowaniem wyłącznie metody SD. Podejście takie powinno zapewnić odwzorowanie elementów składowych badanego systemu na poziomie umożliwiającym analizę założonych parametrów jego pracy. Trudnością w zastosowaniu takiego rozwiązania sygnalizowaną w literaturze jest duża złożoność modeli procesów produkcyjnych tworzonych metodą SD [33, 34, 36, 37].

Stosowane dotychczas w prowadzonych badaniach własnych modele systemów wykonane metodą SD nie uwzględniają szczegółów procesu produkcyjnego, m. in. sekwencji operacji, zapasów produkcji w toku czy rozmieszczenia urządzeń [A1 – A3]. Nie umożliwiają więc oceny efektywności w poszczególnych etapach procesu produkcyjnego, m. in. dla identyfikacji tzw. „wąskich gardeł” powodujących przestoje w produkcji oraz ograniczenie wydajności i często utratę klientów. Brak prawidłowej organizacji produkcji prowadzi również do gromadzenia nadmiernych zapasów, generujących dodatkowe koszty. Dla uniknięcia tych dodatkowych kosztów, firmy muszą więc realizować skuteczną kontrolę poziomu zapasów. Ocenę stopnia wpływu poziomu zapasów na czas realizacji zamówienia realizuje się przez mapowanie strumienia wartości (ang. *Value Stream Mapping - VSM*) oraz analizę strumienia wartości (ang. *Value Stream Analysis - VSA*). Narzędzia te dostarczają jednak tylko statycznych informacji o bieżącej sytuacji – bez możliwości analizy zmiany stanu zapasów w czasie. Odwzorowanie zmienności poziomu zapasów, jest natomiast możliwe z zastosowaniem metody SD. Stąd w prowadzonych kolejnych badaniach podjęto próbę opracowania szczegółowego modelu i symulacji numerycznej wieloetapowego procesu produkcyjnego [A4]. Poddano analizie proces produkcji zestawu uszczelki szyby drzwi samochodu osobowego. Zestaw ten składa się zarówno z części wykonanych z gumy, jak również stalowych, lakierowanych elementów tworzących ramę uszczelki. Proces produkcji tego zestawu zawiera 13 operacji technologicznych i uwzględnia kompletowanie zestawu oraz jego montaż. Wykonano analizę strumienia wartości procesu produkcyjnego i opracowano mapę stanu obecnego (ang. *Current State Map – CSM*). Na podstawie mapy CSM opracowano model SD procesu, przeprowadzono symulację numeryczną i wykonano analizę poziomu zapasów w czasie, dla poszczególnych operacji procesu produkcyjnego. Zrealizowana symulacja numeryczna procesu produkcji umożliwiły identyfikację występujących problemów – określono miejsca składowania nadmiernych zapasów. Wyniki prowadzonej analizy były podstawą do opracowania mapy stanu przyszłego (ang. *Future State Map – FSM*). Zawarto w niej propozycje usprawnień – dla wyznaczonych stanowisk określono maksymalny poziom zapasów. Na podstawie mapy FSM przygotowano zmodyfikowany model systemu produkcyjnego oraz wykonano symulację numeryczną i przeprowadzono analizę wpływu usprawnień na poziom zapasów. Ustalono, że rozważane usprawnienia doprowadziły do znacznego zmniejszenia zapasów produkcji w toku. Ograniczenie poziomu zapasów powoduje również ograniczenie czasu pracy urządzeń w linii produkcyjnej (brak produkcji do magazynowania).

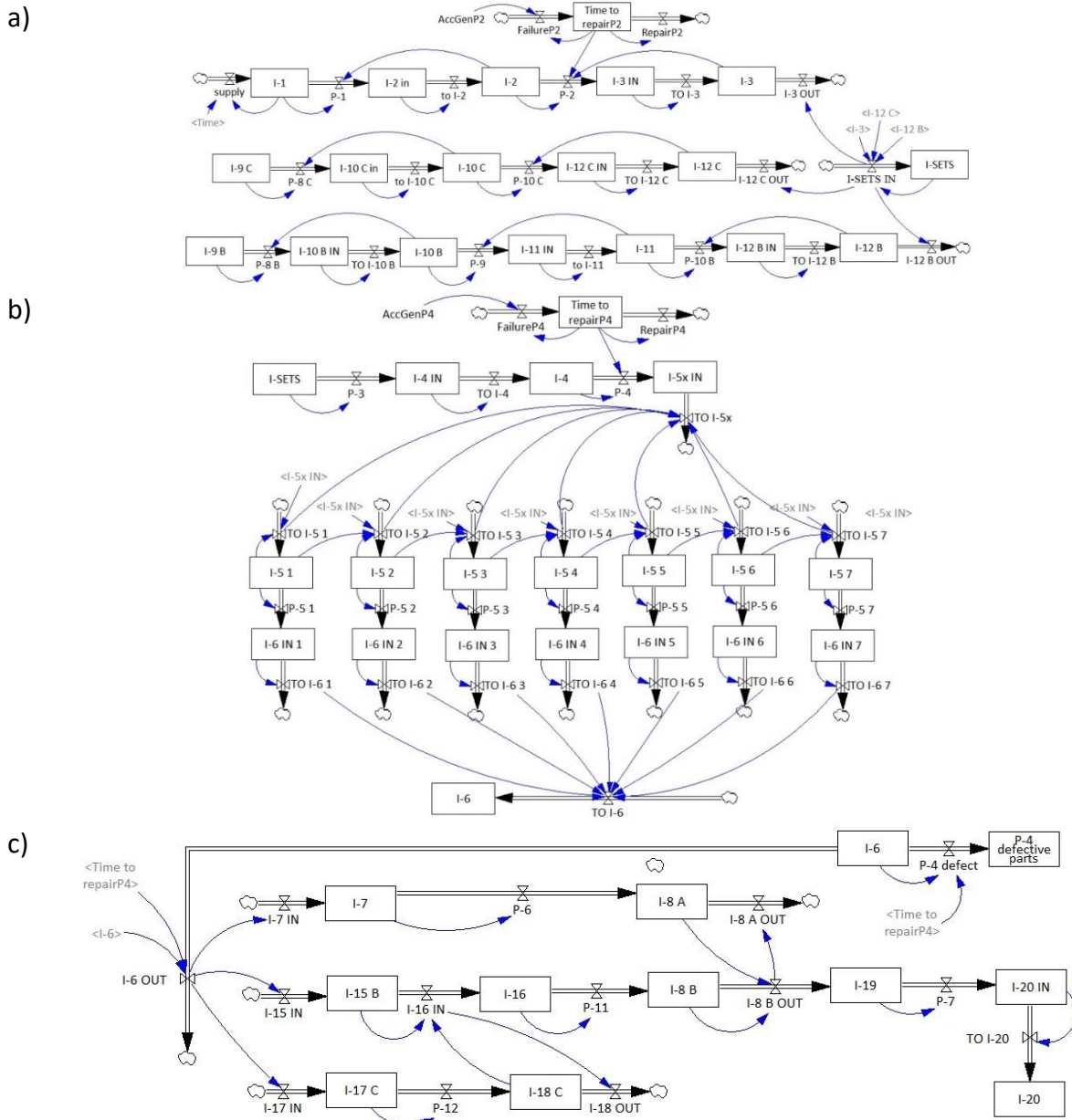
Opracowany model umożliwia wyodrębnienie obrabiarek i stanowisk roboczych,

w których realizowane są kolejne operacje technologiczne w procesie produkcyjnym poddanych analizie. Uwzględnia szeregowe i równoległe rozmieszczenie obrabiarek i stanowisk roboczych oraz tworzenie zestawu części i jego montażu. **Uzyskane wyniki stanowiły podwaliny propozycji sposobu szczegółowego modelowania procesu produkcyjnego na podstawie mapy strumienia wartości [A4]. Wykonany model uwzględnia przepływ pojedynczych wyrobów, przekazywanych w linii produkcyjnej w czasie określonym dla ustalonego czasu cyklu operacji. Sformułowano główny wniosek analizy wyników badań – prawidłowe zastosowanie metody SD umożliwia przedsiębiorstwu ocenę i usprawnianie zarządzania zapasami. Efektem jest zmniejszenie kosztów oraz zwiększenie efektywności i konkurencyjności przedsiębiorstwa.**

Przedsiębiorstwa produkcyjne dla osiągnięcia sukcesu i ciągłego rozwoju, muszą spełniać oczekiwania klientów dotyczące jakości produktów i czasu dostawy, przy minimalnych kosztach. Wdrażanie wyszczuplonej produkcji (ang. *Lean Manufacturing*) wraz z jej narzędziami, jak np. mapowanie strumienia wartości (VSM), prowadzi do obniżenia kosztów produkcji. Jednakże technika VSM umożliwia tylko statyczną analizę systemu produkcyjnego. Dlatego w kolejnym etapie badań zaproponowano integrację mapowania strumienia wartości i metody dynamiki systemów dla zwiększenia możliwości prowadzenia identyfikacji i eliminowania strat w produkcji [A5]. Budowa modelu SD jest procesem twórczym i brak jest jednoznacznej procedury postępowania gwarantującej opracowanie modelu dobrze odwzorowującego funkcjonowanie systemu poddanego analizie [4]. Dodatkowo przygotowanie modelu jest często czasochłonne i wymaga długotrwałej obserwacji badanego systemu, również tworzenia zbioru danych potrzebnych do jego opisu. Stąd w prowadzonych badaniach zaproponowano utworzenie modelu procesu produkcyjnego z zastosowaniem mapy strumienia wartości jako jedyne źródła wszystkich niezbędnych danych [A5]. Dane gromadzone w rozszerzonej mapie VSM charakteryzują zarówno strukturę, jak również główne parametry procesu produkcyjnego. W ustalonych etapach mapowania strumienia wartości scharakteryzowano również sposób integracji metody SD i VSM. Zawiera *analizę stanu obecnego, opracowanie mapy stanu przyszłego oraz wdrożenie stanu przyszłego* [38]. W obrębie *analizy stanu obecnego* ujęto budowę modelu SD i symulację procesu produkcyjnego umożliwiającą charakterystykę jego dynamiki. Uzyskane wyniki symulacji numerycznej stanowiły źródło propozycji usprawnień. Propozycje te zastosowano do *opracowania mapy stanu przyszłego* strumienia wartości i budowy modelu SD modernizowanego procesu. Symulacja numeryczna z użyciem tego modelu umożliwiła wskazanie kierunku modyfikacji istotnie i pozytywnie wpływających na kluczowe wskaźniki procesu produkcyjnego oraz przedstawienie planu *wdrożenia stanu przyszłego*. W szczegółowym modelu procesu wytwarzania opracowanym na potrzeby realizacji tych badań (rys. 3.) wprowadzono przekazywanie wyrobów w linii produkcyjnej uwarunkowane poziomem zapasu zasobnika wyjściowego stanowiska poprzedzającego oraz stanem zasobnika wejściowego stanowiska następującego. Model uwzględnia szeregowe i równoległe rozmieszczenie stanowisk produkcyjnych wraz z regułą przemieszczania wyrobów do stanowiska oczekującego na materiał do przetwarzania. W operacji tworzenia zestawu montażowego ujęto także weryfikację dostępności jego elementów składowych. Plan symulacji modelu obejmował występowanie zakłóceń w procesie produkcji: awarię 2 obrabiarek oraz brak zaplanowanej dostawy materiału. Odwzorowano w badaniach również wytwarzanie wyrobów niezgodnych.

Analiza wyników przeprowadzonych badań pozwoliła na ocenę i wybór modyfikacji

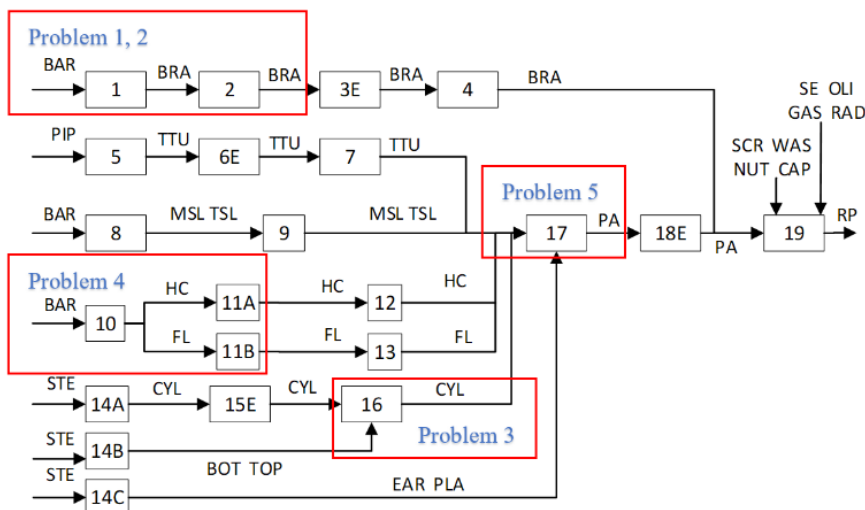
usprawniających funkcjonowanie **procesu produkcyjnego**. Zmniejszono liczbę stanowisk suszenia po lakierowaniu (w symulacji numerycznej wykazano, że nie wszystkie stanowiska są używane w produkcji) oraz ograniczono poziom zapasów produkcji w toku (ustalono poziom zapasu niezbędny do utrzymania ciągłości produkcji w przypadku awarii obrabiarki). **Wykazano również możliwość wprowadzenia rozszerzonej mapy VSM jako samodzielnego źródła danych do budowy modelu linii produkcyjnej**. Ustalono, że integracja metody SD i VSM umożliwia nie tylko identyfikowanie i eliminowanie strat w produkcji wyrobów, ale także ocenę wpływu zidentyfikowanych problemów na poziom zapasów i wielkość produkcji [A5].



Rys. 3. Schemat struktury modelu procesu produkcji uszczelki drzwi samochodu: a) obróbka części, b) lakierowanie i utwardzanie lakieru, c) kompletowanie zestawu części, montaż i pakowanie
Źródło [A5].

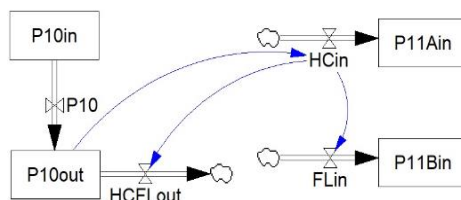
W kolejnych etapach prowadzonych badań wykazano użyteczność metody SD do szczegółowego modelowania złożonych procesów produkcyjnych [A6]. W oparciu

o zaczerpnięte z przemysłu studium przypadku, przedstawiono przykłady modeli metody SD dla stacji roboczych i elementów linii produkcyjnej. Omówiono w ramach tej pracy m. in.: dyskretyzację przepływu wyrobów (1), przepływ informacji z użyciem kart kanban (2), kompletowanie zestawu części do montażu (3), przetwarzanie różnych wyrobów w jednym procesie (4) oraz pracę wielu pracowników na jednym stanowisku (5). Dla wykazania złożoności modeli SD odwzorowujących funkcjonowanie stanowisk produkcyjnych opracowano schemat struktury procesu produkcyjnego (rys. 4) oraz schemat struktury modelu przetwarzania różnych wyrobów w jednej operacji (rys. 5).



Rys. 4. Schemat struktury procesu produkcyjnego
Źródło [A6].

Stanowisko (10) oznaczone jako *Problem 4* realizuje przetwarzanie 2 różnych wyrobów, które są przemieszczane na kolejne stanowiska (11A, 11B). Materiał (BAR) dostarczany na stanowisko 10 pozwala na wytwarzanie takiej samej liczby wyrobów HC i FL. Wyodrębnione na schemacie struktury procesu produkcyjnego stanowiska robocze (np. 10), w rzeczywistości obejmują urządzenie do realizacji operacji technologicznej oraz zasobnik wejściowy do przechowywania materiału i zasobnik wyjściowy do przechowywania wytworzonych wyrobów. Opracowany model SD (rys. 5.), zgodnie z rzeczywistością, uwzględnia te składniki stanowiska roboczego. *P10in* odwzorowuje zasobnik wejściowy, *P10out* – zasobnik wyjściowy, natomiast *P10* reprezentuje operację technologiczną.



Rys. 5. Schemat struktury modelu przetwarzania 2 wyrobów w jednej operacji
Źródło [A6].

Struktura modelu przetwarzania 2 wyrobów w jednej operacji (rys. 5.) nie jest nadmiernie rozbudowana i odwzorowuje budowę rzeczywistego stanowiska realizującego rozważaną operację. Również proces przekazania wyrobów do stanowisk 11A i 11B nie jest skomplikowany. Jest opisany wyrażeniem warunkowym: jeśli w zasobniku *P10out* znajduje się co najmniej 2 wyroby, należy przemieścić 1 wyrób do zasobnika stanowiska 11A (*P11Ain*)

i 1 do zasobnika stanowiska 11B (P11Bin).

Elementem innowacyjności w prowadzonych badaniach jest wprowadzenie metody SD do modelowania i symulacji numerycznej procesów wytwarzania złożonego wyrobu na poziomie operacyjnym, z uwzględnieniem dokładnego odwzorowania parametrów czasowych operacji obróbki, montażu oraz przemieszczania się wyrobów w linii produkcyjnej. Proponowane rozwiązania mogą być szczególnie przydatne w opracowaniu modelu przedsiębiorstwa na wysokim poziomie agregacji – dla analizy ogólnej strategii przedsiębiorstwa, przy występującej jednocześnie potrzebie uszczegółowienia wybranego procesu – dla określenia wpływu różnych scenariuszy operacyjnych procesu na wyniki firmy. Podejście to można traktować jako zastępujące symulację hybrydową SD-DES lub SD-ABMS [A6].

Analiza literatury z zakresu zastosowania metody dynamiki systemów w inżynierii mechanicznej wykazuje jej istotną rolę w rozwoju wiedzy i umiejętności inżynierów i menadżerów w przemyśle. Modele metody SD są postrzegane jako laboratoria wspierające edukację [39, 40]. Kształcenie z zastosowaniem metody dynamiki systemów znacząco przyczynia się do poprawnej interpretacji i umożliwia syntezę reguł działania systemów technicznych i jednocześnie jest obecnie przedmiotem wielu badań [41, 42]. Stąd w prowadzonych i rozszerzanych badaniach scharakteryzowano cele kształcenia w zakresie umiejętności opracowania modeli do rozwiązywania zadań inżynierskich – uczenie przez modelowanie oraz w zakresie zastosowania symulacji numerycznej do identyfikacji i opisu reguł zachowania się systemów – uczenie przez symulację [A7]. **Osiągnięciem prowadzonych badań jest zdefiniowanie efektów kształcenia inżynierów w zakresie opracowania modeli i prowadzenia symulacji numerycznej procesów produkcyjnych i systemów technicznych.** Efekty kształcenia są zgodne z taksonomią Blooma. Są również zgodne z założeniami konstruktywnego dostosowania (ang. *Constructive Alignment*) metod nauczania, treści dydaktycznych, efektów kształcenia i metod ich weryfikacji. W kolejnym etapie prac scharakteryzowano sposoby weryfikacji efektów kształcenia inżynierów w zakresie modelowania i symulacji [43]. Badania dotyczące opracowania modeli i prowadzenia symulacji numerycznej w kształceniu kadr dla przemysłu podejmowano także w innych badaniach z tego obszaru [44 – 47].

Główny nurt moich zainteresowań w pracy naukowej, który stopniowo był rozszerzany dotyczy wprowadzania metody dynamiki systemów do analizy procesów i systemów produkcyjnych. Metoda ta bowiem cechuje się unikatowymi właściwościami niezbędnymi do opracowania kompleksowych modeli i realizacji symulacji numerycznej złożonych procesów i systemów. Odzwierciedla ciągły upływ czasu, umożliwia syntezę systemu poddanego analizie i obserwację zagregowanych efektów, charakteryzuje także zachowanie się systemu przez opis jego struktury. W prowadzonych wielokierunkowych badaniach danych literaturowych w tym zakresie ustalono wzrost liczby publikacji dotyczących zastosowań metody SD w inżynierii mechanicznej. Wykazano jednocześnie mały udział prac dotyczących opracowania szczegółowych modeli procesów produkcyjnych wykonanych tą metodą. Stąd w autorskiej monografii podjąłem próbę pogłębienia badań w tym zakresie dla scharakteryzowania oraz podsumowania uzyskanych wyników dotyczących zarówno zalet jak również ograniczeń stosowania metody SD w analizie procesów produkcyjnych [M1].

Scharakteryzowano więc w pracy proces tworzenia modelu i prowadzenia symulacji numerycznej metodą dynamiki systemów. Przeprowadzono analizę obszarów stosowania głównych metod symulacji numerycznej w inżynierii mechanicznej. Wykazano, że metoda SD

stanowi wszechstronne narzędzie symulacji numerycznej w zagadnieniach badawczych inżynierii mechanicznej, w szczególności we wszystkich etapach cyklu życia technologii. Przeprowadzona analiza porównawcza pozwoliła na scharakteryzowanie właściwości użytkowych metod SD, DES i ABMS. Ustalono że metoda SD umożliwia m. in. zrozumienie (zrozumienie) zasad funkcjonowania systemu poddanego analizie oraz przyspiesza budowę konsensusu wśród jego użytkowników. Przeprowadzono również proces identyfikacji i wyodrębnienia problemów związanych z użyciem metody SD. Wykazano, że opracowanie szczegółowych modeli procesów produkcyjnych jest ograniczone, ponieważ w modelach metody SD wprowadza się najczęściej elementy na wysokim poziomie abstrakcji i wywiera nacisk przede wszystkim na analizę efektów zagregowanych.

Ustalono jednocześnie w analizie danych literaturowych, że dotychczas występują tylko nieliczne prace podejmujące szczegółowe modelowanie metodą SD pojedynczych obrabiarek [18, 50] lub kilku połączonych szeregowo urządzeń [31, 51]. Rezultaty badań w tym zakresie wskazują, że przeszkodą w tworzeniu szczegółowych modeli współczesnych procesów produkcyjnych jest również ich duża złożoność [33, 34, 36, 37]. Jednocześnie badania przeprowadzone w pracach [18, 47] wykazały wysoką zgodność wyników symulacji numerycznej z użyciem modelu SD z wynikami rzeczywistego procesu produkcyjnego.

Ograniczone dane literaturowe charakteryzujące zastosowania szczegółowych modeli metody SD w analizie procesów produkcyjnych, stanowiły podstawę do podjęcia prób dokładnego ich odwzorowania w dotychczasowych badaniach własnych [A4 – A6]. Analiza dostępnych danych literaturowych oraz wyników badań własnych była podstawą do przyjęcia założenia, że stworzenie zestawu modeli wzorcowych elementów procesu produkcyjnego umożliwi znaczące usprawnienie opracowania szczegółowego jego modelu, również dla złożonego procesu. **Opracowano w realizowanych badaniach w tym zakresie zestaw modeli wzorcowych, w którym uwzględniono: obrabiarkę z zasobnikiem wejściowym, przepływ wyrobów w linii produkcyjnej, cykliczne uzupełnianie zapasów, dostępność operatora, awarię obrabiarki, obsługę wyrobów z wadami, tworzenie zestawu elementów i montaż wyrobu, demontaż wyrobu i rozdzielanie zestawu elementów, równoległe przetwarzanie wyrobów w procesie technologicznym, także organizację przepływu produkcji. Dla każdego modelu opracowano charakterystykę jego struktury, opis działania oraz sposób zastosowania [M1].**

Ważnym elementem realizowanych zadań badawczych jest zobrazowanie sposobu wykorzystania opracowanych modeli wzorcowych [M1]. Przedstawiono przykłady symulacji numerycznej modeli niektórych operacji składowych procesu produkcyjnego. Omówiono wyniki symulacji oraz wskazano możliwości modyfikacji modelu metody SD. Uwzględniono w tym etapie badań modele: okresowych dostaw i braku dostawy, dyskretyzacji przepływu wyrobów, przemieszczania się wyrobów w systemie produkcji typu „pull”, awarii urządzenia, usuwania awarii, tworzenia zestawu elementów i rozdzielania zestawu elementów, przetwarzania na równoległych stanowiskach z przekazaniem wyrobu na wolne stanowisko.

Wykonano również analizę uzyskanych wyników badań dla określenia wpływu zmienności popytu na koszty funkcjonowania procesu produkcyjnego w łańcuchu dostaw. Ustalono stopień wpływu organizacji przepływu informacji na stan zapasów oraz w konsekwencji na koszty magazynowania poniesione przez firmę produkcyjną. Potwierdzono użyteczność metody SD, która umożliwia uwzględnienie w opracowanym modelu przepływu różnego rodzaju zasobów, również interakcji systemu produkcyjnego z otoczeniem – uczestnikami łańcucha dostaw.

Analiza danych literaturowych i wyniki własnych badań wskazują ponadto, że znaczącym ograniczeniem wprowadzania metody SD do modelowania procesów i linii produkcyjnych jest brak powszechnie akceptowanej i wszechstronnej procedury zapewniającej opracowanie modeli dokładnie odwzorowujących rozważane cechy badanego systemu [4]. Przed przystąpieniem do opracowania modelu i przeprowadzenia symulacji numerycznej, niezbędne jest uwzględnienie wszelkich istotnych informacji charakteryzujących proces i jest to zazwyczaj czasochłonne zadanie [4]. Ustalono w prowadzonych badaniach, że możliwe jest opracowanie modelu procesu produkcyjnego wyłącznie na podstawie parametrów dostępnych na rozszerzonej mapie strumienia wartości [A5]. Zaproponowano również sposób integracji metody dynamiki systemów z mapowaniem strumienia wartości. **Stąd w kolejnym etapie pracy własnej określono zestaw parametrów niezbędnych do opracowania modelu odwzorowującego szczegółowo (z dokładnością 1 szt.) przepływ produkcji w linii produkcyjnej [M1]. Wprowadzono w tym zestawie także parametry charakteryzujące zakłócenia przepływu produkcji. Określono również sposób połączenia analizy procesów produkcyjnych za pomocą metody SD z mapowaniem strumienia wartości dla rozszerzenia zakresu użyteczności wyników symulacji numerycznej. Proponowane połączenie metody SD i VSM opracowano na podstawie przyjętych etapów mapowania strumienia wartości [38]. Obejmuje zastosowanie wyników symulacji numerycznej procesu produkcyjnego do opracowania mapy stanu przyszłego tego procesu oraz wskazanie propozycji usprawnień istotnie i pozytywnie oddziałujących na parametry procesu produkcyjnego.**

Analiza wyników przeprowadzonych badań umożliwiła scharakteryzowanie opracowanego kompleksowego podejścia do implementacji metody dynamiki systemów w analizie i doskonaleniu organizacji procesów produkcyjnych. Zidentyfikowano i wyodrębniono trudności w opracowaniu modeli systemów produkcyjnych przy użyciu metody SD. Ustalono propozycję rozwiązania obejmującą zestaw modeli wzorcowych oraz sposób integracji metody dynamiki systemów i mapowania strumienia wartości. Stwierdzono, że przyjęcie tej koncepcji umożliwi rozszerzenie zakresu zastosowania metody SD w symulacji numerycznej procesów produkcyjnych. Zwiększy także użyteczność wyników prowadzonych symulacji tą metodą oraz w efekcie będzie podstawą doskonalenia systemu produkcyjnego poddanego analizie.

4.3. Podsumowanie prowadzonych badań i osiągniętych rezultatów

Prowadzone prace naukowo – badawcze umożliwiły określenie podstawy i koncepcji wprowadzenia narzędzi i technik wspierających stosowanie metody dynamiki systemów w analizie procesów produkcyjnych. Dotyczyły w szczególności:

- Analizy wyników dotychczas prowadzonych badań oraz wykazania zalet i ograniczeń w stosowaniu metody dynamiki systemów w symulacji numerycznej procesów produkcyjnych. Stanowiło to podstawę do podjęcia kompleksowych działań dla poprawy użyteczności metody SD w analizie i doskonaleniu procesów produkcyjnych.
- Opracowania autorskiego zestawu modeli wzorcowych elementów procesu i systemu produkcyjnego. Scharakteryzowano zestaw danych wejściowych, strukturę, zasadę działania wykonanych modeli. Wykazano możliwości zwiększenia efektów analizy wyników symulacji numerycznej w usprawnianiu procesów produkcji z zastosowaniem tych modeli. Opracowane modele wzorcowe mogą zostać użyte w praktyce przemysłowej do budowy modeli złożonych systemów produkcyjnych i realizacji

- symulacji numerycznych uwzględniających przetwarzanie i przepływ wyrobów.
- Charakterystyki sposobu połączenia metody dynamiki systemów z mapowaniem strumienia wartości dla zwiększenia efektu wdrożenia uzyskanych wyników symulacji numerycznej do przemysłu.
 - Ustalenia sposobu opracowania szczegółowego modelu do symulacji złożonego procesu wytwarzania z uwzględnieniem dostępności materiału i zapotrzebowania operacji technologicznych. Stwierdzono możliwość opracowania modelu procesu produkcyjnego na podstawie danych zgromadzonych w mapie VSM.
 - Scharakteryzowania dokładnego odwzorowania przetwarzania i przekazywania wyrobów w linii produkcyjnej wraz ze wskazaniem możliwości tworzenia modeli procesów uwzględniających różne poziomy ich agregacji.
 - Określenia szczegółowego modelowania przepływu wyrobów w złożonym procesie produkcyjnym na podstawie czasu cyklu realizowanych operacji technologicznych. Wykazano, że zastosowanie metody SD do symulacji numerycznej procesu produkcyjnego umożliwia zobrazowanie stanu zapasów i ułatwia zarządzanie nimi.
 - Ustalenia stopnia wpływu zatrudnienia pracowników z niepełnosprawnością na wielkość przychodów i kosztów produkcji. Opracowano model procesu produkcyjnego w otoczeniu rynkowym obejmujący złożone zależności pomiędzy liczbą pracowników z niepełnosprawnością, wielkością produkcji, ceną wyrobu i popytem.
 - Wykazania zasadności wprowadzania metody SD do analizy funkcjonowania przedsiębiorstw w sieci współpracy. W symulacji numerycznej modelu łańcucha dostaw określono stopień wpływu przyjętej konfiguracji obiegu informacji na poziom zapasów w warunkach zmiennego popytu.
 - Opracowania modelu obsady stanowisk roboczych do zastosowania w hybrydowej symulacji numerycznej SD – DES procesu produkcji z uwzględnieniem zmian popytu oraz zmiennej produktywności pracowników w ciągu doby.
 - Zdefiniowania efektów kształcenia inżynierów w obszarze modelowania i symulacji procesów produkcyjnych i systemów technicznych. Scharakteryzowano korzyści zastosowania nauki opracowania modeli i prowadzenia symulacji numerycznej w kształceniu kadr dla przemysłu.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

Moje zainteresowania naukowe w okresie realizacji rozprawy doktorskiej związane były z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych oraz wprowadzania modelowania i symulacji numerycznej metodą elementów skończonych do wyznaczania parametrów procesu gięcia metalowych profili konstrukcyjnych [52 – 56]. Wyniki prowadzonych badań prezentowałem na międzynarodowych konferencjach: Technologia 1999 (Bratysława), Cold Metal Forming 2000 (Cluj – Napoca), Mechanics 2000 (Rzeszów), Technologie Produkcji Rur w Przemysle Metali Nieżelaznych 2002 (Zakopane). Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałem badania w zakresie procesu gięcia metalowych profili konstrukcyjnych [57 – 59], oraz dokładności wykrawania blach (Grant U-6506/G, Nr 3 T08B 042 26).

Dla aktywnego udziału w realizacji projektów badawczych macierzystej jednostki – Zakładu Informatyki, w obszar prowadzonej własnej pracy naukowej, przy współpracy z dr J. Jakiełą i dr M. Olechem włączyłem zagadnienia związane z zastosowaniem metody

symulacji agentowej (ABMS) w modelowaniu i symulacji numerycznej m. in.: procesów biznesowych przedsiębiorstw, wirtualnych organizacji, dynamicznej wyceny wyrobów, łańcuchów dostaw i rozszerzonych przedsiębiorstw [60 – 64]. Wyniki prac prezentowałem na międzynarodowych konferencjach INFOS 2012 i 2014 (Krynica-Zdrój).

Dyskusja wyników symulacji numerycznej opracowanego modelu rozszerzonego przedsiębiorstwa w zespole badawczym w Zakładzie Informatyki wskazała na propozycję zastosowania metody dynamiki systemów (SD) do badania procesów biznesowych w przedsiębiorstwach. Pierwszym obiektem moich badań w tym obszarze było ustalenie przepływu materiału i informacji w łańcuchu dostaw. Przy współpracy z dr hab. Dorotą Stadnicką podjąłem się realizacji zagadnień badawczych dotyczących modelowania procesu produkcyjnego. Wyniki badań zaprezentowałem na międzynarodowych konferencjach CIRP-ICME 2017 (Ischia) oraz 24th International Conference on Production Research, ICPR 2017 (Poznań) [52]. Rezultaty badań przedstawione podczas konferencji w Ischii stanowiły podstawę mojej współpracy z prof. D. Antonelli z Politecnico di Torino. Wspólne prace badawcze, oprócz modelowania i symulacji procesów produkcyjnych, dotyczyły także oceny stopnia przygotowania pracowników (kształcenie i motywacja) dla inteligentnych systemów produkcyjnych oraz przemysłu przyszłości [66 –67].

W latach 2018 – 2019 roku pełniłem funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr inż. Ł. Paśko. W realizowanych wspólnie pracach w obszarze zastosowań metod analizy i eksploracji danych dla zapewnienia jakości opakowań szklanych uzyskano rezultaty, które zostały opublikowane jako rozdziały w dwóch monografiach [68, 69]. Wyniki badań zrealizowanych w zakresie zastosowania metod analizy danych dla zapewnienia jakości wyrobów huty szkła [68] zaprezentowałem na międzynarodowej konferencji PRO-VE 2019 (Turyn) – wyróżnienie dla najlepszego referatu.

Podczas pobytu w Turynie (wrzesień 2019) odbyłem wizytę w Politecnico di Torino. Wspólnie z prof. D. Antonelli realizowałem badania efektu ekonomicznego włączania osób z niepełnosprawnością do produkcji wyrobów. Odbyłem również wizyty w Królewskim Instytucie Technologicznym w Sztokholmie (2 razy), Uniwersytecie w Pizie, Uniwersytecie w Lublanie i Uniwersytecie Technicznym w Koszycach. Podczas tygodniowej wizyty w ramach programu Erasmus+ STA w Narodowym Uniwersytecie Technicznym w Atenach prowadziłem wykłady dla doktorantów w zakresie zastosowania metody dynamiki systemów w analizie przemysłowych procesów produkcyjnych.

Dla rozszerzenia mojej wiedzy odbyłem miesięczny staż badawczy w Katedrze Informatyzacji i Robotyzacji Produkcji (KliRP) na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej od 15 czerwca 2023 r. do 14 lipca 2023 r., w ramach projektu „Politechniczna Sieć VIA CARPATIA im. Prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego”. Podczas stażu wygłosiłem wykład dla studentów oraz przedstawiłem referat na seminarium KliRP, pt.: "Dynamika systemów w organizacji procesów produkcyjnych". Opiekunem mojego stażu był dr hab. Arkadiusz Gola. Podczas stażu realizowałem prace badawcze m. in.: analizę procesu produkcyjnego (regeneracja zacisków hamulców), także nawiązanie współpracy z przedsiębiorstwem Borg Automotive Sp. z o.o., opracowanie modelu procesu regeneracji i przeprowadzenie symulacji, przygotowanie propozycji modyfikacji procesu. Proces regeneracji zacisków hamulcowych poddany analizie charakteryzuje się wysokim udziałem wyrobów niezgodnych (ok. 20%), oraz wprowadzeniem różnych sekwencji operacji technologicznych dla poszczególnych wyrobów, stosowanych w zależności od stopnia ich zużycia. Utrudnione było

więc szczególnie opracowanie modelu, m. in. ustalenie wielkości partii wyrobów do transportu pomiędzy operacjami. Publikacja zawierająca rezultaty prowadzonych badań oraz wnioski dotyczące modyfikacji organizacji produkcji jest obecnie przygotowywana do zgłoszenia do redakcji w czasopiśmie Materials.

W pracy naukowej własnej, oprócz badań z zakresu symulacji numerycznej oraz analizy i eksploracji danych prowadziłem także prace naukowo – badawcze dotyczące zagadnienia złożoności obliczeniowej algorytmów kompresji. Artykuł przedstawiający nowatorski algorytm kompresji przygotowany wspólnie z dr A. Chmielowcem został opublikowany w czasopiśmie Entropy (IF: 2,738, 2021) [50]. W tym obszarze realizowałem także badania w ramach projektu pt.: „Rozwiązania prezentacji treści graficznych z implementacją energooszczędnych algorytmów kryptograficznych w bezpiecznych protokołach transmisji danych na wyświetlaczach typu e-papier”, bon na innowację POIR.02.03.02-12-0062/19.

Uczestnictwo w realizacji zadań badawczych w projektach międzynarodowych (LEAN, ILA-LEAN, Tiphys, Maestro, Edures, TET) stanowiło podstawę mojej współpracy z naukowcami biorącymi w nich udział m. in. z Włoch, Szwecji, Słowenii, Słowacji, Portugalii, Niemiec i Grecji. Dotyczyła ona prowadzenia badań dla określenia stopnia oddziaływania wprowadzanych technologii Przemysłu 4.0 (w tym symulacji numerycznej) na realizację Celów Zrównoważonego Rozwoju (CZR) ONZ. Uzyskane wyniki tych badań opublikowano w czasopiśmie Sustainability, (IF: 3,889, 2021) [46]. Jednocześnie, w ramach tej współpracy wykonano również badania dotyczące możliwości dostosowania programów kształcenia inżynierów przemysłowych dla realizacji CZR. Wyniki tych badań opublikowano w czasopiśmie Computers in Industry, (IF: 10.0, 2022) [47]. Uczestniczyłem także w pracach badawczych dotyczących ustalenia istotności i oceny możliwości włączenia realizacji badań naukowych do kształcenia inżynierów. Artykuł zawierający wyniki tych badań opublikowano w czasopiśmie Technologia i Automatyzacja Montażu [71]. Rezultaty prowadzonych badań z zakresu realizacji efektów kształcenia w obszarze modelowania i symulacji numerycznej procesów produkcyjnych zostały także opublikowane, jako rozdział w monografii [72].

Rezultaty badań dotyczących modyfikacji programu kształcenia inżynierów [47] zaprezentowałem na międzynarodowej konferencji Lean Learning Academy 2022 (Rzeszów). Z obszarem innowacji dydaktycznych i zastosowania symulacji numerycznej w kształceniu inżynierów związane są również moje wystąpienia na konferencjach: Manufacturing 2019 (Poznań), Helmeto 2022 (Palermo), Lean Learning Academy 2023 (Rzeszów), Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji 2018 i 2019 (Zakopane) oraz Assembly Techniques and Technologies – ATT 2022 (Cisna).

Udział biorę również w pracach zespołu badawczego w Zakładzie Informatyki Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Realizowałem m. in. projekty dotyczące:

- Wykorzystania metod i narzędzi sztucznej inteligencji w analizie danych oraz modelowaniu i symulacji dla zastosowań biznesowych i inżynierskich.
- Opracowania rozwiązań programowych dla komputerowo wspomaganego zarządzania przedsiębiorstwem i inżynierii produkcji.
- Doboru metod, technik i narzędzi informatycznych oraz koncepcji ich wykorzystania w projektowaniu rozwiązań dla Przemysłu 4.0.
- Koncepcji wykorzystania metod, technik i narzędzi informatycznych w Przemysle 4.0 dla realizacji celów zrównoważonego rozwoju.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

Pełniłem funkcję Prodziekana ds. kształcenia Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa (WBMiL) w latach 2005 – 2012. Nadzorowałem proces kształcenia studentów kierunków: *Inżynieria materiałowa, Mechanika i budowa maszyn, Transport oraz Zarządzanie i inżynieria produkcji*. Moje obowiązki obejmowały m. in.: wdrażanie etapów procesu bolońskiego – podział na studia 1, 2 i 3 stopnia, włączenie krajowych ram kwalifikacji, modernizację planów studiów, prowadzenie egzaminów dyplomowych, nadzór realizacji zajęć dydaktycznych, przygotowanie i koordynację wizytacji PKA. Kierowałem również pracami wydziałowych komisji: rekrutacyjnej i stypendialnej.

Uczestniczę od października 2012 r. w pracach Wydziałowej Komisji ds. Zapewnienia Jakości Kształcenia (WKZJK), a od roku 2016 jestem członkiem Uczelnianej Komisji ds. Zapewnienia Jakości Kształcenia. Przewodniczę pracom WKZJK i jestem wydziałowym koordynatorem ds. jakości kształcenia od 2020 r.

Od 01.09.2017 r. pełnię funkcję kierownika Zakładu Informatyki.

Kierowałem projektami Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki (2009 – 2015): „Zwiększenie liczby absolwentów na kierunkach mechanika i budowa maszyn oraz mechatronika” i „Bilans inżynierów na plus”. Byłem organizatorem wykładów z przedmiotów humanistycznych oraz z zakresu doradztwa zawodowego i prawa pracy, zajęć wyrównawczych z matematyki i fizyki, kursów języka angielskiego technicznego, wykładów naukowców z polskich i zagranicznych uczelni (Czechy, Słowacja, USA), także wykładów specjalistów z przemysłu (m. in.: Pratt & Whitney, PZL Mielec, Zakłady Lotnicze Margański & Mysłowski). Organizowałem również wizyty studyjne w uczelniach i zakładach przemysłowych oraz konkursy stypendialne.

Uczestniczę w realizacji międzynarodowych projektów: LEAN, ILA – LEAN, TYPHIS, MAESTRO, EDURES, TET. W ramach tych projektów są rozwijane i promowane innowacyjne narzędzia, techniki i programy kształcenia inżynierów. Biorę również udział w pracach Lean Learning Academy (LLA). W OBSERWATORIUM WBMiL powołanym w projekcie LLA uczestniczyłem w opracowaniu ankiet dla pracodawców. Celem było m. in. określenie sylwetki „idealnego kandydata” dla stanowisk pracy inżynierów.

W ramach współpracy z otoczeniem gospodarczym organizowałem staże przemysłowe (m. in.: Borg - Warner, MTU Aero Engine, Hamilton Sundstrand, Huta Stalowa Wola, Nowy Styl, Restol, Borimex, Elektromontaż Rzeszów, Zelnar). Wykonywałem także opinie o innowacyjności dla przedsiębiorstw: AJ Profibud, Chilik Meble, Polchimet. Na podstawie podpisanej umowy współpracuję z przedsiębiorstwem Pass Polska w zakresie usprawniania organizacji produkcji.

Brałem aktywny udział w organizacji, i wciąż uczestniczę w wydarzeniach promujących Politechnikę Rzeszowską i kształcenie inżynierów m. in.: *Dni Otwarte PRz, Targi Edukacyjne, Targi Pracy, Salon Maturzystów, Dziewczyny na Politechniki*.

Od zatrudnienia na stanowisku adiunkta, prowadzę zajęcia dla studentów kierunków studiów: *Zarządzanie i Inżynieria Produkcji* oraz *Inżynieria Środków Transportu* z przedmiotów: *Bazy danych, Projektowanie aplikacji dla przedsiębiorstw, Modelowanie symulacyjne*. Prowadziłem również zajęcia z przedmiotów: informatyka, technologia

informacyjna, sieci komputerowe, informacyjne systemy zarządzania, zarządzanie ryzykiem i zarządzanie projektami. Opracowałem wiele materiałów pomocniczych do zajęć dydaktycznych dostępnych do pobrania w formie elektronicznej. Jestem współautorem monografii dydaktycznej: Jakiela J., Litwin P.: *Bazy danych. Przewodnik architekta informacji*, wyd. Koraw, Rzeszów 2011. Pod moim kierunkiem wykonano 41 prac magisterskich i 23 prace inżynierskie. Byłem również recenzentem 44 prac dyplomowych.

Wykonałem recenzje artykułów naukowych dla redakcji czasopism: *International Journal of Production Economics* (2 recenzje), *Processes* (2 recenzje), *Applied Sciences* (2 recenzje), *Sustainability*, *Applied Computer Science*, *Zeszyty Naukowe PRz* seria mechanika.

W ramach działalności popularyzującej naukę uczestniczyłem w dyskusji, wygłaszałem referaty i przygotowywałem materiały do prezentacji na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych. Wygłosiłem 16 referatów sesyjnych i przygotowałem materiały do 19 prezentacji konferencyjnych. Prowadziłem sesję na międzynarodowej konferencji ICPR 2017. Angażuję się również w organizację międzynarodowych konferencji naukowych. Byłem członkiem Komitetu naukowego 2 konferencji LLA i członkiem Komitetu organizacyjnego 2 konferencji: INFOS, LLA. Jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją (od 2020 r.).

Dla podnoszenia swoich kompetencji zawodowych uczestniczyłem w wielu szkoleniach dotyczących zagadnień realizacji badań naukowych oraz prowadzonych zajęć dydaktycznych, m. in. z zakresu: zastosowań statystyki w badaniach naukowych, metod symulacji ciągłej i dyskretnej, zarządzania projektami, zwinnych metodyk projektowych, systemów baz danych i e-learningu.

7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej wnioskodawcy

Od 2022 roku uczestniczę w pracach Komitetu Technicznego ds. kompetencji ICT (technologii informacyjno – komunikacyjnych) Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.

Nagrody i wyróżnienia:

- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej za działalność naukową – współautorstwo publikacji naukowych, 2021 r.
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej za działalność naukową – uzyskanie stopnia naukowego doktora, 2003 r.
- Nagroda za najlepszy artykuł: Paśko Ł., Litwin P.: „Methods of data mining for quality assurance in glassworks”, Collaborative Networks and Digital Transformation: 20th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2019, Turyn.

(podpis wnioskodawcy)

Bibliografia:

1. Hon K. K. B.: Performance and evaluation of manufacturing systems, *CIRP Ann Manuf Technol*, 2005, 54(2):139–54. doi: 10.1016/S0007-8506(07)60023-7.
2. Barton R. R., Nelson B. L., Xie, W.: Quantifying input uncertainty via simulation confidence intervals. *INFORMS Journal on Computing*, 2013, 26, 74–87, doi: 10.1287/ijoc.2013.0548.
3. Huanhuan W., Yuelin Z., Meilin Z.: A framework for integrating discrete event simulation with agent-based modeling, 6th International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, Xi'an, China, 2013, 176-180, doi: 10.1109/ICIII.2013.670354.2
4. Sterman J. D., *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Irwin/McGraw-Hill, Boston, 2000.
5. Senge P.M.: *Piąta dyscyplina. Teoria i praktyka organizacji uczących się*, wyd. VI poszerz., Oficyna Wolters Kluwer business, Warszawa 2012.
6. Mourtzis D., Doukas M. and Bernidaki D.: Simulation in manufacturing: Review and challenges, *Procedia CIRP*, 2014, 25, 213–229, doi: 10.1016/j.procir.2014.10.032.
7. de Paula Ferreira W., Armellini F., de Santa-Eulalia L. A.: Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers and Industrial Engineering*, 2020, 149, doi: 10.1016/j.cie.2020.106868
8. de Sousa Junior W. T., Montevechi J. A. B., de Carvalho Miranda R., Campos A. T.: Discrete simulation-based optimization methods for industrial engineering problems: A systematic literature review, *Computers & Industrial Engineering*, 2019, 128, 526–540, doi: 10.1016/j.cie.2018.12.073.
9. EFFRA – Factories of the future - Multi-annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2000, https://www.effra.eu/sites/default/files/factories_of_the_future_2020_roadmap.pdf,
10. Lu Y., Morris K. C., Frechette S.: Current standards landscape for smart manufacturing systems, *National Institute of Standards and Technology*, 2016, 39, 8107.
11. Monostori L., Váncza J., Kumara S. R.: Agent-based systems for manufacturing, *CIRP annals*, 2006, 55, 697-720.
12. Jahangirian M., Eldabi T., Naseer A., Stergioulas L. K., Young T.: Simulation in manufacturing and business: A review, *European journal of operational research*, 2010, 203, 1-13.
13. Forrester J.W.: *Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge, 1961.
14. Morecroft, J.D.W., Sterman, J.D.: *Modelling For Learning Organizations*, Productivity Press, Portland, 1994.
15. Rabelo L., Helal M., Jones A., Min H.-S.: Enterprise simulation: A hybrid system approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2005, 18, 498–508.
16. Ross W., Ulieru M., Gorod A.: A multi-paradigm modelling & simulation approach for system of systems engineering: A case study. *System of Systems Engineering (SOSE)*, 9th

- International Conference, IEEE , 2014, 183–188.
17. Angerhofer B.J., Angelis M.C.: System dynamics modelling in supply chain management: research view, ed. by Joines et al. In: Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, 2000, 342–351.
 18. Adane T. F., Nicolescu M.: Towards a generic framework for the performance evaluation of manufacturing strategy: An innovative approach. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2018, 2(2), 23.
 19. Bozarth C. B., Handfield R. B.: Wprowadzenie do zarządzania operacjami i łańcuchem dostaw, Helion, Gliwice, 2007.
 20. Chopra S., Meindl P., Kalra D. V.: Supply Chain Management, Pearson Education India, 2007.
 21. Rutkowski K. (red.): Zintegrowany łańcuch dostaw. Doświadczenia globalne i polskie, SGH, Warszawa, 1999.
 22. Albores P., Mendibil K., Martinez V., Bititci U.: Measuring and managing performance in extended enterprises. *Int. J. of Oper. and Prod. Manag.* 25, 2005.
 23. Forrester J.W.: Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers, *Harvard Business Review* 1958, 36
 24. Christopher M.: Logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw. Strategie obniżki kosztów i poprawy poziomu usług, Polskie Centrum Doradztwa Logistycznego, Warszawa 2000.
 25. Lee H.L., Padmanabhan P., Whang S.: The bullwhip effect in supply chains, *Sloan Manage.*, 1997, 38, 93–102.
 26. Lee H. L., Padmanabhan P., Whang S.: Information distortion in a supply chain: The Bullwhip Effect. *Manage. Sci.*, 1997, 43, 543–558.
 27. Maloni J., Carter C.: Opportunities for Research in Third-Party Logistics. *Transportation Journal*, 45(2006)2, 23-38.
 28. Adamides E. D., Pomonis, N.: The co-evolution of product, production and supply chain decisions, and the emergence of manufacturing strategy. *IJPE*, 2009, 121, 301-312.
 29. Mikati N.: Dependence of lead time on batch size studied by a system dynamics model, *IJPR*, 2010, 48, 5523-5532.
 30. Agyapong-Kodua K., Weston R. H.: Systems approach to modelling cost and value dynamics in manufacturing enterprises, *Int. J. of Prod. Research*, 2011, 49, 2143-2167.
 31. Deif A. M.: Dynamic analysis of a lean cell under uncertainty. *IJPR*, 2012, 50(4), 1127-1139.
 32. Georgiadis, P., Politou, A.: Dynamic Drum-Buffer-Rope approach for production planning and control in capacitated flow-shop manufacturing systems, *Computers & Industrial Engineering*, 2013, 65(4), 689-703.
 33. Albrecht F., Kleine O., Abele E.: Planning and optimization of changeable production systems by applying an integrated system dynamic and discrete event simulation approach, *Procedia CIRP*, 2014, 17, 386-391.
 34. Linnéusson, G., Ng, A. H., & Aslam, T.: A hybrid simulation-based optimization framework

- supporting strategic maintenance development to improve production performance, *European Journal of Operational Research*, 2020, 281(2), 402-414.
35. Seiwert L.J. *Managing your time*, Kogan Page, 1989
 36. Oleghe O., Salonitis K.: Hybrid simulation modelling of the human-production process interface in lean manufacturing systems, *Int. J. of Lean Six Sigma*, 2019, 10(2), 665-690.
 37. Roci M., Salehi N., Amir S., Shoaib-ul-Hasan S., Asif F. M., Mihelič A., Rashid A.: Towards circular manufacturing systems implementation: A complex adaptive systems perspective using modelling and simulation as a quantitative analysis tool, *Sustainable Production and Consumption*, 2022, 31, 97-112.
 38. Rother M., Shook J.: *Learning to See*, Lean Enterprise Institute, Brookline, MA, 1999.
 39. Sweetser A.: A comparison of system dynamics (SD) and discrete event simulation (DES). In *17th International Conference of the System Dynamics Society*, 1999, 20-23.
 40. Lane D. C.: You just don't understand me: Modes of failure and success in the discourse between system dynamics and discrete event simulation, *LSE Working Paper*, 2000.
 41. Magana A.J., de Jong T., *Modeling and simulation practices in engineering education*. *Computer Applications in Engineering Education*. 2018 Jul; 26(4), 731-8.,
 42. Bringelson L. S., Lyth D. M., Reck R. L., Landeros R., *Training industrial engineers with an interfunctional computer simulation game*, *Comp. & Ind. Eng.*, 1995, 29(1-4), 89-92.
 43. **Litwin P.**, Mądział M., Stadnicka D.: *Simulations of Manufacturing Systems: Applications in Achieving the Intended Learning Outcomes*. In: Camarinha-Matos, L.M., Afsarmanesh, H., Antonelli, D. (eds) *Collaborative Networks and Digital Transformation. PRO-VE 2019. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 2019, 568. Springer, Cham.
 44. Stadnicka D., **Litwin P.**, Antonelli D.: *Human factor in industry of the future: Knowledge acquisition and motivation*. *FME Transactions*, 2019, 47, 823-30.
 45. Stadnicka D., **Litwin P.**, Antonelli D., *Human factor in intelligent manufacturing systems - knowledge acquisition and motivation*, *Procedia CIRP*, 2019, 79, 718-723.
 46. Mabkhot M., Ferreira P., Maffei A., Podrżaj P., Mądział M., Antonelli D., Lanzetta M., Barata J., Boffa E., Finžgar M., Paško Ł., Minetola P., Chelli R., Nikghadam-Hojjati S., Wang X., C. Priarone P., Lupi F., **Litwin P.**, Stadnicka D., Lohse N. : *Mapping Industry 4.0 Enabling Technologies into United Nations Sustainability Development Goals*, 2021, *SUSTAINABILITY*, t.13, z.5, s.1-33.
 47. Lupi F., Mabkhot M., Finžgar M., Minetola P., Stadnicka D., Maffei A., **Litwin P.**, Boffa E., Ferreira P., Podrżaj P., Chelli R., Lohse N., Lanzetta M.: *Toward a sustainable educational engineer archetype through Industry 4.0*, 2022, *COMPUTERS IN INDUSTRY*, t.134, s.1-16.
 48. Alvanchi A., Lee S., AbouRizk S.: *Modeling framework and architecture of hybrid system dynamics and discrete event simulation for construction*, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2011, 26, 77-91.
 49. Swinerd C., McNaught K. R.: *Design classes for hybrid simulations involving agent-based and system dynamics models*. *Simul. Modelling Practice and Theory*, 2012, 25, 118-133.
 50. Guizzi G., Miele D., Santillo L. C., Romano E.: *A System Dynamics approach for the*

- operational control of production. In 2013 IEEE 12th International Conference on Intelligent Software
51. Yang H., Bukkapatnam S. T., Barajas L. G.: Continuous flow modelling of multistage assembly line system dynamics. *Int. J. of Comp. Integr. Manuf.*, 2013, 26(5), 401-411.
 52. **Litwin P.**, Stachowicz F.: Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do wyznaczania parametrów gięcia profili konstrukcyjnych, 2003, t.3, s. 19-25, *Informatyka w Technologii Materiałów*, z.2.
 53. **Litwin P.**, Stachowicz F.: Badania eksperymentalne i symulacja numeryczna procesu gięcia kątowników, 2003, t.LXII, s. 24-37, *PRZEGLĄD MECHANICZNY*, z.12.
 54. **Litwin P.**, Stachowicz F.: Moment gnący i sprężynowanie w procesie gięcia rur, badania eksperymentalne i symulacja numeryczna, 2002, t.47, s. 529-532, *RUDY I METALE NIEŻELAZNE*, z.10-11.
 55. **Litwin P.**, Stachowicz F.: Wyznaczanie parametrów gięcia profili skrzynekowych przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych, 2002, s. 127-132, *ZBIRNIK NAUKOVICH PRAC' NTU i TAU*, z.13.
 56. **Litwin P.**, Stachowicz F.: Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do wyznaczania parametrów gięcia profili skrzynekowych, 2000, t.45, s. 565-569, *RUDY I METALE NIEŻELAZNE*, z.10-11.
 57. **Litwin P.**, Stachowicz F.: Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do wyznaczania podstawowych parametrów procesu gięcia rur o przekroju kołowym, 2008, *RUDY I METALE NIEŻELAZNE*, t.53, z.11, s.722-726, ISBN/ISSN: 0035-9696.
 58. **Litwin P.**, Stachowicz F.: Badania eksperymentalne i symulacja numeryczna procesu gięcia rur, 2006, s. 134-139, *VISNIK NACIONALNOGO TRANSPORTNOGO UNIVERSITETU TA TRANSPORTNOJ AKADEMII UKRAINI*, z.12.
 59. Stachowicz F., **Litwin P.**, Frącz W.: Experimental and numerical study of open structural profile bending process, 2005, t.50, s. 893-907, *ARCHIVES OF METALLURGY AND MATERIALS*, z.4, Suma punktów za osiągnięcie: 9, IF: 0,13.
 60. Jakięła J., **Litwin P.**, Olech M.: Modelowanie wirtualnych organizacji z wykorzystaniem paradygmatu agentowego [w:] *Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej*, (pod red.) Jerzy Feliks, 2016, Kraków: WYDAWNICTWA AGH, t.IV, s.344-357, ISBN/ISSN: 978-83-7464-913-1.
 61. Jakięła J., **Litwin P.**, Olech M.: Reducing Semantic Gap in Development Process of Management Information Systems for Virtual Organizations [w:] *Computational Models for Business and Engineering Domains*, (pod red.) Galina Setlak, Krassimir Markov, 2014, Rzeszów-Sofia: ITHEA, s.187-204, ISBN/ISSN: 978-954-16-0066-5.
 62. Jakięła J., **Litwin P.**, Olech M.: An Agent-Oriented Electronic Marketplace for Modeling and Simulation of Dynamic Pricing Models Business Logic [w:] *Artificial Intelligence Methods and Techniques for Business and Engineering Applications*, (pod red.) Galina Setlak, Mikhail Alexandrov, Krassimir Markov, 2012, Rzeszów: ITHEA, s.113-134, ISBN/ISSN: 978-954-16-0057-3.
 63. Jakięła J., **Litwin P.**, Olech M.: Tactical Management of Supply Chain with Agent Based Modeling and Simulation [w:] *Business and Engineering Applications of Intelligent and*

- Information Systems, (pod red.) Galina Setlak, Krassimir Markov, 2011, Rzeszów: ITHEA, s.156-167, ISBN/ISSN: 978-954-16-0053-5.
64. Jakięła J. , **Litwin P.** , Olech M. : Toward the Reference Model for Agent-Based Simulation of Extended Enterprises [w:] Methods and Instruments of Artificial Intelligence, (pod red.) G.Setlak, K.Markov, 2010, Rzeszów: ITHEA, s.34-66, ISBN/ISSN: 978-954-16-049-8.
 65. Stadnicka D., **Litwin P.**: VSM based system dynamics analysis to determine manufacturing processes performance indicators [w:] 24th International Conference on Production Research (ICPR 2017), (pod red.) Marek Fertsch, Agnieszka Stachowiak, Beata Mrugalska, Joanna Oleśków-Szłapka, Łukasz Hadaś, Piotr Cyplik, Paulina Golińska-Dawson, 2017, Lancaster: DEStech Publications, Inc., s.290-295.
 66. Stadnicka D., **Litwin P.**, Antonelli D.: Human Factor in Industry of the Future - Knowledge Acquisition and motivation, 2019, FME TRANSACTIONS, t.47, z.4, s.823-830, ISBN/ISSN: 1451-2092.
 67. Stadnicka D., **Litwin P.**, Antonelli D.: Human factor in intelligent manufacturing systems - knowledge acquisition and motivation, 2019, PROCEEDIA CIRP, t.79, s.718-723, ISBN/ISSN: 2212-8271.
 68. Paśko Ł., **Litwin P.**: Metody klasteryzacji danych w badaniu podobieństwa parametrów procesu wytwórczego [w:] Inżynieria zarządzania. Cyfryzacja produkcji. Aktualności badawcze 2, (pod red.) Ryszard Knosala, 2020, PWE Warszawa, s.959-968.
 69. Paśko Ł., **Litwin P.**: Methods of Data Mining for Quality Assurance in Glassworks, Collaborative Networks and Digital Transformation: 20th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises
 70. Chmielowiec A., **Litwin P.**: Efficient Inverted Index Compression Algorithm Characterized by Faster Decompression Compared with the Golomb-Rice Algorithm, 2021, ENTROPY, t.23, z.3, s.1-17.
 71. Wdowik R., **Litwin P.**, Bełzo A., Borowiec A., Magdziak M., Ciecińska B., Markopoulos A., Azarhoushan B., Hojati F.: Selected case studies regarding research-based education in the area of machine and civil assemblies, 2023, TECHNOLOGIA I AUTOMATYZACJA MONTAŻU, t.119, z.1, s.44-53, ISBN/ISSN: 2450-8217.
 72. **Litwin P.**, Mądziel M., Stadnicka D.: Simulations of Manufacturing Systems: Applications in Achieving the Intended Learning Outcomes [w:] Collaborative Networks and Digital Transformation: 20th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2019, Turin, Italy, September 23-25, 2019, Proceedings, (pod red.) Luis Camarinha-Matos, Hamideh Afsarmanesh, Dario Antonelli, 2019, Cham: Springer, s.615-623, ISBN/ISSN: 978-3-030-28463-3, Konferencja: 20th Working Conference on Virtual Enterprises "PRO-VE 2019".