



## Współczesne kierunki badań naukowych w inżynierii produkcji

*redakcja  
Antoni Świć,  
Arkadiusz Gola,  
Elżbieta Doluk*



MONOGRAFIE

# Współczesne kierunki badań naukowych w inżynierii produkcji

# Monografie – Politechnika Lubelska

## Rada Naukowa Wydawnictwa Politechniki Lubelskiej

**Przewodnicząca:**

Agnieszka RZEPKA

**Dyrektor CIN-T:**

Katarzyna WEINPER

### **Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej:**

Magdalena CHOŁOJCZYK

Karolina FAMULSKA-CIESIELSKA

Jarosław GAJDA

Anna KOŁTUNOWSKA

Katarzyna PEŁKA-SMĘTEK

Anna STROJEK

### **Przedstawiciele Dyscyplin Naukowych Politechniki Lubelskiej:**

Marzenna DUDZIŃSKA

Małgorzata FRANUS

Arkadiusz GOLA

Paweł KARCZMAREK

Beata KOWALSKA

Anna KUCZMASZEWSKA

Jarosław LATAJSKI

Tomasz LIPECKI

Zbigniew ŁAGODOWSKI

Joanna PAWŁAT

Lucjan PAWŁOWSKI

Natalia PRZESMYCKA

Magdalena RZEMIENIAK

Mariusz ŚNIADKOWSKI

### **Przedstawiciele honorowi:**

Zhihong CAO, Chiny

Miroslav GEJDOŠ, Słowacja

Karol HENSEL, Słowacja

Hrvoje KOZMAR, Chorwacja

Frantisek KRCMA, Czechy

Sergio Lujan MORA, Hiszpania

Dilbar MUKHAMEDOVA, Uzbekistan

Sirgii PAWŁOW, Ukraina

Natalia SAVINA, Ukraina

Natia SHENGELIA, Gruzja

Daniele ZULLI, Włochy

# Współczesne kierunki badań naukowych w inżynierii produkcji

redakcja

Antoni Świć,  
Arkadiusz Gola,  
Elżbieta Doluk



POLITECHNIKA  
LUBELSKA  
WYDAWNICTWO

Lublin 2023

Recenzenci:

dr hab. inż. Ewa Dostatni, prof. uczelni (Politechnika Poznańska)

dr hab. inż. Katarzyna Halicka, prof. uczelni (Politechnika Białostocka)

Ilustracja na okładce na podstawie grafik autorstwa senivpetro i vecstock ze strony freepik.com

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

ISBN: 978-83-7947-579-7

Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej  
www.wpl.pollub.pl  
ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin  
tel. (81) 538-46-59

---

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL [www.bc.pollub.pl](http://www.bc.pollub.pl)  
Książka udostępniona jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa – na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0)

Nakład: 50 egz.

# SPIS TREŚCI

## ORGANIZACJA SYSTEMÓW I PROCESÓW WYTWARZANIA I UTRZYMANIA RUCHU

Wiktor Podgórnny, Karolina Furyk-Grabowska, Zbigniew Kowalczyk, Maciej Kuboń,  
Sylwester Tabor

<b>1. Optymalizacja parametrów procesu wytwarzania przyrostowego w aspekcie doskonałości produkcyjnej i niezawodności</b> .....	<b>13</b>
1.1. Wprowadzenie.....	13
1.2. Wytwarzanie przyrostowe jako jeden z filarów przemysłu 5.0.....	15
1.3. Badania nad optymalizacją druku 3D metodą FDM.....	16
1.4. Metodyka badań .....	18
1.5. Wyniki badań .....	20
1.6. Podsumowanie.....	23

Zbigniew Kowalczyk, Dariusz Kwaśniewski, Karolina Furyk-Grabowska

<b>2. Systemy nowoczesnego utrzymania ruchu w przemyśle rolno-spożywczym</b> .....	<b>27</b>
2.1. Wprowadzenie.....	27
2.2. Metody utrzymania ruchu .....	29
2.3. Internet rzeczy .....	30
2.4. Bazy danych .....	30
2.5. Aplikacje i systemy komputerowe, aplikacje mobilne.....	31
2.6. Czujniki Smart .....	33
2.7. Sieci neuronowe i sztuczna inteligencja.....	33
2.8. Metody diagnozowania maszyn .....	34
2.9. Podsumowanie.....	39

Aleksandra Lis

<b>3. Przemysł 4.0 a zapotrzebowanie na kompetencje – studium przypadku sektora chemicznego w Polsce</b> .....	<b>44</b>
3.1. Wprowadzenie.....	44
3.2. Umiejętności przyszłości.....	47
3.3. Transformacja technologiczno-organizacyjna w sektorze chemicznym – badania własne .....	49
3.4. Podsumowanie.....	52

Paweł Wójcik, Elżbieta Olech, Maciej Kuboń, Dariusz Kwaśniewski, Sylwester Tabor

<b>4. Ocena efektywności wdrożenia metody 5S w aspekcie zwiększenia konkurencyjności wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego</b> .....	<b>55</b>
4.1. Wprowadzenie.....	55
4.2. Część zasadnicza .....	59
4.3. Przykłady wdrożeń .....	62
4.4. Wyniki badań pilotażowego wdrożenia 5S w przedsiębiorstwie .....	64
4.5. Podsumowanie .....	70

## SYSTEMY LOGISTYCZNE W INŻYNIERII PRODUKCJI

Sebastian Skuza, Maciej Kuboń, Urszula Malaga-Toboła, Dariusz Kwaśniewski,  
Sylwester Tabor, Elżbieta Olech, Karolina Furyk-Grabowska

<b>5. Ocena efektywności oraz ryzyka w wybranych łańcuchach dostaw .....</b>	<b>75</b>
5.1. Wprowadzenie.....	75
5.2. Cel, zakres i pracy .....	77
5.3. Charakterystyka sprowadzanych towarów .....	77
5.4. Analiza łańcucha dostaw morskich z Chin – łańcuch nr 1 .....	78
5.5. Analiza łańcucha dostaw lotniczych z USA – łańcuch nr 2 .....	80
5.6. Analiza łańcucha dostaw lądowych z Niemiec – łańcuch nr 3 .....	82
5.7. Analiza ryzyka w łańcuchach dostaw.....	83
5.8. Kosztocłonność realizacji dostaw w wybranych łańcuchach.....	85
5.9. Ocena efektywności analizowanych łańcuchów dostaw .....	88
5.10. Podsumowanie .....	90

Dariusz Kwaśniewski, Maciej Kuboń, Urszula Malaga-Toboła, Zbigniew Kowalczyk

<b>6. Analiza organizacji zaopatrzenia firmy – studium przypadku .....</b>	<b>93</b>
6.1. Wprowadzenie	
6.2. Koncepcja i logistyka zaopatrzenia	
6.3. Cel, zakres i metodyka pracy .....	97
6.4. Wyniki badań .....	98
6.5. Wnioski.....	106

Maciej Kuboń, Karolina Furyk-Grabowska, Elżbieta Olech, Urszula Malaga-Toboła,  
Zbigniew Daniel

<b>7. Zarządzanie zaopatrzeniem w aspekcie oceny jakości dostaw .....</b>	<b>109</b>
7.1. Wprowadzenie.....	109
7.2. Cel, zakres oraz metodyka.....	111
7.3. Wyniki .....	114
7.4. Wnioski .....	120

## TECHNIKI WYTWARZANIA W INŻYNIERII PRODUKCJI

Anna Rudawska, Paweł Capała, Izabela Miturska-Barańska,  
Jakub Szabelski, Elżbieta Doluk

<b>8. Wpływ wybranych sposobów przygotowania powierzchni na wytrzymałość połączeń klejowych .....</b>	<b>125</b>
8.1. Wprowadzenie.....	125
8.2. Metodyka badań .....	126
8.2.1. Połączenie klejowe.....	126
8.2.2. Sposoby przygotowania powierzchni .....	127
8.2.3. Warunki wykonania połączeń klejowych .....	129
8.2.4. Pomiar parametrów chropowatości powierzchni .....	130
8.2.5. Badania wytrzymałościowe i analiza wyników .....	130

8.3.	Wyniki badań .....	131
8.3.1.	Wyniki chropowatości powierzchni .....	131
8.3.2.	Wytrzymałość połączeń klejowych .....	133
8.3.3.	Porównanie wyników .....	134
8.4.	Podsumowanie .....	136

Anna Gawęł

<b>9.</b>	<b>Analiza mechanizmów zniszczenia materiałów polimerowych wytwarzanych metodą FDM .....</b>	<b>139</b>
9.1.	Wprowadzenie.....	139
9.2.	Materiały biodegradowalne .....	140
9.3.	Wytwarzanie przyrostowe metodą FDM.....	141
9.4.	Anizotropia właściwości.....	141
9.5.	Analiza SEM.....	141
9.6.	Podsumowanie i wnioski końcowe.....	143

Barbara Ciecńska, Mateusz Tarnawski, Anna Rudawska

<b>10.</b>	<b>Ocena jakości powierzchni wybranych materiałów lotniczych po znakowaniu laserowym wg zadanych kryteriów .....</b>	<b>146</b>
10.1.	Wprowadzenie.....	146
10.2.	Znakowanie części maszyn .....	146
10.3.	Badania eksperymentalne.....	148
10.4.	Wyniki badań i ich omówienie .....	150
10.5.	Podsumowanie i wnioski końcowe.....	158

## ZARZĄDZANIE ORGANIZACJAMI PRODUKCYJNYMI I USŁUGOWYMI

Karol Bierczyński, Wiktor Sędkowski

<b>11.</b>	<b>Systemy operacyjne bez aktualizacji ze strony producentów a zagrożenia dla cyberbezpieczeństwa .....</b>	<b>163</b>
11.1.	Wprowadzenie.....	163
11.2.	Przegląd literatury .....	164
11.3.	Metodyka badawcza .....	167
11.4.	Wyniki badania .....	168
11.5.	Dyskusja .....	171

Michał Cupiał, Patrycja Ozga, Sylwester Tabor

<b>12.</b>	<b>Wdrażanie zintegrowanych systemów zarządzania w działach logistycznych wybranych przedsiębiorstw .....</b>	<b>176</b>
12.1.	Wprowadzenie.....	176
12.2.	Systemy ERP przeznaczone dla różnych typów przedsiębiorstw .....	176
12.3.	Charakterystyka badanych przedsiębiorstw .....	179
12.4.	Przebieg wdrożenia w analizowanych przedsiębiorstwach.....	181
12.5.	Opinia pracowników na temat użytkowanych systemów .....	183
12.6.	Podsumowanie i wnioski końcowe.....	187



Karolina Lipus, Anna Szelaĝ-Sikora, Aneta Oleksy-Gębczyk, Jakub Sikora, Sylwester Tabor

<b>13. Identyfikacja obszarów ryzyka – zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie transportowo-spedycyjnym .....</b>	<b>190</b>
13.1. Wprowadzenie.....	190
13.2. Cel oraz metodyka badań.....	191
13.3. Metodyka obliczeń.....	191
13.4. Przedmiot badań – import towaru z Turcji do Polski.....	194
13.5. Wyniki badań.....	198
13.6. Podsumowanie i wnioski końcowe.....	204

Karolina Lipus, Aneta Oleksy-Gębczyk, Anna Szelaĝ-Sikora, Joanna Stuglik

<b>14. Szacowanie ryzyka – zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie transportowo-spedycyjnym .....</b>	<b>206</b>
14.1. Wprowadzenie.....	206
14.2. Cel i zakres .....	207
14.3. Metodyka obliczeń.....	208
14.4. Prezentacja i analiza wyników badań.....	209
14.5. Podsumowanie .....	216

Marcin Bobruk, Zbigniew Wiśniewski, Maciej Bielecki, Paweł Olszewski

<b>15. Model zarządzania wiedzą w szpitalach uniwersyteckich w Polsce .....</b>	<b>219</b>
15.1. Wprowadzenie.....	219
15.2. Zarządzanie wiedzą w szpitalach.....	220
15.3. Zakres badań .....	221
15.4. Rezultaty i wnioski końcowe.....	222

## Streszczenie

Monografia stanowi zbiór prac naukowych powstałych w ramach IX Warsztatów dla doktorantów i habilitantów w obszarze inżynierii produkcji. Celem monografii jest przedstawienie wybranych kierunków badań naukowych w inżynierii produkcji. Monografia składa się z 15 rozdziałów podzielonych na 4 główne obszary tematyczne: organizacja systemów i procesów wytwarzania i utrzymania ruchu, systemy logistyczne w inżynierii produkcji, techniki wytwarzania w inżynierii produkcji, zarządzanie organizacjami produkcyjnymi i usługowymi.

Przedstawione w monografii wyniki badań stanowią istotny wkład w dziedzinę inżynierii produkcji. Prezentowane wyniki mogą okazać się wartościowe zarówno dla przedstawicieli uczelni, którzy planują swój rozwój naukowy w obszarze inżynierii produkcji, jak i dla przedsiębiorstw produkcyjnych oraz usługowych zajmujących się podobnymi tematami. W monografii podjęto aktualne i ważne problemy dotyczące inżynierii produkcji. Praca stanowi swego rodzaju podsumowanie trwającej debaty naukowej na temat stosowania dobrych praktyk Przemysłu 4.0 w tym obszarze.

**słowa kluczowe:** inżynieria produkcji; przemysł 4.0; optymalizacja procesów produkcyjnych; logistyka zaopatrzenia; techniki wytwarzania

## Abstract

The work is a collection of scientific papers produced as part of the 'IX Warsztaty dla doktorantów i habilitantów w obszarze inżynierii Produkcji'. The aim of the work is to present selected scientific research directions in production engineering. The book consists of 15 chapters divided into 4 main subject areas: organisation of manufacturing and maintenance systems and processes, logistic systems in production engineering, manufacturing techniques in production engineering, management of production and service organisations.

The research results presented in the work are an important contribution to the field of production engineering. The presented results may prove valuable both for university representatives who plan their scientific development in the area of production engineering and for production and service companies dealing with similar topics. The book addresses current and important issues in manufacturing engineering. The work summarises the ongoing academic debate on the application of Industry 4.0 good practices in this area.

**key words:** production engineering; Industry 4.0; optimization of production processes; supply logistics; manufacturing techniques.

Monografia powstała na podstawie niektórych prac zaprezentowanych na IX Warsztatach Naukowych dla doktorantów i habilitantów w obszarze Inżynierii Produkcji, które odbyły się w dniach 19–20 października 2023 r. na Politechnice Lubelskiej. Organizatorem Warsztatów był Komitet Inżynierii Produkcji Polskiej Akademii Nauk oraz Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej.

Warsztaty miały na celu przekazanie doktorantom i habilitantom sugestii i wskazówek, które pomogą im w odpowiednim ukierunkowaniu prowadzonych przez nich badań, podniesienie ich jakości tak, aby spełniały wymagania stawiane pracom doktorskim i rozprawom habilitacyjnym.

Przedstawione w monografii prace dotyczą takich obszarów badawczych jak:

- organizacja systemów i procesów wytwarzania i utrzymania ruchu,
- systemy logistyczne w inżynierii produkcji,
- techniki wytwarzania w inżynierii produkcji,
- zarządzanie organizacjami produkcyjnymi i usługowymi.

Jest to istotna tematyka badawcza w inżynierii produkcji. Prezentowane wyniki badań mogą być przydatne dla osób prowadzących prace w podobnej tematyce, jak również w przedsiębiorstwach produkcyjnych i usługowych.

Składam serdeczne podziękowania Prelegentom prezentującym na warsztatach wyniki swoich badań, Profesorom udzielającym cennych rad i wskazówek młodym pracownikom nauki, które posłużą do odpowiedniego ich ukierunkowania, oraz Autorom powstałej na ich bazie monografii.

Przewodniczący Komitetu Naukowego Warsztatów  
prof. dr hab. inż. Antoni Świć

**ORGANIZACJA SYSTEMÓW  
I PROCESÓW WYTWARZANIA I UTRZYMANIA  
RUCHU**



Wiktor Podgórnym\*, Karolina Furyk-Grabowska\*\*,  
Zbigniew Kowalczyk\*\*, Maciej Kubon',\*\*, Sylwester Tabor\*\*

# 1. Optymalizacja parametrów procesu wytwarzania przyrostowego w aspekcie doskonałości produkcyjnej i niezawodności

## 1.1. Wprowadzenie

Technologia wytwarzania przyrostowego rewolucjonizuje wiele branż i znacząco wpływa na koncepcję Przemysłu 5.0. Wytwarzanie przyrostowe, znane również jako druk 3D, umożliwia tworzenie skomplikowanych i dostosowanych obiektów z wyjątkową efektywnością i precyzją. Technologia ta ma potencjał do zmiany tradycyjnych procesów produkcyjnych i stała się głównym czynnikiem napędzającym przesunięcie w paradygmacie Przemysłu 5.0.

Koncepcja Przemysłu 5.0 opiera się na fundamentach Przemysłu 4.0, integrując zaawansowane technologie ze współpracą człowieka i personalizacją produktu [10, 20]. Druk 3D odgrywa kluczową rolę w tym przejściu, dając możliwość zdecentralizowanej produkcji, szybkiego prototypowania i produkcji na żądanie. Technologia pozwala na tworzenie obiektów warstwa po warstwie na podstawie cyfrowych projektów, oferuje bezprecedensową elastyczność i sprawność w procesach produkcyjnych.

Jednym z głównych atutów wytwarzania przyrostowego jest możliwość optymalizacji wykorzystania materiałów. Dzięki technice produkcji przyrostowej przedsiębiorstwa mogą minimalizować odpady, zmniejszyć zużycie energii i osiągnąć zrównoważone praktyki produkcyjne. Ponadto inherentna swoboda projektowania oferowana przez druk 3D pozwala na tworzenie skomplikowanych geometrii i lekkich struktur, co wcześniej było nieosiągalne przy użyciu tradycyjnych metod produkcji.

---

\* Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu, Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Instytut Nauk Technicznych, Książąt Lubomirskich 6, 37-700 Przemysł; w.podgorny@s.pansp.pl, mkubon@pansp.pl.

\*\* Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, ul. Balicka 116b, 30-149 Kraków; karolina.furyk-grabowska@urk.edu.pl, zbigniew.kowalczyk@urk.edu.pl, maciej.kubon@urk.edu.pl, sylwester.tabor@urk.edu.pl.

Wytrzymałość wydrukowanych elementów jest kluczowym czynnikiem gwarantującym bezpieczeństwo i niezawodność wytwarzanych elementów. Autorzy skoncentrowali się na badaniu wpływu parametrów technologii FDM (Fused Deposition Modeling) na właściwości wytrzymałościowe wydrukowanych elementów. Rozdział podkreśla znaczenie długoterminowych badań w analizowaniu właściwości mechanicznych materiałów używanych w wytwarzaniu przyrostowym. Zrozumienie związku między parametrami procesu a wynikającą z tego wytrzymałością jest istotne dla projektowania i optymalizacji struktur. Dzięki zrozumieniu cech wytrzymałościowych wydrukowanych obiektów można m.in. zwiększyć wydajność oraz zapewnić niezawodność produktu.

Wytwarzanie przyrostowe, znane również jako produkcja addytywna albo druk 3D, pozwala na tworzenie trójwymiarowych struktur przez budowanie ich warstwa po warstwie. Jedną z najpopularniejszych metod druku 3D jest Fused Deposition Modeling (FDM), która oferuje wiele zalet i zastosowań w różnych branżach [16, 17].

W rozdziale autorzy skupią się szczególnie na technologii FDM również w kontekście Przemysłu 5.0. Przemysł 5.0 to nowa era produkcji przemysłowej, w której następuje integracja zaawansowanych technologii, takich jak druk 3D, z ludzkimi umiejętnościami i kreatywnością. Druk FDM odgrywa istotną rolę w tej transformacji, umożliwiając produkcję spersonalizowanych i elastycznych rozwiązań. Technologia ta oferuje opłacalność produkcji w porównaniu do tradycyjnych metod. Eliminuje potrzebę kosztownych form czy narzędzi, co czyni ją idealnym rozwiązaniem do małoseryjnej produkcji lub indywidualnych zamówień. Konstrukcja warstwowa umożliwia również tworzenie złożonych geometrii i struktur wewnętrznych.

W pracy omówiono również badania dotyczące wytrzymałości obiektów wydrukowanych przy użyciu technologii FDM. Badania te mają na celu zidentyfikowanie optymalnych ustawień parametrów druku, takich jak wysokość warstwy, wypełnienie, liczba obrysów i temperatura, które zapewnią osiągnięcie maksymalnej wytrzymałości przy minimalnym czasie druku. Przedstawione zostaną wyniki tych badań oraz ich praktyczne zastosowanie w dziedzinie wytwarzania przyrostowego.

Wytrzymałość wydrukowanych obiektów jest istotnym czynnikiem w kontekście przemysłowych zastosowań druku 3D. Badania dotyczące wytrzymałości pozwalają na ocenę jakości i trwałości wydrukowanych części oraz określenie ich przydatności w różnych zastosowaniach.

Dzięki zrozumieniu możliwości i ograniczeń druku FDM projektanci, inżynierowie i producenci mogą wykorzystać tę technologię do tworzenia innowacyjnych rozwiązań, usprawniania procesów produkcyjnych oraz przyspieszania cykli rozwoju produktów.

## 1.2. Wytwarzanie przyrostowe jako jeden z filarów przemysłu 5.0

Przemysł 4.0 i Przemysł 5.0 to dwie kolejne rewolucje przemysłowe, które przyczyniają się do transformacji sposobu produkcji i funkcjonowania przedsiębiorstw. Pojawienie się Przemysłu 4.0 przyniosło znaczący postęp w automatyzacji i cyfryzacji, rewolucjonizując tradycyjne procesy produkcyjne. Przemysł 4.0 skupia się na automatyzacji i wprowadzeniu wysoko zautomatyzowanych systemów, które mogą pracować samodzielnie i wykonywać określone zadania z minimalnym udziałem człowieka. Przemysł 5.0 natomiast stawia na elastyczne systemy, które umożliwiają współpracę oraz interakcję między ludźmi i maszynami. Człowiek odgrywa kluczową rolę w podejmowaniu decyzji, rozwiązywaniu problemów i wykorzystywaniu swoich umiejętności w procesie produkcyjnym.

Przemysł 4.0 opiera się na rozwiniętych technologiach komunikacyjnych, takich jak Internet Rzeczy (IoT), które umożliwiają połączenie i komunikację między maszynami oraz przesyłanie danych w czasie rzeczywistym. Przemysł 5.0 dąży do jeszcze większej integracji technologii komunikacyjnych, aby umożliwić płynną współpracę między ludźmi i maszynami. Jest to kluczowe w realizacji wizji inteligentnej fabryki, w której wszyscy uczestnicy procesu produkcyjnego mogą swobodnie komunikować się i współdziałać.

Przemysł 4.0 dąży do efektywności produkcji i minimalizacji zużycia zasobów, ale nie zawsze ma w pełni zintegrowane podejście do zrównoważonego rozwoju. Przemysł 5.0 kładzie większy nacisk na zrównoważony rozwój, dążąc do minimalizacji wpływu na środowisko, odpowiedzialnego zarządzania zasobami i tworzenia bardziej ekologicznych procesów produkcyjnych [20].

Wprowadzenie Przemysłu 5.0 stanowi kolejny krok w ewolucji sposobu produkcji i przemysłu. Koncentruje się na wykorzystaniu zaawansowanych technologii, takich jak druk 3D, w celu osiągnięcia większej elastyczności, personalizacji i efektywności produkcji. W przyszłości Przemysł 5.0 ma potencjał do rewolucjonizowania sposobu, w jaki produkujemy i konsumujemy produkty, tworząc bardziej zrównoważone i inteligentne systemy produkcyjne [18].

Przemysł 5.0 kładzie nacisk na znaczenie zaangażowania człowieka w procesie produkcyjnym [7]. W przeciwieństwie do poprzednich rewolucji przemysłowych, które miały na celu zminimalizowanie interwencji człowieka, Przemysł 5.0 uznaje wartość ludzkiej kreatywności, umiejętności rozwiązywania problemów i adaptacji. Technologia wytwarzania przyrostowego umożliwia aktywne uczestnictwo jednostek w procesach projektowania i produkcji, pozwalając na dostosowanie i szybkie tworzenie prototypów. W ramach Przemysłu 5.0 zaawansowane technologie, w tym druk 3D, są harmonijnie integrowane w ekosystemie produkcyjnym. Jego integracja umożliwia producentom tworzenie produktów na żądanie, szybką adaptację do zmieniających się wymagań rynkowych oraz optymalne wykorzystanie zasobów. Zrównoważenie stanowi istotny filar Przemysłu 5.0,



dążąc do zmniejszenia wpływu na środowisko i promowania odpowiedzialnego zarządzania zasobami [2]. Technologia wytwarzania przyrostowego odgrywa kluczową rolę w osiągnięciu celów zrównoważonego rozwoju przez minimalizowanie marnotrawstwa materiałów, zużycia energii i wymagań dotyczących transportu. Umożliwia lokalną produkcję, redukując potrzebę globalnych łańcuchów dostaw i przyczyniając się do bardziej ekologicznego procesu produkcji.

Jedną z charakterystycznych cech Przemysłu 5.0 jest możliwość oferowania spersonalizowanych i elastycznych rozwiązań produkcyjnych. Wytwarzanie przyrostowe umożliwia dostosowywanie produktów, pozwalając producentom zaspokajać indywidualne potrzeby klientów z większą precyzją. Ułatwia również szybkie iteracje projektowe i produkcję małych serii, promując elastyczną produkcję i skrócenie czasu wprowadzenia produktu na rynek.

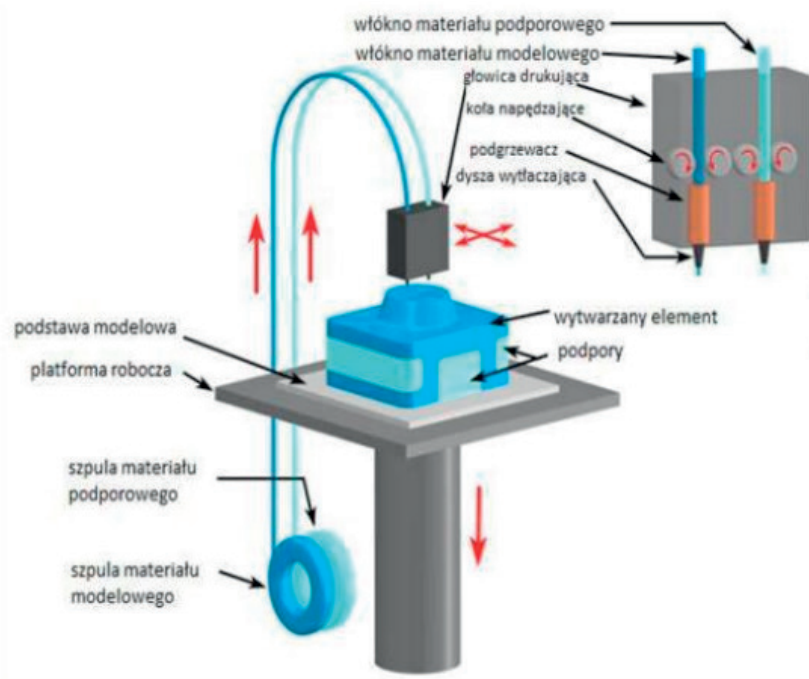
### **1.3. Badania nad optymalizacją druku 3D metodą FDM**

FDM (Fused Deposition Modeling) to jeden z rodzajów technologii druku 3D, w której stopiony filament wypływa przez dyszę i jest warstwowo nakładany, aby stworzyć model rzeczywisty [11, 15]. FDM jest jedną z głównych technologii wykorzystywanych w druku 3D ze względu na swoją prostotę i niezawodność. Technika ta umożliwia stosowanie dostępnych i niedrogich materiałów, a także stosunkowo szybkie tworzenie obiektów, co otwiera szerokie możliwości zastosowania [14]. Jednym z wyróżniających się zalet druku FDM jest duży wybór materiałów. Istnieje wiele różnych rodzajów termoplastycznego filamentu o różnych właściwościach, co umożliwia wybór odpowiedniego materiału zgodnie z potrzebami i wymaganiami produktu.

Technologia FDM znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach, takich jak przemysł produkcyjny i projektowanie [4, 5]. Dzięki swojej elastyczności i łatwości użycia jest idealna do produkcji spersonalizowanych i małoseryjnych produktów. Jest również bardzo przydatna w szybkim prototypowaniu i tworzeniu niestandardowych części. FDM odgrywa ważną rolę w dziedzinie druku 3D, a oczekuje się, że będzie nadal rozwijany i ulepszany. Dalszy rozwój tej technologii pozwoli na realizację bardziej zaawansowanych zastosowań i bardziej skomplikowanych projektów.

W metodzie FDM istnieje kilka kluczowych parametrów, które mają wpływ na jakość i wytrzymałość wydrukowanego obiektu. Należą do nich m.in. wysokość pojedynczej warstwy, liczba warstw zewnętrznych, wypełnienie oraz temperatura ekstrudera.

Wysokość pojedynczej warstwy ma wpływ na dokładność, czas druku i wygląd finalnego wydruku. Duża wysokość warstwy może skrócić czas druku, ale może także wpływać na dokładność wymiarowo-kształtową. Z kolei niska wysokość warstwy może zwiększyć dokładność, ale wydłużyć czas druku. Dobór optymalnej wysokości pojedynczej warstwy zależy od wymagań projektu i oczekiwanego efektu.



Rysunek 1. Schemat procesu FDM [16]

Liczba warstw zewnętrznych odnosi się do liczby warstw, które są drukowane na zewnętrznych ścianach obiektu. Większa liczba warstw zewnętrznych zazwyczaj prowadzi do większej wytrzymałości i trwałości modelu, ponieważ zapewniają one lepszą ochronę i stabilność [3].

Wypełnienie odnosi się do procentowego stopnia, w jakim wewnątrz obiektu jest wypełnione materiałem [8]. W zależności od zastosowania produktu finalnego można dostosować wypełnienie, aby uzyskać pożądane właściwości obiektu. Wyższe wypełnienie zwiększa wytrzymałość, ale również zwiększa zużycie materiału i czas druku.

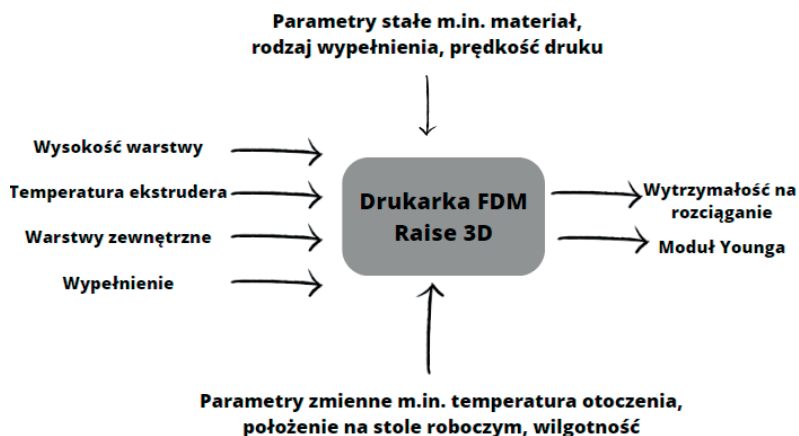
Temperatura ekstrudera odgrywa kluczową rolę w procesie drukowania. Odpowiednio dobrana temperatura pozwala na prawidłowe stopienie materiału i precyzyjne nanoszenie go na powierzchnię [12]. Zbyt niska temperatura może prowadzić do słabego przylegania warstw, podczas gdy zbyt wysoka temperatura może powodować deformacje i trudności w kontrolowaniu druku.

Dobór optymalnych parametrów zależy od specyfiki drukowanego obiektu i pożądanych rezultatów [19]. Przeprowadzanie eksperymentów i dostosowywanie tych parametrów w celu osiągnięcia optymalnej jakości i wytrzymałości obiektu jest ważnym krokiem w procesie wytwarzania przyrostowego metodą FDM [1, 6, 9, 12].

## 1.4. Metodyka badań

W badaniach wykorzystano drukarkę Raise3D oraz materiał termoplastyczny ABS (akrylonitryladienobutadienostyren), który jest jednym z najpopularniejszych materiałów stosowanych w technologii FDM. To termoplastyczne tworzywo sztuczne o wysokiej wytrzymałości chemicznej i twardości. ABS charakteryzuje się dobrą przyczepnością warstw, co sprawia, że modele drukowane z tego materiału są wytrzymałe i stabilne. Jednym z głównych atutów ABS-u jest jego wysoka odporność na uderzenia i wytrzymałość mechaniczna. Drukowane modele z tego tworzywa są zazwyczaj bardziej wytrzymałe i odporne na pękanie niż modele drukowane z innych materiałów. Ten materiał jest również łatwy do obróbki wykończeniowej. Można go szlifować, wiercić, malować i kleić, co pozwala na dalsze modyfikacje i wykończenie drukowanych modeli. W metodzie FDM ABS jest powszechnie wykorzystywany do drukowania prototypów, elementów funkcjonalnych, obudów, a także różnych produktów użytkowych. Jego popularność wynika z jego właściwości mechanicznych, dostępności na rynku oraz możliwości przystosowania do różnych zastosowań.

W ramach eksperymentu zbadano wpływ różnych czynników wejściowych na wytrzymałość materiału oraz moduł Younga. Czynniki wejściowe obejmowały: wypełnienie, wysokość warstwy, liczbę warstw zewnętrznych, temperaturę ekstrudera (rys. 2).



Rysunek 2. Schemat wykonywanych badań

Źródło: opracowanie własne.

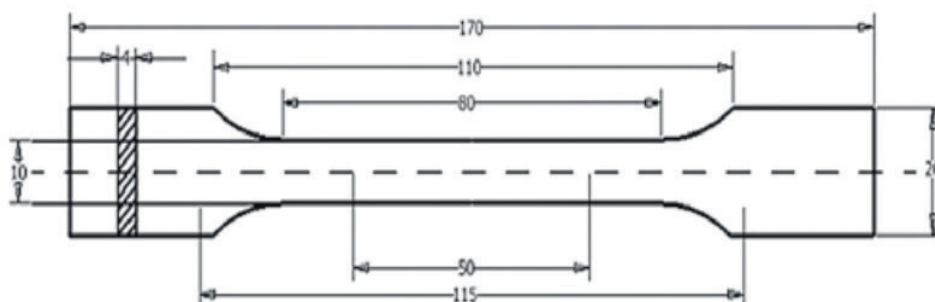
W tabeli 1 zamieszczono wartości parametrów wejściowych, zgodnie z którymi zostały wykonane próbki.

Tabela 1. Parametry wejściowe wytwarzania przyrostowego

Wysokość warstwy [mm]	0,05	0,1	0,2
Wypełnienie [%]	50	75	100
Warstwy zewnętrzne [liczba]	1	2	3
Temperatura [°C]	250	265	–

Źródło: opracowanie własne.

W celu analizy wpływu parametrów wytwarzania przyrostowego metodą FDM na wytrzymałość wydrukowanych elementów przygotowano próbki zgodnie z normą ISO 527-2:2012. Norma ta określa ustalone wymiary próbek, które zostały następnie poddane testom wytrzymałościowym, takim jak wytrzymałość na zginanie i wytrzymałość na rozciąganie. Na rysunku 3 przedstawiono standardowe parametry próbki do przeprowadzenia badań wytrzymałościowych elementów wykonanych z tworzyw sztucznych.



Rysunek 3. Znormalizowana próbka do badań wytrzymałościowych [17]

Pomiar wytrzymałości odbył się zgodnie z normą ISO 527-1:2012 przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Zwick/Roell Z030, natomiast moduł Younga był badany na stanowisku do badania ugięcia trzypunktowego. W badaniu ugięcia trzypunktowego wykorzystano narzędzia, takie jak wysokościomierz Mitutoyo Absolute Digimatic 300 mm (1) i miernik siły Axis FB50 (2) (rys. 4).

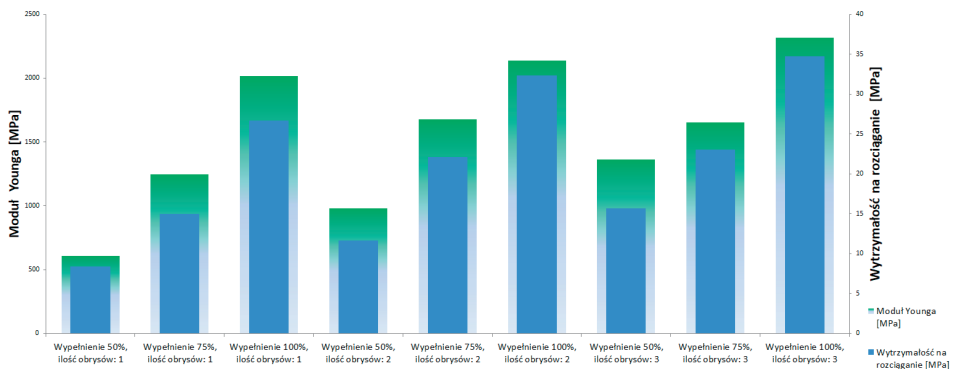


Rysunek 4. Stanowisko do badania ugięcia trzypunktowego; wysokościomierz (1), miernik siły (2)

Źródło: opracowanie własne.

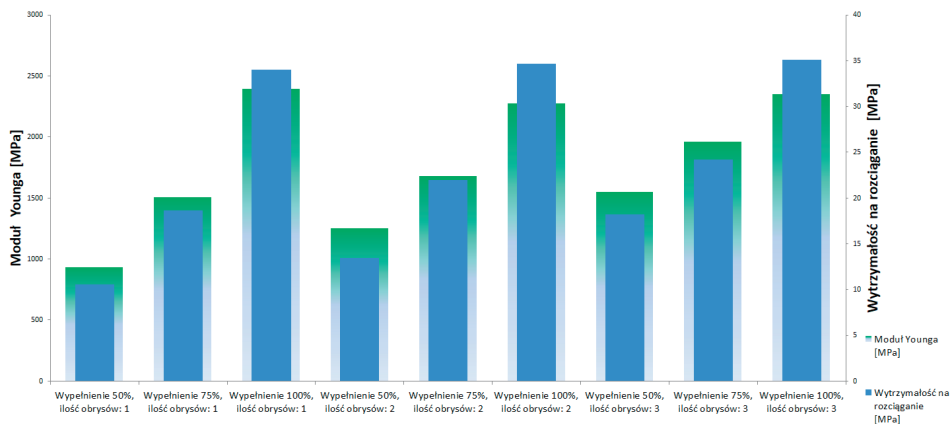
## 1.5. Wyniki badań

Na wykresach (rys. 5–10) przedstawiono zależność modułu Younga oraz wytrzymałości na rozciąganie od parametrów wytwarzania przyrostowego: wypełnienia i liczby obrysów. Przeprowadzono analizę, która podzielona została z uwzględnieniem wysokości warstwy oraz temperatury ekstrudera.



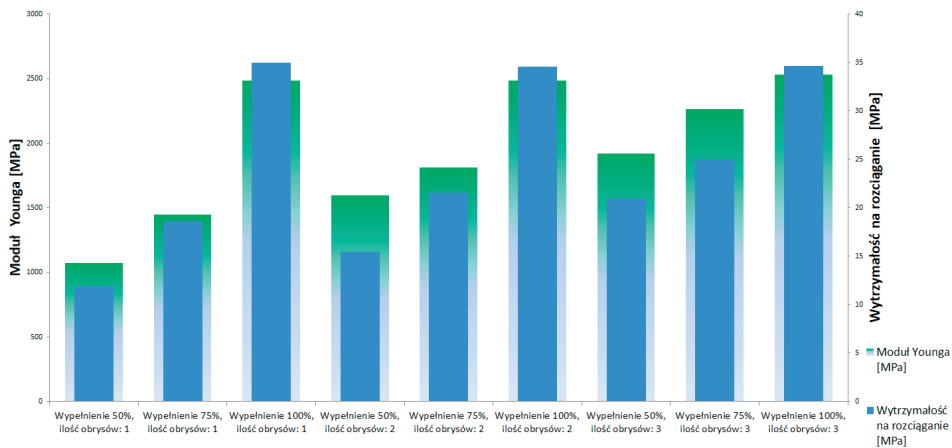
Rysunek 5. Wpływ zmiany wypełnienia i liczby obrysów na moduł Younga i wytrzymałość na rozciąganie. Wysokość warstwy 0,05 mm; temperatura ekstrudera: 250°C

Źródło: opracowanie własne



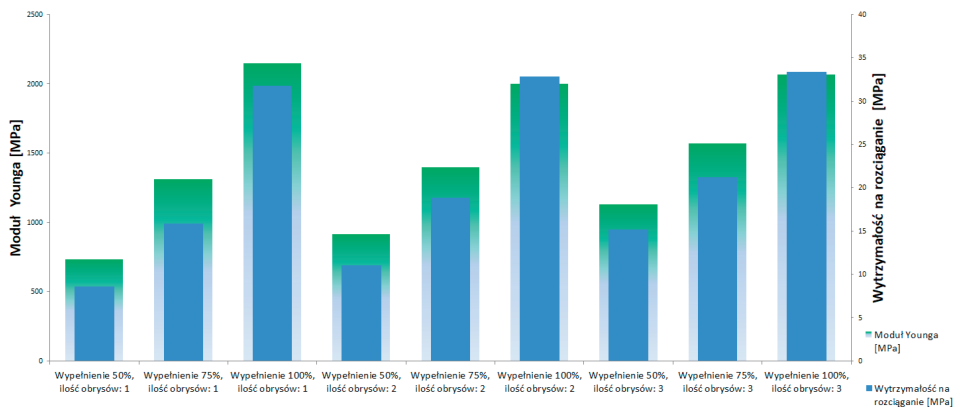
Rysunek 6. Wpływ zmiany wypełnienia i liczby obrysów na moduł Younga i wytrzymałość na rozciąganie. Wysokość warstwy 0,1 mm; temperatura ekstrudera: 250°C

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 7. Wpływ zmiany wypełnienia i liczby obrysów na moduł Younga i wytrzymałość na rozciąganie. Wysokość warstwy 0,2 mm; temperatura ekstrudera: 250°C

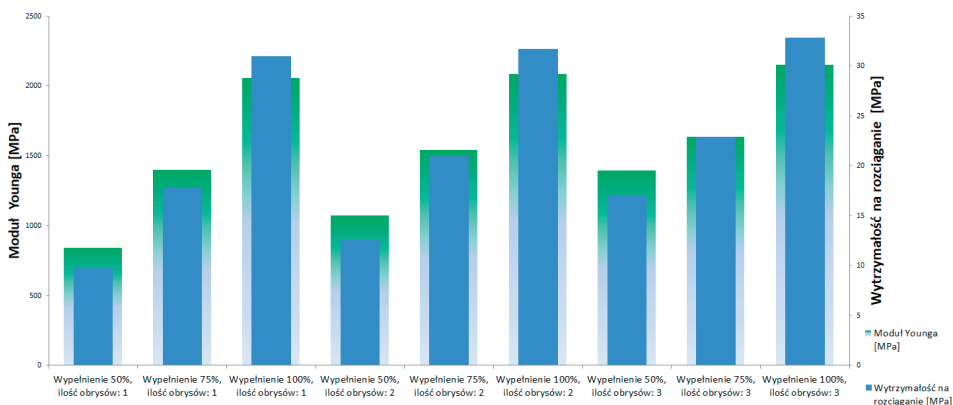
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 8. Wpływ zmiany wypełnienia i liczby obrysów na moduł Younga i wytrzymałość na rozciąganie. Wysokość warstwy 0,05 mm; temperatura ekstrudera: 265°C

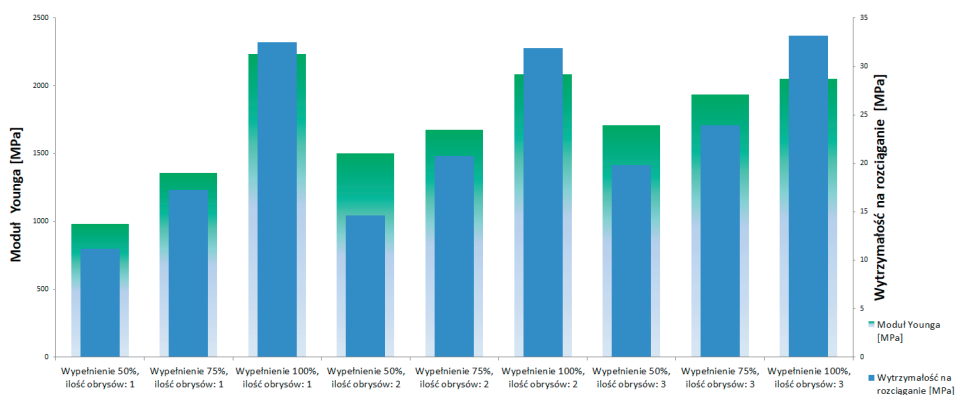
Źródło: opracowanie własne.

Analiza danych wykazała, że oba te parametry mają istotny wpływ na właściwości mechaniczne wydrukowanych obiektów. Wytrzymałość na rozciąganie oraz moduł Younga wykazują tendencję wzrostową wraz ze zwiększającym się wypełnieniem. Im większe wypełnienie, tym większa wytrzymałość na rozciąganie oraz sztywność materiału. Wyższe wypełnienie powoduje większą ilość materiału w strukturze, co prowadzi do lepszych właściwości mechanicznych. Podobnie zwiększanie liczby zewnętrznych obrysów ma pozytywny wpływ na wytrzymałość na rozciąganie oraz moduł Younga. Dodatkowe obrysy zwiększają powierzchnię kontaktu między warstwami, co prowadzi do lepszej adhezji i wzmocnienia struktury.



Rysunek 9. Wpływ zmiany wypełnienia i liczby obrysów na moduł Younga i wytrzymałość na rozciąganie. Wysokość warstwy 0,1 mm; temperatura ekstrudera: 265°C

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 10. Wpływ zmiany wypełnienia i liczby obrysów na moduł Younga i wytrzymałość na rozciąganie. Wysokość warstwy 0,2 mm; temperatura ekstrudera: 265°C  
 Źródło: opracowanie własne.

Wyniki te wskazują na korzyści zwiększania wypełnienia oraz liczby zewnętrznych obrysów w celu poprawy wytrzymałości mechanicznej drukowanych obiektów.

Porównując wykresy dwóch różnych temperatur ekstrudera, można zauważyć wpływ na wytrzymałość na rozciąganie. Wyniki wskazują, że przy temperaturze 250°C średnia wytrzymałość jest wyższa o ok. 9,3% w porównaniu do temperatury 265°C. Należy również zaznaczyć, że temperatura druku nie ma wpływu na czas trwania procesu drukowania, co oznacza, że można osiągnąć wyższą wytrzymałość przy zachowaniu podobnego czasu druku.

## 1.6. Podsumowanie

Wytwarzanie przyrostowe to nowatorska metoda produkcji, która zyskuje coraz większą popularność jako alternatywa dla tradycyjnych procesów obróbki ubytkowej. Przedsiębiorstwa są zainteresowane tą technologią głównie ze względu na jej niski koszt oraz krótszy czas realizacji. W dzisiejszym dynamicznym świecie, gdzie klienci coraz częściej oczekują spersonalizowanych produktów, a zamówienia często są unikalne, tradycyjne metody obróbki stają się nieopłacalne. Nawet przedsiębiorstwa posiadające zaawansowane i wydajne linie produkcyjne dążą do minimalizowania przestojów. W takich sytuacjach druk 3D okazuje się niezastąpiony. Dodatkowo magazynowanie dużej liczby części zamiennych generuje wysokie koszty, podczas gdy przechowywanie modeli 3D w formie plików cyfrowych jest wygodne i ekonomiczne.



Badania przeprowadzone w niniejszej pracy są zgodne z badaniami dostępnymi w literaturze. Autorzy skupili się na analizie wpływu różnych parametrów druku 3D na wytrzymałość wydrukowanych elementów, co jest zgodne z wcześniejszymi badaniami opisanymi w literaturze. Celem badań było znalezienie optymalnych ustawień tych parametrów, które zapewnią maksymalną wytrzymałość przy jednoczesnym uwzględnieniu aspektów ekonomicznych, takich jak czas druku i koszty produkcji.

Przeprowadzona analiza wpływu różnych parametrów wytwarzania przyrostowego na wytrzymałość i właściwości mechaniczne drukowanych obiektów potwierdza istotne zależności, które również zostały opisane w literaturze. W szczególności stwierdzono, że wypełnienie i liczba zewnętrznych obrysów mają znaczący wpływ na wytrzymałość na rozciąganie i moduł Younga. Zgodnie z wcześniejszymi badaniami wzrost wypełnienia i liczby obrysów prowadzi do poprawy tych właściwości, co z kolei zwiększa sztywność i wytrzymałość materiału.

Badania przeprowadzone w niniejszym rozdziale potwierdzają również, że temperatura druku jest istotnym czynnikiem wpływającym na wytrzymałość na rozciąganie wydrukowanych elementów. Zaobserwowano, że wyższa temperatura (265°C) przynosi gorsze wyniki w porównaniu do niższej temperatury (250°C). Jednakże temperatura druku nie ma istotnego wpływu na czas druku, co oznacza, że można osiągnąć lepszą wytrzymałość przy zachowaniu podobnego czasu produkcji. Informacja ta istotna jest z punktu widzenia aspektów ekonomicznych, ponieważ sugeruje, że można uzyskać optymalne właściwości mechaniczne przy minimalnym wpływie na czas i koszty produkcji. Ponadto używanie niższej temperatury ekstrudera przynosi dodatkowe korzyści w postaci oszczędności energii i obniżenia kosztów produkcji. Oznacza to, że można osiągnąć lepsze wyniki wytrzymałości przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia energii i kosztów, co ma znaczenie zarówno z punktu widzenia ekonomicznego, jak i zrównoważonego rozwoju.

Dzięki potwierdzeniu tych zależności przez wcześniejsze badania dostępne w literaturze wyniki niniejszego badania zyskują na wiarygodności i mogą stanowić cenne wskazówki dla projektantów oraz inżynierów w dziedzinie druku 3D.

Należy jednak zaznaczyć, że przeprowadzone badania miały ograniczenia, wynikające z liczby próbek. W celu pełniejszej oceny wpływu parametrów druku na właściwości mechaniczne zaleca się dalsze badania przy większej liczbie próbek i różnych kombinacjach parametrów.

## Bibliografia

- [1] Dziubek T., Budzik G., Kawalec A., Dębski M., Turek P., Oleksy M., Cebulski J., *Strength of threaded connections additively produced from polymeric materials*, „Polimery” 2022, t. 67, nr 6, s. 261–270.
- [2] Gajdzik B., *Industry 5.0, As A New Concept Of Development Within High Volatility Environment: About The Industry 5.0 Based On Political And Scientific Studies*, „Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization & Management” 2023, nr 169, s. 255–279.
- [3] Galeta T., Raos P., Stojić J., Pakši I., *Influence of structure on mechanical properties of 3D printed objects*, „Procedia Engineering” 2018, t. 149, s. 100–104.
- [4] Grabowski M., Karpiuk M., Bizoń W., *Ograniczenia technologiczne wybranych metod wytwarzania przyrostowego*, [w:] *Inżynieria zarządzania. Cyfryzacja produkcji: aktualności badawcze 2*, red. R. Knosala, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2020, s. 477–486.
- [5] Grabowski M., Wszyński D., Bizoń W., Marcinek M., *Ograniczenia technologiczne procesu selektywnego spiekania laserowego*, [w:] *Inżynieria zarządzania: cyfryzacja produkcji. Aktualności*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne 3, red. R. Knosala, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2021, s. 297–308.
- [6] Hossain N., Chowdhury M. A., Shuvho M. B. A., Kashem M. A., Kchaou M., *3D-printed objects for multipurpose applications*, „Journal of Materials Engineering and Performance” 2021, t. 30, s. 4756–4767.
- [7] Huang S., Wang B. L. X., Zheng P., Mourtzis D., Wang L., *Industry 5.0 and Society 5.0 –Comparison, complementation and co-evolution*, „Journal of Manufacturing Systems” 2022, t. 64, nr 5, s. 424–428.
- [8] Jayanth N., Senthil, P., Prakash, C., *Effect of chemical treatment on tensile strength and surface roughness of 3D-printed ABS using the FDM process*, „Virtual and Physical Prototyping” 2018, nr 3, s. 155–163.
- [9] Jayasudha M., Elangovan M., Mahdal M., Priyadarshini J., *Accurate estimation of tensile strength of 3D printed parts using machine learning algorithms*, „Processes” 2022, t. 10, nr 6, 1158.
- [10] Leng J., Sha W., Wang B., Zheng P., Zhuang C., Liu Q., Wuest T., Mourtzis D., Wang L., *Industry 5.0: Prospect and retrospect*, „Journal of Manufacturing Systems” 2022, t. 65, s. 279–295.
- [11] Kung C., Kuan H. C., Kuan C. F., *Evaluation of tensile strength of 3D printed objects with FDM process on RepRap platform*, [w:] *2018 1st IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention (ICKII)*, Jeju, Korea (South) 2018, s. 369–372.

- [12] Lu L., Sharf A., Zhao H., Wei Y., Fan Q., Chen X., Chen, B., *Build-to-last: Strength to weight 3D printed objects*, „ACM Transactions on Graphics (ToG)” 2014, t. 33, nr 4, s. 1–10.
- [13] Major M., Kalinowski J., Kosiń M., *Wytrzymałość na rozciąganie elementów drukowanych z materiałów ABS, PA6+ CF15, PA12+ CF15*, „Materiały Budowlane” 2022, t. 10, s. 82–85.
- [14] Markowski T., Budzik G., Kozik B., Dziubek T., Sobolewski B., *Modelowanie 3D-CAD i szybkie prototypowanie prezentera przekładni planetarnej*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Transport” 2014, t. 83, s. 155–162.
- [15] Michta D., Kaczmarek B., Gierulski W., Szmidt A., *Uniwersalność druku 3D w technologii FDM*, „Tworzywa Sztuczne w Przemysle” 2019, t. 6, s. 44–48.
- [16] Oczóś K. E., *RapidPrototyping – znaczenie, charakterystyka metod i możliwości*, „Mechanik” 1997, t. 10, s. 446.
- [17] Snopczyński M., Kotliński J., Musiałek I., *Testing of mechanical properties of materials used in FDM technology*, „Mechanik” 2019, t. 92, nr 4, s. 285–287.
- [18] Uddin M. N., *Influence of 3D-Printable Sustainable Concrete and Industrial Waste on Industry 5.0*, [w:] *Implications of Industry 5.0 on Environmental Sustainability*, red. M. J. Sajid, S. A. R. Khan, Z. Yu, P. A. Hershey, USA, IGI Global, 2023, s. 156–191.
- [19] Wyszynski D., Grabowski M., *Powder bed fusion*, [w:] *Polymers for 3D printing*, red. J. Izdebska-Podsiadły, Elsevier, Oxford 2022, s. 105–112.
- [20] Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L., *Industry 4.0 and Industry 5.0 – Inception, conception and perception*, „Journal of Manufacturing Systems” 2021, t. 61, s. 530–535.

## 2. Systemy nowoczesnego utrzymania ruchu w przemyśle rolno-spożywczym

### 2.1. Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach utrzymanie ruchu odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu efektywności operacyjnej i minimalizacji przestoju maszynowych. Wraz z postępem technologicznym pojawiają się nowoczesne metody, które umożliwiają proaktywne i optymalne podejście do utrzymania ruchu. Utrzymanie ruchu ma ogromne znaczenie również w sektorze przemysłu rolno-spożywczego oraz rolnictwa, gdzie wydajność i niezawodność maszyn i urządzeń mają bezpośredni wpływ na efektywność produkcji rolnej. Zmniejszona wydajność maszyn w połączeniu z napiętym harmonogramem i sezonowością prac może skutkować opóźnieniem realizacji procesów oraz stratami w plonach i nieefektywnym wykorzystaniem siły roboczej [23]. W ostatnim okresie, technologie rozwijają się bardzo szybko, a nowoczesne usługi utrzymania ruchu oferują innowacyjne podejścia do zarządzania i utrzymania sprzętu rolniczego. Produkcja rolna podlega dużym wahaniom sezonowym obciążenia pracą i niekorzystnym warunkom pogodowym. Dla rolników maszyny rolnicze (np. ciągniki i kombajny) są szczególnie narażone na nieprzewidziane przestoje w sezonie. Większość urządzeń rolniczych poddawana jest częstym zmianom prędkości i kierunku jazdy podczas poruszania się po różnego rodzaju polach i drogach. Warunki pracy tych urządzeń są również bardzo zróżnicowane ze względu na rodzaj uprawy, wilgotność gleby, rodzaj i ilość zanieczyszczeń, opory pracy itp. Wszystkie te czynniki powodują, że urządzenia te narażone są na różnorodne obciążenia, zwiększone zużycie zmęczeniowe, przekraczanie dopuszczalnych naprężeń, co z kolei skutkuje uszkodzeniami.

Aby zmniejszyć ryzyko awarii, dla wszystkich rodzajów maszyn i urządzeń, takich jak: ciągniki rolnicze, przenośniki, samochody, maszyny rolnicze itp., producenci tworzą harmonogramy konserwacji. Ogólnie rzecz biorąc: inspekcja, smarowanie, czyszczenie, regulacja, konfiguracja i wymiana części są włączone do czynności konserwacji zapobiegawczej. Aby zwiększyć wydajność maszyn

---

\* Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, ul. Balicka 116B, 31-149 Kraków; zbigniew.kowalczyk@urk.edu.pl, dariusz.kwasniewski@urk.edu.pl, karolina.furyk-grabowska@urk.edu.pl.

rolniczych, korzystanie z usług obsługowo-naprawczych jest podstawowym wymogiem mającym na celu zapobieganie awariom, a co za tym idzie – większym kosztom produkcji [11]. Sieć usługowa to struktura składająca się z: serwisantów, logistyków, dostawców części zamiennych itp. [8].

Trudne warunki pracy maszyn rolniczych oraz sezonowość prac mają również inny aspekt, a mianowicie bardzo utrudniają pracę usługodawcom, którzy zajmują się serwisowaniem i naprawami sprzętu rolniczego. W okresach np. zbiorów roślin następuje spiętrzenie prac, zwiększenie liczby awarii, a co za tym idzie – zwiększenie zapotrzebowania na części zamienne, materiały eksploatacyjne oraz samą pracę wykwalifikowanych serwisantów i mechaników. Pomocne w eliminacji powyższych problemów mogą być nowoczesne systemy utrzymania ruchu, oparte na systemach informatycznych do prognozowania utrzymania ruchu [21].

Obecnie jesteśmy na etapie tzw. czwartej rewolucji przemysłowej lub Przemysłu 4.0. Przemysł 4.0, znany także jako przemysł inteligentny lub czwarta rewolucja przemysłowa, to koncepcja związana z automatyzacją, digitalizacją i integracją technologii informatycznych oraz produkcji przemysłowej. Opiera się na koncepcji „inteligentnych fabryk”, w których maszyny są autonomiczne i posiadają połączone systemy współpracujące są ze sobą. Współczesne rolnictwo uznaje się za rodzaj przemysłu i jest ono sektorem ukierunkowanym na produkcję na dużą skalę. Globalny wzrost liczby ludności, zmiany klimatu, niedobór gruntów ornych podkreślają znaczenie rolnictwa w aspekcie bezpieczeństwa żywnościowego. To właśnie rolnictwo i jego produkty oraz bezpieczeństwo żywnościowe stało się już kilka lat temu jednym z głównych priorytetów Organizacji Narodów Zjednoczonych [33]. W czasach, gdy globalne perspektywy kładą nacisk na wartość bezpieczeństwa żywnościowego, warto zastanowić się nad rolą systemów informatycznych, stanowiących podstawę Przemysłu 4.0, także w sektorze rolnictwa.

Transformacja cyfrowa zmienia modele biznesowe we wszystkich obszarach zastosowań, ale nie we wszystkich branżach wdrażana jest z tą samą prędkością. Podczas gdy ostatnie innowacje w zakresie inteligentnych produktów, dużych zbiorów danych i uczenia maszynowego głęboko zmieniły modele biznesowe w sektorze zaawansowanych technologii, mniej zdigitalizowane branże, jak rolnictwo, dopiero zaczęły czerpać korzyści z tych technologii [21]. Czwarta rewolucja przemysłowa zaczyna być obecna w obszarze rolnictwa za pośrednictwem inteligentnych gospodarstw posiadających synchronizację maszyn i systemów z obiektami, w tym przypadku działkami rolnymi.

Adaptacja systemów utrzymania ruchu wykorzystywanych w przemyśle do potrzeb rolnictwa nie jest kwestią nową i była już proponowana wiele lat temu [19].

## 2.2. Metody utrzymania ruchu

W produkcji i przetwórstwie przemysłowym wykonuje się konserwację i naprawę maszyn oraz urządzeń, stosując jedną z trzech strategii: konserwację reaktywną, konserwację zapobiegawczą lub konserwację predykcyjną [24]. W konserwacji reaktywnej maszyny i urządzenia są eksploatowane jedynie do momentu wystąpienia awarii lub usterki, które są następnie naprawiane. W przypadku tej strategii konserwacja nie jest planowana, a komponenty są używane tak długo, jak to możliwe, co minimalizuje koszty części zamiennych, ale sprawia, że maszyny są podatne na przestoje.

W konserwacji zapobiegawczej sprzęt lub jego podzespoły są wymieniane przed wystąpieniem usterki. Interwał użytkowania jest zwykle określany na podstawie czasu pracy, a serwisanci opierają się na doświadczeniu lub interwałach konserwacji określonych z góry przez producentów. W ten sposób podzespoły i części mogą zostać wymienione przed końcem ich żywotności, co zwiększa koszty porównaniu do konserwacji reaktywnej. Mimo to konserwacja zapobiegawcza pozwala uniknąć lub skrócić przestoje, ponieważ czynności konserwacyjne przeprowadza się przed wystąpieniem usterki [21].

W przypadku konserwacji predykcyjnej (PdM) maszyny lub podzespoły są używane tak długo, jak to możliwe, ale są wymieniane proaktywnie, zanim nastąpi przewidywana awaria [25]. Zazwyczaj konserwacja taka opiera się na monitorowaniu stanu maszyny na podstawie danych z różnego rodzaju czujników, które przekazują informacje do systemu analizującego. Konserwacja predykcyjna w znacznym stopniu zapobiega nieprzewidzianym przestojom maszyn, umożliwia efektywne planowanie czynności konserwacyjnych, i jednocześnie obniżenie kosztów części zamiennych. Predykcyjne utrzymanie ruchu systemów produkcyjnych niesie również za sobą korzyści w postaci podniesienia jakości procesu i wyrobów [5]. System PdM zasadniczo składa się z czterech głównych elementów: gromadzenia i wstępnego przetwarzania danych, diagnostyki usterek, prognozowania usterek i podejmowania decyzji dotyczących konserwacji [36], stąd musi posiadać odpowiednie komponenty, narzędzia i infrastrukturę niezbędną do prawidłowego funkcjonowania. W odniesieniu do stosowania nowych technologii w maszynach i urządzeniach, których używamy obecnie najczęściej, popularny jest termin „inteligentna maszyna”. Pojęcie to implikuje maszynę, która jest lepiej połączona, bardziej elastyczna, wydajniejsza i bezpieczniejsza. Może szybko reagować na nowe żądania. Inteligentna maszyna składa się z trzech głównych elementów: komponentów fizycznych, komponentów inteligentnych i łączności [14].

### 2.3. Internet rzeczy

Niewątpliwie podstawowym narzędziem wykorzystywanym w predykcyjnym utrzymaniu ruchu, nie tylko w rolnictwie, jest tzw. *Internet of things* (IoT) albo inaczej Internet rzeczy. Zastosowanie w produkcji rolniczej Internetu zaczęło rewolucjonizować tę dziedzinę m.in. przez łączenie ze sobą maszyn, urządzeń, obiektów itp. Internet rzeczy to system połączonych urządzeń [12]. Urządzenia są powiązane z Internetem za pośrednictwem bezprzewodowych sieci czujników (WSN), identyfikacji radiowej (RFID), komunikacji bliskiego zasięgu (NFC), długoterminowej ewolucji (LTE) oraz innych urządzeń i technologii komunikacyjnych. To powiązanie pomaga urządzeniom i innym obiektom przesyłać zebrane informacje do docelowych miejsc w całej sieci. Przemysłowe zastosowanie Internetu rzeczy nosi nazwę Industrial Internet of Things (IIoT). Włączenie IoT wraz z przetwarzaniem w chmurze, analizą dużych zbiorów danych i bezprzewodowymi sieciami czujników może zapewnić wystarczający zakres do przewidywania, przetwarzania i analizowania sytuacji oraz ulepszania działań w scenariuszu w czasie rzeczywistym [15].

Zastosowanie Internetu rzeczy w rolnictwie było obiektem badań wielu naukowców. Główne obszary, rolnictwa, w których IoT może zostać skutecznie wykorzystany, to monitorowanie klimatu [22], inteligentne nawadnianie [1], liczenie upraw [9], analiza danych [7], wczesne wykrywanie chorób [29], zdalny nadzór i zautomatyzowana kontrola w obiektach szklarniowych [37]. Internet rzeczy ma również zastosowanie w predykcyjnym utrzymaniu ruchu [5, 26, 32].

### 2.4. Bazy danych

Nowoczesne systemy przemysłowe gromadzą ogromną ilość danych, zawierających informacje o procesach, zdarzeniach i alarmach występujących na przemysłowej linii produkcyjnej. Co więcej, po przetworzeniu i analizie dane te mogą dostarczyć cennych informacji i wiedzy z procesu produkcyjnego i dynamiki systemu. Stosując podejście analityczne oparte na zgromadzonych danych, można podejmować strategiczne decyzje, przynoszące wymierne efekty, takie jak: eliminacja awarii przestojów, redukcja kosztów konserwacji maszyn, redukcja zapasów części zamiennych, wydłużenie żywotności części zamiennych oraz maszyn, zwiększenie produkcji, poprawa bezpieczeństwa operatora, weryfikacja naprawy, ogólny zysk [3, 28, 31].

Dane gromadzone przez systemy przemysłowe, a wykorzystywane do prognozowania stanu maszyn można podzielić na dwa główne typy: tzw. dane zdarzeń



i dane monitorowania stanu. Dane zdarzeń obejmują informacje o tym, co się wydarzyło (np. instalacja, awaria, remont itp. i jakie były przyczyny) i/lub co zostało zrobione (np. drobna naprawa, konserwacja zapobiegawcza, wymiana oleju itp.). Dane monitoringu stanu to pomiary związane ze stanem fizycznym środka trwałego [13].

Pierwszym krokiem przetwarzania danych jest ich czyszczenie. Jest to ważny krok, ponieważ dane, zwłaszcza te o zdarzeniach, które zazwyczaj są wprowadzane ręcznie, zawsze zawierają błędy. Kolejnym etapem przetwarzania danych jest ich analiza. W literaturze dostępnych jest wiele modeli, algorytmów i narzędzi do analizy danych w celu lepszego ich zrozumienia oraz interpretacji. Modele, algorytmy i narzędzia wykorzystywane do analizy danych zależą głównie od rodzaju gromadzonych danych. Według Mario Nadj i innych [25] podejścia do konserwacji umożliwiające monitorowanie stanu sprzętu do celów diagnostycznych i prognostycznych można podzielić na trzy główne kategorie: podejścia statystyczne, podejścia oparte na sztucznej inteligencji i podejścia oparte na modelach.

## **2.5. Aplikacje i systemy komputerowe, aplikacje mobilne**

Nowoczesne praktyki utrzymania ruchu zostały znacząco usprawnione dzięki zastosowaniu zaawansowanych systemów komputerowych. Systemy komputerowe wspierające dział utrzymania ruchu umożliwiają ciągły monitoring stanu maszyn w czasie rzeczywistym. Dzięki analizie trendów i charakterystyk pracy można zastosować strategię utrzymania ruchu „predictive”, przewidując potencjalne problemy i umożliwiające planowanie działań naprawczych z wyprzedzeniem. Funkcje systemów komputerowych wspierających utrzymanie ruchu są różnorodne i mają na celu usprawnienie zarządzania, monitorowania oraz diagnozy maszyn i procesów przemysłowych. Wykorzystując analizę trendów i charakterystyk pracy maszyn, umożliwiają one prognozowanie awarii oraz określanie optymalnych momentów na przeglądy i konserwacje. Systemy wspierające dział utrzymania ruchu są zdolne do automatycznego generowania szczegółowych raportów, prezentujących stan maszyn, wykryte anomalie i wyniki analizy danych. Raporty te są cenne zarówno dla personelu utrzymania ruchu, jak i kadry zarządzającej, gdyż umożliwiają podejmowanie przez informowanych decyzji. Nowoczesne systemy wspierające utrzymanie ruchu są zintegrowane z innymi systemami używanymi w zakładzie, takimi jak systemy SCADA, ERP i systemy raportowania. Dzięki temu możliwa jest wymiana danych między różnymi platformami, co przyczynia się do pełniejszego zrozumienia i optymalizacji działania zakładu. Systemy te umożliwiają także kompleksowe zarządzanie cyklem życia maszyn, od ich wprowadzenia do wycofania. Pozwala to na optymalne planowanie przeglądów, napraw i modernizacji



maszyn, co z kolei wpływa na długoterminową wydajność i efektywność zakładu. Wprowadzenie nowoczesnych systemów komputerowych wspierających utrzymanie ruchu stanowi kluczowy element doskonalenia procesów przemysłowych i podnoszenia konkurencyjności zakładów produkcyjnych.

Nieocenione narzędzie w nowoczesnym utrzymaniu ruchu stanowią aplikacje mobilne, przyczyniając się do zwiększenia efektywności, poprawy jakości obsługi maszyn oraz minimalizacji kosztów konserwacji. Dzięki dostępowi do danych w czasie rzeczywistym i zdalnemu monitorowaniu personel odpowiedzialny za utrzymanie maszyn ma możliwość szybkiej reakcji na zmieniające się warunki i optymalnego zarządzania procesami utrzymania ruchu. Głównym celem aplikacji mobilnych w nowoczesnym utrzymaniu ruchu jest umożliwienie pracownikom działu utrzymania ruchu łatwego dostępu do kluczowych informacji i narzędzi diagnostycznych w dowolnym miejscu i czasie. Aplikacje te są projektowane tak, aby zwiększyć wydajność i efektywność procesów utrzymania ruchu przez umożliwienie szybkiej reakcji na awarie, zdalnego monitoringu, planowania konserwacji oraz przewidywania przyszłych problemów. Dodatkowo aplikacje mobilne mogą pomóc w zminimalizowaniu przestoju, poprawie dostępności informacji oraz wzmocnieniu współpracy między różnymi działami przedsiębiorstwa. Zalety aplikacji mobilnych w nowoczesnym utrzymaniu ruchu to:

- mobilność i dostępność: aplikacje mobilne pozwalają użytkownikom na dostęp do danych i narzędzi diagnostycznych na swoich urządzeniach mobilnych, niezależnie od miejsca pobytu. To umożliwia szybką reakcję na awarie i przeglądy maszyn bez konieczności fizycznego przebywania przy nich,
- zdalne monitorowanie: aplikacje pozwalają na zdalne monitorowanie stanu maszyn i parametrów pracy w czasie rzeczywistym, co umożliwia wykrywanie nieprawidłowości na wczesnym etapie,
- prostota obsługi: nowoczesne aplikacje mobilne są zazwyczaj intuicyjne w obsłudze i posiadają intuicyjne interfejsy użytkownika, co ułatwia korzystanie z nich nawet mniej doświadczonym pracownikom,
- integracja z innymi systemami: mogą być one zintegrowane z innymi systemami używanymi w zakładzie produkcyjnym, takimi jak systemy zarządzania aktywami (EAM), co zapewnia pełniejszy obraz stanu maszyn i usprawnia procesy diagnostyczne,
- usprawnienie procesów: aplikacje mobilne mogą automatyzować wiele procesów związanych z utrzymaniem ruchu, co prowadzi do oszczędności czasu i redukcji ryzyka popełnienia błędów.

## 2.6. Czujniki Smart

Nieodzownym elementem nowoczesnego systemu utrzymania ruchu są tzw. czujniki smart. Czujniki smart, dzięki zaawansowanym technologiom, takim jak Internet Rzeczy (IoT) i sztuczna inteligencja (AI), dostarczają precyzyjne dane diagnostyczne, umożliwiając monitorowanie i optymalizację działania maszyn oraz procesów produkcyjnych. Oprócz tego czujniki smart integrują się z systemami informatycznymi, dzięki czemu dane mogą być analizowane w czasie rzeczywistym, a inteligentne algorytmy pozwalają na prognozowanie przyszłych awarii oraz optymalizację procesów produkcyjnych. To pozwala na wprowadzenie strategii utrzymania ruchu opartych na zapobiegawczości (*predictive maintenance*) i minimalizację czasu przestojów w produkcji. Czujniki wchodzące w skład IoT mogą także, proaktywnie monitorując urządzenie, generować alerty, gdy stan urządzenia odbiega od określonych parametrów [27].

## 2.7. Sieci neuronowe i sztuczna inteligencja

Zastosowanie sieci neuronowych i sztucznej inteligencji w Przemśle 4.0 jest jednym z najważniejszych trendów, które przyczyniają się do transformacji i doskonalenia produkcji przemysłowej. Sieci neuronowe i algorytmy AI mogą być przydatne w prognozowaniu i optymalizacji produkcji, analizując dane produkcyjne, takie jak wydajność maszyn, usterki maszyn oraz ich przyczyny, zapasy surowców, tempo produkcji i prognozy sprzedaży, aby przewidywać zapotrzebowanie na produkty, tworzyć harmonogramy obsługi maszyn i optymalizować procesy produkcji.

Sieci neuronowe są wykorzystywane do diagnozowania awarii i monitorowania stanu maszyn w czasie rzeczywistym. Umożliwia to na wczesne wykrywanie potencjalnych usterek i podejmowanie działań naprawczych przed wystąpieniem awarii (*predictive maintenance*). Wykorzystanie sztucznej inteligencji pozwala również na indywidualne dostosowanie harmonogramów konserwacji w zależności od rzeczywistego stanu maszyn. Dzięki temu można zoptymalizować koszty konserwacji i wydłużyć okres eksploatacji maszyn. Mogą one być również wykorzystywane do analizy danych związanych z eksploatacją maszyn, co pozwala na prognozowanie zużycia części i komponentów. To z kolei umożliwia planowanie zapasów, uniknięcie nieoczekiwanych przestojów związanych z brakiem części i redukcję kosztów magazynowania. Wykorzystanie sztucznej inteligencji pozwala na dostosowanie strategii konserwacji w zależności od warunków eksploatacyjnych maszyn. Dzięki temu można skupić się na naprawach i konserwacji, które są najbardziej potrzebne, co w rezultacie prowadzi do efektywniejszego wykorzystania zasobów.

## 2.8. Metody diagnozowania maszyn

Wraz z ogromnym rozwojem sztucznej inteligencji konserwacja predykcyjna (PdM) oparta na nowoczesnych metodach diagnozowania maszyn stała się najskuteczniejszym rozwiązaniem w zakresie nowoczesnej produkcji na dużą skalę [38]. Generalnie istnieją dwie metody stosowane do monitorowania stanu maszyn produkcyjnych: bezpośrednia (*offline*) i pośrednia (*online*). Dane monitorowania parametrów i stanu maszyny są bardzo wszechstronne. Mogą to być dane dotyczące wibracji, dane akustyczne, dane z analizy środków smarnych, temperatura, ciśnienie, wilgotność, dane pogodowe lub środowiskowe itp. Zaprojektowano różne czujniki, takie jak mikroczujniki, czujniki ultradźwiękowe, czujniki emisji akustycznej itp., do zbierania różnych typów danych. Technologie bezprzewodowe, takie jak bluetooth, zapewniły alternatywne rozwiązanie dla opłacalnej komunikacji i transmisji danych.

Jednym z ważnych nośników informacji o stanie maszyn i urządzeń są drgania i fakt ten jest powszechnie wykorzystywany w dziedzinie wibrodiagnostyki [39]. Wibrodiagnostyka, czyli diagnostyka drganiowa, to system badający drgania newralgicznych podzespołów (np. łożysk) w czasie rzeczywistym. Metoda oparta na rejestracji wibracji pozwala uzyskać i dokładnie przeanalizować drgania niemal ze wszystkich zjawisk i stanów, jakie towarzyszą maszynie podczas pracy. Do pomiaru drgań maszyn najczęściej stosuje się czujniki drgań bezwzględnych (piezoelektryczne, elektrodynamiczne) oraz czujniki drgań względnych (wiroprądowe, światłowodowe).

W maszynach drgania powstają w wyniku ruchu ich części. Wibracje są również spowodowane wzajemnym kontaktem poszczególnych części. Maszyny i urządzenia zawierają części, które poruszają się, w ten sposób są one źródłem sił powodujących drgania samej maszyny. Tak więc każda maszyna ma indywidualne przejawy wibracji, które są typowe dla działania tej konkretnej maszyny. Jednak podczas pracy maszyn zmienia się stan poszczególnych części i ich połączeń, np. łożyska zużywają się, następuje zmiana masy zużytych części itp. Skutkiem powyższego jest również zmiana drgań pracujących urządzeń. Ponieważ większość awarii maszyn rotacyjnych objawia się nadmiernymi wibracjami, sygnały wibracyjne są wykorzystywane jako wskaźniki stanu mechanicznego maszyny. Każdy błąd mechaniczny lub wada generuje wibracje na swój specyficzny sposób. W celu ustalenia ich przyczyny i dobrania optymalnego działania zaradczego ważne jest określenie rodzaju drgań [2]. Pomiar drgań nie stanowi większego problemu. Celem jest analiza sygnałów, a następnie identyfikacja przyczyn problemu. W analizie sygnałów drganiowych zwraca się uwagę na dwie podstawowe składowe: częstotliwość i amplitudę. Częstotliwość reprezentuje liczbę wystąpień określonego zjawiska w określonym przedziale czasu. Na podstawie częstotliwości drgań można scharakteryzować typ awarii. Identyfikacja częstotliwości, z jaką

występują wibracje, daje obraz ich przyczyny. Amplituda reprezentuje wielkość sygnału drgań. Jest to związane z powagą awarii [2].

Istnieją dwa rodzaje diagnostyki opartej na analizie drgań: z przenośnym oprzyrządowaniem systemem zbierania danych online. W przypadku systemu przenośnego dane są zbierane w okresowych odstępach czasu, a następnie przesyłane do komputera. Nieciągły charakter utrudnia uzyskanie informacji dotyczących rozruchów i zatrzymań maszyn oraz momentów, w których zmieniają się parametry procesu. Koszty tego typu diagnostyki są niższe niż w przypadku systemu online, ponieważ nie jest wymagana instalacja oprzyrządowania, a liczba czujników może zostać zmniejszona.

W systemach online czujniki są zamocowane w pozycji pomiarowej, a informacje o poziomie drgań uzyskiwane są online, w tym są to informacje o stanach przejściowych, takich jak rozruch i zatrzymanie. Koszty wdrożenia są znacznie wyższe niż w przypadku systemów przenośnych, w związku z czym stosuje się je do maszyn krytycznych lub znajdujących się w niebezpiecznych środowiskach [4].

Niezawodność maszyn lub ich elementów lub okres użytkowania zależą nie tylko od warunków eksploatacji, czasu eksploatacji, ale także od rzeczywistych właściwości środków smarnych. Wraz ze starzeniem się olejów następują w nim pewne zmiany, które można określić stopniową zmianą (degradacją) niektórych parametrów. Zmiany właściwości środków smarnych wynikają głównie z zachodzących procesów utleniania, degradacji termicznej oraz reakcji chemicznych zachodzących w rzeczywistych warunkach pracy maszyny. Zjawiska te występują w kontakcie z tlenem atmosferycznym w podwyższonej temperaturze, często w obecności wody, zanieczyszczeń metalicznych i niemetalicznych. Samemu procesowi utleniania towarzyszy obecność mniej stabilnych cząsteczek, które szybko się utleniają i wytwarzają produkty kwaśne. Każda zmiana parametrów środków smarnych przekraczająca próg górny i dolny przyjętego dla nich limitu, przynosi negatywne skutki w postaci potencjalnych uszkodzeń. Diagnostyka olejowa polega na regularnym pobieraniu próbek oleju i ich analizie przy wykorzystaniu technik pomiarowych chemicznych i fizycznych. Dzięki nim możliwa jest ocena właściwości eksploatacyjnych oleju, układu smarowania lub układu hydraulicznego. Analiza środków smarnych polega na analizie stanu różnych parametrów fizykochemicznych oleju, takich jak np.: lepkość kinematyczna, zawartość wody, liczba kwasowa, zanieczyszczenie ogólne, zawartość tlenków, siarczków lub wodorotlenków metali na samej powierzchni metalu w wyniku chemicznego procesu utleniania. Diagnostyka oparta na analizie środków smarnych jest w stanie wykryć anomalie we wczesnych fazach jej rozwoju [16]. Istotnym elementem analizy jest odpowiednie pobranie próbek. To właśnie od nich w dużej mierze zależy wiarygodność wyników i bezbłędna interpretacja stanu maszyny. Pamiętać więc należy o wyborze odpowiedniego miejsca pobierania próbek. Musi być ono reprezentatywne w kontekście całego układu smarowania.

Gdy stan maszyny, a konkretnie jej współpracujących ze sobą części, ulegnie pogorszeniu, w wyniku wzrostu tarcia między elementami lub innych czynników zostanie wygenerowana energia cieplna, która jest znacznie większa niż podczas normalnej pracy. Maszyna może wydzielać więcej ciepła, np. w wyniku przeciążenia obwodu elektrycznego lub gdy zachodzi nadmierne tarcie, np. na skutek zużycia się, uszkodzenia, zablokowania lub przesunięcia się podzespołu z właściwej pozycji albo jego niedostatecznego smarowania. Metody diagnostyczne opierające się na pomiarze temperatury mają różne formy. Niektóre wykorzystują termopary lub rezystancyjne czujniki temperatury umieszczone w danym elemencie maszyny, służące do rejestracji zmian temperatury i wcześniejszego wykrycia usterki związanej z nieprawidłową temperaturą, dzięki czemu możliwe jest przeprowadzenie konserwacji zapobiegawczej przed wystąpieniem poważniejszej awarii. Jednak w przypadku pracującej maszyny czasami trudno jest rozmieścić odpowiednie czujniki na jej powierzchni ze względu na poruszające się jej elementy i utrudnienia natury technologicznej związane z ich rozmieszczeniem. Rozwiązaniem tego problemu może być użycie kamery termowizyjnej na podczerwień do zbierania obrazów termowizyjnych maszyn; ocena stanu technicznego elementów maszyn przez obserwację rozkładu temperatury na obrazach termicznych jest często szybsza i skuteczniejsza [35]. Rejestracja obrazu termograficznego nie jest trudna, łatwy wydaje się też jego odczyt. Widok prezentowany na wyświetlaczu kamery termowizyjnej, na którym różnymi kolorami zaznaczane są obszary obiektu różniące się temperaturami wyznaczonymi na podstawie pomiaru promieniowania cieplnego docierającego do kamery, łatwo można interpretować. Bez wątplenia zastosowanie termowizyjnej metody wizualizacji rozkładów temperatury i możliwość bezdotykowego pomiaru temperatury podnosi skuteczność przeprowadzania diagnostyki urządzeń, dostarczając informacji, które trudno uzyskać inną metodą. W przypadku ciągników i pojazdów wykorzystywanych w rolnictwie analiza obrazu termicznego pozwala wykryć m.in. takie sytuacje, jak: przegrzewanie się silnika na skutek zaburzonego przepływu powietrza w obudowie najczęściej w wyniku problemów z chłodzeniem, występowanie wylądowań niezupełnych, przebicie izolacji wirnika lub stojana, uszkodzenie lub zatarcie łożysk, niewspółosiowość wałów sprzęgła oraz uszkodzenie połączeń elektrycznych.

Kolejną metodą diagnostyczną stosowaną w nowoczesnym utrzymaniu ruchu jest metoda oparta na rejestracji ultradźwięków. Ultradźwięki mają bardzo szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach przemysłu, m.in. w badaniach nieniszczących materiałów, w których stosowane są aktywne techniki polegające na generowaniu fali ultradźwiękowej i obserwacji echa fali odbitej od badanego obiektu. Dodatkowo analizie poddawane są informacje o wielkości napotkanego reflektora (wady), jak również natężenia, zmiany kierunku oraz czasu przejścia fali przez materiał. W zależności od zastosowanych w trakcie badania fal ultradźwiękowych możliwe jest wykrycie wad wewnętrznych oraz nieciągłości powierzchniowych

i podpowierzchniowych [20]. Zastosowanie badań ultradźwiękowych wiąże się w dużym stopniu z możliwością kompleksowego badania elementów przy stosunkowo niskich kosztach przeprowadzania badań w odniesieniu do innych metod badań nieniszczących. Wykorzystanie detekcji ultradźwięków jest obecnie powszechne w wykrywaniu nieszczelności instalacji, kontroli zaworów, odwadniaczy, monitorowaniu stanu i smarowania łożysk, inspekcji urządzeń i sieci elektrycznych, badaniu spoin, zapewnieniu bezpieczeństwa przy współpracy ludzi i robotów. Przykładowo ultradźwiękowa inspekcja stosowana jest też do pomiaru poziomu tarcia w łożyskach, co z kolei pozwala na automatyczne dozowanie smaru i zapobieganie awariom. Badania ultradźwiękowe są stosowane przy diagnozowaniu obiektów wykonanych ze stali ferrytycznych, austenitycznych, aluminium, magnezu, miedzi i jej stopów, ołowiu, niklu, materiałów kompozytowych.

Diagnostyka ultradźwiękowa może być prowadzona w sposób ręczny, półautomatyczny i w pełni zautomatyzowany (np. zautomatyzowane systemy kontroli jakości na liniach produkcyjnych). Ze względu na mały rozmiar aparatury świetnie nadaje się do pracy w trudnodostępnych miejscach, a także do diagnostyki urządzeń będących nieustannie w użyciu. Do zalet badań ultradźwiękowych zalicza się także szybkość diagnozy z bezpośrednim dostępem do wyników, uniwersalność zastosowania, wysoki poziom skuteczności, a także precyzyjne określenie miejsca lokalizacji wad.

Maszyny i urządzenia w trakcie wieloletniej eksploatacji ulegają uszkodzeniom korozyjnym, co prowadzi do stopniowego obniżania podstawowych parametrów techniczno-eksploatacyjnych konstrukcji. Badanie wpływu procesów starzenia i zużycia na możliwość wystąpienia awarii konstrukcji metalowych jest jednym z najważniejszych zadań bezpieczeństwa technologicznego [10]. Wczesne wykrywanie korozji jest kwestią bardzo istotną i ma na celu ostrzec operatora/serwisanta o zbliżających się szkodliwych zdarzeniach, które zagrażają żywotności krytycznych procesów przemysłowych narażonych na korozyjne środowisko. Dokładne przewidywanie wzrostu stanów korozji jest niezbędnym elementem utrzymania ruchu, mającym na celu oszacowanie czasu pozostałego do naprawy [34]. Badania korozji umożliwiają także określenie przyczyn zniszczeń korozyjnych elementów pracujących w określonych warunkach przemysłowych oraz pozwalają na dobór odpowiedniej metody ochrony przed korozją. Bardzo ważnym aspektem monitorowania korozyjnego jest także kontrola efektywności zastosowanych technologii ochrony przed korozją. Nowoczesnymi metodami monitorowania w celu wykrycia i zbadania korozji są metody elektrochemiczne i rezystometryczne. Elektrochemiczne techniki diagnozowania korozji, takie jak pomiary potencjału elektrody (ECP) i impedancji elektrochemicznej (EIS), pozwalają na ocenę elektrochemicznych procesów zachodzących w materiale. To umożliwia monitorowanie szybkości korozji, identyfikację korodujących faz oraz ocenę skuteczności środków antykorozyjnych. Rezystometryczne metody diagnozowania korozji, znane również jako metody



opornościowe, są jednymi z popularnych technik stosowanych w analizie i monitorowaniu korozji w różnych metalach. Te metody polegają na pomiarze oporu elektrycznego materiału, który ulega korozji, w celu określenia stopnia degradacji i oceny stopnia zaawansowania procesu korozji. Czujniki korozyjne instaluje się w newralgicznych punktach instalacji wytypowanych na podstawie analiz inżynierskich oraz historii awarii i remontów.

Kolejnym przykładem metod diagnostycznych maszyn jest wizyjna diagnostyka, zwana również wizyjnym systemem monitorowania. To zaawansowana technologia wykorzystująca analizę obrazu i bardzo często również sztuczną inteligencję do wykrywania i diagnozowania potencjalnych problemów w maszynach przemysłowych. Metoda ta, będąca częścią rosnącego trendu w dziedzinie utrzymania ruchu, pozwala na efektywną kontrolę stanu maszyn, przewidywanie awarii i minimalizację przestojów produkcyjnych. Diagnostyka wizyjna polega na wykorzystaniu kamer i innych narzędzi rejestrujących obraz do wizualnej oceny stanu maszyn, np. wykrycie pęknięć, zużycia elementów itp. Czujniki i kompleksowe systemy wizyjne (kamery) rejestrują obraz, a następnie system jest w stanie analizować kształt, kolor, wymiar oraz szereg innych parametrów obiektu. Bardziej zaawansowane czujniki pozwalają na dokładne porównywanie znaków – najczęściej przy sprawdzaniu poprawności nadruków lub etykiet. Należy podkreślić, że jeden czujnik jest w stanie kontrolować kilka parametrów jednocześnie. W przemyśle maszynowym systemy wizyjne są istotnym elementem procesów wykorzystujących wizualną kontrolę powierzchni po zakończonej obróbce mechanicznej [18]. Czujniki wizyjne mogą również sprawdzić wymiary kształtów, taśm i przewodów. Przełomem w rozwoju systemów wizyjnych było upowszechnienie się przetworników obrazowych matrycowych. Kamery wizyjne z przetwornikami CCD pozwalają uzyskiwać stabilny obraz kolorowy, w dużym stopniu odporny na zakłócenia interferencyjne. Coraz większa rozdzielczość tych przetworników umożliwia polepszenie dokładności analizy obrazu. Wraz z rozwojem sprzętu równolegle rozwijały się również możliwości aplikacyjne oraz oprogramowanie.

Zalety wizyjnej diagnostyki maszyn to przede wszystkim szybkość i dokładność: wizyjne systemy diagnostyczne oferują szybkie analizy obrazu, które pozwalają na natychmiastową reakcję na zmiany w stanie maszyny [6], a dodatkowo współpraca ze sztuczną inteligencją, w obszarze analizy danych, umożliwia doskonałą dokładność i wykrywanie nawet subtelnych defektów.

Do metod diagnostycznych maszyn należy także diagnostyka maszyn oparta na parametrach elektrycznych, a więc metody wykorzystujące różne parametry elektryczne, takie jak prąd, napięcie, opór czy częstotliwość, do monitorowania, analizy i diagnozowania stanu maszyn. Parametry te mogą dostarczyć cennych informacji o działaniu maszyn, ich sprawności, kondycji oraz potencjalnych problemach czy awariach [30]. Przykładami mogą być:

- analiza sygnału prądowego: pomiary i analiza sygnału prądowego pobieranego z maszyn, takich jak silniki elektryczne czy transformatory, pozwala na ocenę jakości działania oraz wykrywanie niestabilności, zwarcia, nieszczelności, zjawisk rezonansowych i innych problemów,
- badania izolacji: testy izolacji elektrycznej pozwalają na ocenę stanu izolacji w maszynach i ocenę potencjalnego ryzyka wystąpienia zwarcia,
- analiza widma prądów i napięć: przez analizę widma prądów i napięć pobieranych z maszyn można wykrywać charakterystyczne częstotliwości, które mogą wskazywać na konkretne uszkodzenia lub niesprawności,
- diagnostyka spektralna: metody oparte na analizie spektralnej sygnałów elektrycznych pozwalają na identyfikację konkretnych zmian lub wzorców, które są charakterystyczne dla określonych problemów w maszynach,
- diagnostyka fal częstotliwościowych (Frequency Domain Diagnostics): podobnie jak wspomniano wcześniej, analiza charakterystycznych częstotliwości sygnałów elektrycznych z maszyn może dostarczyć cennych informacji diagnostycznych [17].

## 2.9. Podsumowanie

Proces produkcyjny w sektorze rolno-spożywczym wymaga wysokiego stopnia dyspozycyjności maszyn oraz eliminacji nieoczekiwanych awarii, które mogłyby spowodować wydłużony przestój w produkcji. Utrzymanie ruchu oraz konserwacja predykcyjna mogą przyczynić się do poprawy dostępności, bezpieczeństwa, jakości produktu, obniżenia kosztów konserwacji sprzętu rolniczego itp. Konserwacja predykcyjna to polityka konserwacji, w której wybrane parametry fizyczne związane z działającą maszyną są wykrywane, mierzone i rejestrowane w sposób przerywany lub ciągły, w celu analizy, porównania i interpretacji uzyskanych w ten sposób danych oraz informacji, co z kolei pomaga w podejmowaniu decyzji związanych z eksploatacją i konserwacją maszyny. Niestety w literaturze przedmiotu o nowoczesnym utrzymaniu ruchu wspomina się głównie w aspekcie przemysłu, tymczasem produkcja rolnicza, z uwagi na swoje znaczenie oraz wyjątkową specyfikę, również wymaga niezawodności i dyspozycyjności maszyn. Wykrywanie błędów procesowych, nietypowych zdarzeń lub awarii, czynników zakłócających i powodujących poważne uszkodzenia całego procesu staje się szczególnie trudne dla operatorów maszyn rolniczych ze względu na wzrost obciążenia pracą, jak również złożoność maszyn. Celem usług obsługowo-naprawczych, zastosowania nowoczesnych systemów utrzymania ruchu w rolnictwie jest usprawnienie i optymalizacja procesów związanych z działalnością gospodarstw rolnych oraz zapewnienie wydajności i niezawodności maszyn i urządzeń rolniczych. Dzięki



tym systemom jest możliwość lepszego monitorowania i diagnozowania maszyn, wcześniejszego wykrywania potencjalnych awarii, planowania konserwacji oraz przewidywania kosztów utrzymania, co w rezultacie prowadzi do zwiększenia wydajności produkcji, redukcji kosztów oraz poprawy jakości produkcji rolno-spożywczej.

## Bibliografia

- [1] Al-Ali A. R., Al Nabulsi A., Mukhopadhyay S., Awal M. S., Fernandes S., Ailabouni K., *IoT-solar energy powered smart farm irrigation system*, „Journal of Electronic Science and Technology” 2019, t. 17, nr 4, 100017.
- [2] Baron P., Kočiško M., Hlavatá S., Franas E., *Vibrodiagnostics as a predictive maintenance tool in the operation of turbo generators of a small hydropower plant*, „Advances in Mechanical Engineering” 2022, t. 14, nr 5.
- [3] Biswal S., Sabareesh G. R., *Design and development of a wind turbine test rig for condition monitoring studies*, [w:] *2015 international conference on industrial instrumentation and control (ICIC)*, Pune, 2015, s. 891–896.
- [4] Carnero M. C., *Selection of diagnostic techniques and instrumentation in a predictive maintenance program. A case study*, „Decision Support Systems” 2005, t. 38, nr 4, s. 539–555.
- [5] Chehri A., Jeon G., *The industrial internet of things: examining how the IIoT will improve the predictive maintenance*, [w:] *Innovation in medicine and healthcare systems, and multimedia: Proceedings of KES-InMed-19 and KES-IIMSS-19 Conferences*, red. Y. W. Chen, A. Zimmermann, R. J. Howlett, L. C. Jain, St. Julians, 2019, s. 517–527.
- [6] Czajka P., Garbacz P., *Use of hybrid vision methods for the diagnostics of technical processes*, „Problemy Eksploatacji” 2013, t. 3, s. 73–85.
- [7] Daissaoui A., Boulmakoul A., Karim L., Lbath A., *IoT and big data analytics for smart buildings: A survey*, „Procedia Computer Science” 2020, nr 170, s. 161–168.
- [8] Erkoyuncu J. A., Durugbo C., Roy R., *Identifying uncertainties for industrial service delivery: a systems approach*, „International Journal of Production Research” 2013, t. 51, nr 21, s. 6295–6315.
- [9] Fastellini G., Schillaci C., *Precision farming and IoT case studies across the world*, [w:] *Agricultural internet of things and decision support for precision smart farming*, red. A. Castrignano, G. Buttafuoco, R. Khosla, A. M. Mouazen, D. Moshou, O. Naud, Elsevier, Amsterdam 2020, s. 331–415.
- [10] Gibalenko A. N., Korolov V., Filatov J., *Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard*, [w:] *Proceedings of the 2nd Polish-Ukrainian International Conference on Current Problems in Metal Structures*, Gdańsk, 2014.

- [11] Hu Y., Xiao S., Wen J., Li J., *An ANP-multi-criteria-based methodology to construct maintenance networks for agricultural machinery cluster in a balanced scorecard context*, „Computers and Electronics in Agriculture” 2019, nr 158, s. 1–10.
- [12] Hussain F., *Internet of things: Building blocks and business models*, Springer, Cham 2017.
- [13] Jardine A. K., Lin D., Banjevic D., *A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance*, „Mechanical Systems and Signal Processing” 2006, t. 20, nr 7, s. 1483–1510.
- [14] Jasiulewicz-Kaczmarek M., Gola A., *Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing – an Overview*, „IFAC-PapersOnLine” 2019, t. 52, nr 10, s. 91–96.
- [15] Kour V. P., Arora S., *Recent Developments of the Internet of Things in Agriculture: A Survey*, „IEEE Access” 2020, t. 8, s. 129924–129957.
- [16] Kučera M., Kopčanová S., Sejkorová M., *Lubricant analysis as the most useful tool in the proactive maintenance philosophies of machinery and its components*, „Management Systems in Production Engineering” 2020, t. 3, nr 28, s. 196–201.
- [17] Li D., Cai Z., Qin B., Deng, L., *Signal frequency domain analysis and sensor fault diagnosis based on artificial intelligence*, „Computer Communications” 2020, t. 160, s. 71–80.
- [18] Liu Y., Guo L., Gao H., You Z., Ye Y., Zhang B., *Machine vision based condition monitoring and fault diagnosis of machine tools using information from machined surface texture: A review*, „Mechanical Systems and Signal Processing” 2022, t. 164, 108068.
- [19] Lokuge S., Sedera D., Atapattu M., Samaranayaka D., *Exploring the Role of IS in Agriculture. Creating an Agenda Towards Agri-Informatics*, [w:] PACIS, 2016 Proceedings. Online resource, Taiwan, 2016.
- [20] Lomazzi L., Fabiano S., Parziale M., Giglio M., Cadini F., *On the explainability of convolutional neural networks processing ultrasonic guided waves for damage diagnosis*, „Mechanical Systems and Signal Processing” 2023, t. 183, 109642.
- [21] Lüttenberg H., Bartelheimer Ch., Beverungen D., *Designing Predictive Maintenance for Agricultural Machines*, [w:] 26th European Conference on Information Systems, ECIS 2018. Proceedings. Online resource, Portsmouth, 2018, s. 1–17.
- [22] Ma J., Yu H., Xu Y., Deng K., *CDAM: Conservative data analytical model for dynamic climate information evaluation using intelligent IoT environment – An application perspective*, „Computer Communications” 2020, t. 150, s. 177–184.
- [23] Mishra D., Satapathy S., *Reliability and maintenance of agricultural machinery by MCDM approach*, „International Journal of System Assurance Engineering and Management” 2023, t. 14, nr 1, s. 135–146.

- [24] Mobley R. K., *An introduction to predictive maintenance*, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, Amsterdam, New York 2022.
- [25] Nadj M., Jegadeesan H., Maedche A., Hoffmann D., Erdmann P., *A Situation Awareness Driven Design for Predictive Maintenance Systems. The Case of Oil and Gas Pipeline Operations*, [w:] *Proceedings of the 24th European Conference on Information Systems*. Online resource, Istanbul. 2016, s. 1–10.
- [26] Passlick J., Dreyer S., Olivotti D., Grützner L., Eilers D., Breitner M. H., *Predictive maintenance as an internet of things enabled business model: A taxonomy*, „Electronic Markets” 2021, t. 31, s. 67–87.
- [27] Pech M., Vrchota J., Bednář J., *Predictive maintenance and intelligent sensors in smart factory*, „Sensors” 2021, t. 21, nr 4, 1470.
- [28] Peres R. S., Rocha A. D., Leitao P., Barata J., *IDARTS – Towards intelligent data analysis and real-time supervision for industry 4.0*, „Computers in Industry” 2018, t. 101, s. 138–146.
- [29] Puengsungwan S., Jirasereeamornkul K., *IoT based root stress detection for lettuce culture using infrared leaf temperature sensor and light intensity sensor*, „Wireless Personal Communications” 2020, t. 115, s. 3215–3233.
- [30] Salomon C. P., Ferreira C., Sant’Ana W. C., Lambert-Torres G., Borges da Silva L. E., Bonaldi E. L., Torres B. S., *A study of fault diagnosis based on electrical signature analysis for synchronous generators predictive maintenance in bulk electric systems*, „Energies” 2019, t. 12, nr 8, 1506.
- [31] Sezer E., Romero D., Guedea F., Macchi M., Emmanouilidis C., *An industry 4.0-enabled low cost predictive maintenance approach for smes*, [W:] *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, Online resource, Stuttgart, 2018, s. 1–9.
- [32] Susto G. A., Schirru A., Pampuri S., McLoone S., Beghi A., *Machine learning for predictive maintenance: A multiple classifier approach*, „IEEE Transactions on Industrial Informatics” 2014, t. 11, nr 3, s. 812–820.
- [33] Unicef, *Unicef Global Food Security*, 2015, <http://www.un-foodsecurity.org/documents>
- [34] Vachtsevanos G., *Corrosion Diagnostic and Prognostic Technologies*, [w:] *Corrosion Processes. Structural Integrity*, t. 13, red. G. Vachtsevanos, K. Natarajan, R. Rajamani, P. Sandborn, Springer, Cham 2020, s. 231–311.
- [35] Wang R., Zhan X., Bai H., Dong E., Cheng Z., Jia X., *A Review of Fault Diagnosis Methods for Rotating Machinery Using Infrared Thermography*, „Micromachines” 2022, t. 13, nr 10, 1644.
- [36] Xu G., Liu M., Wang J., Ma Y., Wang J., Li F., Shen W., *Data-driven fault diagnostics and prognostics for predictive maintenance: A brief overview*, [w:] *IEEE 15th international conference on automation science and engineering (CASE)*. Online resource, Vancouver, 2019, s. 103–108.

- [37] Yu J., Zhang W., *Study on Agricultural Condition Monitoring and Diagnosing of Integrated Platform Based on the Internet of Things*, [w:] *Computer and Computing Technologies in Agriculture VI. CCTA 2012. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, red. D. Li, Y. Chen, Springer, Berlin, 2012, t. 392, s. 244–250.
- [38] Zhang W., Yang D., Wang H., *Data-driven methods for predictive maintenance of industrial equipment: A survey*, „IEEE Systems Journal” 2019, t. 13, nr 3, s. 2213–2227.
- [39] Zuth D., Blecha P., Marada T., Huzlik R., Tuma J., Maradova K., Frkal V., *Vibrodiagnostics Faults Classification for the Safety Enhancement of Industrial Machinery*, „Machines” 2021, t. 9, nr 10, 222.

### **3. Przemysł 4.0 a zapotrzebowanie na kompetencje – studium przypadku sektora chemicznego w Polsce**

#### **3.1. Wprowadzenie**

Transformacja technologiczno-organizacyjna, stanowiąca rozwiązania określane jako Przemysł 4.0, chociaż jest dość młodym zjawiskiem, w wielu sektorach produkcyjnych stanowi ważny trend, a nawet stała się koniecznością. Co ważne, zmiana sposobów produkcji – w tym wdrażanie większej automatyzacji produkcji i nowego rodzaju oprogramowania, ale także integrowanie różnych funkcji przedsiębiorstw – wymagają od pracowników nowych kompetencji. Sektor chemiczny, będący jednym z ważniejszych sektorów produkcyjnych w Polsce i Europie, także boryka się z trudnościami w znalezieniu potrzebnych kompetencji na rynku pracy. Prezentowana praca składa się z dwóch części. W pierwszej znajduje się analiza dostępnych opracowań na temat kompetencji przyszłości, które już są lub będą potrzebne w przyszłości na rynku pracy. Przedstawione w drugiej części badania zostały zrealizowane jako część badań monitorujących sektor chemiczny w Polsce w ramach realizacji zadań Sektorowej Rady ds. Kompetencji Sektora Chemicznego i sfinansowane przez PARP. Badania zostały zrealizowane dwuetapowo przy użyciu wywiadów zogniskowanych i wywiadów indywidualnych, z zastosowaniem metod analizy jakościowej. Analiza przedstawiona w pracy dotyczy zapotrzebowania na kompetencje cyfrowe, jakie zdefiniowali przedsiębiorcy badanego sektora w kontekście wdrażania rozwiązań Przemysłu 4.0.

Przemysł 4.0 to proces przekształcania organizacji, który obejmuje integrację łańcucha wartości, wprowadzanie nowych modeli biznesowych oraz cyfryzację produktów i usług [14]. Czynnikiem napędzającym transformację w kierunku Przemysłu 4.0 są coraz bardziej zindywidualizowane potrzeby klientów i narastający trend personalizacji produktów i usług [18]. Celem pracy jest zatem przedstawienie trendów w zakresie zapotrzebowania na kompetencje w przemyśle chemicznym. Ponadto celem raportu jest odniesienie koncepcji do sektora chemicznego i prezentacja dobrej praktyki mogącej posłużyć jako inspiracja dla

---

\* Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, ul. Balicka 116B, Kraków; aleksandra.lis@urk.edu.pl.

innych podmiotów w sektorze, które dopiero zaczynają transformację technologiczną lub rozważają jej wdrożenie.

Przemysł 4.0, lub z angielskiego *Industry 4.0*, to inaczej czwarta rewolucja przemysłowa. Koncepcja ta pochodzi z 2011 r. i swoje początki zawdzięcza strategii *high-tech* rządu niemieckiego [18]. Jej celem jest promocja informatyzacji przemysłu [13]. Koncept ten (oryginalnie przedstawiony jako *Industrie 4.0*) wpisuje się jako kolejny etap w rozwoju przemysłu na przestrzeni czasu, zwłaszcza że cyfryzacja jest jednym z megatrendów oddziałujących na przemysł i gospodarkę w ogóle [11]. Po mechanizacji (pierwsza rewolucja przemysłowa), elektryfikacji (druga rewolucja przemysłowa) i automatyzacji produkcji (trzecia rewolucja przemysłowa) kolejnym krokiem w rozwoju przemysłu jest sieciowe (internetowe) połączenie i integracja ludzi, procesów oraz obiektów w procesach produkcyjnych.

Przemysł 4.0 jest aktualnie jedną z bardziej popularnych koncepcji – liczne opracowania dotyczące rozwoju gospodarek, zapotrzebowania na kompetencje w przemyśle [6] czy trendów w zakresie kompetencji przyszłości [1] uwzględniają transformację w kierunku Przemysłu 4.0. W opracowaniach tych, a także publikacjach naukowych liczne są definicje Przemysłu 4.0, a także wskazywane etapy wdrażania tej koncepcji oraz kluczowe elementy składające się na jej wdrożenie. Uporządkowanie terminologii dotyczącej tego zjawiska jest zatem ważne dla dalszego zgłębiania tematu, jak również odniesienia koncepcji do realiów sektora chemicznego.

Przemysł 4.0 jest definiowany między innymi jako:

- „[...] cyfrowa transformacja przemysłu, integracja i cyfryzacja procesów, które pozwalają na zaspokojenie potencjalnych potrzeb klientów na danym rynku” [13],
- „[...] nowy etap przemysłowy, w którym następuje integracja operacyjnych systemów produkcyjnych z technologiami informacyjno-komunikacyjnymi (ICT) – zwłaszcza przemysłowy Internet rzeczy (IoT) – tworząc tzw. systemy cyberfizyczne (CPS)” [4]<sup>4</sup>,
- „[...] przemysł [...] złożony z inteligentnych fabryk” [2].

Czwarta rewolucja przemysłowa przynosi zatem do przemysłu unifikację świata rzeczywistego maszyn produkcyjnych ze światem wirtualnym internetu i technologii informacyjnej. [16] Wymiana informacji między ludźmi, maszynami oraz systemami IT jest automatyczna w toku procesu produkcyjnego i obejmuje cały łańcuch wartości. Filarami działania przedsiębiorstw, które wdrażają lub wdrożyły rozwiązania Przemysłu 4.0, czyli Przedsiębiorstw 4.0, są w kolejności [13]:

- zespół,
- technologia,
- klient.

---

<sup>4</sup>Tłumaczenie własne, oryginalnie: *a new industrial stage in which there is an integration between manufacturing operations systems and information and* Oryginalnie: *communication technologies (ICT) – especially the Internet of Things (IoT) – forming the so-called Cyber-Physical Systems (CPS).*

Pomimo ogromnej wagi technologii na pierwszym miejscu w transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 są ludzie, którzy tworzą zespół danego przedsiębiorstwa. Oni stanowią największy kapitał w firmie, a ich kompetencje, w tym przede wszystkim kreatywność, umiejętność współpracy, odwaga wobec nowych wyzwań, będą wyznaczać możliwości przedsiębiorstwa [13].

Drugim filarem Przedsiębiorstwa 4.0 jest technologia, która obejmuje komputery, automatyczny magazyn oraz automatyzację i robotyzację procesu produkcyjnego. Algorytmy i roboty są głównymi wykonawcami pracy, którą nadzorują przygotowani do tego ludzie. W ramach transformacji technologiczno-organizacyjnej przedsiębiorstwa mogą wybierać spośród wielu rozwiązań i wdrażać je według potrzeb. Technologie, jakie proponuje Przemysł 4.0, to m.in.:

- big data i analityka przy użyciu sztucznej inteligencji,
- autonomiczne roboty,
- przetwarzanie w chmurze,
- rzeczywistość rozszerzona (technologia AR),
- drukowanie przestrzenne/3D,
- symulacja/cyfrowy bliźniak [8, 13].

Trzecim filarem Przedsiębiorstwa 4.0 są natomiast klienci, rozumiani jednak inaczej niż dotychczas. Tradycyjnie klienci przynależeli do jednej z dwóch kategorii – biznesowych (wówczas relacje handlowe określano jako B2B, czyli z ang. *business to business*) lub indywidualnych (B2C, ang. *business to customer*). W nowoczesnym przedsiębiorstwie 4.0 relacje nawiązują ludzie, co podkreśla się podejściem H2H (ang. *human to human*), czyli człowiek do człowieka. Zakłada ona możliwość ciągłego kontaktu przedsiębiorstwa z odbiorcą, a także współwłasność w procesie (np. wynajem magazynów) i większą indywidualizację dostarczanych produktów i usług [13].

Transformacja w kierunku Przemysłu 4.0, według Europejskiego Centrum Wspierania Zaawansowanej Produkcji, obejmuje 7 etapów. Pierwszy dotyczy zaawansowania technologicznego uwzględniającego elastyczne systemy produkcyjne, które ułatwiają szybkie dostosowanie się do zmian w zakresie liczby czy kategorii produktów. Kolejny to współdzielenie informacji o procesie wytwarzania przez ludzi, maszyny i produkty. Trzecia faza dotyczy uwzględnienia zasad gospodarki obiegu zamkniętego (*circular economy*) w celu pełnego wykorzystania surowców i zmniejszania emisji. Natomiast czwarty etap to proces kompleksowej realizacji oczekiwań klientów wobec wyrobów, czyli *End-to-End Customer Focussed Engineering*. W następnym, piątym etapie kluczowe jest skupienie się na człowieku, m.in. przez wykorzystanie indywidualnych różnic na rzecz wzmocnienia organizacji oraz budowę wspierającego środowiska pracy. Szósty etap, czyli *smart manufacturing*, zakłada stosowanie zintegrowanych systemów, które w czasie rzeczywistym reagują na zmienność warunków, a siódmy stanowi budowę fabryki otwartej – połączenia wszystkich elementów w łańcuchu wartości, wsparcia branżowego i współpracy podmiotów w procesie wytwarzania i dystrybucji [5].



Liczne możliwości, jakie oferuje Przemysł 4.0, mogą być źródłem korzyści dla przedsiębiorców. Główne korzyści dla przedsiębiorstw wynikające z Przemysłu 4.0 można pogrupować w trzech kategoriach: elastyczność i szybkość, efektywność oraz konkurencyjność. Czwarta rewolucja przemysłowa jeszcze nie dobiegła końca – daleko jeszcze do nasycenia gospodarki (zarówno polskiej, jak i światowej) rozwiązaniami Przemysłu 4.0. Niemniej już rozwija się koncepcja wychodząca krok dalej, czyli piąta rewolucja przemysłowa. Przemysł 5.0 jest rozumiany jako uznanie siły przemysłu w osiąganiu celów społecznych wykraczających poza miejsca pracy i wzrost. W ramach tej koncepcji kluczowe dla przedsiębiorstw jest stawianie się dostawcą dobrobytu przez szanowanie planety przez produkcję i umieszczanie dobrobytu pracownika branży w centrum procesu produkcji [5].

### 3.2. Umiejętności przyszłości

Umiejętności to jeden z priorytetów polityk unijnych, zwłaszcza w zakresie określenia kluczowych umiejętności i wzmocnienia możliwości pozyskiwania ich przez społeczeństwa w Europie. Europejskie Wspólne Centrum Badawcze (ang. *Joint Research Centre*, JRC) opracowało liczne ramy kompetencji dla społeczeństwa Unii Europejskiej: ramy kompetencji cyfrowych dla obywateli, znanych również jako DigComp, oraz innych ram kompetencji: w zakresie przedsiębiorczości – EntreComp, ogólnozyciowych – LifeComp czy ram powiązanych ze zrównoważonym rozwojem i zieloną gospodarką – GreenComp [14]. W każdym z tych opracowań podkreślona jest waga procesu cyfryzacji oraz jej wpływ na potrzeby kompetencyjne społeczeństw i na zestaw kluczowych umiejętności pracowników. W tym opracowaniu bliżej zostanie opisana jedna z tych ram – poświęcona kompetencjom cyfrowym obywateli (DigComp).

DigComp to rama kompetencji cyfrowych opracowana pierwotnie w 2013 r. Opisuje ona kompetencje za pomocą pięciu wymiarów o nazwach:

1. Obszar kompetencji.
2. Kompetencje wraz z opisem.
3. Poziom zaawansowania (siatka samooceny).
4. Przykłady wiedzy, umiejętności i postaw, mających zastosowanie do każdej kompetencji.
5. Przykłady zastosowań celowych.

Rama obejmuje pięć obszarów kompetencyjnych, z których każdy zawiera od 3 do 6 kompetencji, łącznie 21 kompetencji wraz z opisem. Główne obszary kompetencji cyfrowych to: informacja i dane, komunikacja i współpraca, tworzenie treści cyfrowych, bezpieczeństwo, rozwiązywanie problemów. W zależności od poziomu zaawansowania (podawanego w ośmiostopniowej skali



oraz w kategoriach: podstawowy, średnio zaawansowany, zaawansowany i wysoce zaawansowany), kompetencje mają różne przykłady zastosowania podawane także w dwóch odniesieniach: edukacyjnym i zawodowym. DigComp jest ramą kompetencji dla społeczeństwa i nie odnosi się do konkretnych zawodów. Podaje przykłady umiejętności cyfrowych w systemie edukacji i w pracy, nie wskazując, które zawody, branże czy stanowiska stawiają wymogi w zakresie opisanych kompetencji.

Proces cyfryzacji przedsiębiorstw to obszar bardzo dynamiczny – zmieniają się zarówno dostępne technologie, jak i umiejętności potrzebne ludziom do ich obsługi. To wpływa również na kluczowe kompetencje wymagane do realizacji procesów związanych z cyfryzacją, tak w ramach rynku pracy, jak i w pozostałych obszarach. Od 2013 r. rama była aktualizowana kilkukrotnie: do wersji 2.0 w roku 2016 oraz 2.1 w roku 2017 [6]. W marcu bieżącego roku opublikowany został nowy, uaktualniony dokument, DigComp 2.2 [17]. Aktualizacja 2.2 koncentruje się na czwartym wymiarze, czyli „wiedzy, umiejętnościach i postawach mających zastosowanie do każdej kompetencji”. Dla każdej z 21 kompetencji podano 10–15 stwierdzeń, aby zilustrować aktualne i zaktualizowane przykłady, które podkreślają współczesne tematy. Zasadnicza część ramy pozostała jednak niezmieniona w porównaniu do poprzednich wersji.

DigComp wytycza pięć obszarów kompetencji: informacja, komunikacja, bezpieczeństwo. Wiodącą rolę cyfryzacji w przemianach w zakresie potrzeb kompetencyjnych przewidują także opracowania poświęcone Polsce. Dostrzegają to m.in. autorzy raportu *Prognoza umiejętności – Polska* (ang. *Skills forecast Poland*), opracowanego przez Europejskie Centrum Rozwoju Szkolenia Zawodowego Cedefop: „Ogólny efekt zmiany zawodowej zależy zatem od kilku czynników, które należy rozważyć łącznie. Rosnąca cyfryzacja i ruch w kierunku gospodarki zorientowanej na usługi, również w zakresie produkcji, doprowadzi do większego wykorzystania zawodów wyższego szczebla kosztem średniego i niskiego szczebla zawodów” [1].

Kwestie związane z cyfryzacją porusza także raport Banku Światowego z 2021 r. – *Ścieżki wzrostu produktywności w Polsce: perspektywa z poziomu firmy* (*Paths of Productivity Growth in Poland : A Firm-Level Perspective*).

„Polskie firmy pozostają w tyle pod względem cyfryzacji i innowacyjności. (Polska zajmuje 23. miejsce w Indeksie Gospodarki Cyfrowej i Społeczeństwa Cyfrowego i 24 miejsce na tablicy wyników innowacyjności spośród 27 państw członkowskich UE)” [6].

Co może być jeszcze ważniejsze, w raporcie tym podkreśla się wagę cyfryzacji dla rozwoju małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP) [15] oraz panujące w Polsce błędne przekonanie, że digitalizacja jest procesem nieodpowiednim dla MŚP, a raczej dla dużych korporacji [15]. Opracowany przez Obserwatorium Kompetencji Przyszłości Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości w 2022 r. raport na temat kompetencji i zawodów przyszłości także porusza zagadnienia

związane z cyfryzacją. Kompetencje cyfrowe to jedne z kluczowych kompetencji technicznych. Jednocześnie, jak wynika z badań, większość firm przejawia duże lub nawet ekstremalne zapotrzebowania na przedstawicieli zawodów związanych z digitalizacją, w tym specjalistów ds. infrastruktury cyfrowej, specjalistów e-commerce czy w zakresie nowych mediów [9].

W latach 2012–2022 (co wydaje się być słuszną cezurą na wybór literatury opisującej aktualny stan zjawisk społecznych, w tym zapotrzebowania na kompetencje) opracowano i wydano wiele raportów i opracowań dotyczących umiejętności, kompetencji kluczowych, związanych z procesami cyfryzacji i innych odnoszących się do tego zjawiska. W rozdziale zaprezentowane zostały jedynie wybrane opracowania. Z pewnością przytaczane źródła nie wyczerpują tematu, pokazują jednak wyraźnie dwie ważne tendencje:

1. Wpływ cyfryzacji na rynek pracy, zapotrzebowanie na kompetencje, a także produktywność przedsiębiorstw i całej gospodarki.
2. Wzrost znaczenia kompetencji związanych z cyfryzacją, w tym zarówno umiejętności technicznych, jak i kompetencji niezwiązanych bezpośrednio z techniczną obsługą urządzeń i oprogramowania.

### **3.3. Transformacja technologiczno-organizacyjna w sektorze chemicznym – badania własne**

Sektor chemiczny, podobnie jak pozostałe branże gospodarki, dostosowuje się do bieżących trendów i wymagań rynku [9]. Obejmuje to także postępującą cyfryzację i automatyzację procesów wytwórczych. Podobnie jak inne sektory tak i chemiczny jest aktualnie w procesie transformacji – oznacza to, że część przedsiębiorstw w znaczący sposób zmieniła funkcjonowanie, wykorzystując rozwiązania Przemysłu 4.0, inne wdrażają część tych rozwiązań, a część przedsiębiorstw jeszcze nie podjęła się ich wdrażania. Bariery w sektorze chemicznym dla rozwiązań Przemysłu 4.0 są takie same jak w innych sektorach – są to bariery finansowe, a także wynikające z przekonań na temat cyfryzacji opisane w poprzedniej części raportu. Ważnym elementem zmniejszającym wpływ tych barier na implementację rozwiązań w sektorze może być przedstawianie, a nawet promowanie dobrych praktyk w zakresie wdrażania rozwiązań Przemysłu 4.0.

Badania były realizowane przez cztery miesiące, w okresie od lipca do listopada 2022 r. Badania objęły przedsiębiorców reprezentujących sektor chemiczny, w tym zarówno wiodące na rynku spółki, jak i drobne przedsiębiorstwa i małe firmy rodzinne. Tematyka transformacji przedsiębiorstw to zagadnienie, które najbardziej dotyka przedsiębiorców i to oni w sposób najbardziej trafny mogą ocenić trendy w tym zakresie. W badaniu wzięli udział przedstawiciele różnych branż

sektora, w tym branży produkcji i przetwórstwa tworzyw sztucznych, branży nawozów, branży kosmetycznej.

Zdecydowano się na realizację badań dwuetapowych z użyciem dwóch metod badań jakościowych: wywiadów zogniskowanych oraz indywidualnych wywiadów pogłębionych. Ze względu na eksploracyjny charakter badań, pierwszy etap stanowiły wywiady zogniskowane pozwalające na rozpoznanie znajomości wśród przedsiębiorców badanych zagadnień. Drugi etap, wywiady pogłębione, miały natomiast funkcję wspierającą – pozwoliły na głębsze zrozumienie perspektywy przedsiębiorców i interpretację wyników z pierwszego etapu badań [3]. Zrealizowane zostały dwa wywiady zogniskowane oraz pięć wywiadów indywidualnych, w których łącznie udział wzięło 15 przedstawicieli przemysłu w sektorze chemicznym. Zrealizowane zostały dwa etapy badania:

1. Zogniskowany wywiad grupowy (FGI) skoncentrowany na wskazaniu, na ile pojęcie Przemysłu 4.0 jest znane w sektorze, jak kwestie transformacji technologiczno-organizacyjnej wpływają na działalność przedsiębiorstw sektora i w jakim stopniu jest istotne wsparcie państwa w zakresie tej transformacji; badanie zrealizowane latem (lipiec–sierpień) 2022 r.
2. Indywidualny wywiad pogłębiony (IDI) pozwalający na zgłębienie perspektywy pojedynczych przedsiębiorców w odniesieniu do zagadnień związanych z cyfryzacją i sieciowaniem, a także integracją systemów wytwórczych w ich przedsiębiorstwach; badanie realizowane jesienią 2022 r. (wrzesień i listopad).

Wywiady były rejestrowane w zależności od formy w zakresie dźwięku (wywiad przeprowadzony stacjonarnie) lub dźwięku i wizji (wywiady przeprowadzone hybrydowo i zdalnie). Zaproszeni do wywiadów uczestnicy reprezentowali różne obszary Polski, niemniej większość z nich reprezentowała południe Polski, w tym głównie Małopolskę i Lubelszczyznę (gdzie zrealizowane zostały w większości wywiady indywidualne). Uczestnicy wywiadu, zgodnie z obowiązującymi normami, zostali poinformowani o nagrywaniu, a także zapewnieni o anonimowości udziału w badaniu.

Dane zebrane podczas wywiadów obu typów (IDI, FGI) zostały zanalizowane z użyciem oprogramowania MAXQDA Analitics Pro 2022, które jest jednym z programów służącym do analizy danych jakościowych. Kodowanie danych odbywało się rozłącznie dla obydwu metod badawczych, a zatem osobno kodowane były wywiady indywidualne i zogniskowane.

Na obydwu etapach badawczych uczestnicy wywiadów poproszeni zostali o ocenę zapotrzebowania na kompetencje w sektorze i ewentualne luki kompetencyjne wynikające z omawianych w czasie badania zmian.

„Chyba największa zmiana, która moim zdaniem dotyczy kompetencji w przemyśle chemicznym, to jest to, że w zasadzie można powiedzieć, że w dużym przemyśle chemicznym [...] coraz mniej potrzeba chemików. Mianowicie tak mocno zmienia się zapotrzebowanie na mechaników, informatyków i elektroników,

elektryków, że sami chemicy w tym procesie jakby trochę tracą na znaczeniu. Nie mówię tutaj o części badawczej czy rozwojowej. Natomiast mówię o tej części produkcyjnej i to jest chyba taka dość istotna zmiana w kompetencjach niezbędnych w przemyśle chemicznym” [IDI\_16 października, Poz. 69–73].

Zarówno w ramach FGI, jak i IDI, grupa badana zidentyfikowała potrzebę pojawienia się nowych kompetencji lub znaczącego wzrostu podaży na określone kompetencje w sektorze. Jednocześnie ocena przygotowania sektora do transformacji w kierunku przemysłu 4.0 była wśród badanych pozytywna.

„[...] jest duży potencjał kompetencyjny w przemyśle i on będzie wystarczający na to, żeby te zmiany wprowadzić i zastosować” [IDI\_16 października, Poz. 60].

Niemniej zauważalne są także braki w zakresie kompetencji potrzebnych w przedsiębiorstwach przemysłu 4.0. Są to przede wszystkim kompetencje miękkie, związane z prezentowanymi postawami, takie jak otwartość, umiejętność uczenia się, ale także kreatywność czy logiczne myślenie oparte na wiedzy.

„Edukacja też powinna być dostosowana trochę [...] brakuje na pewno tych kompetencji związanych z przetwarzaniem danych i z nastawieniem na współpracę, na przemysł, na pewno też te kompetencje miękkie: zarządzanie, połączenia procesów, komunikacja człowiek–maszyna, zarządzanie tym wszystkim, przetwarzanie danych, czyli analityka. To będą takie kompetencje mocno potrzebne, żeby dostosować się do idei przemysłu 4.0.” [IDI\_23 września, Poz. 16–17].

W najbliższym czasie na znaczeniu zyskają także kompetencje związane z pracą zespołową, a także umiejętności komunikowania z ludźmi i maszynami, zwłaszcza wykorzystującymi sztuczną inteligencję.

„Na rynku jest mało specjalistów od dobrego wykorzystania danych i wykorzystania sztucznej inteligencji, które niebawem przeniesie branżę w inny wymiar. To dopiero początek drogi. Organizacje, które będą dobrze wykorzystywały dane, będą konkurować, będą dobrze obserwowały rynek. Funkcjonujemy w gospodarce globalnej i lokalnej. Dużego znaczenia dzięki technologiom nabrała prognostyka. Dziś nie można bazować na intuicji tylko wnioskach twardych; najbliższe dwa lata to będzie czas na budowanie nowych kompetencji w zespołach, a po dwóch latach nastąpi wykorzystanie rynkowe tej zbudowanej przewagi. Praca zespołowa i budowanie zespołów będą stanowić jedne z najważniejszych kompetencji” [focus\_15 lipca, Poz. 31].

Wymagania te mogą oznaczać konieczność przekształceń zarówno w formalnym systemie edukacji, zwłaszcza na poziomie średnim i wyższym, jak i dostosowanie oferty szkoleniowej w edukacji pozaformalnej. Zapotrzebowanie na szkolenia to jeden z elementów, który wybrzmiał mocno w kontekście wsparcia, jakie przedsiębiorcy otrzymują od instytucji państwowych i na jakie ze strony państwa liczą.

### 3.4. Podsumowanie

Wysoce zmienne warunki funkcjonowania przedsiębiorstw powodują konieczność szybkiego dostosowywania się. Dotyczy to zarówno pojedynczych osób, społeczności, jak i gospodarki obejmującej sektor chemiczny. Jednym z ważniejszych narzędzi dla zwiększenia elastyczności i dostosowania się do nieoczekiwanych wcześniej wymagań czy nowych warunków są technologie informacyjne. Bardzo mocno pokazała to m.in. pandemia COVID-19. Transformacja technologiczno-organizacyjna to ogromna szansa, a jednocześnie wyzwanie – wymaga wysokich nakładów finansowych, ale także kompetencyjnych. Wymaga także przełamania obaw społecznych o bycie zastąpionymi przez maszyny.

Tymczasem transformacja technologiczno-organizacyjna Przemysłu 4.0 (czy kolejnego, wspomnianego już kroku – Przemysłu 5.0) oznacza nie tyle zmniejszenie zapotrzebowania na ludzi, co zmianę tego zapotrzebowania pod względem jakościowym, czyli posiadanych kompetencji. Sektor chemiczny mierzy się z lukami kompetencyjnymi spowodowanymi m.in. brakiem chętnych do pracy na stanowiskach średniego szczebla. [9] Adaptacja sektora do rozwiązań oferowanych przez Przemysł 4.0 może być zatem jedną z możliwości, aby te luki kompetencyjne zapełnić, a także przyciągnąć młodych, absolwentów szkół i uczelni do pracy w sektorze.

Czwarta rewolucja przemysłowa jest procesem toczącym się od kilku lat, jeszcze jednak dalekim od pełnego wdrożenia czy nawet rozkwitu. Przewiduje się rozkwit Przemysłu 4.0 dopiero w kolejnej dekadzie, czyli na lata 30. XXI w.:

„Zmiana myślenia o zaawansowanej produkcji prowadzi do przekształceń w zakresie technologii, zarządzania oraz reguł podejścia do pracy. Podjęcie wyzwań odnośnie opisanych zagadnień doprowadzi do uzyskania pełnej funkcjonalności inteligentnej fabryki. Zdobycie partnerów branżowych wprowadzających taki sam model powinno sprzyjać budowie ekosystemu spełniającego kryteria Przemysłu 4.0” [5].

Z pewnością jest to trend, który będzie wpływał na sektor chemiczny i jego rozwój – już teraz elementy Przemysłu 4.0, czyli postępująca cyfryzacja i automatyzacja, są nieuniknioną przyszłością, a nawet teraźniejszością przedsiębiorstw. Świadomość zarówno wyzwań, jak i obaw wiążących się z wdrażaniem rozwiązań 4.0 może być najlepszą przewagą sektora. Może bowiem pozwolić na optymalne wykorzystanie możliwości, jakie daje cyfryzacja. Jednocześnie zwiększenie wiedzy w zakresie rozwiązań, możliwości i wyzwań Przemysłu 4.0 może zmniejszyć ryzyko dla przedsiębiorstw, wynikające ze wspomnianych kosztów tej transformacji. Kluczowe w tym kontekście jest wykorzystanie wsparcia finansowego instytucji publicznych (w celu redukcji ryzyka wynikającego z kosztów finansowych) oraz dbałość o rozwój kompetencji pracowników (w celu zmniejszenia obaw i podniesienia zaangażowania ludzi w proces).

## Bibliografia

- [1] Cedefop. Skills forecast 2020: Poland. Cedefop skills forecast, 2020. <https://www.cedefop.europa.eu/en/publications-and-resources/country-reports/poland-2020-skills-forecast> [dostęp: 05.05.2023].
- [2] Cellary, W., *Przemysł 4.0 i Gospodarka 4.0*, „Biuletyn PTE” 2019, t. 3, nr 86, s. 48–52.
- [3] Creswell J. W., *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*, SAGE Publications, Thousand Oaks 2014.
- [4] Dalenogare L. S., Benitez G. B., Ayala N. F., Frank A. G., *The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance*, „International Journal of Production Economics” 2018, nr 204, s. 383–394.
- [5] Hetmańczyk M., *7 kroków do zaawansowanej produkcji w fabryce przyszłości*, Przemysł Przyszłości, Warszawa 2020.
- [6] Komisja Europejska, *DIGCOMP: Ramy odniesienia dla rozwoju i rozumienia kompetencji cyfrowych w Europie*, Biuro Publikacji Komisji Europejskiej, Luksemburg, Bruksela 2013
- [7] Komisja Europejska, *Industry 5.0. Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*, Biuro Publikacji Komisji Europejskiej, Bruksela 2021.
- [8] Lemerle M., Livinec M., Hillenbrand-Saponar C., Duthoit A., *No stone unturned: How Covid-19 is disrupting every industry*, M., Oxford 2020.
- [9] Lis A., *Zrównoważony rozwój: wpływ na potrzeby kompetencyjne. Monitoring sektora chemicznego*, Sektorowa Rada ds. Kompetencji Sektora chemicznego, Kraków 2022.
- [10] Łapińska J., Sudolska A., Zinecker M., *Raport z badań empirycznych w zakresie kompetencji i zawodów przyszłości*, Obserwatorium Kompetencji Przyszłości Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości, Warszawa 2022.
- [11] Nayyar A., Kumar A. (red.), *A roadmap to industry 4.0: smart production, sharp business and sustainable development*, Springer, Berlin 2020.
- [12] Paprocki W. *Koncepcja Przemysł 4.0 i jej zastosowanie w warunkach gospodarki cyfrowej*, [w:] J. Gajewski, W. Paprocki, J. Pieręgud (red.), *Cyfryzacja gospodarki i społeczeństwa. Szanse i wyzwania dla sektorów infrastrukturalnych*, „Europejski Kongres Finansowy”, Gdańsk 2016, s. 39–57.
- [13] Pollak A. (red.), *Przedsiębiorstwo 4.0., 360°. Rekomendacje dobrych praktyk*, Polsko-Niemiecka Izba Przemysłowo-Handlowa, Warszawa 2020.
- [14] Sala A., Punie Y., Garkov V., Cabrera Giraldez M., *LifeComp: The European Framework for Personal, Social and Learning to Learn Key Competence*, Publications Office of the European Union, Luxemburg 2020.
- [15] World Bank, *Paths of Productivity Growth in Poland: A Firm-Level Perspective*, World Bank, Washington, DC 2021.

- [16] Vinitha K., Prabhu R. A., Bhaskar R., Hariharan R., *Review on industrial mathematics and materials at Industry 1.0 to Industry 4.0*, „Materials Today: Proceedings” 2020, nr 33, s. 3956–3960.
- [17] Vuorikari R., Kluzer S., Punie Y., *DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens*, Publications Office of the European Union, Luxembourg 2022.
- [18] Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L., *Industry 4.0 and Industry 5.0 – Inception, conception and perception*, „Journal of Manufacturing Systems” 2021, nr 61, s. 530–535.



Paweł Wójcik, Elżbieta Olech\*, Maciej Kuboń\*\*, Dariusz Kwaśniewski\*, Sylwester Tabor\*

## 4. Ocena efektywności wdrożenia metody 5S w aspekcie zwiększenia konkurencyjności wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego

### 4.1. Wprowadzenie

Widoczny wzrost konkurencyjności na rynkach, a także rosnące wymagania klientów powodują, że o pozycji konkurencyjnej firm decydują elementy takie jak możliwość terminowej realizacji czy koszty produkcji [7, 13]. Wpływa to na ciągle poszukiwanie przez przedsiębiorstwa sposobów do zwiększenia efektywności. Należy to realizować w celu stałego sprawdzania, czy wyniki się zmieniają, a przede wszystkim w jakim stopniu oraz kierunku [12]. Produkcja odchudzona to zbiór rozwiązań systemowych tworzących kulturę, gdzie każdy ma możliwość wpłynięcia na doskonalenie procesów oraz produkcję. Lean Manufacturing (LM) daje możliwość stworzenia odchudzonego systemu zarządzania, który scala strategię, kulturę i wizję tak, aby dostarczyć do klienta najwyższą jakość po najniższej cenie oraz w jak najkrótszym czasie [15]. W produkcji takiej następuje skrócenie poszczególnych ogniw o połowę: połowa przestrzeni produkcyjnej, połowa wysiłku pracy ludzkiej, połowa czasu pracy inżynierów zajmujących się nowymi wyrobami, połowa zainwestowanych środków w narzędzia i oprzyrządowania, połowa czasu wdrażania nowych komponentów [6]. Ponadto wymaga ona zniwelowania zapasów, a w rezultacie prowadzi do zmniejszenia brakowości. Wbrew wszelkim pozorom produkcja odchudzona nie polega na eliminacji siły roboczej, ale na zwiększeniu wydajności przez redukcję kosztów i skrócenie czasu pomiędzy zamówieniem na detal a wysyłką do klienta [3, 7, 8].

Według Joanny Czerniej [2] przedsiębiorstwa, które wdrożyły LM są w stanie wyprodukować nawet dwa razy więcej wyrobów, jakość produktów jest dwukrotnie

---

\* Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków; pawel.wojcik@urk.edu.pl, elzbieta.olech@urk.edu.pl, maciej.kubon@urk.edu.pl, dariusz.kwasniewski@urk.edu.pl, sylwester.tabor@urk.edu.pl.

\*\* Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu, ul. Książąt Lubomirskich 6, 37-700 Przemysł.



wyższa i zostają wykonane w połowie zaplanowanego czasu oraz przestrzeni produkcyjnej. Poniesione koszty sięgają ½ budżetu wynikającego z planowania.

Tabela 1. Zarządzanie procesem produkcyjnym w sposób tradycyjny oraz z wykorzystaniem koncepcji Lean Manufacturing

<b>Tradycyjny sposób myślenia</b>	<b>Sposób myślenia wg koncepcji Lean Manufacturing</b>
Postęp jest możliwy dzięki zastosowaniu kompleksowych rozwiązań	Postęp jest możliwy dzięki zastosowaniu dużej liczby prostych rozwiązań
Rozrzutność i błędy występują w każdym systemie, więc ich obecność jest normalnym zjawiskiem	Rozrzutność i błędy są usuwane natychmiastowo
Pożądana wydajność i planowanie zadań ustalane są z góry. Pracownik nie ma możliwości wpłynięcia na nie	Wszelkie działania oraz plan produkcyjny są konsultowane ze wszystkimi pracownikami
Pracownik nie czuje się odpowiedzialny za koszty	Pracownik poczuwa się do odpowiedzialności za koszty
Plan produkcji oraz wydajność są ustalane odgórnie	Plan produkcji wraz z wydajnością jest ustalany z pracownikami
Szkolenia pracowników są doraźne	Pracownicy są szkoleni stale
Struktura organizacyjna jest rozbudowana	Struktura organizacyjna jest płaska
Występuje mała elastyczność	Występuje duża elastyczność
Poziom zapasów jest wysoki	Zapasy są małe

Źródło: opracowanie własne na podstawie [15].

Wdrożenie systemu LM w przedsiębiorstwie produkcyjnym umożliwia następujące osiągnięcia: skrócenie czasu realizacji zamówień, zmniejszenie ilości braków, skrócenie czasu realizacji zamówień, poprawienie produktywności, zmniejszenie zapasów [7, 10]. Według Kazimierza Ziemińciewicza [14] do głównych metod i narzędzi LM można zaliczyć: Kanban, Just-in-Time, Kaizen, 5S oraz Total Productive Maintenance (TPM) [11].

Metoda 5S odnosi się do pięciu japońskich słów opisujących podejście do zarządzania miejscem pracy i jego organizacji oraz zarządzania procesem tej pracy. Zmierza do podwyższenia wydajności przez eliminację strat, usprawnienie procesów produkcyjnych i redukcję procesów zbędnych. Metoda ta buduje poczucie odpowiedzialności pracownika za wszystkie procesy, czynności i rzeczy związane z jego miejscem pracy. Pierwsze trzy kroki 5S po prawidłowym zdefiniowaniu standardów pozwalają zidentyfikować wiele dotychczas niezauważalnych i ukrytych problemów w firmie. W węższym ujęciu metoda ta opisuje standardy utrzymania porządku w miejscu pracy [6, 9].

Standardem jest kryterium, które opisuje określone cechy w jasny, efektywny, przejrzysty i wizualny sposób. Wprowadzenie tych standardów ma ogromne znaczenie w systemie produkcji odchudzonej, ponieważ pozwala wręcz natychmiast zauważyć sytuacje odbiegające od normy i podjąć od razu działania korygujące [3]. Wg teorii zapoczątkowanej przez koncern Toyota niezbędnym elementem wdrażania LM jest wprowadzeniem standardów w tzw. 4M [3, 8]:

- czynnik ludzki (ang. *man/woman*),
- maszyny (ang. *machines*),
- materiały (ang. *materials*),
- metody (ang. *methods*).

Według Michała Gundlacha [3] wszelkie działania wdrożeniowe powinny zostać rozpoczęte od zapewnienia porządku i dyscypliny na stanowiskach pracy opartej na zasadzie 5S. Metoda ta stanowi fundament i powinna być odpowiednio wdrożona oraz kontrolowana.

5S jest metodą, która systematycznie angażuje cały zespół w organizowanie, rozwijanie, czyszczenie i podtrzymywanie produktywnego, bezpiecznego stanowiska pracy. Dzięki swojej prostocie 5S jest jednym z łatwiejszych narzędzi do wdrożenia systemu produkcji odchudzonej oraz stanowi bazę do ewentualnego wprowadzania pozostałych elementów. Bez wcześniejszego wprowadzonego tego narzędzia nie jest możliwe zastosowanie TPM (Całościowe Zarządzanie Utrzymaniem Ruchu) czy późniejszych działań Kaizen [3].

W literaturze można znaleźć jej wiele przykładów, które różnią się pomiędzy sobą nazewnictwem filarów, ale ich przesłanie jest jedno: należy zbudować solidne przedsiębiorstwo przez eliminację wypadków przy pracy, usterek czy awarii. Do poszczególnych filarów systemu TPM można zaliczyć [5, 6]:

1. Autonomiczne Utrzymanie Ruchu – operator wykazuje dużą samodzielność podczas pracy w zakresie utrzymania ruchu. Znajomość maszyn jest ciągle poszerzana. Pracownik może dokonywać drobnych prac regulacyjnych czy konserwacyjnych. Takie działanie wpływa na zmotywowanie operatorów oraz na zwiększenie ich kwalifikacji, a usterek są szybciej wychwytywane.
2. Ciągłe doskonalenie – występuje stała współpraca pomiędzy produkcją i Utrzymaniem Ruchu. Celem takich działań jest eliminacja wszelkich marnotrawstw powstałych w procesie produkcyjnym czy udoskonalenie codziennej pracy.
3. Planowanie Utrzymania Ruchu – działanie polega na zaplanowaniu działań konserwacyjnych, które są oparte na wymaganiach odnośnie do maszyn i monitorowaniu ich zużycia.
4. Wczesne planowanie konserwacji – czynność ta powinna być wykonana na tyle wcześnie, aby zminimalizować niebezpieczeństwo wystąpienia awarii wywołane przez zaniedbanie pracowników.

5. Zapewnienie i utrzymanie jakości – wyroby gotowe wyprodukowane przez przedsiębiorstwo powinny być monitorowane pod względem jakościowym w sposób ciągły.
6. Komunikacja międzywydziałowa – w administracji również powinny być stosowane zasady TPM. Działanie to poprawi procedury związane z realizacją zamówień, standaryzacją dokumentów oraz harmonogramowaniem.
7. Rozwój i szkolenie personelu – pracownicy powinni być szkoleni w sposób ciągły, aby mogli bez problemu przystąpić do drobnych napraw czy konserwacji na zadanej maszynie. Przedsiębiorstwo udostępnia im do tego specjalistyczne narzędzia.
8. Bezpieczeństwo i środowisko – odnosi się do bezpieczeństwa pracowników. Można tego dokonać przez eliminację ewentualnych zagrożeń dla zdrowia/życia oraz wpływu zaplecza technicznego na środowisko pracy [8].

Proces wdrożenia praktyk 5S powinien być pierwszym etapem udoskonalania przedsiębiorstwa, ponieważ metoda ta zwiększa świadomość w zakresie tworzenia produktywnego, pro jakościowego i ergonomicznego, przyjaznego ludziom środowiska pracy. Praktyki te uświadamiają pracownikom, czym jest Lean Manufacturing, i przygotowują ich na kolejne zmiany [7]. 5S sprawdza też zaangażowanie zarówno poszczególnych osób fizycznych, jak i kadry kierowniczej we wdrożenie produkcji odchudzonej [3].

Nazwa 5S stanowi akronim pięciu japońskich słów. Opisują one działalność wszystkich pracowników przedsiębiorstwa, której celem jest osiągnięcie wzorowego stanu harmonii, porządku, logiki, doskonałości i efektywności, zarówno w relacjach międzyludzkich, jak i w poszczególnych procesach [3].

Tabela 2. Terminologia japońska, angloamerykańska oraz polska (podana w dwóch różnych tłumaczeniach nazw japońskich)

Nazwa japońska	Nazwa angielska	Nazwa polska	
Seiri	Sort	Selekcja	Sortowanie
Seiton	Set (storage)	Systematyka	Porządkowanie
Seiso	Shine	Sprzątanie	Polerowanie
Seiketsu	Standarize	Standaryzacja	Schludność
Shitsuke	Sustain	Samodyscyplina	Podtrzymanie

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4].

Poniżej opisano wszystkie działalności (przedstawione w tabeli 2), jakie powinien podjąć pracownik, aby w sposób właściwy wdrożyć i kontrolować metodę 5S [3]:

1. Selekcja pierwszy krok dotyczy praktyki sortowania wszystkich przedmiotów (np. narzędzi, materiałów, urządzeń czy części), które znajdują się na stanowisku

- pracy. W miejscu pracy powinny znajdować się tylko i wyłącznie niezbędne elementy do prawidłowego wykonania powierzonych obowiązków. Na tym etapie pracownik pozbywa się niepotrzebnych rzeczy.
2. Systematyka – zgodnie z tym punktem pracownik zobowiązany jest do właściwego zorganizowania i uporządkowania swojego stanowiska pracy, aby wszelkie niezbędne narzędzia, materiały, urządzenia i części były łatwo dostępne. Muszą one również po użyciu wracać na swoje odpowiednio wyznaczone i oznaczone miejsce.
  3. Sprząatanie – miejsce pracy musi być czyste, a nawet wypolerowane. Dobrym rozwiązaniem jest sprząatanie całego stanowiska po każdej zmianie, a jeśli zajdzie taka potrzeba, to również w jej trakcie.
  4. Standaryzacja – podczas tego kroku należy wprowadzić praktyki standardowej pracy, aby selekcja, systematyka i sprząatanie były utrzymane.
  5. Samodyscyplina – podtrzymanie korzyści z wdrożenia pozostałych kroków 5S można uzyskać przez upoważnianie, zaangażowanie i dyscyplinę pracowników.

#### 4.2. Część zasadnicza

Głównym celem realizowanego badania była analiza w ujęciu teoretycznym i praktycznym praktyk 5S wraz z ich oceną pilotażowego wdrożenia w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym, a także ocena efektywności wdrożenia tej metody w aspekcie zwiększenia konkurencyjności przedsiębiorstwa na rynku.

Zakres działań obejmuje: omówienie metody 5S i wszystkich z nią związanych zagadnień, analizę barier wdrożenia w badanym przedsiębiorstwie metody 5S, wdrożenie metody 5S w badanym przedsiębiorstwie, przeprowadzenie audytu wewnętrznego metody 5S, przeprowadzenie badań pilotażowych wśród pracowników przedsiębiorstwa oraz analizę zebranych wyników.

Słaba komunikacja, autorytarny system zarządzania oraz nieprzyjazne środowisko pracy są największymi przeszkodami dla wdrożenia 5S. Nieuzasadnione jest stosowanie metod nakazu i przymusu podczas realizacji tej optymalizacji procesowej, ponieważ takie działania nie przyniosą oczekiwanych rezultatów. Dlatego wprowadzanie zmian należy rozpocząć od przeprowadzenia warsztatów w tym temacie dla całej kadry kierowniczej wraz z całym zarządem. Celem szkolenia jest zapoznanie pracowników z systemem produkcji odchudzonej, teorią oraz narzędziami, które można w niej spotkać. Pokazanie drogi do osiągnięcia celu, korzyści z prawidłowo wprowadzonego systemu stanowi najważniejszy element warsztatów. Kadra kierownicza musi okazywać pełne wsparcie dla projektu. Powinna również wyłonić zespół sterujący składający się z odpowiednich pracowników, którzy zostali odpowiednio doinformowani. Kolejnym punktem jest opracowanie harmonogramu wdrożenia wraz z wyborem miejsca działań pilotażowych [3].

Wybór obszaru pilotażowego, w którym zostaną utworzone pierwsze zespoły oraz rozpoczęty program 5S, musi zostać dokładnie przemyślany. Może nim być pojedyncze gniazdo produkcyjne bądź ich zestaw, linia lub cały wydział. W badanym przypadku obszarem będzie wydział montażu. Liczba osób objętych wdrożeniem uzależniona jest od wielkości zakładu pracy i liczby osób przeszkolonych (trenerów). Sugeruje się, że ta liczba nie powinna być większa niż kilkanaście osób. Wybrani pracownicy muszą przejść szkolenie pod okiem doświadczonych trenerów, którzy mają za zadanie przekazać im swoją wiedzę i umiejętności praktyczne na stanowiskach pracy. Następnym etapem jest rozpoczęcie działań wdrażania 5S zgodnie z ustalonym harmonogramem [3].

Według Michała Gundlacha [3], aby proces wdrażania przeszedł prawidłowo, należy zachować odpowiednią kolejność poszczególnych kroków według następującej sekwencji:

- selekcja,
- systematyka,
- sprzątanie,
- standaryzacja,
- samodyscyplina.

Niedopilnowanie reguły i metodyki właściwego wdrażania uniemożliwia osiągnięcie sukcesu. Metodologia programu 5S powinna być stopniowo przenoszona na kolejne zespoły pracowników oraz obszary. Zaleca się, aby system 5S poprzedzał wdrażanie niżej wymienionych systemów zarządzania jakością, np. ISO 14001:2004, ISO 9001:2000, HACCP. Działanie takie znacznie usprawnia i skraca proces ich wdrażania, dzięki czemu zredukowane są koszty uruchomienia [3].

Selekcja – zidentyfikowanie wszystkich przedmiotów, które znajdują się w obrębie danego miejsca pracy jest pierwszym krokiem podczas selekcji. Pracownik ma za zadanie zbadać ich przydatność i częstość użycia. Następnie musi bezzwłocznie wyeliminować niepotrzebne do bieżącej operacji rzeczy. Można do nich zaliczyć np.: przestarzałe części, nadmierne zapasy, niepotrzebne biurka, dokumenty, narzędzia, półki itp. Na stanowisku pracy powinien znajdować się jedynie niezbędny sprzęt w odpowiedniej ilości. Zbędne przedmioty oznacza się żółtymi metkami. Zawierają one wszelkie podstawowe informacje ułatwiające identyfikację: imię i nazwisko osoby, która założyła daną metkę, datę, pierwotną lokalizację przedmiotu oraz przyczynę metkowania. Oznaczone przedmioty zostają przeniesione do wyznaczonej strefy, gdzie kadra kierownicza oceni ich przydatność i wyda im ostateczną ocenę.

Systematyka – po zakończeniu etapu selekcji należy przystąpić do określenia sposobów na udoskonalenia miejsca pracy. Potrzebne przedmioty muszą znajdować się w miejscu ich użycia, aby minimalizować straty związane z nadmiernym ruchem albo szukaniem narzędzi. Po przeanalizowaniu procesu stwierdzono, że należy podzielić wszystkie operacje stanowiskowe na dwie: montaż i pakowanie. Montaż realizowany będzie na obszarach zaznaczonych strzałkami. Taki podział umożliwił

lepsze ulokowanie niezbędnych narzędzi, części, materiałów itp. Pod uwagę wzięto również kryteria częstotliwości użycia oraz kolejność użycia w procesie.

Kolejnym krokiem jest zaplanowanie kodu kolorów, który będzie obowiązywać na danej hali (początkowo), a w późniejszym czasie na całym terenie przedsiębiorstwa. Oszacowano potrzebę malowania, oznaczania na posadzce poszczególnych stanowisk, pól odkładczych, dróg transportowych itd.

Sprzątanie – w tym kroku należy dokładnie wyczyścić miejsce pracy, ponieważ pozbawione zakłóceń i czyste stanowisko zmniejsza ryzyko wystąpienia wszelkich wad detali czy zanieczyszczeń. Pozwala również na szybsze zauważenie przez pracownika sytuacji odbiegających od normy, np.:

- błędnego poziomu płynów,
- niewłaściwych nastaw parametrów,
- wibracji,
- wycieków oleju i smarów,
- problemów z jakością.

Na stanowisku pracy znalazła się mapa odpowiedzialności 5S z zaznaczonym obszarem i dokładnie określoną imienną odpowiedzialnością. Na jej podstawie został stworzony harmonogram, w którym określono zadania wraz z częstotliwością ich wykonywania.

Standaryzacja – na tym etapie należy wyeliminować różnorodność i preferencje pracowników oraz sformalizować najlepsze praktyki. Tworzone są procedury standardowej pracy, aby zachować usprawnienia uzyskane przez wdrożenie pierwszych trzech kroków 5S, tj. sortowania, systematyki i sprzątania. Bez tego etapu wprowadzone zmiany znikną wraz z rotacją pracowników lub z upływem czasu. Przez wprowadzenie dwóch poziomów standaryzacji: nawyku i zapobiegania możliwe jest poprawne wdrożenie czwartego S. 5S powinno stać się nawykiem. Aby tego dokonać, należy wprowadzić dyscyplinę i kontrolę wizualną, np. tablice narzędziowe.

Samodyscyplina – zrealizowanie wszystkich etapów nie oznacza zakończenia projektu wdrażania metody 5S. W rzeczywistości ostatnie „S” jest początkiem dalszej drogi. Na tym etapie pracownik powinien przyzwyczaić się do wprowadzonych standardów, aby miejsce pracy wyglądało tak już zawsze. Praca powinna być wykonywana na wysokim poziomie, pozbawiona wszelkiego marnotrawstwa związanego z szukaniem potrzebnych narzędzi, elementów. Pracownik dzięki standaryzacji stanowiska pracy popełnia mniej błędów [1].

W celu podtrzymania korzyści wynikających z wdrożenia trzech pierwszych etapów 5S należy zastosować standaryzację z modelem STARS (*Support, Time, Awareness, Reward and recognition, Structure*) [3]:

- wsparcie (ang. *Support*) – osoby decyzyjne powinny edukować i motywować podległych pracowników do prowadzenia określonych działań,

- czas (ang. *Time*) – należy zarezerwować czas na działania 5S. Można określić oczekiwania za pomocą harmonogramu wdrożenia tego systemu,
- świadomość (ang. *Awareness*) – najważniejsza jest komunikacja w przedsiębiorstwie. Użycie różnych sloganów, wystaw zdjęć przedstawiających stan „przed” i stan „po” wdrożeniu czy plakatów ułatwia przekazywanie informacji,
- nagroda i uznanie (ang. *Reward and recognition*) – osiągnięcia poszczególnych pracowników wymagają docenienia/uznania,
- struktura (ang. *Structure*) – należy określić dokładny czas i sposób wykonania czynności.

Podstawowym a zarazem niezbędnym elementem kultury przedsiębiorstwa powinno być ciągle doskonalenie wiedzy i umiejętności zatrudnionych pracowników. Stanowią oni bowiem największą wartość danej firmy, ponieważ tworzą wartość dodaną [3].

### 4.3. Przykłady wdrożeń

Japońskie firmy, które wprowadziły produkcję odchudzoną, zauważyły, że ok. 30% wszystkich problemów dostrzeżonych przez klientów związana jest z wynikami 5S [4]. W tabeli 3 przedstawiono korzyści, które można uzyskać dzięki wdrożeniu 5S w przedsiębiorstwie.

Tabela 3. Korzyści, które można uzyskać dzięki wdrożeniu 5S w przedsiębiorstwie

Lp.	Opis korzyści
1.	Brak wad powoduje wyższą jakość
2.	Brak opóźnień powoduje niezawodne, terminowe dostawy
3.	Brak strat powoduje niższe koszty
4.	Sprawne przezwojenia powodują zróżnicowanie asortymentowe przedsiębiorstwa
5.	Brak wypadków promuje bezpieczeństwo na stanowiskach pracy
6.	Brak skarg zwiększa pewność i zaufanie
7.	Brak awarii wpływa na lepszą dostępność sprzętu
8.	Dobra opinia wpływa na rozwój przedsiębiorstwa

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4].

1. Brak wad powoduje wyższą jakość – procesie produkcyjnym występuje wiele przyczyn nieprawidłowości. Większość z nich wynika z użycia niewłaściwych komponentów, narzędzi, materiałów i półproduktów. Właściwie wdrożona metoda 5S przeciwdziała popełnianiu takich błędów oraz znacznie minimalizuje ryzyko użycia poszczególnych części na skutek błędu. Uporządkowane



- i czyste przedsiębiorstwo produkuje mniej produktów wadliwych. Wpływa na to dbałość o park maszynowy i narzędzia, halę produkcyjną [3].
2. Brak opóźnień powoduje niezawodne, terminowe dostawy – przedsiębiorstwa bez wprowadzonej 5S produkują znacznie więcej defektów niż fabryki z wdrożoną metodą. Liczne braki wpływają na niedotrzymywanie terminów dostaw, ponieważ trzeba je poprawiać czy przerabiać, przez co firma traci cenny czas. Wprowadzenie 5S zmniejsza liczbę wad i tym samym zwiększa niezawodność tych dostaw [3].
  3. Brak strat powoduje niższe koszty – środowiska pracy, które zostały uporządkowane podczas wdrożenia 5S, działają w subtelny sposób i pozwalają lepiej dojrzeć, a następnie wyeliminować straty. W amerykańskiej literaturze można spotkać klasyfikację siedmiu strat [3]:
    - zbędny lub nadmierny transport ludzi, części i materiałów,
    - nadmierna ilość części, materiałów oraz produkcja w toku,
    - zbędne lub męczące ruchy, np. szukanie, pochylanie, wspinanie, obrót, ładowanie, rozładowywanie itp.,
    - oczekiwanie na niezbędne komponenty, materiały, decyzje lub serwis,
    - zbędne procesy, np. niepotrzebne zatwierdzenia, kroki, operacje,
    - produkcja ponad potrzeby, bez planu lub na zapas,
    - przerabianie produktów, które nie spełniają norm jakościowych.
  4. Sprawne przewożenia powodują zróżnicowanie asortymentowe przedsiębiorstwa – zdolności produkcyjne cechuje elastyczność pozwalająca wytwarzać różnorodne modele wyrobów na tych samych liniach produkcyjnych, przez co firma może sprawnie reagować na ciągle zmieniające się potrzeby konsumentów. Przedsiębiorstwa również muszą przystosowywać się do zmian sygnałów rynkowych. W tym celu należy zakładowo i park maszynowy zoptymalizować, aby można było wytwarzać różne typy produktów, a czas przezbrajania był bliski zeru [3]. Kluczowym czynnikiem dla zaplanowania działań szybkiego przezbrajania jest wdrożenie metody 5S. Stanowi ona zespołowy proces redukcji czasu przeznaczanego na przezbrajanie maszyn. Zwiększa się za to czas przeznaczony na produkcję, co wpływa na wielkość partii produkcyjnych, ilości zapasów gotowego wyrobu oraz zmniejszenie całkowitego czasu od momentu złożenia zlecenia aż do realizacji dostawy. Efektem takiego działania jest obniżenie kosztów produkcji [3].
  5. Brak wypadków promuje bezpieczeństwo na stanowiskach pracy – na częste występowanie wypadków podczas pracy wpływa stanowisko, które jest utrzymane w bałaganie. Posprzątanie oraz uporządkowanie wszystkich niezbędnych elementów wyposażenia spowoduje zwiększenie ochrony zdrowia i życia pracowników czy innych osób przebywających na terenie zakładu. Jeden z etapów 5S zaleca, aby pozostawiać narzędzia, części i materiały we właściwych miej-



sach. Ponadto przeciwdziała wypadkom związanym z pracą maszyn w ruchu dzięki odpowiedniemu oznakowaniu [3].

6. Brak skarg zwiększa pewność i zaufanie – przedsiębiorstwa po wdrożeniu metody 5S produkują produkty lepsze jakościowo. Zgodne są one z zamówieniami klienta, dzięki czemu zwiększa się zadowolenie odbiorców i zmniejsza liczba reklamacji [3].
7. Brak awarii wpływa na lepszą dostępność sprzętu – zapewnienie dyscypliny i porządku w miejscach pracy jest niezbędnym elementem, aby móc włączyć wszystkie jednostki organizacyjne przedsiębiorstwa w działania usprawniające funkcjonowanie całego parku maszynowego. Dobrze utrzymane i przede wszystkim czyste maszyny rzadko ulegają awariom, a w przypadku wystąpienia nieoczekiwanej przerwy w pracy operator czy pracownik Działu Utrzymania Ruchu jest w stanie łatwiej zdiagnozować i naprawić sprzęt. W środowisku pracy są również w stanie szybciej zauważyć niecodzienne dzianie maszyn i urządzeń, np. nietypowe dźwięki [3].
8. Dobra opinia wpływa na rozwój przedsiębiorstwa – zaufanie klientów jest istotnym czynnikiem rozwoju przedsiębiorstwa. Wszystkie działania podjęte podczas wdrażania i realizacji metody 5S mają na celu zaspokajanie potrzeb klienta, przez co dana firma staje się bardziej konkurencyjna na rynku [3].

Opór ze strony pracowników jest jedną z największych barier podczas wdrażania 5S. Twierdzą oni, że metoda ta jest stratą czasu. Ludzie z natury boją się zmian i nie są chętni do wprowadzania zmian wymagających nawet minimalnych nakładów ich pracy. Zmiana myślenia jest podstawowym wyzwaniem, z którym należy się zmierzyć, aby w sposób prawidłowy wdrożyć produkcję odchudzoną. Działania mające za cel przeciwdziałać problemom i doskonalić produkty stanowią podejście procesowe, które jest pożądane przez firmy sprawdzające się tylko w „gaszeniu pożarów” czy „reagowaniu na awarię” [3].

Wdrożenie podstawowego narzędzia LM, jakim jest metoda 5S, daje przedsiębiorstwu efekty w postaci zbudowania pierwszej struktury produkcji odchudzonej, np. koordynatorów, liderów, zespołów, grup wsparcia składających się z pracowników różnych szczebli organizacji. Osoby te poznają filozofię ciągłego doskonalenia i będą członkami grup, które zostaną powołane do wprowadzania kolejnych narzędzi [3, 7].

#### **4.4. Wyniki badań pilotażowego wdrożenia 5S w przedsiębiorstwie**

Badane przedsiębiorstwo jest jednym z liderów producentów armatury instalacyjnej oraz baterii sanitarnych, kuchennych. Fabryka mieści się w Polsce i zajmuje się również wykonywaniem różnego rodzaju węży podłączeniowych czy głośników prysznicowych. Firma rozpoczęła wdrażanie metody 5S w czerwcu bieżącego roku. Kaizen po raz pierwszy został wprowadzony przez zewnętrznego eksperta

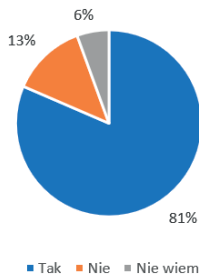
ds. ciągłego doskonalenia. Towarzyszyła mu grupa przeszkolonych pracowników badanego zakładu pracy. Warsztat dotyczył wprowadzenia metody 5S na wydział montażu i obejmował wszystkie stanowiska znajdujące się na hali.

Po wdrożeniu 5S przeprowadzono ankietę, która miała na celu zbadać, jak postrzegane są zmiany i czy pracownicy mają jakieś uwagi odnośnie do tych zmian. Pytania zadano łącznie 54 osobom: 37 monterom, 6 magazynierom, 4 remontowcom i 7 pracownikom biurowym:

- 37 osób zatrudnionych było na stanowisku monter armatury w składzie 32 kobiety i 5 mężczyzn,
- 6 osób pracowało jako magazynierzy,
- 4 osoby odpowiedzialne były za utrzymanie ruchu,
- pozostali to pracownicy biurowi.

Przeprowadzone badania pokazały, iż zdecydowana większość pracowników nastawiona była pozytywnie do zmian wprowadzonych w ramach metod 5S, chociaż na tym etapie implementacji część pracowników nie do końca jeszcze rozumiała implikacje związane ze stosowaniem omawianej metodologii. Pracownicy w sposób jasny i oczywisty obserwowali korzyści płynące z uporządkowania i usystematyzowania ich stanowisk pracy i otoczenia, wyrażające się wzrostem produktywności i ogólnego zadowolenia z ergonomii stanowiska pracy, na co wskazują wyniki ankiety w punkcie 10, a także 11.

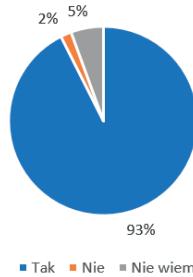
Czy uważa Pan/i, że wdrożenie metody 5S wpłynęło pozytywnie na organizację pracy w firmie?



Rysunek 1. Udział poszczególnych odpowiedzi w pytaniu nr 10

Źródło: opracowanie własne.

Czy uważa Pan/i, że wdrożenie metody 5S jest przydatne i ułatwia Pana/i pracę?

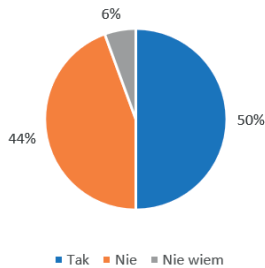


Rysunek 2. Udział poszczególnych odpowiedzi w pytaniu nr 11

Źródło: opracowanie własne.

Widoczne jednakże jest jednocześnie niezadowolenie sporej części grupy ankietowanej w związku ze zmianami w charakterystyce pracy, które zostały odebrane przez pracowników negatywnie, jako komplikujące i zwiększające zakres czynności koniecznych do wykonania w dniu roboczym o czynności wymagane do utrzymania należytego poziomu standardu 5S, co wyrażone jest w punkcie 8 ankiety.

Czy przedstawione oczekiwania wobec Pan/i zwiększają satysfakcję z pracy?



Rysunek 3. Udział poszczególnych odpowiedzi w pytaniu nr 8

Źródło: opracowanie własne.

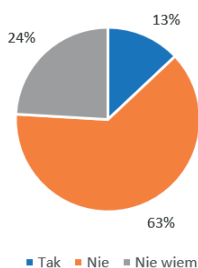
Należy także zaobserwować, iż z punktu widzenia pracowników tak naprawdę wszystkich szczebli trudno określić i zauważyć dalekosiężne, strategiczne dla firmy zmiany oraz wiążące się z nimi zyski przez zwiększenie produktywności i ograniczenie kosztów związanych z występowaniem szeregu niekorzystnych zjawisk, takich jak:

- nadmierny transport wewnętrzny,

- nadmierna ilość zasobów czasowych i ludzkich poświęconych na prace organizacyjne, porządkowe, wykonywane doraźnie, jak to ma miejsce w zakładach bez wprowadzonej metodologii 5S,
- mikro przestoje powiązane z niewykryciem braku półfabrykatów, surowców, narzędzi na czas,
- występowanie nadmiernego „jeziora zasobów” generującego koszty magazynowania.

Na powyższe zjawiska wskazują wyniki z ankiety w punktach 9, 12 i 14 oraz dobitnie w punkcie 13, wskazującym na bardzo niskie zaangażowanie w implementację systemu 5S w zakładzie przez osoby na stanowiskach funkcyjnych, takich jak np. leader, brygadzista czy kierownik.

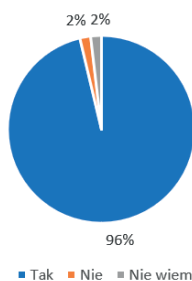
Czy uważa Pan/i, że wdrożenie metody 5S w firmie zwiększyła prestiż przedsiębiorstwa?



Rysunek 4. Udział poszczególnych odpowiedzi w pytaniu nr 9

Źródło: opracowanie własne.

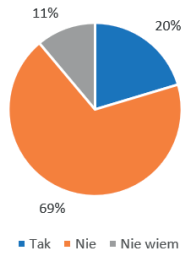
Czy uważa Pan/i, że wszyscy pracownicy stosują się do zaleceń 5S?



Rysunek 5. Udział poszczególnych odpowiedzi w pytaniu nr 12

Źródło: opracowanie własne.

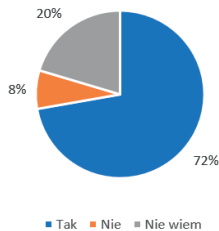
Czy Pana/i przełożeni wspierają w realizacji zasad 5S?



Rysunek 6. Udział poszczególnych odpowiedzi w pytaniu nr 13

Źródło: opracowanie własne.

Czy uważa Pan/i, że wdrożenie metody 5S było konieczne?

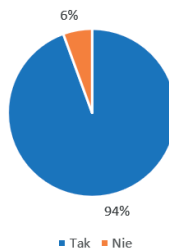


Rysunek 7. Udział poszczególnych odpowiedzi w pytaniu nr 14

Źródło: opracowanie własne.

Za ostatni wniosek, na podstawie punktów 5, 6 i 7 ankiety, można uznać, iż proces implementacji metod 5S został przeprowadzony poprawnie i w sposób zrozumiały dla większości pracowników, a osoby te mają swobodny dostęp do materiałów instruktażowych, dokumentacji oraz niezbędnych akcesoriów powiązanych z wdrożeniem i utrzymaniem standardu na poszczególnych stanowiskach i w działach.

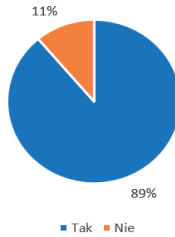
Czy został/a Pan/i przeszkolony/a z zakresu 5S?



Rysunek 8. Udział poszczególnych odpowiedzi w pytaniu nr 5

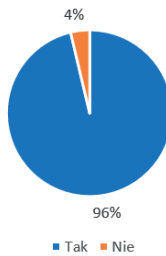
Źródło: opracowanie własne.

Jeśli tak, to: Czy treść szkolenia była przekazana w sposób jasny i zrozumiały dla Pan/i?



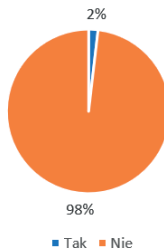
Rysunek 9. Udział poszczególnych odpowiedzi w pytaniu nr 6  
Źródło: opracowanie własne.

Czy napotyka Pan/i problem z otrzymywaniem niezbędnych informacji dotyczących 5S po przeprowadzonym szkoleniu?



Rysunek 10. Udział poszczególnych odpowiedzi w pytaniu nr 7  
Źródło: opracowanie własne.

Czy ma Pan/i jakieś pomysły odnośnie wprowadzenia nowych udogodnień z zakresu 5S?



Rysunek 11. Udział poszczególnych odpowiedzi w pytaniu nr 15  
Źródło: opracowanie własne.

Wyniki badania pilotażowego zostały przedstawione zarządowi, który po analizie poszczególnych punktów określił niezbędne wyzwania do realizacji, aby metoda 5S funkcjonowała poprawnie i była respektowana przez wszystkie szczeble struktury organizacyjnej danego przedsiębiorstwa.

#### 4.5. Podsumowanie

Metoda 5S jest nisko kosztowym podejściem, które daje możliwość stworzyć efektywne a zarazem bezpieczne miejsce pracy. Wdrożenie tego narzędzia niesie ze sobą wiele korzyści dla przedsiębiorstwa. Nie tylko pozwala na uporządkowanie stanowiska pracy, ale przede wszystkim skutecznie eliminuje kluczowe przyczyny niskiej produktywności oraz złej jakości. Stanowi fundament do dalszego wprowadzania kolejnych narzędzi LM czy skutecznego systemu zapewniającego jakość na wysokim poziomie.

Wdrożenie metody 5S wymaga pełnego zaangażowania wszystkich biorących udział w procesach zachodzących w przedsiębiorstwie. Ważny jest również nawyk, który przyczyni się do utrzymania samodyscypliny. Bez niego wdrożenie nie zakończy się sukcesem. Proces wdrażania metody 5S był bardzo jasno zakomunikowany i poprzedzony szkoleniem przeprowadzonym dla całej załogi. Informacje przekazywano w sposób jasny i zrozumiały. Po szkoleniach pracownicy nie mieli problemów z otrzymaniem niezbędnej pomocy z omówionego zakresu. Należy jednak zaznaczyć, że w przedsiębiorstwie następuje duża rotacja pracowników niższych szczebli ze względu na charakter produkcji. Nowozatrudnieni wdrażani są w najważniejsze zagadnienia metody 5S, ale nie wszyscy uczestniczyli w pełni podczas optymalizacji oraz nie do końca świadomi są, jakie poszczególne elementy charakteryzują daną metodę.

Pozytywne zmiany zarówno podczas wdrażania metody 5S, jak i po jej wprowadzeniu nie zachodziły tylko w kontekście organizacji stanowiska pracy, ale również dotyczyły się samych pracowników. Polepszenie komunikacji oraz zaangażowania osób decyzyjnych pozwoliło na bardziej spójną i efektywną pracę zespołów roboczych. Dzięki utrzymaniu należytej czystości maszyn i urządzeń na stanowiskach pracy poprawiło się bezpieczeństwo, usprawniono procesy produkcyjne oraz wyeliminowano marnotrawstwa. Pracownicy w przeprowadzonej ankiecie przyznali, że wdrożenie metody 5S było konieczne, i ocenili zmiany po jej wdrożeniu jako pozytywne. Według nich stosowanie się do przyjętych zasad wpłynie pozytywnie na wizerunek przedsiębiorstwa.

Otoczenie, w którym funkcjonują współczesne przedsiębiorstwa, charakteryzuje się ciągłymi zmianami. Aby utrzymać swoją pozycję lub ją zwiększyć, firmy starają się dostosować do panujących warunków oraz coraz bardziej doskonalić. Sytuacje te w znacznym stopniu kształtują środowisko konkurencji i klientów, które

pośrednio wpływa na zmiany zachodzące w przedsiębiorstwie. Dopracowanie wraz z rozbudową logistyki umożliwi zdobycie przewagi na rynku. Zastosowanie metody 5S w tym sektorze okazało się pomocne dzięki wdrożeniu wszystkich jej elementów składowych.

## Bibliografia

- [1] Bednarz K., Talaga M., *Pięć kroków 5S dla lepszych warunków pracy*, 2012, <https://leancenter.pl/bazawiedzy/piec-krokow-5s> [dostęp: 14.12.2023].
- [2] Czerska J., *Lean concept as modern company transformation approach*, materiały szkoleniowe, Wrocław 2021.
- [3] Gundlach M., *Praktyki 5S jako pierwszy krok do wdrożenia produkcji odchudzonej w przedsiębiorstwie produkcyjnym*. „Rozwinięcie teorii 6S”, „Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej” 2009, t. 45, s. 19–40.
- [4] Hirano H., *5S for operators: 5 Pillars of the Visual Workplace*, Productivity Press, Nowy York 1996.
- [5] Lubera D., *Poznaj Total Productive Maintenance (TPM), czyli sposób na bezpieczne i efektywne Utrzymanie Ruchu*, 2022, <https://www.astor.com.pl/biznes-i-produkcja/poznaj-total-productive-maintenance-tpm-czyli-sposob-na-bezpieczne-i-efektywne-utrzymanie-ruchu> [dostęp: 14.12.2023].
- [6] Karwasz A., Rewers P., Chrzanowska A., Chwacinska N., *Increasing the Efficiency of Furniture Production – Case Study*, „Management and Production Engineering Review” 2023, t. 14, nr 3, s. 77–81.
- [7] Kisiel P., *Koncepcja wdrożenia wybranych metod lean production w przedsiębiorstwie produkcyjnym*, „Autobusy” 2017, t. 6, s. 1410–1414.
- [8] Krawczuk A., Kocira S., *Ocena wdrażania metody 5S w przedsiębiorstwie. Studium przypadku*, „Towaroznawcze Problemy Jakości” 2016, t. 3, nr 48, s. 31–40.
- [9] Predoń B., Raszka A., *Dlaczego program 5S czasem nie działa?*, „Problemy Jakości” 2010, t. 5, s. 12–16.
- [10] Sosnowski R., *Wdrażanie nowoczesnych systemów i narzędzi zarządzania procesami technologicznym*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
- [11] Tomaszewska K., *Comparative Simulation of the Production Flow with the Implementation of Kanban and DBR*, „Management and Production Engineering Review” 2023, t. 14, nr 2, s. 79–87.
- [12] Więcek D., Więcek D., Dulina L., *Materials requirement planning with the use of activity based costing*, „Management Systems in Production Engineering” 2020, t. 28, nr 1, s. 3–8.



- [13] Wojtarowicz J., Burduk A., Kryłowicz D., *Optymalizacja procesów produkcyjnych z wykorzystaniem narzędzi Lean na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego* [w:], *Inżynieria zarządzania. Cyfryzacja produkcji. Aktualności badawcze 4*, red. R. Knosala, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2022.
- [14] Zimniewicz K., *Współczesne koncepcje i metody zarządzania*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2009.
- [15] Zhang Q., Hu Y., Mu R., Zhang L., *Measurement of sustainable development index in China's manufacturing industry based on Er-xiang Dual theory*, „Alexandria Engineering Journal” 2021, t. 60, nr 6, s. 5897–5908.

**SYSTEMY LOGISTYCZNE  
W INŻYNIERII PRODUKCJI**



Sebastian Skuza, Maciej Kuboń<sup>\*,\*\*</sup>, Urszula Malaga-Toboła<sup>\*</sup>,  
Dariusz Kwaśniewski<sup>\*</sup>, Sylwester Tabor<sup>\*</sup>, Elżbieta Olech<sup>\*</sup>,  
Karolina Furyk-Grabowska<sup>\*\*</sup>

## 5. Ocena efektywności oraz ryzyka w wybranych łańcuchach dostaw

### 5.1. Wprowadzenie

Przedsiębiorstwa, konkurując na rynku, poszukują coraz to nowych koncepcji i sposobów obniżki kosztów działalności oraz wzrostu elastyczności działania. Wzrost elastyczności przedsiębiorstw, zarówno w aspekcie czasu reakcji na bieżące potrzeby rynku, jak i realizacji ambitnych planów wdrażania innowacji produktowych, nie jest możliwy bez postępującego procesu integracji łańcucha dostaw. Procesy zaopatrzenia ewaluowały przez ostatnie dziesięciolecia od prostego pokrycia potrzeb materiałowych aż po budowę ścisłej (często strategicznej) współpracy z dostawcami. Wspólne działania partnerów w łańcuchu dostaw przyjmują najróżniejsze postacie: od umów ramowych w zakresie zaopatrzenia, wspólnego prognozowania i planowania, koncentracji zapasu zabezpieczającego, aż po współpracę w dziedzinie projektowania i wdrażania nowych wyrobów oraz ich kluczowych modułów do produkcji [5, 10].

Przedsiębiorstwa, które prowadzą działalność międzynarodową, z uwagi na złożoność transakcji handlowych coraz częściej narażone są na negatywne konsekwencje istniejących zagrożeń niewystępujących już wyłącznie w otoczeniu lokalnym. Firmy, aby przeciwdziałać takim sytuacjom, muszą dokonać analizy ryzyka występującego w ich łańcuchu dostaw oraz opracować odpowiednie metody zarządzania nim w postaci zapobiegania oraz łagodzenia ewentualnych skutków [8, 15].

Łańcuch dostaw jest swoistą strukturą organizacyjną. Tworzą go niezależne podmioty gospodarcze, a przy głębszym wnikięciu w strukturę także przedsiębiorstwa, ich oddziały i filie należące do jednego właściciela. Wyróżnikiem

---

\* Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, ul. Balicka 116 b, 30-149 Kraków; maciej.kubon@urk.edu.pl, urszula.malaga-tobola@urk.edu.pl, dariusz.kwasniewski@urk.edu.pl, sylwester.tabor@urk.edu.pl, elzbieta.olech@urk.edu.pl, karolina.furyk-grabowska@urk.edu.pl.

\*\* Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu, Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Instytut Nauk Technicznych, ul. Książąt Lubomirskich 6, 37-700 Przemysł; mkubon@pansp.pl.

elementów (ogniw) układających się w łańcuchach dostaw jest następstwo czasowe i przestrzenne dotyczące wytwarzania i przemieszczania wyrobu od miejsca występowania surowców niezbędnych do jego wytworzenia do miejsca, w którym wymagane jest zaspokojenie popytu na tenże wyrób. Występują różnorodne co do celu działania i konfiguracji łańcuchy logistyczne o zróżnicowanym stopniu złożoności, symetrii i zasięgu, co powoduje, że w wielu przypadkach mamy do czynienia nie z prostym łańcuchem, a rozbudowaną siecią dostaw, które traktuje przepływ surowców, produktów i informacji w sposób często odmienny od działań podejmowanych z punktu widzenia przedsiębiorstwa, które jest jedynie jednym z kilku jego ogniw [2, 3].

O funkcjonowaniu łańcucha dostaw w dużym stopniu decyduje postać, jakość i dostępność informacji, wykorzystywanej zarówno do walki konkurencyjnej wewnątrz łańcucha dostaw, jak i w ramach integracji partnerów handlowych. Aby łańcuch dostaw mógł efektywnie reagować na popyt i utrzymywać wysoki poziom obsługi przy relatywnie niskich kosztach, konieczna jest wielokierunkowa wymiana informacji między wszystkimi jego ogniwami. W górę łańcucha dostaw płynąć powinny przede wszystkim zamówienia i reklamacje, natomiast w dół – awiza wysyłki i faktury. Łańcuch dostaw potrzebuje również stałego dostępu do informacji, umożliwiających szybko i prawidłową reakcję w odniesieniu do potrzeb rynku. Dlatego między ogniwami powinny przepływać m.in. informacje na temat wyników sprzedaży, wielkości zapasów u odbiorców i dostawców, plany produkcji, zamówienia i ich statusy, faktury oraz przygotowywane promocje i modyfikacje produktu [5].

Wobec powszechnego dążenia do minimalizacji zagrożeń dla współczesnych łańcuchów logistycznych kluczowa okazuje się być eliminacja zagrożeń nie tylko dla ogniw samego łańcucha, ale dla całego systemu logistycznego. Odnosi się to zarówno do pojedynczego systemu logistycznego każdego zaangażowanego podmiotu, jak i w ujęciu kompleksowym do całej grupy podmiotów tworzących dany łańcuch. Istotne przy tym jest, że zagrożenia dla bezpieczeństwa w systemach logistycznych mogą być skierowane na zewnątrz i do wewnątrz. Do zagrożeń bezpieczeństwa w systemach logistycznych należą wszelkie działania (zjawiska, zdarzenia) zakłócające realizację procesów logistycznych, do których zalicza się przepływy dóbr rzeczowych, utrzymanie zapasów, infrastrukturę strumienia logistycznego, koszty logistyczne oraz przepływ informacji [12, 19]. Zdarzenia te mogą występować pojedynczo lub łącznie, tworząc sytuację niebezpieczną dla systemu gospodarczego i wszystkich uczestników łańcuchów logistycznych. W ujęciu ogólnym zagrożenia dla funkcjonowania systemów logistycznych, w tym także dla łańcuchów logistycznych, można podzielić na cztery grupy [6]: klęski żywiołowe i zdarzenia wywołane przyczynami cywilizacyjnymi, takie jak awarie, katastrofy, inne zdarzenia spowodowane zaniedbaniem pracowników; terroryzm, nielegalne demonstracje, konflikty na tle etnicznym oraz pozostałe zdarzenia godzące w porządek konstytucyjny państwa; mechanizmy, które mają na celu niszczenie

bądź zniekształcenie informacji przesyłanej, przetwarzanej, przechowywanej dla potrzeb systemów logistycznych; zagrożenia pochodzące ze skutków kryzysu finansowego [7, 9].

Pomimo obfitości opracowań dotyczących analizy ryzyka, na jakie narażone są przedsiębiorstwa, wciąż spotykane są sytuacje, w których firmy nie zauważają istniejących zagrożeń. Co więcej, mniej niż połowa przedsiębiorstw posiada dojrzałe łańcuchy dostaw, czyli takie, w ramach których dokonywana jest identyfikacja oraz analiza ryzyka, a następnie aktywnie wykorzystywane są różne metody i procesy zarządzania potencjalnym ryzykiem. Wśród głównych czynników sprzyjających minimalizowaniu ryzyka wymienia się systemowe metody zarządzania ryzykiem (jak Toyota Production System, Total Quality Management, Just-in-Time), zawieranie szczegółowych kontraktów czy też budowanie zaufania przez relacje nieformalne. Przedsiębiorstwa działające we współczesnej gospodarce mogą spotykać się z różnym poziomem ryzyka w zależności od tego, czy mają do czynienia z dostawcą lub klientem z rynku krajowego czy też zagranicznego. Mając świadomość dotyczącą poziomu ryzyka w kontaktach z tymi podmiotami oraz posiadając wiedzę na temat najczęściej spotykanych zagrożeń dla łańcucha dostaw, przedsiębiorstwa mogą podjąć stosowne kroki na rzecz minimalizacji zidentyfikowanego ryzyka [1, 17].

## 5.2. Cel, zakres i pracy

Celem pracy była ocena efektywności łańcuchów dostaw oraz analiza ryzyka występującego w nich na bazie wybranych dostaw podstawowych komponentów do produkcji. Zakresem pracy objęto proces dostaw – w ramach 3 łańcuchów – trzech towarów sprowadzanych z Chin, USA oraz Niemiec do przedsiębiorstwa zajmującego się produkcją oraz dystrybucją towarów:

- **łańcuch 1** – z Chin drogą morską wspomagany transportem lądowym,
- **łańcuch 2** – z USA transportem lotniczym wspomagany transportem lądowym,
- **łańcuch 3** – z Niemiec drogą lądową.

Zamówienia realizowane były przez dział logistyczny znajdujący się w centrum produkcyjno-magazynowym, który odpowiedzialny jest za logistykę zaopatrzenia, magazynową oraz dystrybucyjną.

## 5.3. Charakterystyka sprowadzanych towarów

Przedstawione komponenty mają duże znaczenie w procesie produkcyjnym, gdyż w przypadku ich braku produkcja końcowych towarów jest niewykonalna. Aktualnie nie jest możliwe zastąpienie ich przez inny komponent ze względu na

recepturę produkcyjną określającą jasno parametry techniczne danego komponentu. Przedsiębiorstwa produkujące towary/komponenty posiadają patenty oraz specjalne technologie, co uniemożliwia ich kopiowanie.

Pierwszy komponent wykorzystywany jest w procesie produkcyjnym aerozoli z działu chemii technicznej. Produkt ten swoją uniwersalność zawdzięcza temu, że może być stosowany do różnych produkcji z zastosowaniem różnorodnych mediów. Komponent nazywany z języka angielskiego *bag on valve* oznacza worek z zaworem. Produkowany jest w Chinach, do wyboru z zamknięciem typu męskiego bądź żeńskiego w zależności od potrzeb zastosowania nasadki spryskującej. Minimalna ilość realizowanego zamówienia przez producenta w Chinach to 50 tys. sztuk, z uwagi na koszty transportu firma „XYZ” zamawia średnio 100–150 tys. worków w celu zmniejszenia częstotliwości dostaw.

Drugi komponent wykorzystywany jest jako jeden ze składników do produkcji aerozolu mającego zapewnić mniejsze zużycie danego przedmiotu przez naniesienie warstwy ochronnej i zapewnienie obniżenia współczynnika tarcia. Komponent ten nazywany jest Cerflonem należy on do fluoropolimerów wzmocnionych ceramiką (PTFE). Produkt wytwarza się w Stanach Zjednoczonych, następnie rozlewa do opakowań: 1000 litrowych mauzerów, 200 litrowych beczek oraz 20 litrowych wiader. Ze względu na jego krótki okres trwałości po otwarciu oraz niewielki procent zużycia w procesie produkcyjnym zamawiany jest w wiadrach 20 litrowych. Ostatnim komponentem jest klej żywiczny dwuskładnikowy nazywanym „płynnym metalem”. Zamknięty jest w strzykawce 25 ml, na którą zakłada się specjalny mikser ułatwiający mieszanie dwóch składników w momencie ich wyciskania. Żywica dwuskładnikowa dzięki zastosowanej kompozycji składników o wysokiej jakości charakteryzuje się właściwościami podobnymi do metalu. Komponent produkowany jest w Niemczech, pakowany w opakowanie zbiorcze zawierające 250 jednostek. W przedsiębiorstwie w procesie technologicznym wykorzystywanych jest jednorazowo 250 sztuk komponentu. Możliwy jest również zakup produktu w większych opakowaniach, np. kilogramowych, pakowanych osobno jako składnik A i B.

#### **5.4. Analiza łańcucha dostaw morskich z Chin – łańcuch nr 1**

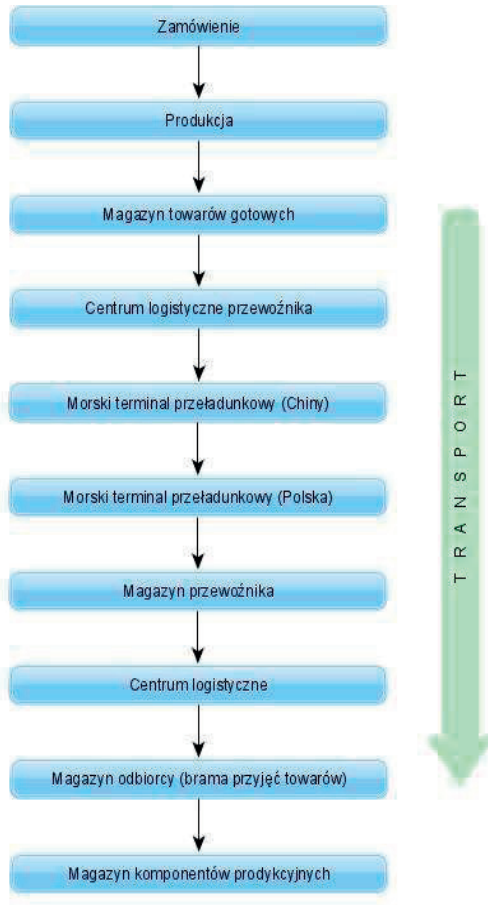
Łańcuch dostaw zaczyna się w momencie złożenia zamówienia na towar *bag on valve* (BOV) do chińskiego przedsiębiorstwa Changzhou. Podczas tego zamówienia wymieniane są informacje oraz dokumenty drogą e-mailową w celu domknięcia jego realizacji. Odbiorca, opierając się na swoim doświadczeniu, jakie nabył, importując towary z Chin, postawił na współpracę z przewoźnikiem DB Schenker. Firma ta zapewnia ofertę kompleksową, zapewniając dostawy pełnokontenerowe (FCL),

jak i przewóz ładunku drobnicowego (LCL) *door-to-door* od nadawcy do odbiorcy. Okres oczekiwania na towar od momentu zapłaty proformy wynosi ok. 35 dni. W momencie otrzymania informacji o tym, że towar został wyprodukowany oraz zapakowany, producent organizuje jego przewóz do portu w Szanghaju, skąd wyruszy w dalszą drogę do portu w Gdańsku. Przewóz realizowany jest na wcześniej ustalonych warunkach FOB. Osoba odpowiedzialna za zamawianie towarów w firmie „XYZ” prosi przewoźnika przez swojego opiekuna drogą elektroniczną o jak najszybszy kontakt z producentem w celu zapewnienia miejsca na statku dla zamówionego towaru. Wspomniane wcześniej warunki FOB (*Free on Board*) dzielą obowiązki związane kosztami oraz odpowiedzialnością za towar pomiędzy sprzedającego a kupującego. Po stronie producenta należy zabezpieczenie oraz przygotowanie towaru do transportu z fabryki do portu, a następnie odprawa celno-eksportowa wraz z załadunkiem towaru na statek. Przygotowane dokumenty wysyłane są kurierem oraz przekazywane drogą elektroniczną. Statek czeka na pełny załadunek i nie wypłyne, dopóki nie zapełni ładowni, z reguły trwa to ok. 2 tygodnie, ale czas ten może ulec zmianie. Transport morski z portu w Chinach do portu w Polsce trwa ok. miesiąc. W trakcie rejsu należy przedstawić wszelkie otrzymane dokumenty do agencji celnej wraz z tłumaczeniem faktury za towar. Na tej podstawie odbędzie się odprawa celno-skarbowa mająca na celu określenie, do jakiej grupy należy towar i jakie cło i VAT należy zapłacić.

Określenie stawek celnych możliwe jest dzięki Informacyjnemu Systemowi Zintegrowanej Taryfy Celnej ISZTAR4 utrzymywanej przez Departament Cł Ministerstwa Finansów. Towar rozładowany w porcie gotowy na odprawę celną po wystawieniu odpowiednich dokumentów, opłaceniu cła oraz VAT-u (w tym przypadku opłata za VAT jest odraczana w czasie, gdyż firma korzysta z procedury uproszczonej zgodnie z art. 33a ustawy o VAT) jest zwalniany i przekazywany przewoźnikowi, który odpowiada za dalszy jego transport. Odbiorca dostaje informację o planowanej dostawie przez awizację przesyłki, po jej potwierdzeniu towar trafia do centrum logistycznego, gdzie w przypadku dostawy (LCL) zostaje spaletyzowany (ułożony na palecie jednorazowej oraz zabezpieczony folią stretch), a następnie załadowany na środek transportu kołowego zmierzającego bezpośrednio do odbiorcy.

Towar po dostawie jest sprawdzany przez magazyniera zgodnie z dokumentami, jakie otrzymała firma zamawiająca. W przypadku braku uwag kurier otrzymuje podpisany list przewozowy, który stanowi tym samym potwierdzenie wykonania usługi transportowej. W następnej kolejności firma kurierska przesyła faktury za wszystkie czynności, jakie były realizowane w łańcuchu dostaw. Pracownik magazynu posiadający wszystkie dokumenty przyjmuje towar na magazyn, powiększając jego wartość o wszystkie faktury związane z transportem. Towar ten docelowo trafia na część magazynu komponentów, z którego korzysta produkcja. Uproszczony proces łańcucha dostaw przedstawiono na rysunku 1.





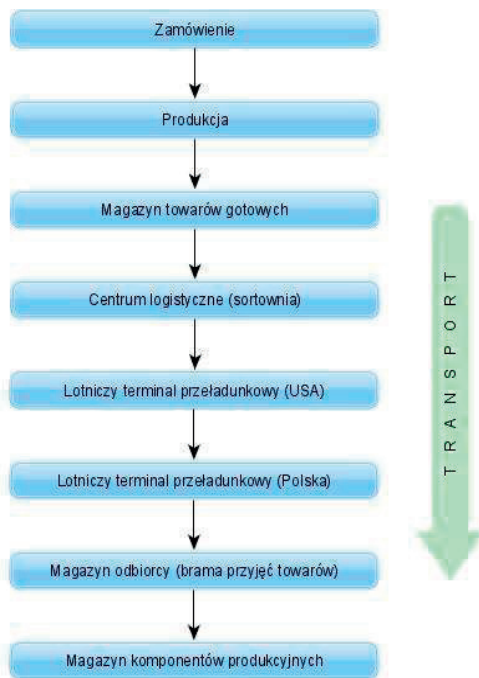
Rysunek 1. Etapy realizacji dostaw towaru z Chin

Źródło: opracowanie własne.

### 5.5. Analiza łańcucha dostaw lotniczych z USA – łańcuch nr 2

Pierwszą czynnością rozpoczynającą łańcuch dostaw jest złożenie zamówienia na towar, jakim jest Cerflon u amerykańskiego dostawcy znajdującego się w mieście Sandusky w stanie Ohio. Tak jak w przypadku zamówienia towarów z Chin wymieniane są informacje oraz dokumenty drogą e-mailową. Po zaakceptowaniu zamówienia przez producenta firma zamawiająca czeka na informację, kiedy towar będzie gotowy do odbioru. Okres oczekiwania na towar wynosi ok. tygodnia. Towar sprzedawany jest na warunkach EXW (*Ex Works*), dzięki czemu sprzedawca nie ponosi ryzyka dodatkowych kosztów transportu czy załadunku, udostępniając towar kupującemu w punkcie wydania, jakim jest magazyn. Po otrzymaniu informacji

o tym, iż zamawiany towar jest gotowy do odbioru, oraz po opłaceniu faktury odbiorca przekazuje zlecenie firmie kurierskiej DHL, wybierając usługę *door-to-door* (od drzwi do drzwi). Wszystkie dokumenty wystawione przez sprzedawcę są załączane w formie papierowej do przesyłki oraz wysyłane e-mailowo do odbiorcy i tworzą tym samym komplet dla przewoźnika oraz kupującego. DHL odbiera przesyłkę (dwa wiadra 20 litrowe zapakowane w oddzielne kartony), która jest transportowana do centrum logistycznego, a następnie kierowana osobnym transportem na lotnisko w celu odbycia odprawy celnej. Odprawa celna w USA wraz z przelotem na lotnisko w Katowicach trwa ok. 3 dni. W tym okresie z odbiorcą kontaktuje się agencja celna w celu przesłania dodatkowych informacji na temat transportowanego towaru, na tej podstawie zostanie wyliczona opłata celno-skarbowa. Po przesłaniu do przewoźnika potwierdzenia opłaty celnej, należnego podatku VAT oraz opłaty transportowej realizowany jest ostatni etap – doręczenie przesyłki. Czas realizacji dostawy trwa od 5 do 7 dni. Magazynier w obecności kuriera sprawdza przesyłkę pod względem uszkodzeń. W przypadku braku uszkodzeń podpisany jest list przewozowy na urządzeniu mobilnym, które posiada przy sobie kurier. Pracownik magazynu przyjmuje towar w systemie magazynowym. Towar ten docelowo trafia na część magazynu komponentów, z którego korzysta produkcja. Uproszczony proces łańcucha dostaw przedstawiono na rysunku 2.



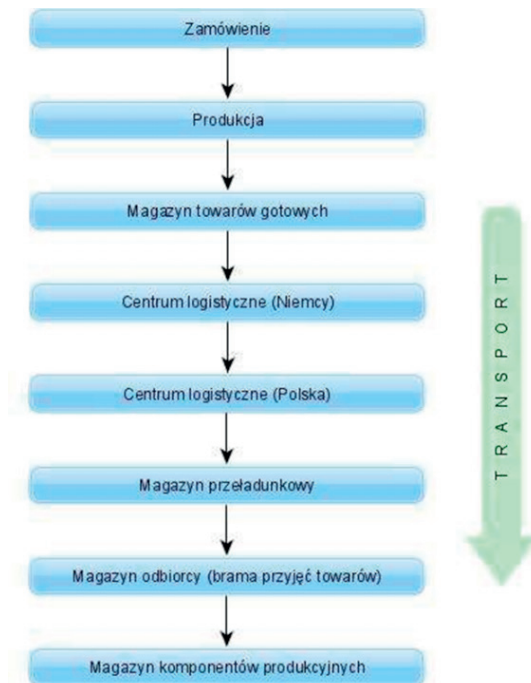
Rysunek 2. Etapy realizacji dostaw towaru z USA

Źródło: opracowanie własne.

## 5.6. Analiza łańcucha dostaw lądowych z Niemiec – łańcuch nr 3

Tak jak miało to miejsce w przypadku analizy łańcucha dostaw dla towarów z Chin oraz USA, pierwszym jego etapem jest złożenie oficjalnego zamówienia drogą e-mailową na towar o nazwie „płynny metal” do firmy znajdującej się w Bergkamen w Niemczech. Zleceniodawca otrzymuje fakturę proformę informującą o kosztach zakupu towaru wraz z transportem oraz czasie realizacji zamawianego towaru, który z reguły wynosi 2 tygodnie. Produkcja rozpoczyna się po zaksięgowaniu wpłaty na koncie, w między czasie producent zamawia kuriera, który przewiezie towar do odbiorcy.

Koszty za transport uwzględnione zostają na fakturze proformie, zamawiająca firma mogłaby zrezygnować z transportu i zamówić własny, ale ze względu na to, iż towar jest delikatny, producent zaleca firmę kurierską GLS mającą doświadczenie w przewożeniu ich towarów. W momencie wysłania towaru producent przesyła e-mailowo fakturę razem z linkiem do strony internetowej kuriera umożliwiającą śledzenie przesyłki. Kurier odbiera przesyłkę, którą następnie przewozi na sortownię do centrum logistycznego znajdującego się na terenie Niemiec.



Rysunek 3. Etapy realizacji dostaw towaru z Niemiec

Źródło: opracowanie własne.

Przesyłka po przesortowaniu ładowana jest na kołowy środek transportowy i przewożona do centrum logistycznego w Polsce, skąd zostanie pobrana przez kuriera i zawieszona bezpośrednio do odbiorcy znajdującego się na terenie małopolski. Towar odbierany jest przez magazyniera, który w obecności kuriera sprawdza, czy przesyłka nie została uszkodzona, a następnie podaje imię i nazwisko, aby potwierdzić u kuriera odbiór przesyłki. Towar przyjmowany jest przez pracownika magazynu na podstawie przesłanej faktury zawierającej koszty transportu tym samym zwiększającą jego ostateczną cenę.

Towar ten docelowo trafia na część magazynu komponentów, z którego korzysta produkcja. Uproszczony proces łańcucha dostaw przedstawiono na rysunku 3.

### 5.7. Analiza ryzyka w łańcuchach dostaw

Zapewnienie niczym niezakłóconego przepływu dóbr i informacji stanowi podstawę zarządzania łańcuchem dostaw. W literaturze przedmiotu pojawiają się bliskożnaczne terminy, takie jak: „zaburzenie”, „odchylenie”, „opóźnienie”, „zakłócenie”, „zakłócenie dostaw”, „zakłócenie w łańcuchu dostaw” czy też „ryzyko zakłóceń w łańcuchu dostaw” [4, 18, 23]. Niemaspójności w definiowaniu tych pojęć. Działania w łańcuchu dostaw powinny być tak organizowane, aby zmniejszać prawdopodobieństwo wystąpienia zakłóceń, a jednocześnie zapewnić odpowiednią reakcję na zaistniałe zakłócenie w celu zmniejszenia jego negatywnych skutków [11, 16].

Poniżej wymieniono czynniki, jakie mogą wpłynąć na zakłócenie realizowanego zamówienia przez analizowane przedsiębiorstwo:

- brak wykwalifikowanych pracowników,
- błędne prognozy zamówień,
- niedotrzymanie umów przez dostawców,
- niedotrzymanie terminów realizacji spowodowane przez złe zaplanowanie produkcji lub awarie,
- przesunięcie produkcji w czasie ze względu na duże obłożenie,
- problemy z jakością,
- ograniczona komunikacja,
- brak środków transportu,
- poszukiwanie nowego przewoźnika,
- błędy w dokumentach przewozowych, np. zły adres dostawy,
- przestoje spowodowane wypadkami,
- niepełna dokumentacja podczas odpraw celnych,
- usterki związane z infrastrukturą informatyczną firmy,
- opóźnienia w transporcie,
- zgubienie przesyłki,

- uszkodzenie lub zniszczenie towaru podczas załadunku/magazynowania,
- naturalne katastrofy,
- terroryzm,
- strajki pracowników,
- wojny,
- pandemia, np. COVID-19,
- wzrost cen za usługi transportowe.

Przedstawione zagrożenia składają się na szeroki wachlarz problemów, z jakimi może zmagać się przedsiębiorstwo podczas realizacji zamówień. Długofalowe skutki wywołane przez pandemię COVID-19 pokazały, jak trudno przewidzieć zagrożenia i w jaki sposób się przed nimi bronić.

Do najważniejszych ryzyk, jakie mogą wystąpić podczas całego łańcucha dostaw, niewątpliwie zaliczyć należy kradzież, uszkodzenie, zniszczenie lub zagubienie przesyłki w trakcie realizacji procesu transportowego [22]. Najczęściej do zniszczenia, uszkodzenia lub zaginięcia towaru dochodzi podczas załadunku oraz jego rozładunku np. na magazynach przeładunkowych lub w sortowniach. Zdarza się również, że towar ulega zniszczeniu podczas wypadku lub klęski żywiołowej. Czas realizowanego zamówienia odgrywa ważną rolę dla przedsiębiorstwa. W tym przypadku, biorąc pod uwagę trzy różne rodzaje transportu, jakim jest transport drogowy, lotniczy oraz morski, najwyższe ryzyko niedotrzymania terminu dostawy występuje w przypadku transportu morskiego ze względu na odległość, jaką statek ma do pokonania z Chin do Polski oraz warunki pogodowe. To armator decyduje, kiedy statek wypłynie i czy nasz towar zostanie załadowany. Brak wykupienia pierwszeństwa może skutkować przełożeniem załadunku na późniejszy statek, tym samym opóźniając jego wypłynięcie o kolejne 2 do 3 tygodni. Transport lotniczy jest najbezpieczniejszy, ale nie można wykluczyć ryzyka katastrofy lotniczej, które rzadko, ale się zdarzają. Brak odpowiednich dokumentów może wstrzymać dostawę towaru, tym samym generując dodatkowe koszty związane z ich magazynowaniem na terminalach do czasu przedstawienia pełnej dokumentacji. Często zdarza się, że przedsiębiorca zamawiający towar ponosi dodatkowe koszty z tytułu próby odbioru towaru oraz powrotu do centrum logistycznego bez ładunku z powodu braku odpowiednich dokumentów. Wszystkie zamówienia zagraniczne realizowane są w języku angielskim przez jedną wybraną osobę z firmy. Brak tej osoby na stanowisku może skutkować przerwaniem ciągłości wymiany informacji oraz dokumentów, powodując tym samym przestój uwarunkowany powrotem specjalisty do swoich obowiązków lub oczekiwaniem na wskazanie osoby zastępującej. Popęłnione błędy podczas procesu produkcyjnego lub awarie maszyn mogą narazić zleceniodawcę na dodatkowy okres oczekiwania na zamówiony towar. Czynniki ekonomiczne, środowiskowe czy polityczno-prawne również mają wpływ na zatrzymanie lub przerwanie łańcucha dostaw [13, 14, 21].

## 5.8. Kosztocłonność realizacji dostaw w wybranych łańcuchach

W tabelach zostały wyszczególnione 4 części zawierające zestawienie kosztów dla poszczególnych kategorii: koszty oraz parametry związane z omawianym produktem; koszty oraz rodzaj zastosowanego transportu; opłaty manipulacyjne, tj. wartość cła, jaką jest objęty poszczególny produkt, oraz opłaty z tym związane, a także opłaty dokumentacyjne; ostatnia część to podsumowanie kosztów wszystkich składowych.

Tabela 1. Zestawienie kosztów importu towaru z Chin

<b>PRODUKT Bag on valve</b>	<b>Dostawa 1</b>	<b>Dostawa 2</b>	<b>Średnia</b>
Liczba (szt.)	100 000	100 000	100 000
Koszt jednostkowy (\$)	0,25	0,25	0,25
Wartość zamówienia (\$)	25 000,00	25 000,00	25 000,00
Waga brutto zamówienia (kg)	1 250,00	1 250,00	1 250,00
<b>TRANSPORT</b>			
Rodzaj transport	morski/drogowy	morski/drogowy	–
Incoterms 2020	FOB	FOB	–
Fracht Morski (PLN)	1 204,75	1 430,83	1 317,79
Przewóz drogowy w imporcie (PLN)	834,50	854,00	844,25
<b>OPŁATY MANIPULACYJNE</b>			
Cło (PLN)	2 050,00	2 321,00	2 185,50
Opłata dokumentacyjna (PLN)	75,00	75,00	75,00
Opłaty CFS (PLN)	473,00	491,85	482,43
<b>PODSUMOWANIE KOSZTÓW</b>			
Wartość produktu (PLN)	93 177,50	102 272,50	97 725,00
Wartość produktu z cłem (PLN)	95 227,50	104 593,50	99 910,50
Koszt transportu (PLN)	2 587,25	2 851,68	2 719,47
Wartość produktu z transportem (PLN)	97 814,75	107 445,18	102 629,97
Procentowy udział transportu (%)	2,64	2,65	2,65
Wartość jednostkowa (szt.) z transportem (PLN)	0,98	1,07	1,03

Źródło: opracowanie własne

Dla produktu *bag on valve* zamawianego z Chin zestawiono dwie identyczne dostawy w liczbie 100 tys. sztuk zakupionego komponentu w tej samej cenie

o wadze 1250 kg. Towar przewieziony został transportem morskim oraz drogowym z wyszczególnieniem kosztów dla każdego z osobna. Przedstawiono również opłaty manipulacyjne wchodzące w cenę towaru oraz transportu. W podsumowaniu kosztów wartość towaru oraz usługi transportowe zostały przeliczone na złotówki zgodnie z kursem dolara wg tabeli NBP, wyliczono procentowy udział kosztów transportu w końcowej cenie produktu oraz wartość jednostkową z transportem. Dane z dwóch dostaw uśredniono.

Tabela 2 zawiera zestawienie kosztów dwóch dostaw tego samego towaru importowanego z USA. Produkt został zakupiony w tej samej cenie, lecz w innej ilości. Realizacja zamówienia przy użyciu transportu lotniczego oraz drogowego wyrażona została w jednej kwocie. Przedstawione opłaty celne oraz cło zostało wliczone do wartości towaru oraz transportu w podsumowaniu kosztów. Określono wartość sprowadzanych produktów wraz z cłem i koszty transportu, a także określono udział kosztów transportu oraz wartość jednostkową towaru z transportem. Obliczona została średnia dla obu dostaw ze wszystkich przedstawionych kosztów.

Tabela 2. Zestawienie kosztów importu towaru z USA

<b>PRODUKT Cerflon</b>	<b>Dostawa 1</b>	<b>Dostawa 2</b>	<b>Średnia</b>
Waga (lbs)	70	140	105
Koszt 1 lbs (\$)	15,27	15,27	15,27
Wartość zamówienia (\$)	1 068,90	2 137,80	1 603,35
Waga brutto zamówienia (kg)	37	72,50	54,75
<b>TRANSPORT</b>			
Rodzaj transport	lotniczy/drogowy	lotniczy/drogowy	-
Incoterms	EXW	EXW	-
Koszt (PLN)	952,30	988,90	970,60
<b>OPŁATY MANIPULACYJNE</b>			
Cło (PLN)	216,00	413,00	314,50
Obsługa należności celnych (PLN)	84,87	84,87	84,87
<b>PODSUMOWANIE KOSZTÓW</b>			
Wartość produktu (PLN)	4 084,80	8 118,72	6 101,76
Wartość produktu z cłem (PLN)	4 300,80	8 531,72	6 416,26
Koszt transportu (PLN)	1 037,17	1 073,77	1 055,47
Wartość produktu z transportem (PLN)	5 337,97	9 605,49	7 471,73
Procentowy udział transportu (%)	19,43	11,18	15,30
Wartość jednostkowa (wiadro) z transportem (PLN)	2 668,98	2 401,37	2 535,18

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli 3 z uwagi na fakt, iż jest to transport wewnątrzspółnotowy, brak dodatkowych opłat manipulacyjnych. Tabela ta zawiera ceny towarów oraz transportu, które zmieniły się w ciągu całego roku. Łańcuch dostaw realizowany jest przy pomocy transportu drogowego. Zastosowanie płatności z góry upoważnia zamawiającego do otrzymania upustu 2% na całość zamówienia włącznie z transportem. Do dalszych obliczeń posłużyła ta kwota, a całość zamówienia została przeliczona zgodnie z kursem euro wg tabeli NBP. W tabeli przeliczony został procentowy udział kosztów transportu oraz wartość jednostkowa towaru z transportem.

Tabela 3. Zestawienie kosztów importu towaru z Niemiec

<b>PRODUKT „płynny metal”</b>	<b>D 1</b>	<b>D 2</b>	<b>D 3</b>	<b>D 4</b>	<b>Średnia</b>
Ilość (szt.)	250	250	250	250	250
Koszt jednostkowy (€)	1,71	1,71	1,71	1,76	1,72
Wartość zamówienia (€)	427,50	427,50	427,50	440,00	430,62
Wartość zamówienia (€) *przy płatności z góry 2% zniżki zgodnie z umową płatniczą	418,95	418,95	418,95	431,20	422,01
Waga brutto zamówienia (kg)	9	9	9	9	9
<b>TRANSPORT</b>					
Rodzaj transport	drogowy	drogowy	drogowy	drogowy	–
Incoterms 2020	DAP	DAP	DAP	DAP	-
Koszt (€)	21,00	21,00	21,00	23,00	21,50
Koszt (€) *przy płatności z góry 2% zniżki zgodnie z umową płatniczą	20,58	20,58	20,58	22,54	21,07
<b>PODSUMOWANIE KOSZTÓW</b>					
Koszt transportu (PLN) *przy płatności z góry 2% zniżki zgodnie z umową płatniczą	88,22	88,18	88,96	96,90	90,57
Wartość produktu (PLN) *przy płatności z góry 2% zniżki zgodnie z umową płatniczą	1796,00	1795,08	1810,91	1853,73	1 813,93
Wartość produktu z transportem (PLN)	1884,22	1883,25	1899,87	1950,63	1 904,49
Wartość jednostkowa (szt.) z transportem (PLN)	7,54	7,53	7,60	7,80	7,62
Procentowy udział transportu (%)	4,68	4,68	4,68	4,97	4,75

Źródło: opracowanie własne.



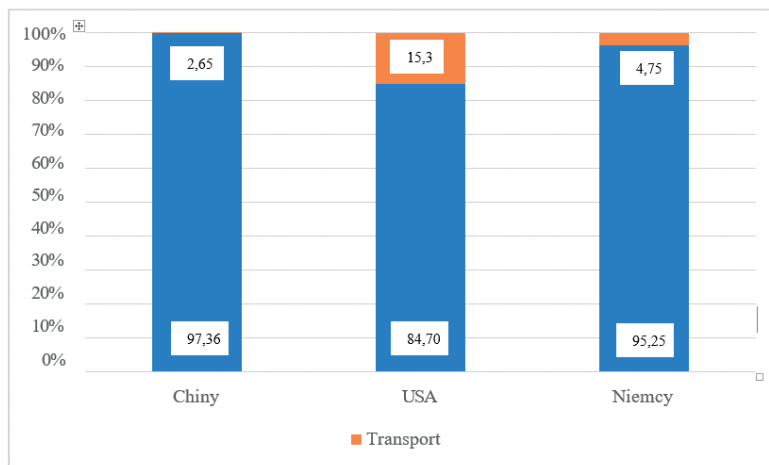
## 5.9. Ocena efektywności analizowanych łańcuchów dostaw

Ocena przeprowadzona została pod kątem weryfikacji poniesionych kosztów dla przewożonych towarów w procesie zaopatrzenia, a także pod kątem braków w towarze i średniego czasu realizacji zamówień w wybranym okresie. Zestawienia mają na celu wyłonienie najbardziej sprawnego oraz efektywnego łańcucha dostaw.

Oceny efektywności łańcuchów dostaw dokonano przez określenie:

- procentowego udziału kosztów transportu w wartości towaru,
- średniego kosztu transportu towaru na 1 km,
- średniego kosztu transportu 1 kg towaru,
- wielkości braków w dostawach,
- średniego czasu realizacji zamówień.

Na rysunku 4 przedstawiono średni procentowy udział transportu w cenie towaru.



Rysunek 4. Udział transportu w cenie towaru

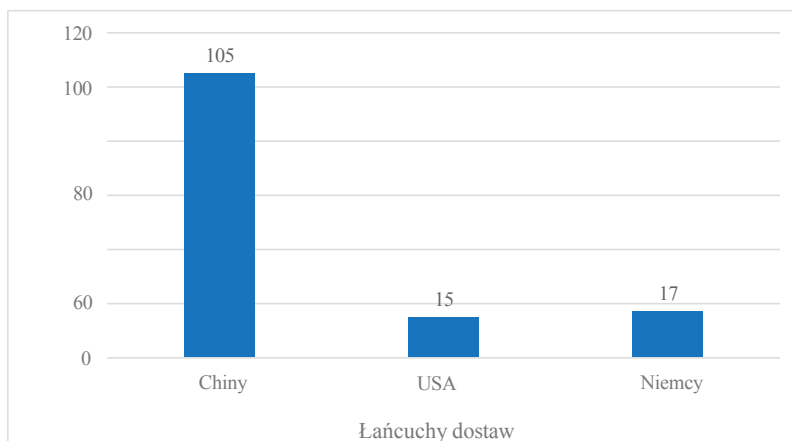
Źródło: opracowanie własne.

Najniższy udział procentowy poniesionych kosztów transportu – 2,65% zanotowano dla łańcucha dostaw morskich z Chin, nieznacznie wyższy – 4,75% odnotowano dla łańcucha dostaw drogą lądową z Niemiec, natomiast najwyższy – 15,30% występował w łańcuchu dostaw drogą lotniczą z USA. Koszty transportu towaru z Chin są najniższe, co wynika z czasu realizacji łańcucha dostaw (transport morski) mogącego przekroczyć nawet 3 miesiące, zaś w przypadku łańcucha dostaw z USA na wysokość kosztów wpływa szybkość dostawy (transport lotniczy) wynosząca zaledwie parę dni przy pokonaniu porównywalnych odległości. W przypadku transportu z Niemiec koszty transportu uzależnione są od odległości oraz rodzaju transportu.

Biorąc pod uwagę koszty przewozu towaru na 1 km, stwierdzono, że najwyższe koszty poniesiono przy transporcie towarów z Chin – 0,30 PLN, następnie USA – 0,14 PLN, a najniższe z Niemiec – 0,09 PLN. Towar z Chin o masie 1250 kg przewożony jest głównie drogą morską w połączeniu z transportem drogowym. Natomiast podczas realizacji transportu lotniczego oraz drogowo z USA przeliczeniowa waga przewożonego towaru wynosiła 54,75 kg, a w transporcie drogowym z Niemiec waga towaru wynosiła 9 kg. Powyższe wskazuje, że koszty transportu są ściśle powiązane nie tylko z odległością, ale również wagą i objętością całego zamówienia, co ostatecznie przekłada się na jego cenę. Koszt przewozu 1 kg zamówionego towaru był bardzo zróżnicowany w poszczególnych łańcuchach dostaw. Transport lotniczy okazał się transportem najdroższym – 24,91 PLN/kg, a morski najtańszym – 3,92 PLN/kg.

W roku 2019 odnotowano najwyższą ilość braków w łańcuchach dostaw z Chin i Niemiec. Braki z Chin stanowiły zaledwie 0,05% w stosunku do ilości zamawianego towaru. Dla Niemiec odnotowano brakujących 10 sztuk, co stanowiło 1% z całości zamawianego towaru. W roku 2021 odnotowano najniższe braki w łańcuchu dostaw z Chin – 0,016% i Niemiec – 0,3%. Monitorowanie dostarczanych przesyłek w łańcuchu dostaw z USA pozwoliło w 100% wyeliminować braki w dostawach. Braki w łańcuchu z Niemiec wynikały z winy przewoźnika – towar został zagubiony w magazynach przeładunkowych, a w przypadku dostaw z Chin braki spowodowane były niewłaściwą ilością spakowaną do kartonu w procesie produkcyjnym. Zanotowane braki w okresie od 2019 do 2021 r. wykazują tendencję spadkową, co wynika ze zwiększenia efektywności monitorowania towarów w poszczególnych łańcuchach dostaw.

Rysunek 5 przedstawia uśredniony czas realizacji zamówień od momentu złożenia zamówienia do momentu otrzymania towaru na magazyn odbiorcy.



Rysunek 5. Średni czas realizacji zamówień w dniach

Źródło: opracowanie własne.

Najdłuższy czas realizacji zamówienia występował w łańcuchu dostaw z Chin – transport morski (odległość ok. 9050 km), następnie w łańcuchu dostaw z USA – transport lotniczy (odległość ok. 7411 km), a najkrótszy łańcuch dostaw to dostawy realizowane z Niemiec transportem drogowym (odległość ok. 1024 km).

## 5.10. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono wysoką efektywność łańcucha dostaw z USA realizowanego transportem lotniczym ze względu na krótki czas realizacji zamówienia oraz wysoką skuteczność doręczenia towaru. Pomimo iż koszt przewożonego towaru okazał się najwyższy, jest to odpowiedni rodzaj transportu w przypadku przewozu towarów cennych dla przedsiębiorstwa mających kluczowe znaczenie w procesie produkcyjnym.

Najniższymi kosztami oraz relatywnie małymi stratami towaru poniesionymi w transporcie charakteryzował się łańcuch dostaw z Chin. Niski udział kosztów transportu w ostatecznej cenie towaru skłania przedsiębiorstwo do wyboru tego rodzaju transportu. Niestety jest to najbardziej zawodny transport pod względem terminowości dostaw, co w przypadku towarów strategicznych może decydować o pozycji i skali oddziaływania na rynku zbytu.

Łańcuch dostaw z Niemiec cechuje się krótkim czasem realizacji oraz stosunkowo niską ceną, co jest związane z niewielką odległością do pokonania oraz dobrą infrastrukturą liniową. Transport ten wybierany jest w przypadku zamówień towarów w obrębie krajów należących do Unii Europejskiej.

Powyższa analiza wykazała, że na podstawie jednego wskaźnika nie można dokonywać porównania efektywności łańcuchów dostaw, należy patrzeć w sposób całościowy, ujmując różne aspekty, oceny tych łańcuchów zarówno pod kątem jakości, jak i ekonomiki przewozu, a także z uwzględnieniem czasu realizacji zamówień.

W celu optymalizacji przepływu towaru w tych łańcuchach należałoby zautomatyzować analizy zapasów towarów na magazynie. Implementacja algorytmu analizującego codziennie stany magazynowe przedsiębiorstwa zasadniczo zminimalizowałaby lub nawet wykluczyłaby przeoczenie momentu zamówienia towaru o niskim zapasie lub strategicznym znaczeniu. Poszukiwanie alternatywnych dostawców bliżej przedsiębiorstwa pozwoliłoby znacząco skrócić łańcuch dostaw oraz zminimalizować ryzyko zakłóceń przy jednoczesnej redukcji kosztów związanych z transportem.

## Bibliografia

- [1] Emrouznejad A., Abbasi S., Sicakyüz C., *Supply Chain Risk Management: A Content Analysis-Based Review of Existing and Emerging Topics*, „Supply Chain Analytics” 2023, t. 3, 100031.
- [2] Fechner I., *Zarządzanie łańcuchem dostaw*, Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań 2007.
- [3] Grant D., Shaw S., *Logistics and Supply Chain Management Performance Measures*, [w:] R. Vickerman (red.), *International Encyclopedia of Transportation*, Elsevier, Amsterdam 2021, s. 16–23.
- [4] Helbig C., Bruckler M., Thorenz A. Tuma A., *An overview of indicator choice and normalization in raw material supply risk assessments*, „Resources” 2021, t. 10, nr 8, s. 79.
- [5] Hentschel B., Cyplik P., Hadaś Ł., Domański R., Adamczak M., Kupczyk M., Pruska Ż., *Wieloaspektowe uwarunkowania integracji łańcucha dostaw typu forward i backward. Modelowanie i ocena stopnia integracji*, Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań 2015.
- [6] Huczek M., *Bezpieczeństwo łańcucha dostaw*, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Humanitas. Zarządzanie” 2015, nr 4, s. 119–129.
- [7] Jałowiec T., Dębicka E., *Zagrożenia dla współczesnych łańcuchów logistycznych*, „Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej” 2017, z. 117, s. 85–95.
- [8] Jamalnia A., Gong Y., Govindan K., Bourlakis M., Kumar Mangla S., *A decision support system for selection and risk management of sustainability governance approaches in multi-tier supply chain*, „International Journal of Production Economics” 2023, t. 264, 108960.
- [9] Kähkönen A., Marttinen K., Kontio A., Lintukangas K., *Practices and strategies for sustainability-related risk management in multitier supply chains*, „Journal of Purchasing and Supply Management” 2023, t. 29, nr 3, 100848.
- [10] Kain R., Verma A., *Logistics Management in Supply Chain – An Overview*, „Materials Today: Proceedings” 2018, t. 5, nr 2, s. 3811–3816.
- [11] Koniecka S., Stajniak M., Szopik-Depczyńska K., *Wybrane uwarunkowania częstości występowania zakłóceń w łańcuchu dostaw*, „Autobusy” 2016, nr 6, s. 1386–1393.
- [12] Kuklińska E., Dendera-Gruszka M., *Zarządzanie ryzykiem łańcuchów dostaw*, Difin, Warszawa 2019, s. 40–42.
- [13] Kulińska E., *Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw*, „Logistyka” 2007, t. 1, s. 18–21.
- [14] Malaga-Toboła U., Pawlarczyk R., Kwaśniewski D., Kuboń M., *Ocena ryzyka w łańcuchu dostaw na przykładzie hurtowni spożywczej*, „Ekonomika i Organizacja Logistyki” 2022, t. 7, nr 1, s. 63–74.

- [15] Nowacki F., *Analiza ryzyka w łańcuchu dostaw i zarządzania nim w aspekcie międzynarodowym*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 2014, nr 4, s. 2–9.
- [16] Pan S., Trentesaux D., McFarlane D., Montreuil B., Ballot E., Huang G., *Digital interoperability in logistics and supply chain management: state-of-the-art and research avenues towards Physical Internet*, „Computers in Industry” 2021, t. 128, 103435.
- [17] Ratajczak-Mrozek M., Nowacki F., *Kształtowanie ryzyka w krajowych i międzynarodowych łańcuchach dostaw*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 2016, nr 7, s. 2–7.
- [18] Shcherbakov V., Silkina G., *Supply Chain Management Open Innovation: Virtual Integration in the Network Logistics System*, „Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity” 2021, t. 7, nr 1, s. 1–22.
- [19] Szymonik A., Bielecki M., *Bezpieczeństwo systemu logistycznego w nowoczesnym zarządzaniu*, Difin, Warszawa 2011.
- [20] Szymonik A., *Logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw*, cz. 2, Difin, Warszawa 2011.
- [21] Świerczek A., *Zarządzanie ryzykiem transmisji zakłóceń we współdziałaniu przedsiębiorstw w łańcuchach dostaw*. Prace Naukowe/Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Katowice 2012.
- [22] *Zarządzanie ryzykiem – przegląd wybranych metodyk*, red. Wróblewski D., Wydawnictwo CNBOP-PIB, Warszawa 2018.
- [23] Zielińska A., *Analiza ryzyka jako element zarządzania bezpieczeństwem w łańcuchu dostaw*, „Ekonomika i Organizacja Logistyki” 2021, t. 6, nr 3, s. 65–79.

Dariusz Kwaśniewski\*, Maciej Kuboń\*, Urszula Malaga-Toboła\*,  
Zbigniew Kowalczyk\*

## 6. Analiza organizacji zaopatrzenia firmy – studium przypadku

### 6.1. Wprowadzenie

Z zaopatrzeniem mamy do czynienia praktycznie wszędzie, od zastosowania w życiu prywatnym po życie zawodowe, np. zamówienie materiałów biurowych. Zaopatrzenie w przedsiębiorstwach jest jednak procesem o wiele bardziej złożonym i skomplikowanym, wymagającym większego zasobu wiedzy, jest też prowadzone na większą skalę. Procesy zaopatrzeniowe nabierają coraz większego znaczenia, przez co stają się ściśle monitorowanym elementem organizacji. Stanowią one dość dużą część całkowitych kosztów przedsiębiorstwa, są elementem „wejścia” towarów, surowców lub półfabrykatów do organizacji niezbędnych do ich dalszego przetworzenia lub odsprzedaży. W dalszych etapach przekłada się to na zyski przedsiębiorstwa, rentowność jego produktów, wizerunek oraz pozycję na rynku. Interesujące jest więc jak przedsiębiorstwa zarządzają procesami zaopatrzeniowymi [6].

Zapasy zapewniają ciągłość produkcji oraz sprzedaży, ale również angażują i zamrażają kapitał finansowy, generują koszty związane z ich utrzymaniem czy starzeniem się, stąd szczególnie istotne jest dla każdego przedsiębiorstwa określenie optymalnej wielkości i czasu ich zakupu. W każdym przedsiębiorstwie bardzo istotne jest prowadzenie prawidłowej polityki zaopatrzenia, która umożliwi utrzymywanie optymalnych zapasów. Magazynowe zapasy odgrywają istotną rolę. W przedsiębiorstwach produkcyjnych zapewniają ciągłość produkcji, natomiast handlowych – sprzedaży. Równocześnie jednak angażują znaczące zasoby środków finansowych. Ważne jest więc, by wielkość zapasów magazynowych nie przekraczała pewnej granicy, aby w ten sposób nie zamrażać nadmiernej kwoty środków pieniężnych lub nie przekraczać możliwości ich zmagazynowania, co może z kolei prowadzić do konieczności powiększenia powierzchni magazynowej np. przez wynajem. Z kolei jednak za mały zapas nie zapewni ciągłości produkcji czy sprzedaży. Jedna i druga sytuacja jest niekorzystna dla przedsiębiorstwa, gdyż

---

\* Uniwersytet Rolniczy, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków; [dariusz.kwasniewski@urk.edu.pl](mailto:dariusz.kwasniewski@urk.edu.pl), [maciej.kubon@urk.edu.pl](mailto:maciej.kubon@urk.edu.pl), [urszula.malaga-tobola@urk.edu.pl](mailto:urszula.malaga-tobola@urk.edu.pl), [zbigniew.kowalczyk@urk.edu.pl](mailto:zbigniew.kowalczyk@urk.edu.pl).

generuje niepotrzebne koszty, których można uniknąć przez właściwe zarządzanie. Optimum stanu zapasów można osiągnąć dzięki określeniu optymalnej wielkości zamawianej dostawy oraz terminu złożenia zamówienia. Dlatego działania w kierunku odpowiedniej polityki i zarządzania w obszarze zaopatrzenia są szczególnie ważne, również ze względu na obecnie trudną sytuację na rynku. Proces zaopatrzenia w każdym przedsiębiorstwie obejmuje określone, konieczne do wykonania zadania, które opierają się na podjętych przez kierownictwo decyzjach zarządczych. Decyzje z kolei, aby były trafne, wymagają informacji. Rola informacji w procesach decyzyjnych często jest rozumiana nie tylko jako potrzeba poznania, ale także rozumienia otoczenia. Informacja nie może być wykorzystywana tylko do mierzenia i kontrolowania zachodzących zjawisk, ale również do poznania przyszłości oraz trendów zmian. Powinna przyczyniać się do wprowadzania w przedsiębiorstwie nowych sposobów działania, czyli do jej zamiany w wiedzę.

W związku z powyższym istnieje potrzeba wzmocnienia zarządzania w obszarze zaopatrzenia zarówno w przedsiębiorstwach produkcyjnych, jak i handlowych. Wymaga to sprecyzowania dla podsystemu zaopatrzenia rozwiązań w zakresie planowania, kontroli, koordynacji w celu pozyskania potrzebnych informacji. Najpewniejszym źródłem informacji na temat ilości, rodzaju oraz terminu zakupu poszczególnych materiałów czy towarów jest prognoza dotycząca wielkości ich zużycia lub sprzedaży. Dobrze opracowana prognoza popytu na najbliższy okres daje możliwość wyznaczenia optymalnego poziomu zapasów oraz dokonywania zakupów we właściwym momencie i ilości. Dzięki analizie organizacji zaopatrzenia, podejmowaniu czynności planistycznych, organizacyjnych i kontrolnych możliwa będzie optymalizacja i usprawnienie zaopatrzenia oraz równoczesne zachowanie minimalnych kosztów i wysokiego poziomu obsługi klienta [11].

## 6.2. Koncepcja i logistyka zaopatrzenia

Według Iwony Żabińskiej [15] logistyka zaopatrzenia dotyczy wszystkich czynności związanych z zamawianiem i dostarczaniem potrzebnych surowców, materiałów, półproduktów, części zamiennych do magazynów lub stanowisk pracy. Do niedawna przedsiębiorcy skupiali głównie uwagę na doskonaleniu logistyki wewnętrznej. Obecnie odchodzi się od takiego podejścia na rzecz lepszego, pogłębionego współdziałania z dostawcami. Przedsiębiorcy i badacze przedmiotu dostrzegają potrzebę zapewnienia koordynacji logistyki zaopatrzenia z logistyką dystrybucji, zarówno w obszarze przestrzennym, jak i czasowym [2, 14]. Logistyka zaopatrzenia dotyczy procesów związanych z przepływem dóbr materialnych w przedsiębiorstwie, w szczególności: dostawy materiałów z zewnątrz, magazynowania oraz przygotowania do produkcji [1, 9].



Według Cecila Bozarth i Roberta Handfeilda [3] zaopatrzenie to proces obejmujący wszystkie czynności związane z identyfikowaniem potrzeb, lokalizowaniem i wybieraniem dostawców, negocjowaniem warunków i obserwowaniem działalności kontrahenta w celu upewnienia się, że spełnia on wymogi dotyczące wydajności. Józef Bendkowski i Grażyna Radziejowska [2] podają, że podstawowym celem zaopatrzenia w ujęciu logistycznym jest:

- minimalizacja kosztów w procesie zaopatrzenia,
- usunięcie przeszkód technicznych i organizacyjnych w obszarze transportu i magazynowania strumieni dostaw,
- zapewnienie realizacji i rytmiczności produkcji/sprzedazy.

Organizacja zaopatrzenia jest procesem złożonym z uwagi na liczbę zaangażowanych podmiotów oraz liczbę i zakres czynności. Planowanie zaopatrzenia materiałowego wymaga współdziałania i zapewnienia przepływu informacji między wszystkimi podmiotami wykazującymi potrzeby materiałowe i podejmującymi decyzje o przebiegu zużycia materiałów oraz terminach i miejscach dostaw. Sposób planowania materiałowego zależy również od przyjętej przez przedsiębiorstwo zasady zewnętrznego zaopatrzenia [7].

Według Jerzego Majewskiego [8] wybór zasady zewnętrznego zaopatrzenia determinuje jeszcze wysokość zaangażowanego kapitału, koszty magazynowania, wrażliwość na wahania popytu lub opóźnienia dostaw. Iwona Żabińska [15] wskazuje, że planowanie zaopatrzenia materiałowego charakteryzuje się wysokim stopniem szczegółowości i często wymaga pozyskania informacji, takich jak:

- normy zużycia materiałów składających się na strukturę wyrobów końcowych,
- normy zużycia materiałów pomocniczych,
- zapotrzebowanie na produkty końcowe,
- stan magazynowy poszczególnych surowców, półfabrykatów,
- czas cyklu uzupełnienia zapasu i charakter przewidywanych dostaw (cykliczność, koszt transportu, kontrola jakości),
- prognozowana struktura przyszłych zamówień.

Jeszcze w ubiegłym dziesięcioleciu rola zaopatrzenia ograniczona była do dwóch funkcji: pozyskiwania informacji o potrzebnych materiałach i dostawach oraz wydawania materiałów do komórek produkcyjnych i realizacji dostaw. Obecnie zaopatrzenie obejmuje współpracę w ramach całego obszaru przygotowania i realizacji produkcji. Ponadto ma zdecydowanie większe znaczenie i realizuje zadania zarówno na poziomie operatywnym, jak i strategicznym.

Proces zaopatrzenia jest postępowaniem złożonym, wymagającym koordynacji wielu działań w obrębie przedsiębiorstwa i w jego otoczeniu. Koordynacja ta wymaga współpracy wszystkich działów znajdujących się w przedsiębiorstwie, co pozwala osiągnąć zamierzony cel strategiczny. Zaopatrzenie generuje znaczną część kosztów w przedsiębiorstwie, ale przede wszystkim ma za zadanie dostarczenie surowców i materiałów potrzebnych do produkcji lub prowadzenia innego



rodzaju działalności. Dlatego problemy związane z zakupem powinny stanowić ważny punkt zarządzania przedsiębiorstwem [5].

Rozwój traktowany jest jako jedna z najatrakcyjniejszych i własnych kwestii działalności przedsiębiorstwa. Atrakcyjność rozwoju wynika z jego interdyscyplinarności i możliwości traktowania jako zmiennej zależnej od wielu czynników. Poznanie czynników warunkujących rozwój i zarazem ich wykorzystanie w zarządzaniu przedsiębiorstwem stanowi podstawę opracowania i zastosowania koncepcji elastycznego działania i rozwoju przedsiębiorstwa [10]. Jednym z pierwszych etapów organizacji przedsiębiorstwa, od którego w znacznym stopniu zależy jego dalszy rozwój, jest proces zaopatrzenia. Logistyka w sferze zaopatrzenia integruje proces kierowania przepływem surowców i materiałów w przedsiębiorstwie aż po sprzedaż wyrobu finalnego. Integracja ta sprowadza się przede wszystkim do synchronizowania dostaw, dzięki którym surowce, materiały lub części do montażu wyrobów gotowych dostarczone są w odpowiednim momencie, ilości oraz miejscu. Ponadto kolejne partie dostawy powinny być dowieszone do zakładu dokładnie w określonych harmonogramem terminach. John Coyle i inni [4] stwierdzają, że zaopatrzenie składa się ze wszystkich działań, które są niezbędne do nabycia dóbr i usług zgodnych z wymogami użytkownika. W procesie zakupów można wyróżnić cztery etapy niezależnie od branży, wielkości przedsiębiorstwa, formy własności lub struktury organizacyjnej [13]:

1. Zbieranie informacji o potencjalnych dostawcach. Dokonuje się tego przy rozpoczęciu działalności, przy próbie obniżenia kosztów produkcji i potrzebie znalezienia tańszych surowców, przy wystąpieniu konfliktów w relacjach z dotychczasowym dostawcą oraz kiedy konkurenci dotychczasowego partnera składają korzystniejszą ofertę. W wielu z tych sytuacji mogą pomóc negocjacje, w wyniku których dostawca i odbiorca dochodzą do porozumienia i współpraca odbywa się nadal.
2. Wybór dostawców i ustalenie warunków współpracy. Z całego katalogu potencjalnych dostawców należy wybrać tych, którzy najlepiej będą spełniać wymagania odbiorcy. Należy brać pod uwagę oddalenie dostawcy od magazynu zaopatrzenia, rytmiczność i terminowość dostaw, ofertę asortymentową dostawcy oraz możliwości ilościowe i terminowość dostaw. Istotnym czynnikiem przy wyborze dostawcy może być również możliwość negocjowania cen, terminów i wielkości zamówień.
3. Ocena dostawców i doskonalenie współpracy. Podjęcie współpracy zwykle bardzo szybko weryfikuje trafność wyboru, gdyż okazuje się, na ile poczynione uzgodnienia są realizowane w praktyce. Warto przede wszystkim oceniać dostawcę strategicznego, z którym podpisana była umowa o stałej współpracy. Oceny pozostałych partnerów można dokonywać sporadycznie.
4. Zakończenie współpracy. Jej powód może być różny; jeśli kończy się w wyniku wygaśnięcia umowy bądź zakończenia realizacji zamówienia, to obie strony są

zadowolone i gotowe do współpracy w przyszłości. Może się jednak zdarzyć, że dostawcy nie wywiązują się ze wcześniejszych zobowiązań albo odbiorca znajdzie partnera oferującego korzystniejszą ofertę.

Wszystkie działania związane z procesem zakupu powinny być wykonane w sposób przemyślany, aby unikać sytuacji kupowania dużych partii towaru po niskiej cenie i stać przed problemem magazynowania, a także ponoszenia jego kosztów. Dlatego istotnym czynnikiem w procesie zaopatrzenia jest analiza rynku, która powinna uwzględniać [12]:

- stabilność rynku i poziom jego regulacji,
- udział importu,
- kształtowanie się cen,
- bariery i możliwości wejścia na rynek nowych producentów i nowych, konkurencyjnych odbiorców,
- możliwości produkcyjne występujących na nim podmiotów.

Analiza rynku jest przedsięwzięciem trudnym i kosztownym, ale koniecznym do określenia potrzeb zaopatrzeniowych. Pozwala wybrać dostawcę spełniającego oczekiwania jakościowe i ilościowe, ale również posiadającego procedury składania zamówienia dogodne dla klienta. Oznacza to łatwość w uzyskaniu informacji na danym etapie realizacji zamówienia. Daje to możliwość przeglądania oferty sprzedażowej dostawcy, zadawania pytań dotyczących skomplikowanych wyrobów technicznych, negocjowania ceny i warunków dostawy oraz dokonywania innych ustaleń, które wpływają na przyszłość dalszej współpracy [5].

Prawidłowa organizacja zaopatrzenia wymaga współdziałania i sprawnej wymiany informacji pomiędzy podmiotami różnych podsystemów przedsiębiorstwa. Aby zapewnić określony poziom obsługi klienta, należy odpowiednio zaplanować, skoordynować, sterować przepływem dóbr i informacji ze źródła zaopatrzenia, przez produkcję, po dystrybucję. Realizacji zadań zaopatrzenia towarzyszy duża ilość danych i tworzonych dokumentów, co wymaga rozwiązania kwestii w zakresie ich pozyskiwania, gromadzenia, przetwarzania, analizowania i wizualizacji. Ponadto dane powinny być na bieżąco aktualizowane, a ich pozyskiwanie powinno odbywać się w czasie rzeczywistym.

### **6.3. Cel, zakres i metodyka pracy**

Celem pracy była analiza organizacji procesu zaopatrzenia w poszczególne surowce do produkcji opakowań od różnych dostawców oraz realizacji zamówień w firmie świadczącej usługę druku fleksograficznego.

Zakresem pracy objęto badania w firmie X położonej w południowej części województwa małopolskiego. Firma zajmuje się świadczeniem usług druku głównie

na surowcach foliowych, działając na zlecenie klientów zewnętrznych na poziomie krajowym i zagranicznym. W badaniach wykorzystano dane z roku 2022. Właściciel firmy nie wyraził zgody na posługiwanie się nazwą firmy.

Dane wejściowe do obliczeń pozyskane zostały od pracowników działu zaopatrzenia i logistyki w formie raportów elektronicznych. Dotyczyły one poszczególnych miesięcy w roku 2022, a należą do nich:

- wielkość zamówień na polietylen,
- wielkość zamówień na polipropylen,
- wielkość zamówień na poliester.

Nazwy dostawców poszczególnych surowców, podobnie jak nazwa firmy X, są informacją poufną i nie zostały ujawnione. W związku z powyższym przyjęto następujące oznaczenia:

- a) dostawcy folii z polietylenu LDPE:
  - dostawca K,
  - dostawca F,
- b) dostawcy folii z polipropylenu BOPP:
  - dostawca PCH,
  - dostawca INN,
  - dostawca TAG,
  - dostawca ALU,
  - dostawca TRE,
- c) dostawcy folii z poliestru PET:
  - dostawca FLE.

Uzyskane dane umożliwiły analizę organizacji zaopatrzenia w poszczególnych miesiącach, z uwzględnieniem realizowanych zamówień, na podstawie analizy sytuacji rynkowej i zmian zachodzących w badanej firmie. Do opracowania wyników badań wykorzystano statystykę opisową uwzględniającą sumę, minimum, średnią, maksimum oraz odchylenie standardowe.

## 6.4. Wyniki badań

Dane wejściowe przedstawiające wielkości zamówień poszczególnych surowców w określonych miesiącach roku 2022 przedstawiono w tabeli 1. Zostały one wykorzystane do przeprowadzenia analizy realizowanych zamówień z uwzględnieniem poszczególnych grup surowcowych: LDPE, BOPP oraz PET.

Według przedstawionych danych największym partnerem dla małopolskiej drukarni był dostawca K, od którego zakupione zostało 1 279 581 kg polietylenu. Drugim co do wielkości zamówionego wolumenu był dostawca PCH produkujący folię polipropylenową – 804 367 kg. Dostawcy F, INN, ALU oraz FLE wykazali

roczny poziom zaopatrzenia na podobnym poziomie. Najmniejszy udział w realizacji organizowanych dostaw mieli kontrahenci TAG oraz TRE. Cechowała ich również najmniejsza regularność dostaw. Odnotowano bowiem miesiące, w których przedsiębiorstwo X nie złożyło żadnego zamówienia u wskazanych partnerów.

Tabela 1. Dane wejściowe do analizy (kg)

Miesiąc	Grupa surowców							
	Polietylen LDPE		Polipropylen BOPP					Poliester PET
	Dostawca							
	K	F	PCH	INN	ALU	TAG	TRE	FLE
I	95 133	31 479	54 617	12 637	26 915	0	3 278	5 160
II	75 933	30 497	145 386	570	31 030	0	0	32 722
III	149 744	129 671	71 942	5 071	101 656	21 785	11 098	39 755
IV	197 059	124 572	31 688	546	60 009	26 618	1 176	35 321
V	135 215	74 591	134 529	18 529	41 520	21 281	21 714	13 796
VI	27 372	52 505	157 877	11 950	6 896	11 571	3 782	13 899
VII	87 130	10 341	79 371	29 250	7 815	32 680	0	3 339
VIII	17 100	1 620	36 926	0	3 430	34 837	350	11 634
IX	147 745	27 068	26 123	3 324	1 751	0	0	12 417
X	161 372	8 127	12 375	1 062	21 078	0	6 315	19 844
XI	55 985	43 874	28 488	59 384	32 769	0	1 045	17 339
XII	129 793	20 255	25 045	94 633	6 567	1 381	3 944	9 223
Suma	1 279 581	554 600	804 367	236 956	341 435	150 153	52 702	214 447
Min.	17 100	1 620	12 375	0	1 751	0	0	3 339
Średnia	106 632	46 217	67 031	19 746	28 453	12 513	4 392	17 871
Max.	197 059	129 671	157 877	94 633	101 656	34 837	21 714	39 755
Odch. stand.	55 917	42 838	51 649	29 143	29 102	14 060	6 370	11 896

Źródło: opracowanie własne.

Wielkość zamówień poszczególnych grup surowcowych jest zależna od specyfiki wyrobu gotowego określonego przez klientów. Niektóre aplikacje są laminatami kilku surowców, niekoniecznie tej samej grupy. Oznacza to, że do wyprodukowania jednego zlecenia dla klienta było konieczne połączenie np. LDPE z BOPP. Mimo wielu powiązań i zależności między surowcami w tabeli 2 można zauważyć, że w roku 2022 największą część zamówionych surowców stanowił polietylen

(1 834 181 kg). Drugie miejsce, z wolumenem mniejszym o 250 t, zajął polipropylen. W przypadku poliestru łączna ilość wyniosła 214 t, co jest wartością ok. osiem razy mniejszą od pozostałych surowców. Sumaryczna liczba zrealizowanych dostaw, jak i średnia miesięczna wielkość zamówień pokazuje, że LDPE oraz BOPP są surowcami wykorzystywanymi do produkcji na podobnym poziomie. Nie ulega wątpliwości, że PET stanowi znacznie mniejszą grupę wśród realizowanych zleceń, niemniej jednak firma X jest w niego zaopatrywana bardzo regularnie.

Tabela 2. Zamówienia sumarycznie (kg)

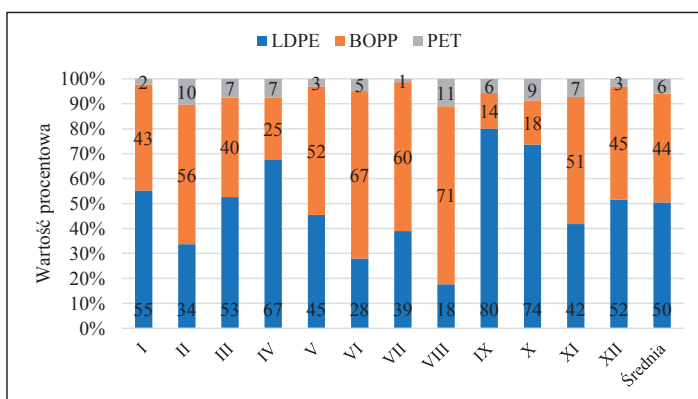
Miesiąc	Grupa surowców		
	LDPE	BOPP	PET
I	126 612	97 446	5 160
II	106 430	176 986	32 722
III	279 415	211 552	39 755
IV	321 631	120 037	35 321
V	209 806	237 572	13 796
VI	79 877	192 076	13 899
VII	97 471	149 116	3 339
VIII	18 720	75 543	11 634
IX	174 813	31 198	12 417
X	169 499	40 830	19 844
XI	99 859	121 686	17 339
XII	150 048	131 569	9 223
Suma	1 834 181	1 585 613	214 447
Min.	18 720	31 198	3 339
Średnia	152 848	132 134	17 871
Max.	321 631	237 572	39 755
Odch. stand.	85 574	65 020	11 896

Źródło: opracowanie własne.

Podczas analizy procesu zaopatrzenia należy zwrócić uwagę na wielkości dostarczane w poszczególnych miesiącach. Najbardziej intensywnym czasem przekazania towaru na magazyn był marzec. Łączna ilość surowców przyjętych w tym miesiącu wyniosła ponad 530 t. Tendencja zwiększonej liczby dostaw utrzymywała się przez dwa następne miesiące i łącznie wyniosła 1 469 t, co stanowiło 40% wielkości zamówień w całym roku. Tak duży wynik był skutkiem wybuchu konfliktu zbrojnego w Ukrainie w lutym, w wyniku którego firma X zabezpieczyła surowiec produkcyjny

w związku z niestabilną sytuacją geopolityczną. Zahamowanie tak intensywnej realizacji zamówień nastąpiło w czerwcu, w którym odnotowano większe spadki cen. Był to jeden z pierwszych wyznaczników ustabilizowania się rynku w odniesieniu do sytuacji we wschodniej Europie. Najmniej zamówień przyjęto w sierpniu – 106 t, co było wynikiem uzupełnienia magazynu w miesiącach poprzednich. Dodatkowym czynnikiem, jaki wpłynął na zmniejszenie zamówień w trzecim i czwartym kwartale, był fakt, że niektórzy klienci również zabezpieczyli swoje zapasy w czasie wojennej paniki, przez co ich zapotrzebowanie na dodatkową produkcję wyrobów gotowych zmalało.

Sumaryczne zestawienie zamówień (tabela 2) ukazało, że największy wolumen roczny stanowił polietylen. Nie oznacza to jednak, że jego największy poziom utrzymywał się we wszystkich miesiącach. Udział poszczególnych surowców w zamówieniach (rys. 1) zmieniał się w zależności od wielu czynników. Była to m.in. cena, ówczesny stan magazynowy czy liczba zleceń realizowanych dla klientów. Średni udział roczny wskazał, że dokładnie połowę dostaw stanowiła folia polietylenowa, 44% polipropylenowa, a 6% poliestrowa. Są to jednak wartości zmienne w poszczególnych miesiącach wynikają przede wszystkim z sezonowości poszczególnych wyrobów gotowych.



Rysunek 1. Udział poszczególnych surowców w zamówieniach

Źródło: opracowanie własne.

Przeważający udział LDPE w zamówieniach miał miejsce w lutym i kwietniu. Było to ściśle związane ze zwiększoną aktywnością składanych zamówień przez klientów, produkujących różnego rodzaju mrożonki. Chodzi tu o produkty takie jak: zupy, warzywa na patelnię, mieszanki warzyw, a także wszelkie owoce (m.in. truskawki, wiśnie, porzeczki). Sezon zbioru płodów rolnych, wykorzystywanych do produkcji tego rodzaju mrozonek, przypada mniej więcej na miesiąc lipiec.

Są to produkty świeże, szybko psujące się. W celu zachowania wysokiej jakości sprzedawanych wyrobów gotowych producent musi zadbać, aby od momentu zbioru produkt został odpowiednio szybko spakowany i zamrożony. Oznacza to, że konieczne jest zabezpieczenie opakowania odpowiednio wcześniej, aby w sezonie zbioru możliwe było natychmiastowe jego wykorzystanie. Zlecenia produkcyjne na ten typ opakowań były składane do firmy X w pierwszym kwartale roku. Wynika to bowiem z czasu potrzebnego na produkcję folii przez dostawcę oraz stopnia złożoności procesu druku i leżakowania opakowania. Następnie odbywa się dystrybucja wyrobu do klienta. Prawidłowy przebieg poszczególnych procesów pozwala na realizację zlecenia w kilka tygodni. Ważne jednak, aby zachować bufor bezpieczeństwa uwzględniający potencjalne reklamacje folii czy niepowodzenia podczas druku.

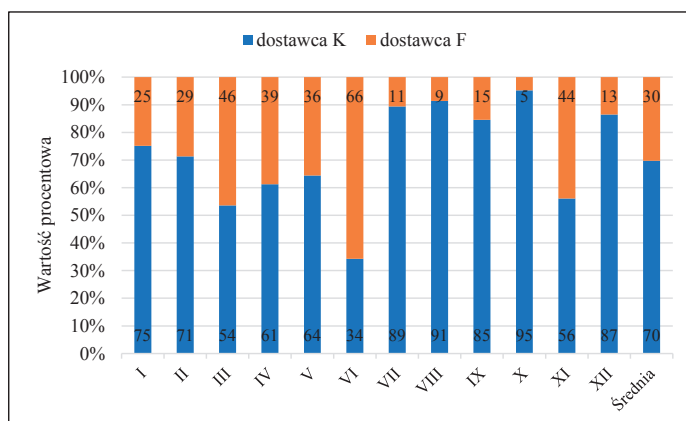
Miesiące maj, czerwiec, lipiec oraz sierpień były czasem intensywnych dostaw BOPP. W szczególności folii etykietowych, przeznaczonych do produkcji oznaczeń na napoje. W okresie wakacyjnym pojawia się zwiększone zapotrzebowanie na wodę, co jest ściśle związane z warunkami pogodowymi. Aplikacje produkowane na etykiety mają nieco inny charakter wytwórczy niż grupa mrożonek. Warto podkreślić, że są to monofolie, czyli folia, na którą jest naniesiona jedynie warstwa farby, nie dochodzi tu do laminacji z żadnym innym materiałem. Technologia ta czyni etykiety bardzo prostymi i nieskomplikowanymi aplikacjami, których czas wytworzenia zajmuje zaledwie ok. kilku dni. Tak szybki czas produkcji nie nakładał na firmę X konieczności zabezpieczenia surowca z kilkutygodniowym wyprzedzeniem. Folia była zamawiana z uwzględnieniem bieżących potrzeb.

Wrzesień i październik był czasem rekordowo wysokiego poziomu zamówień LDPE. Były to jedyne miesiące, w których stanowił on ponad 70% zamówień wszystkich surowców. Wynik ten znów był powiązany z produktami typu mrożonki, jednak tym razem z frytkami. Ziemniaki charakteryzują się możliwością długoterminowego składowania, zatem klienci określili wielkość zapotrzebowania na podstawie zebranych plonów, co zminimalizowało przeszacowanie zapotrzebowania na opakowania.

Koniec roku nie wskazał zwiększonego popytu na konkretny surowiec. Okres ten nie jest ukierunkowany na żadną grupę produktową. Poszczególne surowce są zamawiane pod standardowe zamówienia produkcyjne realizowane regularnie przez cały rok. Należą do nich opakowania na makarony, chipsy, wyroby cukiernicze, galanterię śniadaniową, a także wyroby z branży budowlanej.

Według danych z roku 2022 (rys. 2) firma X współpracowała z dwoma producentami folii polietylenowej. Jedynym miesiącem, w którym dostawca F zaopatrzył drukarnię w większym stopniu, był czerwiec. Średnia roczna wykazała, że 70% dostaw zostało zrealizowanych przez dostawcę K, co jest wartością ponad dwa razy większą. Tak rozkładająca się wielkość zamówień między poszczególnymi partnerami była odzwierciedleniem ówczesnie panujących relacji biznesowych. Rok 2022 był pełen zmian i wahań gospodarczych. Niestety dostawca F w sposób niepożądanym

chciał to wykorzystać. Proponowane stawki nie odzwierciedlały spadków cen rynkowych, a deklarowane terminy dostaw nie były dotrzymywane, co generowało opóźnienia produkcyjne. Ponadto sezon urlopowy był czasem utrudnionej komunikacji i dostępu do informacji o aktualnym stopniu realizacji zamówień złożonych przez firmę X. Niezadowalająca współpraca z dostawcą F spowodowała maksymalne zmniejszenie zamawianego wolumenu i oparcie dostawy polietylenu na dostawcy K funkcjonującym w sposób profesjonalny.

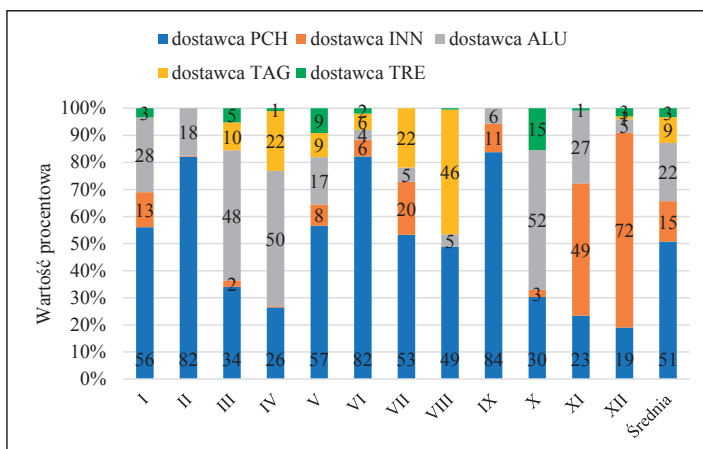


Rysunek 2. Wielkość zamówień u poszczególnych dostawców LDPE

Źródło: opracowanie własne.

Firma X współpracowała z pięcioma dostawcami polipropylenu (rys. 3). Według średniej rocznej największy wolumen został zamówiony u dostawców PCH (51%) oraz ALU (22%). Warto jednak zwrócić uwagę, że w poszczególnych miesiącach udział dostawców rozkładał się bardzo nierównomiernie, co było spowodowane sezonowym zapotrzebowaniem na poszczególne rodzaje folii i produkowane z nich opakowania. Można jednak stwierdzić, że dostawca PCH bez względu na miesiąc stanowił duży udział zaopatrzeniowy. Istnieje kilka uzasadnień tego stwierdzenia. Ze względu na długoletnią współpracę firma X otrzymała specjalny cennik wyrobów oraz korzystne zniżki naliczane po rocznych zestawieniach. PCH posiada w ofercie wiele gatunków folii wykorzystywanych do produkcji różnego rodzaju opakowań. Ich jakość została przetestowana i zaakceptowana przez większość klientów, co zapewniło różnorodność zaopatrzeniową w BOPP u jednego dostawcy. Co więcej, jest to partner rozwijający się, który nieustannie poszerza oferowany asortyment, udostępniając firmie X darmowe próby surowcowe. Tak liczne korzyści współpracy miały pozytywne przełożenie na liczbę zamówień w roku 2022.





Rysunek 3. Wielkość zamówień u poszczególnych dostawców BOPP

Źródło: opracowanie własne

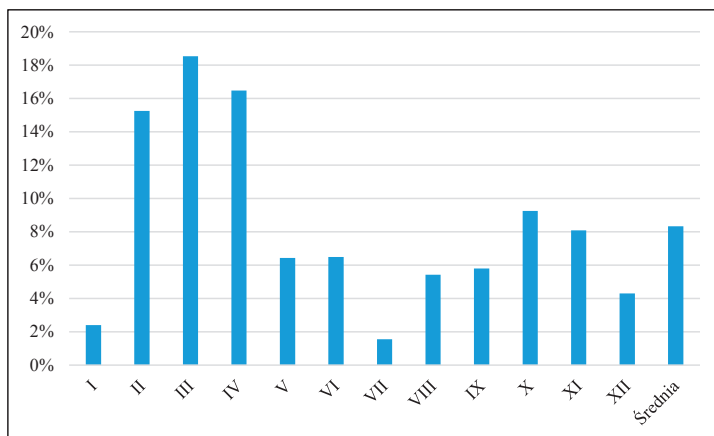
W listopadzie oraz grudniu najwięcej polipropylenu zostało dostarczone przez INN – odpowiednio 49% oraz 72% udziału wśród innych dostawców. Na tle pozostałych miesięcy są to rekordowo wysokie wartości dla tego kontrahenta. Chwilowy skok współpracy był związany z koniecznością zabezpieczenia folii etykietowej dla klienta, który złożył rezerwację produkcyjną. Tak duży wolumen w tym przypadku umożliwił wynegocjowanie lepszej ceny niż z dostawcami, u których regularnie zgłaszane było duże zapotrzebowanie. Warto również zaznaczyć, że INN jest firmą działającą na mniejszą skalę. Przyjęcie tak dużych zamówień w przeciągu dwóch miesięcy zapewniło efektywne wykorzystanie możliwości produkcyjnych bez konieczności łączenia zamówień dla różnych drukarni.

Folie dostarczane przez dostawców TRE i TAG są ściśle związane z konkretnym klientem, który zamawia opakowania na słodkie wyroby piekarnicze (np. ciasteczka) oraz słone przekąski (m.in. paluszki, chipsy). Specyfika tych aplikacji jest ściśle określona przez klienta i wymaga udziału specjalnych folii, które znajdują się w ofercie niewielu dostawców. Klient ten opracował unikalną strukturę opakowań na swoje produkty, zatem sam dobiera poszczególnych dostawców, negocjuje ceny oraz warunki współpracy. Oznacza to, że zlecenia realizowane przez firmę X dla wskazanego klienta były jawne wobec dostawców i organizowane zgodnie z ich ustaleniami. Rola drukarni skupiała się głównie na produkcji gotowego opakowania.

W przypadku zamówień u tych dostawców zaobserwowano dużą nieregularność, mimo że wyroby piekarnicze i przekąski nie charakteryzują się sezonowością.

Ze względu na brak konkurencji dla dostawcy FLE, na rysunku 4 przedstawiono wielkość zamówień PET w poszczególnych miesiącach w roku 2022. Największy

wzrost zamówień zaobserwowano w pierwszym kwartale. Było to związane z koniecznością uzupełnienia zapasów magazynowych, a także niebezpieczeństwem podwyższenia cen wywołanym przez konflikty wschodnie.



Rysunek 4. Wielkość zamówień surowca PET w poszczególnych miesiącach

Źródło: opracowanie własne.

PET jest surowcem dość uniwersalnym, wykorzystywanym w opakowaniach jako bariera przed przenikaniem np. wilgoci do produktu. Jest to szczególnie ważne w wyrobach typu *fresh food* (wykorzystujących specjalne gazy wewnątrz opakowań). Szerokie zastosowanie poliestru zapewniło dość regularne wykorzystanie, a utworzone w pierwszych miesiącach zapasy nie stanowiły niebezpieczeństwa przeszacowania prognoz zużycia. W miesiącach od maja do września odnotowano spadek dostaw poliestru, który był związany z koniecznością zużycia nagromadzonych wcześniej zapasów.

Drukarnia X w roku 2022 realizowała dostawy poliestru wyłącznie u dostawcy FLE. Kooperacja z jednym partnerem stanowi zagrożenie w przypadku wystąpienia niekorzystnych zmian we współpracy. Brak innych źródeł zaopatrzenia nie daje możliwości wyboru alternatywnych rozwiązań. Warto wspomnieć, że na rynku istnieje wiele producentów folii PET, jednak z uwagi na niewielki udział poliestru wśród surowców zamówionych przez firmę X ceny innych dostawców nie były korzystne. Specjalne cenniki otrzymuje się dzięki długoletniej współpracy oraz na podstawie wielkości zamówionego wolumenu, która w przypadku drukarni nie była wysoka. W roku 2022 rozpoczęto poszukiwania dodatkowych dostawców poliestru, jednak w wielu przypadkach wiąże się to z koniecznością zmian organizacji zaopatrzenia. Przykładem było podjęcie współpracy z producentem folii PET z Indii, u którego minimalna wielkość zamówienia w korzystnej cenie to 20 t.

Wiązałoby się to jednak z koniecznością szacowania potrzeb ze znacznym, ok. trzymiesięcznym wyprzedzeniem, wynikającym z długotrwałego czasu dostawy realizowanej transportem morskim. Mimo potencjalnych możliwości pozyskania nowego dostawcy PET projekt jest nowym przedsięwzięciem, a jego realizacja wymaga przeprowadzenia prób jakościowych materiału oraz dokładnej analizy producenta, co narzuca znaczne nakłady pracy oraz czasu.

## 6.5. Wnioski

1. Firma X produkuje opakowania przez przetwarzanie materiałów, takich jak: papier kredowy, gładzony, kraftowy, aluminium, folie skrętne, barierowe, celulozowe oraz cast. Największą grupę stanowią jednak polietylen (LDPE), polipropylen (BOPP) oraz poliester (PET). Według potrzeb folie są wzbogacane o odpowiednie dodatki. Mają one na celu ułatwienie przetwórstwa, ograniczenie sklejania się poszczególnych warstw na rolce, zapobieganie koncentracji pary wodnej w postaci kropel, działanie antyelektrostatyczne oraz zwiększenie biodegradowalności. Przemysł opakowaniowy rozwija się bardzo intensywnie, co jest związane z uszlachetnianiem materiałów. Ma ono na celu poprawę zabezpieczenia jakości produktów, zwiększenie atrakcyjności marketingowej.
2. Wielkość zamówień poszczególnych grup surowcowych była zależna od specyfiki wyrobu gotowego określonego przez klientów. Mimo wielu powiązań i zależności między surowcami największą część zamówień stanowił polietylen (1 834 181 kg). Drugie miejsce, z wolumenem mniejszym o 250 t, zajął polipropylen. W przypadku poliestru łączna ilość zamówionego towaru wyniosła 214 t, co jest wartością ok. osiem razy mniejszą od pozostałych surowców.
3. W pierwszym kwartale przeważający udział w dostarczanych surowcach miał LDPE, co było ściśle związane ze składaniem zamówień przez klientów produkujących mrożonki z roślin szybko psujących się. Okres od maja do sierpnia był czasem intensywnych dostaw BOPP, a w szczególności folii etykietowej, co wynikało z sezonu wakacyjnego i zwiększonego zapotrzebowania na produkty typu woda. We wrześniu i październiku drukarnia zabezpieczała folię do produkcji opakowań na mrożone frytki. Jednocześnie był to czas rekordowo wysokiego udziału polietylenu wśród zamawianych surowców (ponad 70%).
4. W roku 2022 drukarnia współpracowała z dwoma producentami folii polietylenowej. Według średniej rocznej dostawca K zaopatrzył firmę w 70% LDPE. Tak duża różnica była spowodowana niesatysfakcjonującą współpracą z partnerem F. Nie dotrzymywał on deklarowanych terminów realizacji, zawyżał ceny, a komunikacja i dostęp do informacji o aktualnym etapie realizacji zamówień były utrudnione.

5. Dostawy BOPP pochodziły od pięciu dostawców, których udział w wielkości zamówień był bardzo zróżnicowany, PCH stanowił średnio 51%, ALU – 22%, INN – 15%, TAG 9%, a TRE – 3%. W poszczególnych okresach wielkości te ulegały zmianie. Można jednak stwierdzić, że partner PCH niemal w każdym miesiącu był kluczowym dostawcą. Wynikało to z bardzo korzystnych stawek wypracowanych na podstawie długoletniej współpracy, a także szerokiego asortymentu wykorzystywanego przez firmę X do produkcji większości opakowań.
6. Drukarnia X w roku 2022 realizowała dostawy poliestru PET wyłącznie u dostawcy FLE, co stanowi zagrożenie w przypadku wystąpienia niekorzystnych zmian we współpracy. Mimo wielu producentów poliestru na rynku trudne było pozyskanie korzystnych cen, gdyż roczny wolumen tego surowca zamawiany przez firmę X był niewielki. W roku 2022 rozpoczęto poszukiwania dodatkowych dostawców poliestru, jednak w wielu przypadkach wiąże się to z koniecznością zmian organizacji zaopatrzenia. Projekt jest nowym przedsięwzięciem, zatem jego realizacja wymaga znacznych nakładów pracy oraz czasu.
7. Wybuch konfliktu zbrojnego na Ukrainie miał wpływ na zwiększenie zamówień niemal wszystkich surowców, w które firma X była zaopatrywana. Po ustabilizowaniu się rynku w okresie czerwca zaobserwowano znaczny spadek zamówień, przez co najmniej dostaw zostało zorganizowanych w sierpniu (106 t). Druga połowa roku wykazała sezonowość dla niektórych produktów, przez co ilość zamówień znów wzrosła. Koniec roku nie wykazał ukierunkowania na konkretną grupę produktową.

## Bibliografia

- [1] Bendkowski J., Kramarz M., *Logistyka stosowana. Metody, techniki, analizy*, część I, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
- [2] Bendkowski J., Radziejowska G., *Logistyka zaopatrzenia w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
- [3] Bozarth C., Handfield R. B., *Wprowadzenie do zarządzania operacjami i łańcuchem dostaw. Kompletny podręcznik logistyki i zarządzania dostawami*, Onepress, Gliwice 2007.
- [4] Coyle J., Bardi E., Langley C., *Zarządzanie logistyczne*, Warszawa 2007.
- [5] Kempa E., *Problemy zaopatrzenia w systemach logistycznych przedsiębiorstw*, „Zeszyty naukowe Politechniki Częstochowskiej” 2011, nr 4, s. 7–14.
- [6] Klepacki B., Martyniuk R., *Zarządzanie procesami zaopatrzenia w przedsiębiorstwie*, „Logistyka” 2012, nr 6, s. 487–495.
- [7] Lewandowski J., Skołod B., Plinta D., *Organizacja systemów produkcyjnych*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2014.

- [8] Majewski J., *Informatyka dla logistyki*, Instytut Logistyki, Poznań 2008.
- [9] Mroczo F., *Logistyka*, Wałbrzych 2006.
- [10] Puto A., *Czynniki warunkujące rozwój przedsiębiorstwa*, (w:) Kościelniak H. (red.), *Przedsiębiorczość szanse i wyzwania*, Wydawnictwo Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011.
- [11] Skoczylas K., *Możliwości wspomaganie decyzji w procesie zarządzania zaopatrzeniem*, „Humanities and Social Sciences” 2013, nr 1, s. 87–95.
- [12] Szymczak M., *Zarządzanie logistyczne w produkcji*, [w:] *Kompendium wiedzy o logistyce*, red. E. Gołębska, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010, s. 202–203.
- [13] Urbańczyk T., *Logistyka zaopatrzenia*, [w:] *Logistyka w biznesie*, red. M. Ciesielski, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2006, s. 97–119.
- [14] Witowski J., *Zarządzanie łańcuchem dostaw*, Warszawa 2003.
- [15] Żabińska I., *Analiza procesu logistycznego w obszarze zaopatrzenia dla potrzeb wdrożenia systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie produkcją*, „Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji” 2015, z. 2, nr 11, s. 239–252.

Maciej Kuboń\*, Karolina Furyk-Grabowska\*, Elżbieta Olech\*,  
Urszula Malaga-Toboła\*, Zbigniew Daniel\*

## 7. Zarządzanie zaopatrzeniem w aspekcie oceny jakości dostaw

### 7.1. Wprowadzenie

Jednym z kluczowych zadań logistyki jest skuteczne zarządzanie łańcuchem dostaw w przedsiębiorstwie, w tym jego planowanie, tworzenie oraz ciągłe doskonalenie i wdrażanie funkcjonalnych usprawnień [4]. Łańcuch dostaw obejmuje działania zarówno w obrębie jednego przedsiębiorstwa, jak i między przedsiębiorstwami, uwzględniając przy tym przepływ produktów: towarów i usług wraz z przepływem finansów i informacji. Łańcuch dostaw, jego planowanie oraz nadzór stanowią kluczowy proces logistyki zaopatrzenia [2, 10, 13]. Logistyka zaopatrzenia jest jednym z członów ogólnie pojętego terminu logistyki stanowiącym połączenie między procesami dystrybucji i produkcji. Jako jeden z istotnych elementów interdyscyplinarnego charakteru logistyki odpowiada on za proces dostarczania do przedsiębiorstwa kluczowych dla produkcji materiałów, surowców, części oraz elementów eksploatacyjnych niezbędnych do terminowego wyprodukowania i dostarczenia klientowi w dobrej jakości zamówionych wyrobów lub usług [8]. Aby zapewnić sprawne działanie procesu zaopatrzenia w przedsiębiorstwie potrzebne również jest utworzenie silnej sieci dostawców i kontrahentów odpowiedzialnych za dostarczanie najważniejszego asortymentu. Zbudowanie silnego partnerstwa opartego na strategicznych dostawcach ułatwia budowanie przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa na danym rynku przez podniesienie jakości oferowanych usług w zakresie zaopatrzenia oraz obniżenia cen dostarczanego asortymentu. Pozwala to także na analizę, wykrycie i ograniczenie czynności zbędnych oraz przeszkód w płynnym utrzymaniu dostaw towarów, informacji i gotówki, a także skracanie czasu tych przepływów [6, 19]. Przedsiębiorstwa posiadające wdrożony System Zarządzania Jakością przynajmniej ISO 9001 są zobowiązane do przeprowadzania okresowej oceny zakwalifikowanych dostawców w celu weryfikacji, czy spełniają oni wymagania, które są im stawiane (PN-EN ISO 9001:2009).

---

\* Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków; maciej.kubon@urk.edu.pl, karolina.furyk-grabowska@urk.edu.pl, elzbieta.olech@urk.edu.pl, urszula.malaga-tobola@urk.edu.pl, zbigniew.daniel@urk.edu.pl.

Odpowiednia selekcja i klasyfikacja dostawców komponentów do produkcji jest jedną ze strategicznych decyzji działu zakupowego przedsiębiorstwa, która będzie miała istotny wpływ na sprawność i jakość procesu produkcji, a następnie dystrybucji wyrobu gotowego do klienta końcowego. Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 9001:2009 organizacja powinna zapewnić, że spełnia określone wymagania dotyczące zakupów [11, 15]. Należy również wspomnieć o wymaganiach normy ISO 9004:2009, w której przedstawiono proces kontroli dostawców. Zaleca się, aby przedsiębiorstwo prowadziło skuteczne i efektywne procesy służące identyfikowaniu potencjalnych źródeł kupowanych materiałów, rozwoju istniejących dostawców lub partnerów oraz oceny ich zdolności do dostarczania potrzebnych wyrobów zgodnie z ustalonymi wymaganiami, aby zapewnić skuteczność oraz efektywność procesu zakupów w przedsiębiorstwie [9, 17].

Według Marka Ciesielskiego [1] i Jana Twaroga [16] głównymi elementami branymi pod uwagę w logistyce zaopatrzenia, traktowanymi jako kluczowe wskaźniki tego obszaru, są:

- czas dostawy – czas realizacji dostawy od złożenia zamówienia klienta aż do faktycznej daty jego dostawy do jego fabryki lub magazynu zewnętrznego,
- niezawodność dostawy – inaczej zwana też terminowością dostaw. Jest to krytyczny czynnik wpływający na utrzymanie ciągłości produkcji klienta i dalszy, sprawny przebieg procesu,
- jakość dostaw – wyroby dostarczone powinny spełniać określone kryteria wymiarowe, techniczne, funkcjonalne lub estetyczne w zależności od postawionych im wymagań oraz specyfikacji klienta,
- elastyczność – dostosowanie się dostawcy do specyficznych wymagań klienta w zakresie realizowanych dostaw w celu zapewnienia jak najlepszej jakości obsługi.

Bardzo istotnym elementem jest również proces organizacji zaopatrzenia. Termin ten opiera się na złożonym systemie logistycznym mającym za zadanie zapewnienie ciągłości dostaw komponentów do produkcji, co stanowi podstawę funkcjonowania wybranego przedsiębiorstwa. Dostosowanie łańcucha dostaw pod określone wymagania firmy produkcyjnej jest ściśle uzależnione od złożonych operacji organizacyjnych i specyficznych ustaleń w obrębie zarządzania dostawami oraz wszelkimi aspektami z nimi związanymi [7]. W ich skład wchodzi m.in.: czas realizacji dostawy, terminowość dostaw, warunki płatności, utrzymanie zapasów bezpieczeństwa w zależności od bieżących potrzeb [5, 18, 20].

Jednym z podstawowych zadań w logistyce zaopatrzenia jest wybór i ocena dostawców. Ocena dostawców oraz jakość ich usług w zakresie dostaw materiałów i komponentów w dużej mierze zależy od specyficznych wymagań klienta. Najczęstszym kryterium wyboru zakwalifikowanych dostawców do oceny jest skala współpracy w ujęciu biznesowym (np. roczny obrót lub liczba zrealizowanych zamówień w danym okresie). Bardzo często zdarza się także, że nowo



zidentyfikowany dostawca o wysokim potencjale jest także oceniany, aby już na wczesnym etapie współpracy ustalić z nim, jak najbardziej wygodne warunki współpracy. W przypadku nawiązania szerokiej współpracy i dobrej relacji z dostawcami łatwiej o specyficzne ustalenia warunków dostaw i zorientowanie się danego dostawcy na wymagania klienta oraz obustronny rozwój współpracy w poszczególnych jej aspektach. Głównym powodem, dla którego przeprowadzana jest cykliczna ocena działań dostawcy, jest zapewnienie organizacji oraz jej klientów o tym, że zakwalifikowani do współpracy kontrahenci spełniają zadeklarowane na etapie negocjacji kontraktów wymagania. Po etapie kwalifikacji dostawców i ustaleniu szczegółowych warunków współpracy pomiędzy stronami konieczna jest także weryfikacja przestrzegania poszczególnych aspektów w późniejszych fazach realizowanych dostaw. Ocena dostawców daje tym samym możliwość identyfikacji słabych punktów w procesie dostarczania oraz jego optymalizację przez podjęcie działań naprawczych mających na celu ich wyeliminowanie. Cyklicznie gromadzone dane pozwalają na wyciągnięcie cennych informacji, a ich zapisy z nich umożliwiają precyzyjne wskazanie aktualnych trendów dla strategicznych wskaźników dostaw danego asortymentu [3, 12, 14].

## 7.2. Cel, zakres oraz metodyka

Celem pracy była ocena jakości dostaw w aspekcie sprawności zarządzania zaopatrzeniem na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa. Analizą objęto dostawy 30 dostawców z trzech losowo wybranych grup asortymentowych w roku 2022.

Dane do badania zostały wyeksportowane z narzędzia Business Intelligence przedsiębiorstwa, które prowadzi rejestr oraz gromadzi w bazie danych Oracle. Dane o dostawcach zostały przefiltrowane i wyselekcjonowane. Wybrano rok dostaw, grupy asortymentowe oraz liczbę dostarczonych zamówień w przyjętym okresie. Następnie dla wybranych grup asortymentowych wybrano spośród wszystkich dostawców listę 10 z największą liczbą zrealizowanych dostaw w analizowanym okresie.

Ocenę dostawców przeprowadzono na podstawie wyników czterech wybranych wskaźników KPI (Key Performance Indicators) i określono ogólny poziom jakości usług świadczonych przez kontrahentów w zakresie dostaw towaru. Do oceny jakości dostaw wykorzystano następujące wskaźniki:

- średni czas dostaw (dni), jako liczba dni, która upłynęła od momentu złożenia zamówienia do dostarczenia towaru do firmy przez dostawcę oraz jego wejścia na magazyn,



- terminowość realizowanych linii dostaw (%), jako procentowy wynik pomiaru przeprowadzanego w odniesieniu do daty dostawy potwierdzonej przez dostawcę. Dostawa jest uznawana za dostarczoną terminowo w momencie, gdy towary zostały dostarczone do magazynu firmy: 5 dni wcześniej, 0 dni później,
- logistyczne niezgodności przyjęcia towaru na magazyn (%), jako iloraz liczby i rodzaju dostarczonego zamówienia przez dostawcę do liczby i rodzaju asortymentu zamówionego u dostawcy. Wynik wyrażono w procentach,
- jakość dostaw mierzona wskaźnikiem poziomu PPM określono według wzoru:

$$PPM = \frac{N_w}{N_d} \cdot 1000000 \quad (1)$$

gdzie:

$N_w$  – liczba wadliwych komponentów odnotowanych w określonym czasie (szt.),

$N_d$  – liczba dostarczona w tym samym okresie (szt.)

Ocena jakości dostaw wykonana została dla trzech grup asortymentowych:

1. Mechanika – w skład tej grupy wchodzi dostawcy zajmujący się produkcją oraz dystrybucją profili oraz obudów metalowych, obudów plastikowych oraz wszelkich służących jako struktura nośna dla późniejszego wyrobu gotowego. Są to najczęściej komponenty wykonane na specjalne zamówienie zgodnie z projektem oraz wymaganą specyfikacją techniczną.
2. Obwody drukowane PCB – elementy produkowane na specjalne zamówienie zgodnie z projektem oraz wymaganą specyfikacją techniczną. Stanowią one bazowy element dla wyrobów elektronicznych.
3. Chemia – wszystkie środki chemiczne niezbędne do produkcji, takie jak: żywice, sylikony, kleje, topniki, utwardzacze itp. Są to najczęściej katalogowe wyroby dostępne w sieciach dystrybucji o określonych właściwościach ujętych w kartach charakterystyki wyrobu.

Na potrzeby przeprowadzenia oceny opracowano autorski klucz punktacji dla każdego ze wskaźników, tak aby w sposób mierzalny ukazać poziom obsługi przedsiębiorstwa przez swoich największych dostawców. Po przeprowadzonej ocenie każdemu z dostawców nadano jeden z trzech możliwych do uzyskania statusów:

1. Preferowany – najwyższy możliwy do uzyskania status, świadczący o wysokim poziomie jakości realizowanego procesu dostaw zamówień do przedsiębiorstwa.
2. Akceptowany – wynik dostawcy nadal jest pozytywny, jednak istnieją obszary do poprawy, aby jeszcze bardziej usprawnić poziom świadczonych usług.
3. Tymczasowo akceptowany – najniższy możliwy do uzyskania status, świadczący o nie najlepszym poziomie dostawcy w poszczególnych obszarach i wymagający wprowadzenia odpowiednich działań korygujących.

W tabelach 1–5 przedstawiono zakres punktacji za poszczególne kryteria oceny oraz progi punktowe dla danego statusu dostawcy.

Tabela 1. Zakres punktacji dotyczący średniego czasu dostaw

Liczba dni	Punktacja
< 12	15
< 26	10
< 45	5
> 45	0

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Zakres punktacji dotyczący terminowości dostaw

Terminowość dostaw	Punktacja
> 96%	15
> 94%	10
> 90%	5

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Zakres punktacji dotyczący niezgodności dostaw

Poziom niezgodności	Punktacja
< 2%	10
< 5%	5

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Zakres punktacji dotyczący jakości dostaw

Poziom PPM	Punktacja
< 100	20
< 500	10
< 1000	2

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 5. Zakres punktacji dotyczący określonego statusu dostawcy

Próg punktowy	Status dostawcy
> 51	PREFEROWANY
> 31	AKCEPTOWANY
< 31	TYMACZSOWO AKCEPTOWANY

Źródło: opracowanie własne.

### 7.3. Wyniki

W tabelach 6–8 przedstawiono szczegółowe informacje na temat wyniku oceny każdego dostawcy wraz ze szczegółowym rozbiem na poszczególne wskaźniki. Zawarto tam także informacje zbiorcze dla całej grupy asortymentowej. Natomiast na rysunkach 1–3 przedstawiono informacje o osiągniętym łącznym wyniku punktowym każdego z dostawców. Na bazie uzyskanych wyników przeprowadzono analizę danych w celu określenia aktualnego poziomu jakości dostaw dla wybranych kryteriów. Na ich podstawie i przyjętej punktacji przyznano dostawcom odpowiedni status: DOSTAWCA PREFEROWANY (P), AKCEPTOWANY (A) i TYMCZASOWO AKCEPTOWANY (TA).

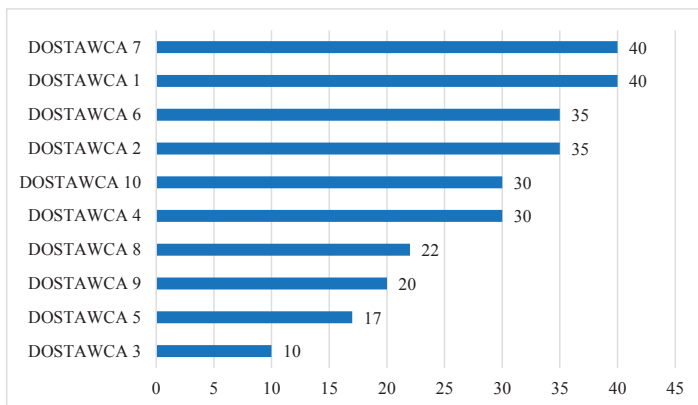
W grupie dostawców „mechanika” zostało ocenionych 10 dostawców. Żaden z nich nie uzyskał statusu „preferowany”. Czterech dostawców otrzymało status „akceptowany”, a 6 „tymczasowo akceptowany”. Średnia liczba uzyskanych punktów to 28, co jest wynikiem poniżej połowy możliwych do uzyskania punktów. Łączna liczba dostarczonych linii w 2022 r. to 6430. W większości dostarczane części to komponenty o sporym gabarycie, jak profile, obudowy, komponenty nośne wykonane ze stopów metali i tworzyw sztucznych.

Tabela 6. Zestawienie wyników oceny dostawców z grupy „mechanika”

Informacje ogólne o dostawcy				Średni czas dostawy		Terminowość dostaw		Jakość dostaw		Niezgodności logistyczne przyjęcia	
Dostawca	Wynik [pkt]	Status dostawcy	Liczba linii dostarczonych	Średnia liczba (dni)	Wynik	Dostaw na czas [%]	Wynik	Poziom ppm	Wynik	Poziom niezgodności [%]	Wynik
1	40	A	1231	10,4	15	98,6	15	1552	0	1,3	10
2	35	A	932	12,5	10	99,5	15	1203	0	1,1	10
3	10	TA	737	37,4	5	81,1	0	21139	0	3,6	5
4	30	TA	720	31,6	10	94,0	10	1938	0	0,4	10
5	17	TA	544	30,3	5	88,9	0	517	2	0,9	10
6	35	A	541	15,4	10	98,9	15	1801	0	0,5	10
7	40	A	498	12,8	10	93,0	10	3	20	6,2	0
8	22	TA	459	23,0	10	89,1	0	692	2	1,7	10
9	20	TA	408	24,9	10	91,0	5	1760	0	2,8	5
10	30	A	360	40,1	5	96,2	15	10250	0	0,5	10
Średnia	28	–	6 430	23,8	–	93,0	–	4085	–	1,9	–

Źródło: opracowanie własne.

Średni czas dostawy, czyli czas realizacji zamówień, był relatywnie krótki (23,8 dni) pomimo tego, iż procesy produkcyjne są skomplikowane i długotrwałe. W głównej mierze wynika to z faktu, iż dostawcy pracują na prognozach i harmonogramach produkcyjnych. Aby zapewnić ciągłość produkcji klienta, budują zapasy bezpieczeństwa w swoich magazynach, z których pobierają towar do kompletacji zamówień w przypadku zwiększonego wolumenu produkcji. Natomiast terminowość dostaw wynosi 93%. Wynik tego wskaźnika jest bezpośrednio powiązany ze średnim czasem dostaw. Praca na prognozach i harmonogramach znacznie ułatwia dotrzymanie potwierdzonej terminowości dostaw. Wynik dla wskaźnika niezgodności logistyczne przyjęcia wynosi 1,9%. Suma dostarczonych linii jest stosunkowo niska w odniesieniu do pozostałych grup asortymentowych, w związku z czym łatwiej jest odpowiednio zarządzać dostawami pod kątem zgodności ich zawartości oraz niezbędnej dokumentacji. Średni wynik jakości dostaw (PPM) wynosi 4085. Tak wysoki PPM jest zdecydowanie powyżej progu akceptowalności. Wynika to w głównej mierze ze skomplikowanych procesów produkcyjnych i technologicznych dostawców. Dodatkowo w przypadku wykrycia niezgodności i zgłoszenia reklamacji do dostawców bardzo duże partie są podejrzane o wadę, jako że są składowane w zapasach produkcyjnych, a co za tym idzie – wyprodukowane przed działaniami korygującymi wprowadzonymi w procesie. W grupie dostawców „mechanika” najwyższy wynik oceny osiągnęli Dostawca 1 oraz Dostawca 7. Zdobyli oni po 40 punktów. Najniższy wynik oceny osiągnął Dostawca 3, który zdobył jedynie 10 punktów (rys. 1).



Rysunek 1. Ranking dostawców z grupy „mechanika” wg uzyskanych punktów oceny

Źródło: opracowanie własne.

Grupa dostawców „obwody drukowane PCB” to najsłabsza grupa dostawców. z jaką współpracuje przedsiębiorstwo. Świadczy o tym średnia liczba punktów

uzyskanych podczas oceny – zaledwie 12 punktów. Każdy spośród ocenionych dostawców z tej grupy nie osiągnął wyniku powyżej 31 punktów. a co za tym idzie – wszyscy dostawcy PCB otrzymali status „tymczasowo akceptowany” (rys. 2). Liczba zamówień w roku jest stosunkowo niska, a wynika to z faktu, że kilka linii zamówień jest realizowana jedną dostawą z uwagi na oszczędności cenowe (dostawy z Azji). Średni czas dostawy wynosi 39 dni. W przypadku tego wskaźnika dla dostawców importowych brany jest pod uwagę transport morski, trwający z reguły od 6 do 8 tygodni.

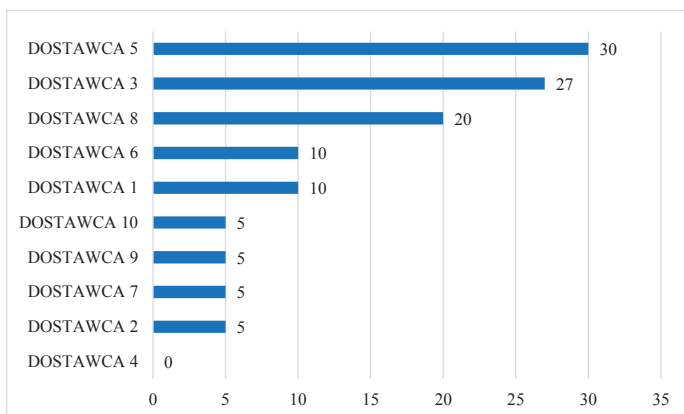
Tabela 7. Zestawienie wyników oceny dostawców z grupy „obwody drukowane PCB”

Informacje ogólne o dostawcy				Średni czas dostawy		Terminowość dostaw		Jakość dostaw		Niezgodności logistyczne przyjęcia	
Dostawca	Wynik [pkt]	Status dostawcy	Liczba linii dostarczonych	Średnia liczba (dni)	Wynik	Dostaw na czas [%]	Wynik	Poziom PPM	Wynik	Poziom niezgodności [%]	Wynik
1	10	TA	801	44,6	10	73,3	0	1993	0	6,3	0
2	5	TA	745	76,7	0	83,4	0	24034	0	3,7	5
3	27	TA	579	28,3	10	98,9	12	11046	0	2,7	5
4	0	TA	559	47,4	0	76,3	0	13289	0	6,8	0
5	30	TA	428	35,9	5	72,1	0	16	20	2,5	5
6	10	TA	424	34,8	5	73,3	0	8227	0	3,8	5
7	5	TA	389	29,2	5	73,8	0	43791	0	11,0	0
8	20	TA	382	21,2	10	87,7	0	6182	0	1,0	10
9	5	TA	208	41,7	5	83,2	0	13982	0	10,7	0
10	5	TA	205	30,5	5	81,4	0	1045	0	8,9	0
<b>Średnia</b>	12	-	472	<b>39,0</b>	-	<b>80,3</b>	-	<b>12360</b>	-	5,7	-

Źródło: opracowanie własne.

Terminowość dostaw kształtowała się na poziomie 80,3%. Poziom tego wskaźnika jest bardzo niski, a wynika on z dużych problemów z kompletacją zamówień przed wysyłką. Często zdarza się, że towary są częściowo dosyłane w kolejnych wysyłkach lub specjalnym transportem lotniczym w momencie, gdy występuje pilne zapotrzebowanie na towar. W niektórych przypadkach taka sytuacja jest podyktowana niskim zaawansowaniem technologicznym i wydajnością fabryk. Niezgodności logistyczne przyjęcia kształtowały się na poziomie 5,7%. Duża liczba błędów i generowanych niezgodności logistycznych spowodowana jest częściowo

przez częste przeglądy dostaw ze względów celnych. Dodatkowo zarządzanie dostawcą na odległość jest bardzo utrudnione. Średni wynik jakości dostaw (PPM) to 12360. Bardzo słaby poziom jakości również wynika z poziomu zaawansowania technologicznego fabryk. Niska cena często przekłada się na niską jakość towarów, czego skutkiem są częste zwroty i reklamacje.



Rysunek 2. Ranking dostawców z grupy „obwody drukowane PCB” wg uzyskanych punktów oceny

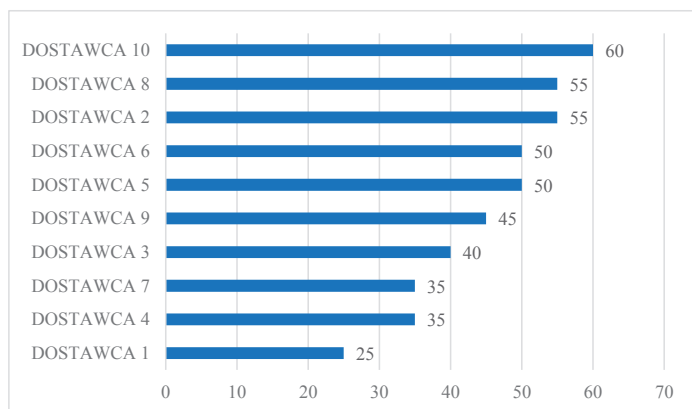
Źródło: opracowanie własne.

Dostawcy z grupy asortymentowej „chemia” zostali ocenieni najwyżej – średnia liczba punktów wyniosła 45. W tej grupie dostawców po przeprowadzonej ocenie status „preferowany” otrzymali Dostawca 2, 8 oraz 10. Sześciu dostawców uzyskało pośredni status „akceptowany”, a tylko jeden dostawca z tej grupy asortymentowej otrzymał status „tymczasowo akceptowany” (rys. 3). Mała liczba zamówień dostarczonych w ciągu roku (1393) wynika z dużej objętości wagowej chemii zawartej w jednej dostawie. Towar jest zamawiany partiami produkcyjnymi z uwagi na kwestię daty przydatności danego środka. Średni czas dostawy to 9,5 dnia, a terminowość dostaw kształtowała się na poziomie 94,2%, co jest wynikiem akceptowalnym. Dostawcy tej grupy z reguły pracują na prognozach produkcyjnych, stąd łatwiej o dotrzymanie potwierdzonej daty dostawy towaru. Opóźnienia powstają jedynie w przypadku zmian harmonogramu produkcyjnego klienta. Może się zdarzyć, że dostawa opóźniona na życzenie odbiorcy powoduje konieczność użycia nowej partii z uwagi na termin przydatności środka do produkcji.

Tabela 8. Zestawienie wyników oceny dostawców z grupy „chemia”

Informacje ogólne o dostawcy				Średni czas dostawy		Terminowość dostaw		Jakość dostaw		Niezgodności logistyczne przyjęcia	
Dostawca	Wynik [pkt]	Status dostawcy	Liczba linii dostarczonych	Średnia liczba [dni]	Wynik	Dostaw na czas [%]	Wynik	Poziom PPM	Wynik	Poziom niezgodności [%]	Wynik
1	25	TA	283	17,8	15	92,0	5	25153	0	4,3	5
2	55	A	261	2,6	15	96,0	15	27	20	5,8	5
3	40	A	242	5,2	15	96,6	15	1255	0	1,6	10
4	35	A	167	8,6	15	96,4	15	7934	0	2,3	5
5	50	A	133	9,8	15	91,7	5	0	20	0,0	10
6	50	A	133	8,6	15	94,3	10	0	20	4,1	5
7	35	A	94	14,7	15	86,0	0	0	20	7,8	0
8	55	A	59	4,0	15	100,0	15	0	20	2,7	5
9	45	A	51	22,7	15	90,0	5	0	20	3,8	5
10	60	P	48	0,7	15	98,6	15	0	20	0,0	10
<b>Średnia</b>	<b>45</b>	<b>-</b>	<b>147,1</b>	<b>9,5</b>	<b>-</b>	<b>94,2</b>	<b>-</b>	<b>3435</b>	<b>-</b>	<b>3,2</b>	<b>-</b>

Źródło: opracowanie własne.

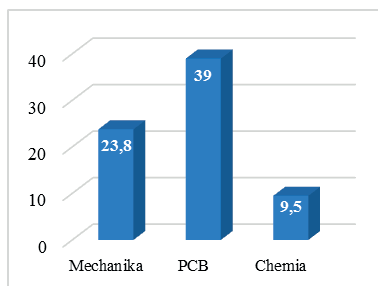


Rysunek 3. Ranking dostawców z grupy „chemia” wg uzyskanych punktów oceny

Źródło: opracowanie własne.

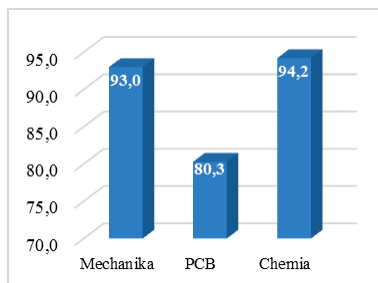
Poziom niezgodności logistycznych w skali całego roku kształtował na poziomie akceptowalnym – 3,2%. Średni wynik jakości dostaw (PPM) wynosił 3435 i nie był to poziom zadowalający. Jakość dostarczanego towaru była na bardzo niskim poziomie, co skutkowało koniecznością zablokowania przyjęcia i złożeniem reklamacji u dostawcy na całą partię towaru.

Oceny dostawców dokonano również na podstawie wybranych wskaźników oceny dostawców. Na rysunkach 4–7 przedstawiono średni czas dostawy, wskaźnik terminowości dostaw, wskaźnik niezgodności logistycznych przyjęcia oraz wskaźnik jakości dostaw.



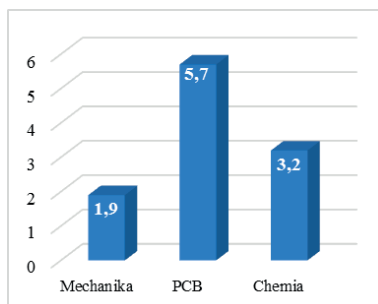
Rysunek 4. Średni czas dostaw [dni]

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 5. Terminowość dostaw [%]

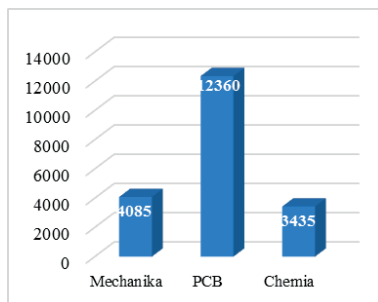
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 6. Poziom niezgodności dostaw [%]

Źródło: opracowanie własne.





Rysunek 7. Wskaźnik jakości dostaw PPM

Źródło: opracowanie własne.

#### 7.4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej oceny jakości dostaw na przykładzie wybranych grup towarów w przedsiębiorstwie sformułowano następujące wnioski:

1. Przeprowadzona ocena wybranych dostawców oraz grup asortymentowych wykazała, iż sprawne zarządzanie zaopatrzeniem w przedsiębiorstwie jest w dużej mierze uwarunkowane rodzajem zamawianego towaru, miejscem jego produkcji oraz sposobem jego dystrybucji do klienta.
2. Ocena logistyki dostaw wybranych grup asortymentowych wykazała, iż najtrudniejsza grupa dostawców pod względem zarządzania oraz jakości dostaw to grupa dostawców „obwodów drukowanych PCB”. Każdy oceniony dostawca uzyskał status „tymczasowo akceptowany”.
3. Zdecydowanie najwyższą jakością obsługi i sprawnością procesu zaopatrzenia charakteryzują się dostawcy towarów z grupy „chemia”. Świadczy o tym krótki czas dostaw, wysoka terminowość dostaw oraz niski poziom niezgodności dostaw.
4. W celu poprawy logistyki dostaw we wszystkich grupach asortymentowych należy w pierwszej kolejności wskazać poszczególnym dostawcom jego najsłabsze obszary działalności wynikające z przeprowadzonej oceny i generujące największe problemy dla klienta. Dostawcy na tej podstawie powinni wdrożyć szereg działań mających na celu poprawę i usprawnienie procesu logistycznego.

## Bibliografia

- [1] Ciesielski M., *Strategie logistyczne przedsiębiorstw*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Poznań 1997.
- [2] Closs D., *Expanding the Perspective of Logistics and Supply Chain Management*, „International Encyclopedia of Transportation” 2021, t. 3, s. 8–15.
- [3] Guzanek P., Sobecki G., Bawoń P., Borucka A., *Wiarygodne prognozy kluczem do usprawnienia realizacji zamówień*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 2023, nr 1, s. 31–39.
- [4] Haydar Y., Tugrul U., *Logistics, supply chain management and technology research: An analysis on the axis of technology mining*, „Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review” 2022, t. 168, 102943.
- [5] Kaźmierczak M., Szymczyk J., *Zarządzanie logistyczne w cywilnym transporcie lotniczym artykułów chłodzonych i głęboko mrożonych z zachowaniem zimnego łańcucha dostaw*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 2019, nr 10, s. 277–300.
- [6] Krygier, J., *Przedsiębiorczość i zarządzanie*, Wydawnictwo SWSPiZ, Łódź 2011.
- [7] Kucukaltan B., Irani Z., Aktas E., *A decision support model for identification and prioritization of key performance indicators in the logistics industry*, „Computers in Human Behavior” 2016, t. 65, s. 346–358.
- [8] Lagorio A., Zenezini G., Mangano G., Pinto R., *A systematic literature review of innovative technologies adopted in logistics management*, „International Journal of Logistics Research and Applications” 2022, t. 25, nr 7, s. 1043–1066.
- [9] Lee A., *Food Safety Assurance Systems: Food Safety and Quality Management Systems. Reference Module in Food Science*, Elsevier, Amsterdam 2023.
- [10] Nowicka-Skowron, M., *Efektywność systemów logistycznych*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2000.
- [11] Pacana A., Stadnicka D., *Systemy zarządzania jakością zgodne z ISO 9001: wdrażanie, audytowanie i doskonalenie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2009.
- [12] Pfohl H., *Systemy logistyczne. Podstawy organizacji i zarządzania*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2001.
- [13] Shcherbakov V., Silkina G., *Supply Chain Management Open Innovation: Virtual Integration in the Network Logistics System*, „Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity” 2021, t. 7, nr 1, 54.
- [14] Smyk S., *Optymalizacja jako wyzwanie dla menedżerów ds. logistyki*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 2023, nr 1, s. 7–16.
- [15] Su H-Ch., Ta-Wei K., Linderman K., *Where in the supply chain network does ISO 9001 improve firm productivity?*, „European Journal of Operational Research” 2020, t. 283, nr 2, s. 530–540.

- [16] Twaróg J., *Mierniki i wskaźniki logistyczne*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2005.
- [17] Wolniak R., Skotnicka-Zasadzień B., *Wybrane metody satysfakcji klienta i oceny dostawców w organizacjach*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008.
- [18] Xing W., Yan L., Zhou S., *Strategic logistics service procurement in shipping supply chains*, „Ocean & Coastal Management” 2023, t. 242, 106714.
- [19] Yu F., Jianfang S., Xihui W., *Relief items procurement and delivery through cooperation with suppliers and logistics companies considering budget constraints*, „International Journal of Production Economics” 2023, t. 264, 108975.
- [20] Zhu Q., Kouhizadeh M., *Blockchain technology, supply chain information, and strategic product deletion management*, „IEEE Engineering Management Review” 2019, t. 47, nr 1, s. 36–44.

**TECHNIKI WYTWARZANIA  
W INŻYNIERII PRODUKCJI**



Anna Rudawska<sup>\*</sup>, Paweł Capała<sup>\*\*</sup>, Izabela Miturska-Barańska<sup>\*</sup>,  
Jakub Szabelski<sup>\*</sup>, Elżbieta Doluk<sup>\*</sup>

## 8. Wpływ wybranych sposobów przygotowania powierzchni na wytrzymałość połączeń klejowych

Niniejszy tekst został opracowany na podstawie pracy dyplomowej inż. Dominiki Nowakowskiej pod tytułem: *Wpływ sposobu przygotowania powierzchni na wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych*, obronionej 2 lutego 2018 r. na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej.

### 8.1. Wprowadzenie

Wytrzymałość połączeń klejowych jest uzależniona w dużej mierze od dwóch czynników: adhezji – przylegania kleju do powierzchni łączonych elementów, a także wytrzymałości samego kleju, zwanej kohezją [1, 2, 8]. Adhezja jest to siła występująca na powierzchni styku elementów, która łączy razem ze sobą dwa elementy, przy czym występuje adhezja mechaniczna oraz właściwa [18]. Duże znaczenie ma chropowatość powierzchni (przy uwzględnieniu aspektu adhezji mechanicznej, w tym mechanicznych zakotwieczeń kleju w nierówności powierzchni [11, 18, 24]) oraz czystość powierzchni. W przypadku braku dostatecznej czystości powierzchni może wystąpić znaczne zmniejszenie działania siły wiązań międzycząsteczkowych. Czystość, chropowatość powierzchni oraz odpowiednie uaktywnienie powierzchni łączonych elementów dokonuje się przez odpowiednią obróbkę przygotowawczą [3, 6, 16, 22].

Przygotowanie powierzchni jest pierwszym, a jednocześnie bardzo ważnym etapem w procesie klejenia. Na jego całokształt składa się kilka procesów, które pozwalają na usunięcie różnych zanieczyszczeń, odpowiednie ukształtowanie struktury stereometrycznej powierzchni łączonych elementów oraz właściwe jej uaktywnienie [25]. Jedną z metod przygotowania powierzchni jest obróbka

---

<sup>\*</sup> Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Informatyzacji i Robotyzacji Produkcji, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618, Lublin; a.rudawska@pollub.pl, i.miturska@pollub.pl, j.szabelski@pollub.pl, e.doluk@pollub.pl.

<sup>\*\*</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Nowych Syntez Chemicznych, Grupa Badawcza Kwas Azotowy, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 13a, 24-110 Puławy; pawel.capala@ins.lukasiewicz.gov.pl.

mechaniczna [4, 7, 19]. Występuje kilka wariantów obróbki mechanicznej: obróbka narzędziami ściernymi, obróbka strumieniowo-ścierna, kulowanie, szcztokowanie, szlifowanie [5, 9, 15]. Podczas takiej obróbki używa się narzędzi ściernych o różnej gradacji ziaren, a także różnych materiałów do piaskowania, śrutowania, kulowania o różnej wielkości i twardości. Podczas piaskowania lub śrutowania należy także dobrać odpowiednie ciśnienie obróbki, by nie uszkodzić warstwy wierzchniej materiału oraz nadać mu odpowiednią chropowatość [14, 20, 26, 27].

W niniejszej pracy skupiono się na przygotowaniu powierzchni oraz analizie wpływu tego etapu klejenia na wytrzymałość połączeń klejowych. W celu porównania do obróbki mechanicznej wykorzystano cztery papiery ścierne o różnej gradacji, a następnie powierzchnie poddano procesowi odtłuszczenia za pomocą dwóch środków odtłuszczających. Utworzone połączenia klejowe zostały wykorzystane do próby wytrzymałościowej.

## 8.2. Metodyka badań

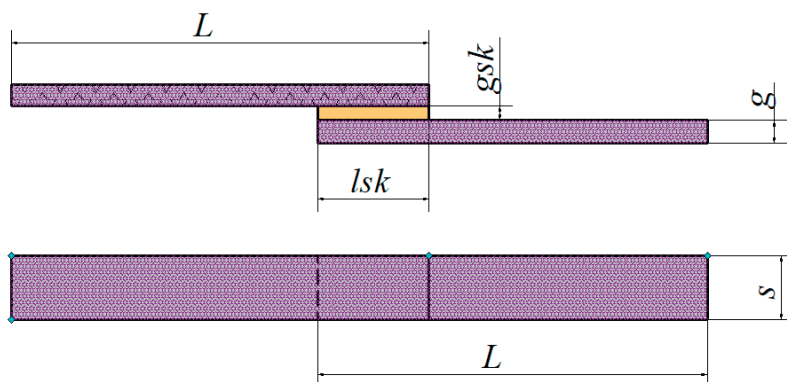
### 8.2.1. Połączenie klejowe

Przedmiotem badań były jednozakładkowe połączenia klejowe wykonane z blachy ze stali niestopowej C45, której wybrane właściwości mechaniczne zaprezentowano w tabeli 1. Schemat takiego połączenia przedstawiono na rysunku 1, a widok na rysunku 2.

Tabela 1. Wybrane właściwości mechaniczne stali C45 [12]

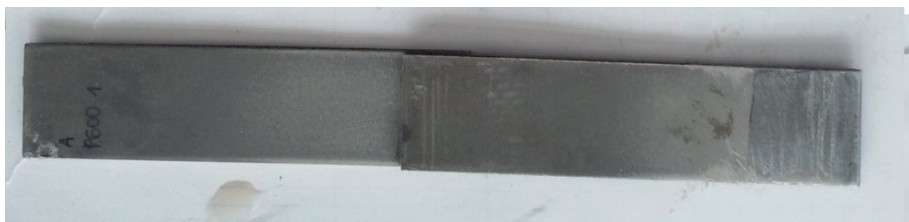
Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ , MPa	560–850
Granica plastyczności $R_e$ , MPa	275–490
Przewężenie $Z$ , %	35–45
Wydłużenie $A_5$ , %	14–17
Twardość po zmiękczeniu, HB	$\leq 229$

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 1. Schemat połączenia klejowego

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 2. Widok połączenia klejowego

Źródło: opracowanie własne.

Próbki stalowe oraz wymiary wykonanych połączeń klejowych jednozakładkowych miały następujące wymiary geometryczne:

- długość łączonych elementów:  $l = 100 \pm 1,10$  mm,
- szerokość:  $s = 20 \pm 0,20$  mm,
- grubość łączonych elementów:  $g = 2 \pm 0,02$  mm,
- długość zakładki (spoiny klejowej):  $l_{sk} = 15 \pm 0,23$  mm,
- grubość spoiny klejowej:  $g_{sk} = 0,12 \pm 0,02$  mm.

### 8.2.2. Sposoby przygotowania powierzchni

Przygotowanie powierzchni łączonych próbek blach stalowych do procesu klejenia przeprowadzono za pomocą obróbki mechanicznej, po której nastąpiło odtłuszczenie wybranymi środkami odtłuszczającymi. Próbki podzielono na cztery partie, uwzględniając wariant obróbki mechanicznej, a do każdej z nich wykorzystano papier ścierny o różnej gradacji: P180, P220, P400 oraz P600.



W każdej z partii wykonano dwa warianty odtłuszczenia (różniące się środkami odtłuszczającymi) oraz w celach porównawczych zastosowano wariant bez odtłuszczenia (tabela 2).

Tabela 2. Warianty przygotowania powierzchni łączonych elementów

Lp.	Sposób przygotowania powierzchni			
	Wariant obróbki mechanicznej	Wariant odtłuszczenia		
	Rodzaj papieru ściernego	Rodzaj środka odtłuszczającego		
1	P180	A Bez odtłuszczenia	B Roztwór detergentu	C Rozcieńczalnik ekstrakcyjny
2	P220			
3	P400			
4	P600			

Źródło: opracowanie własne

W przypadku obróbki mechanicznej przygotowanie powierzchni polegało na wykonaniu 20 ruchów okrężnych papierem ściernym, w celu zwiększenia przyczepności kleju. Widok próbek stalowych po przeprowadzeniu obróbki mechanicznej zamieszczono na rysunku 3.



Rysunek 3. Próbkach blach stalowych po obróbce mechanicznej

Źródło: opracowanie własne.

Następnie każdą z powierzchni poddano odtłuszczeniu. Zarówno rozcieńczalnik ekstrakcyjny, jak i roztwór detergentu zostały zaaplikowane za pomocą atomizera metodą spryskiwania. Czas spryskiwania wynosił 30 s, a odległość dyszy atomizera od obrabianej powierzchni to 100 mm. Odtłuszczenie przeprowadzono trzykrotnie, przy czym po dwóch pierwszych czynnościach odtłuszczenia usunięto zanieczyszczenia znajdujące się na próbkach oraz nadmiar środka odtłuszczającego za pomocą wacika bezpyłowego. Kiedy czynność ta została wykonana dwukrotnie,

na powierzchni elementów stalowych nastąpiła ponowna aplikacja środków odtłuszczających, które pozostawiono do odparowania. Czas przyjęty dla obu środków to 3 min. Odtłuszczanie było realizowane w temperaturze otoczenia  $24\pm 1^{\circ}\text{C}$  i wilgotności powietrza  $23\pm 2\%$ .

### 8.2.3. Warunki wykonania połączeń klejowych

Do wykonania połączenia klejowego zastosowano dwuskładnikowy klej epoksydowy, którego składniki stanowiła żywica epoksydowa produkowana na bazie bisfenolu A (Epidian 62, CIECH Sarzyna, Nowa Sarzyna, Polska) oraz utwardzacz aminowy (Z-1, CIECH Sarzyna, Nowa Sarzyna, Polska) o oznaczeniu Epidian 62/Z-1/10:1.

Wybrane właściwości żywicy epoksydowej Epidian 62 zamieszczono w tabeli 3, a podstawowe właściwości utwardzacza aminowego (Z-1) o liczbie aminowej 1100 mg KOH/g przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 3. Wybrane właściwości żywicy epoksydowej [10]

Właściwości	Żywica epoksydowa – Epidian 62
Lepkość w $20^{\circ}\text{C}$ , mPa·s	4000–6500
Gęstość w $20^{\circ}\text{C}$ , g/cm <sup>3</sup>	1,11–1,16
Liczba epoksydowa min. mol/100 g	0,39

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Wybrane właściwości utwardzacza aminowego [10, 21]

Właściwości	Utwardzacz – trietylenotetraamina
Lepkość w $25^{\circ}\text{C}$ , mPa·s	20–30
Gęstość w $20^{\circ}\text{C}$ , g/cm <sup>3</sup>	0,978–0,983
Stan fizyczny i kolor	żółta/lekko zielonożółta ciecz
Charakterystyczne właściwości	Możliwość utwardzania żywicy epoksydowej w temperaturze otoczenia (tj. utwardzanie na zimno); łatwo rozpuszczalny w wodzie; może absorbować wodę i CO <sub>2</sub> z powietrza; zapewnia elastyczność i udarność żywicom

Źródło: opracowanie własne.

Przygotowanie masy klejowej polegało na połączeniu żywicy epoksydowej Epidian 62 z utwardzaczem Z-1 w stosunku 10:1 (przy uwzględnieniu stosunku stechiometrycznego żywicy i utwardzacza). Mieszanie składników kleju odbywało się w sposób mechaniczny [17] na specjalnym stanowisku do przygotowania

kleju, składającego się z wagi elektronicznej TP-2/1 (FAWAG S.A. Lublin, Polska) o dokładności 0,01 g oraz urządzenia do mieszania mechanicznego składników klejów, wyposażonego w mieszadło kotwicowe. Czas mieszania wynosił 2 min przy prędkości obrotowej 460 obr./min. Istotnym elementem procesu sporządzania masy klejowej było unikanie wprowadzania do niej pęcherzy powietrza, ponieważ obecność tych pęcherzy po procesie utwardzania może przyczynić się to do zmniejszania wytrzymałości połączenia klejowego.

Po wykonaniu tej czynności nastąpiła ręczna aplikacja kleju (w postaci cienkiej warstwy) w miejscu wyznaczenia zakładki.

Klejenie oraz utwardzanie jednostopniowe na zimno połączeń klejowych było przeprowadzane w temperaturze otoczenia  $24 \pm 1^\circ\text{C}$  i wilgotności powietrza  $23 \pm 2\%$ . Nacisk jednostkowy podczas utwardzania wynosi 0,09 MPa, a czas utwardzania – 10 dni.

#### 8.2.4. Pomiar parametrów chropowatości powierzchni

Do pomiaru wybranych parametrów chropowatości powierzchni próbek wykorzystano profilometr stykowy HOMMEL TESTER T1000, o zakresie pomiarowym od 80  $\mu\text{m}$  do 320  $\mu\text{m}$ . Pomiary chropowatości powierzchni zostały wykonane dla 12 próbek, po 3 dla każdego papieru ściernego o różnej gradacji. W tym przypadku nie zastosowano odtłuszczenia powierzchni. Badania były wykonane trzykrotnie na każdej z próbek.

Rejestrowano (wg PN-EN ISO 4287) następujące parametry chropowatości powierzchni:

- $R_a$  – średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości,
- $R_z$  – największa wysokość profilu chropowatości,
- $R_{\text{max}}$  – maksymalna wysokość chropowatości,
- $R_t$  – całkowita wysokość profilu,
- $R_q$  – średnia kwadratowa rzędnych profilu,
- $R_{\text{Sm}}$  – średnia szerokość rowków elementów profilu.

#### 8.2.5. Badania wytrzymałościowe i analiza wyników

Po upływie tego czasu zostały wykonane badania wytrzymałościowe. Na ich podstawie określona została wytrzymałość połączeń na ścinanie, zgodnie z normą DIN-EN 1465. Do przeprowadzenia badań wytrzymałościowych wykorzystano maszynę wytrzymałościową Zwick/Roell Z150. Do badań wykorzystano łącznie 144 próbki połączeń klejowych (12 wariantów przygotowania powierzchni po 12 połączeń).

Otrzymane wyniki badań wytrzymałości oraz wyniki pomiarów parametrów chropowatości powierzchni poddano podstawowej analizie statystycznej, wyznaczając współczynniki korelacji Pearsona  $r$ , określający siłę zależności między zmiennymi.

### 8.3. Wyniki badań

#### 8.3.1. Wyniki chropowatości powierzchni

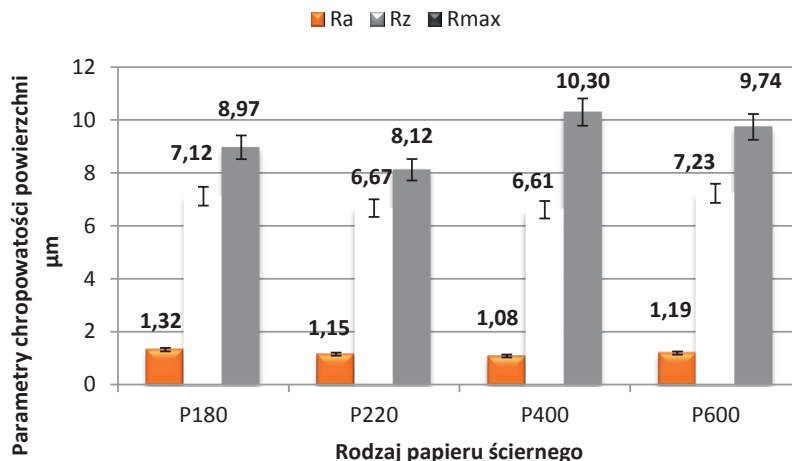
Zestawienie wyników wybranych parametrów chropowatości powierzchni po obróbce mechanicznej papierami ściernymi o różnej gradacji przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Parametry chropowatości powierzchni po obróbce mechanicznej papierem ściernym o różnej gradacji

Rodzaj obróbki mechanicznej	Parametr chropowatości powierzchni					
	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	RSm [mm]	Rt [ $\mu\text{m}$ ]	Rq [ $\mu\text{m}$ ]	Rmax [ $\mu\text{m}$ ]
P180	7,12	1,32	0,196	9,59	1,60	8,97
P220	6,67	1,15	0,137	8,82	1,37	8,12
P400	6,61	1,08	0,146	10,82	1,32	10,30
P600	7,23	1,19	0,140	10,19	1,47	9,74

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 4 zestawiono wartości parametrów chropowatości powierzchni blachy stalowej po obróbce mechanicznej papierem ściernym o różnej gradacji.



Rysunek 4. Zestawienie wartości parametrów chropowatości powierzchni blachy stalowej po obróbce mechanicznej papierem ściernym o różnej gradacji

Źródło: opracowanie własne.

Analizując wykres na rysunku 4, można stwierdzić, iż wyniki w przypadku każdej z czterech obróbek w obrębie wybranego parametru (Rz, Ra, Rmax) mają zbliżone wartości.

Po obróbce mechanicznej papierem ściernym P600 otrzymano najwyższą wartość parametru chropowatości Rz (7,23  $\mu\text{m}$ ). Natomiast najniższy otrzymany wynik wynosi 6,61  $\mu\text{m}$  dla obróbki mechanicznej papierem ściernym P400. Różnica pomiędzy najmniejszą a największą wartością parametru chropowatości Rz wynosi 8,6%. Najmniejsza różnica wynosi 0,9% i występuje pomiędzy próbkami, których powierzchnie przygotowano za pomocą obróbki mechanicznej narzędziem nasypowym P220 oraz P400. Różnica pomiędzy próbkami, gdzie powierzchnie zostały przygotowane za pomocą obróbki mechanicznej papierem ściernym P180 oraz P600, również jest niewielka i wynosi 1,5%. Pozostałe trzy różnice wartości parametru Rz pomiędzy powierzchnią elementów przeznaczonych do łączenia pomiędzy próbkami połączeń klejowych są do siebie zbliżone i wynoszą: 6,3% (dla obróbki P180 oraz P220), 7,2% (dla obróbki P180 oraz P400) i 7,7% (dla obróbki P220 oraz P600).

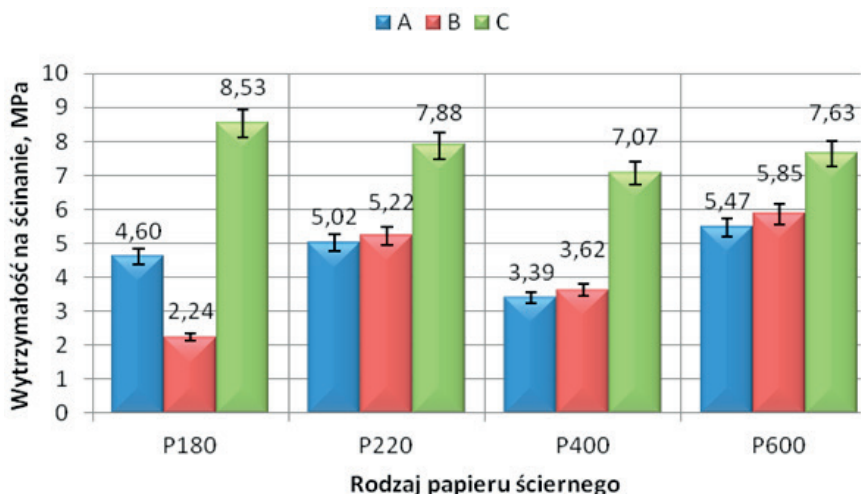
Po obróbce mechanicznej papierem ściernym P180 uzyskano najwyższą wartość parametru chropowatości powierzchni Ra (1,32  $\mu\text{m}$ ), lecz nie odbiegała ona w dużym stopniu od pozostałych trzech wyników. Najniższy zaś wynik zanotowano dla obróbki mechanicznej narzędziem nasypowym P400 (1,08  $\mu\text{m}$ ). Różnica pomiędzy najmniejszą a największą wartością parametru chropowatości Ra wynosi 18,2%. Natomiast najmniejszą różnicę zaobserwowano pomiędzy próbkami przygotowanych za pomocą papieru ściernego P220 oraz P600 i wynosi ona 3,4%. Pomiedzy próbkami elementów łączonych, których powierzchnie przygotowano za pomocą narzędzia nasypowego P220 oraz P400, zanotowano różnicę, która wynosi 6,1%. Kolejne dwie różnice próbek połączeń klejowych mają zbliżone wartości i wynoszą 9,2% (dla obróbki P400 oraz P600) i 9,8% (dla obróbki P180 oraz P600).

Analizując maksymalną wysokość chropowatości Rmax, można zauważyć, że najwyższą wartość uzyskano dla obróbki mechanicznej papierem ściernym P400 (10,30  $\mu\text{m}$ ). Po obróbce mechanicznej powierzchni próbek stalowych narzędziem nasypowym P220 otrzymano najniższy wynik, który wynosi 8,12  $\mu\text{m}$ . Różnica pomiędzy najmniejszą a największą wartością parametru chropowatości Rmax wynosi 21,2%. Równie wysoką różnicę zanotowano dla próbek elementów łączonych, których powierzchnie przygotowano za pomocą obróbki mechanicznej papierem ściernym P220 oraz P600. Wynosi ona 16,6%. Najmniejszą różnicę zanotowano dla próbek, których powierzchnie przygotowano za pomocą narzędzia nasypowego P400 oraz P600. Wynosi ona 5,4%. Pozostałe trzy różnice parametru chropowatości Rmax są następujące: 7,9% (dla obróbki P180 oraz P600), 9,5% (dla obróbki P180 oraz P220) i 12,9% (dla obróbki P180 oraz P400).

Z otrzymanych wartości parametrów można wnioskować, że na wytrzymałość połączenia klejowego będzie miała wpływ zarówno struktura geometryczna powierzchni próbki, jak i rodzaj zastosowanego kleju. Ponieważ uzyskane wyniki są zbliżone do siebie to można założyć, że struktura geometryczna wpłynie w niewielkim stopniu na wytrzymałość połączeń klejowych. Natomiast w dalszej części pracy oceniono, czy wpływ na wytrzymałość połączeń klejowych będzie mieć rodzaj zastosowanego odtłuszczacza.

### 8.3.2. Wytrzymałość połączeń klejowych

Na rysunku 5 zestawiono wyniki badań wytrzymałościowych dla analizowanych wariantów przygotowania powierzchni łączonych materiałów.



Rysunek 5. Zestawienie wyników badań wytrzymałościowych: A, B, C – sposoby przygotowania powierzchni (znaczenia zgodne z tabelą 1)

Źródło: opracowanie własne.

Podczas przygotowania powierzchni jedynie za pomocą obróbki mechanicznej (rys. 4), bez zastosowania odtłuszczania, najwyższą wytrzymałość uzyskały połączenia klejowe, których powierzchnie przygotowano papierem ściernym o gradacji P600 (5,47 MPa). Natomiast połączenia klejowe próbek, gdzie zastosowano narzędzie nasypowe P400, otrzymały najniższą wytrzymałość (3,39 MPa). Różnica pomiędzy najniższą wartością wytrzymałości łączonych elementów a najwyższą wartością wynosi 38%.

Na podstawie wszystkich wyżej przedstawionych wyników można stwierdzić, że obróbka mechaniczna papierem ściernym P180 oraz odtłuszczenie przy wykorzystaniu mieszaniny detergentu okazała się najmniej efektywna. Dla takiego sposobu przygotowania powierzchni połączenie klejowe uzyskało najniższą wartość

wytrzymałości i wynosi ona 2,24 MPa. Pozostałe wyniki wytrzymałości połączeń klejowych, które otrzymano dla tej metody, wynoszą kolejno: 5,22 MPa, 3,62 MPa, 5,85 MPa. Różnica pomiędzy najniższą wartością wytrzymałości a najwyższą, gdzie powierzchnie łączonych elementów zostały odtłuszczone mieszaniną detergentu, wynosi 61,7%.

Zauważono, że poza jednym przypadkiem zastosowanie odtłuszczenia mieszaniną detergentu oraz obróbki mechanicznej pozwoliło na uzyskanie wysokiej wytrzymałości połączeń klejowych.

Najwyższą wytrzymałość otrzymały próbki połączeń klejowych, w których powierzchnie zostały przygotowane za pomocą obróbki mechanicznej narzędziem nasypowym P180 i które zostały odtłuszczone rozcieńczalnikiem ekstrakcyjnym. Wartość ta wynosi 8,53 MPa. Pozostałe wyniki dla takiego sposobu odtłuszczenia są następujące: 7,88 MPa, 7,07 MPa oraz 7,63 MPa. Różnica pomiędzy najniższym uzyskanym wynikiem wytrzymałości łączonych elementów a najwyższym, gdzie wykorzystano rozcieńczalnik ekstrakcyjny (jako środek odtłuszczający powierzchnie łączonych blach), wynosi 17,1%. Natomiast najniższą różnicę wyników wytrzymałości dla takiego sposobu odtłuszczenia, uzyskano dla obróbki mechanicznej papierem ściernym P220 i P600. Wynosi ona 3,2%. Można zauważyć, że korzystne jest zastosowanie odtłuszczenia rozcieńczalnikiem ekstrakcyjnym, niezależnie od tego, jaki rodzaj papieru ściernego został wykorzystany w procesie przygotowania powierzchni klejonych elementów.

Różnica pomiędzy najniższą wartością wytrzymałości połączeń klejowych a najwyższą wynosi 6,29 MPa, a w przeliczeniu na wartość procentową jest to 73,7%. Te wartości uzyskano dla połączeń klejowych próbek, których powierzchnie przygotowano za pomocą papieru ściernego P180.

### 8.3.3. Porównanie wyników

Współczynnik korelacji Pearsona  $r(X,Y)$  obliczono między wartościami wytrzymałości połączeń klejowych oraz parametrami chropowatości powierzchni  $R_a$ ,  $R_z$  i  $R_{max}$  uzyskanymi po obróbce mechanicznej stosowanymi w przygotowaniu powierzchni papierami ściernymi, po których nie wystąpiło odtłuszczenie – wariant A (tabela 6). Analizując wartość współczynnika korelacji  $r$  Pearsona  $(X,Y)$ , można zauważyć, że współczynnik korelacji  $(r)$  między wytrzymałością a parametrem chropowatości powierzchni  $R_a$  wynosi 0,43, co wskazuje na dodatni związek pomiędzy tymi wielkościami i korelacja jest zaliczana do przeciętnych ( $0,3 \leq r(X,Y) < 0,5$ ) [26]. Współczynnik korelacji  $(r)$  między wytrzymałością a parametrem chropowatości powierzchni  $R_z$  wynosi 0,64, co świadczy o wysokiej korelacji tych zmiennych [13]. Natomiast w przypadku porównania wartości wytrzymałości połączeń klejowych i parametru chropowatości powierzchni  $R_{max}$



współczynnik korelacji wynosi -0,52, co świadczy o ujemnej, ale dość wysokiej korelacji ( $0,5 \leq r(X,Y) < 0,7$ ) [13] między porównywanymi wartościami. Im większa wartość bezwzględna współczynnika korelacji, tym silniejszy związek liniowy między zmiennymi. Przykładowo w przypadku parametru chropowatości powierzchni Rz wraz ze zwiększaniem się wartości tego parametru wzrasta także wytrzymałość połączeń klejowych.

Tabela 6. Korelacja pomiędzy wybranymi sposobami przygotowania powierzchni a wytrzymałością połączeń klejowych

Sposób przygotowania powierzchni	Współczynnik korelacji $r(X,Y)$		
	Zmienne (X-Y)		
	Ra – wytrzymałość	Rz – wytrzymałość	Rmax – wytrzymałość
A- P180/P220/P400 P600	0,43	0,64	-0,52

Źródło: opracowanie własne.

Porównując uzyskane wyniki badań, można zauważyć, że większa chropowatość powierzchni sprzyja uzyskaniu większej wytrzymałości, choć nie bez znaczenia jest rodzaj parametru chropowatości powierzchni, ale także (co nie było przedmiotem badań) rodzaj kleju, a w zasadzie jego właściwości, w tym głównie lepkość. W pracy [23], w której analizowano zagadnienia wpływu frezowania na wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych, także stwierdzono, że największą wytrzymałość uzyskano w przypadku sklejenia elementów o największych wartościach wybranych parametrów chropowatości powierzchni.

W pracy [26] przedstawiono, że najwyższą wytrzymałość osiągnęły połączenia klejowe blach stalowych, których łączone elementy poddano śrutowaniu, wykazujące największą chropowatość powierzchni. Wykazano silną liniową zależność między rozważanymi parametrami chropowatości powierzchni (Ra, Rz, Rt) a wytrzymałością połączeń klejowych na ścinanie.

Felix Elbing i inni [9] wykazali, że przyczepność połączeń klejowych stopu aluminium można znacznie poprawić za pomocą jednej z metod obróbki mechanicznej – czyszczenia suchym lodem. Ale jest to dość złożone zjawisko, ponieważ zastosowanie obróbki suchym lodem powoduje tylko nieznaczne zmiany w strukturze topograficznej powierzchni i nieznaczny wzrost parametrów chropowatości powierzchni. Mariana Staia i inni [28] podkreślili, że obróbka mechaniczna za pomocą śrutowania przyczynia się do uzyskania wystarczającej chropowatości powierzchni, która zapewnia mechaniczne zakotwiczenie między dwoma materiałami w połączeniach adhezyjnych (np. klejem i podłożem).



## 8.4. Podsumowanie

Po dokonaniu analizy otrzymanych wyników sformułowano następujące wnioski:

1. Obróbka mechaniczna wykonana za pomocą czterech rodzajów papierów ściernych miała wpływ na wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych.
2. Na podstawie badań stwierdzono, że największą wytrzymałość uzyskały połączenia klejowe, w których powierzchnie odtłuszczone za pomocą rozcieńczalnika ekstrakcyjnego; po wcześniejszej obróbce narzędziem nasypowym P180 zastosowanie tego rodzaju odtłuszczacza doprowadziło do usunięcia wszelkich zanieczyszczeń, a tym samym zwiększyła się przyczepność kleju do powierzchni klejonej.
3. Najbardziej korzystnym sposobem przygotowania powierzchni ze wszystkich wariantów obróbki mechanicznej i odtłuszczenia był sposób, w którym do odtłuszczenia wykorzystano rozcieńczalnik ekstrakcyjny. Świadczyć to może o uzyskaniu dokładnego oczyszczenia powierzchni i usunięciu zanieczyszczeń powstałych po obróbce mechanicznej oraz o właściwym odtłuszczeniu.
4. Odtłuszczenie powierzchni za pomocą rozcieńczalnika ekstrakcyjnego po obróbce mechanicznej narzędziem nasypowym P180 (uzyskano maksymalną wytrzymałość), w stosunku do zastosowania obróbki mechanicznej papierem ściernym P400 (uzyskano minimalną wytrzymałość), spowodowało wzrost wytrzymałości o 17,1%.
5. Najmniej efektywnym sposobem łączenia blach było zastosowanie do odtłuszczenia mieszaniny płynu do naczyń z wodą, a do obróbki mechanicznej wykorzystanie narzędzia nasypowego P180 (w tym przypadku uzyskano najmniejszą wartość wytrzymałości połączeń klejowych spośród pozostałych uzyskanych wyników). Uzyskana wartość wytrzymałości połączeń klejowych jest niższa aż o 73,7 % w stosunku do najwyższego otrzymanego wyniku.

Podsumowując, rodzaj przygotowania powierzchni do klejenia ma duże znaczenie, gdyż dzięki temu można uzyskać odpowiednią chropowatość powierzchni łączonych materiałów, która przyczynia się do zakotwiczenia się kleju w mikronierównościach powierzchni. Jeżeli powierzchnie charakteryzują się strukturą bardziej chropowatą, można wówczas uzyskać mocniejsze połączenia klejowe niż w przypadku połączenia elementów o małej chropowatości powierzchni. Aby możliwe było uzyskanie wysokiej wytrzymałości, należy przed przystąpieniem do procesu klejenia zwrócić szczególną uwagę na czystość powierzchni. Dlatego ważne jest, by próbki wykorzystane do badań poddać procesowi odtłuszczenia, który wpływa korzystnie na wytrzymałość połączeń klejowych. Metoda ta jest prosta i nie wymaga zastosowania specjalnego oprzyrządowania.

## Bibliografia

- [1] Adams R. D., Comyn, J., Wake, W. C., *Structural Adhesive Joints in Engineering Book*, Springer, United Kingdom 1997.
- [2] Baldan A., *Adhesion phenomena in bonded joints*, „International Journal of Adhesion and Adhesives” 2012, t. 38, s. 95–116.
- [3] Bouquet F., Cuntz J. M., Coddet C., *Influence of surface treatment on the durability of stainless steel sheets bonded with epoxy*, „Journal of Adhesion Science and Technology” 1992, t. 6, s. 233–242.
- [4] Boutar Y., Naimi S., Mezlini S., Ali M. B. S., *Effect of surface treatment on the shear strength of aluminium adhesive single-lap joint for automotive applications*, „International Journal of Adhesion and Adhesives” 2016, t. 67, s. 38–43.
- [5] Brack N., Rider A. N., *The influence of mechanical and chemical treatments on the environmental resistance of epoxy adhesive bonds to titanium*, „International Journal of Adhesion and Adhesives” 2014, t. 48, s. 20–27.
- [6] Da Silva Lucas F. M., Ferreira N. M. A. J., Richter-Trummer V., Marques E. A. S., *Effect of grooves on the strength of adhesively bonded joints*, „International Journal of Adhesion and Adhesives” 2010, t. 30, s. 735–743.
- [7] Doluk E., Rudawska A., Kuczmazewski J., Miturska-Barańska I., *Surface roughness after milling of the Al/CFRP stacks with a diamond tool*, „Materials” 2021, t. 14, nr 22, 6835.
- [8] Ebnasajjad S., Ebnasajjad C., *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding*, 2nd edn. Inc. Norwich, William Andrew, New York 2013.
- [9] Elbing F., Anagreh N., Dorn L., Uhlmann E., *Dry ice blasting as pretreatment of aluminium surfaces to improve the adhesive strength of aluminum bonding joints*, „International Journal of Adhesion and Adhesives” 2003, t. 23, s. 69–79.
- [10] *Folder of Chemical Ciech Grup*, [http://ciechresins.com/files/katalogi/EPIDI-AN\\_CATALOG\\_PL\\_PAGE\\_BY\\_PAGE.pdf](http://ciechresins.com/files/katalogi/EPIDI-AN_CATALOG_PL_PAGE_BY_PAGE.pdf) [dostęp: 14.12.2023].
- [11] Gent A. N., Lin C. W., *Model studies of the effect of surface roughness and mechanical interlocking on adhesion*, „The Journal of Adhesion” 1990, t. 32, s. 113–125.
- [12] <https://www.kronosedm.pl/stal-stal-c45-1-0503/> [dostęp 14.12.2023].
- [13] [https://urk.edu.pl/zasoby/65/biostatystyka\\_cw\\_9.pdf](https://urk.edu.pl/zasoby/65/biostatystyka_cw_9.pdf) [dostęp 14.12.2023].
- [14] Jennings C. W., *Surface roughness and bond strength of adhesives*, „The Journal of Adhesion” 1972, t. 4, s. 25–38.
- [15] Khan A. A., Al Kheraif A. A., Alhijji S. M., *Effect of grit-blasting air pressure on adhesion strength of resin to titanium*, „International Journal of Adhesion and Adhesives” 2016, t. 65, s. 41–46.
- [16] Mandolfino Ch., Lertora E., Gambaro C., *Effect of surface pretreatment on the performance of adhesive-bonded joints*, „Key Engineering Materials” 2013, t. 554–558, s. 996–1006.
- [17] Miturska I., Rudawska A., Müller M., Hromasová M., *The influence of mixing methods of epoxy composition ingredients on selected mechanical properties of modified epoxy construction materials*, „Materials” 2021, t. 14, nr 2, 411.
- [18] Packham D. E., *Surface energy, surface topography and adhesion*, „International Journal of Adhesion and Adhesives” 2003, t. 23, s. 437–448.

- [19] Rotella G., Alfano M., Schiefer T., Jansen I., *Evaluation of mechanical and laser surface pre-treatments on the strength of adhesive bonded steel joints for automotive industry*, „Journal of Adhesion Science and Technology” 2016, t. 30, s. 747–758.
- [20] Rudawska A., Danczak I., Müller M., Valasek P., *The effect of sandblasting on surface properties for adhesion*, „International Journal of Adhesion and Adhesives” 2016, t. 70, s. 176–179.
- [21] Rudawska A., *Mechanical properties of epoxy compounds based on bisphenol a aged in aqueous environments*, „Polymers” 2021, t. 13, nr 6, 952.
- [22] Rudawska A., Nalepa J., Müller M., *The effect of degreasing on adhesive joint strength*, „Advances in Science and Technology – Research Journal” 2017, t. 11, s. 75–81.
- [23] Rudawska A., Reszka M., Warda T., Miturska I., Szabelski J., Skoczylas A., Stancekova D., *Milling as method of surface pretreatment of steel for adhesive bonding*, „Journal of Adhesion Science and Technology” 2016, t. 30, s. 2619–2636.
- [24] Rudawska A., *Selected aspects of the effect of mechanical treatment on surface roughness and adhesive joint strength of steel sheets*, „International Journal of Adhesion and Adhesives” 2014, t. 50, s. 235–243.
- [25] Rudawska A., *Surface treatment in bonding technology*, Academic Press Elsevier, United Kingdom 2019, s. 227–264.
- [26] Rudawska A., Szabelski J., Abdel Wahab M., Miturska I., *Impact of abrasive blasting media on the strength of steel sheets adhesively bonded joints*, [w:] *Proceedings of the 8th International Conference on Fracture, Fatigue and Wear, FFW 2020*, Springer, Belgia 2021, s. 81–95.
- [27] Sancaktar E., Gomatam R., *A study on the effects of surface roughness on the strength of single lap joints*, „Journal of Adhesion Science and Technology” 2001, t. 15, s. 97–117.
- [28] Staia M. H., Ramos E., Carrasquero A., Roman A., Lesage J., Chicot D., Mesmacque G., *Effect of substrate roughness inducted by grit blasting upon adhesion of WC-17% Co thermal sprayed coatings*, „Thin Solid Films” 2000, t. 377–378, s. 657–664.

## 9. Analiza mechanizmów zniszczenia materiałów polimerowych wytwarzanych metodą FDM

### 9.1. Wprowadzenie

Materiały polimerowe stanowią znaczącą część przemysłu, a ich produkcja z każdym rokiem wzrasta. W publikacji przedstawiono zdjęcia SEM dla polilaktydu i poli(hydroksymaślanu ko-hydroksywalerianianu), których analiza posłużyła do zgłębienia wiedzy oraz potwierdzenia uzyskanych wniosków na podstawie wiedzy oraz dostępnej literatury. Próbki przeznaczone do analizy na skaningowym mikroskopie elektronowym wykonano z 20% polilaktydu i 80% poli(hydroksymaślanu ko-hydroksywalerianianu) oraz z 30% polilaktydu i 70% poli(hydroksymaślanu ko-hydroksywalerianianu). Przeanalizowano najczęstsze mechanizmy pęknięcia oraz problemy występujące w trakcie addytywnego wytwarzania materiałów.

Produkcja tworzyw sztucznych w 2021 r. wynosiła 50,3 milionów t. Zauważalna jest tendencja liniowa wzrostu wytwarzanych materiałów. Szerokie zastosowanie polimerów w różnych sektorach przemysłu powoduje, że symulacja prędkości rozrostu produkcji wraz z upływem czasu będzie rosła [15]. Taka tendencja wynika z wielu przyczyn, którymi są chęć ułatwienia codziennego życia oraz szeroka gama właściwości tworzyw sztucznych, które przy pomocy różnych dodatków można modyfikować [16]. Nieustanny rozwój inżynierii materiałowej powoduje, że w zależności od rodzaju zastosowania istnieje możliwość wytworzenia materiału o każdych właściwościach [12].

Dostrzegalny jest również wzrost zapotrzebowania rynku materiałów polimerowych na tworzywa podlegające procesom biodegradacji. Jest to bardzo ważne z punktu odciążenia środowiska oraz eliminacji plastiku i jego mikrocząstek przenikających do wód gruntowych oraz atmosfery [1].

Jednym z biodegradowalnych materiałów polimerowych jest termoplastyczny poliester alifatyczny, którym jest polilaktyd [22]. Otrzymuje się go w trakcie procesów fermentacji bakteryjnej węglowodorów z ziemniaków, kukurydzy oraz manioku [18]. Posiada dobre właściwości wytrzymałości mechanicznej takie jak

---

\* Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii i Automatykacji Produkcji M-06, al. Jana Pawła II 37, 31-155 Kraków; anna.gawel@pk.edu.pl.

wysoka sztywność oraz odporność na pękanie. Powyższe parametry powodują, że znalazł zastosowanie jako zamiennik materiałów ropopochodnych [24]. Ze względu na swoje charakterystyczne cechy, biokompatybilność oraz możliwość biodegradacji znajduje zastosowanie w branżach medycznych. Produkowane są z niego głównie nici chirurgiczne, szwy oraz możliwe jest podawanie przy pomocy polilaktydu leków [4, 13]. Bardzo szerokie zastosowanie znajduje również w przemyśle opakowaniowym [19]. Wadą tego termoplastycznego poliestru alifatycznego jest jego niska temperatura zeszklenia, która wynosi ok. 60°C. Efektem jej występowania jest utrata właściwości wytrzymałościowych w podwyższonych temperaturach, lecz zastosowania, do których jest przeznaczony, nie wymagają użycia powyższych temperatur [2, 23].

Kolejnym materiałem biodegradowalnym należącym do grupy termoplastycznych poliestrów alifatycznych jest poli( $\beta$ -hydroksymaślan- $\beta$ -hydroksywalerianian). Podobnie jak w przypadku polilaktydu jest on materiałem biodegradowalnym, biokompatybilnym oraz nietoksycznym [21]. Podlega również degradacji środowiskowej. Cechy te ściśle determinują jego późniejsze zastosowanie oraz możliwość zastąpienia tym polimerem materiałów ropopochodnych [17]. Poli(3-hydroksymaślan-ko-3-hydroxywalerianian) głównie pozyskiwany jest przez proces kopolimeryzacji kwasu 3-hydroxybutanowego i 3-hydroksypanteowego [14]. Materiał ten znajduje zastosowanie przy produkcji opakowań, folii, sztuców oraz w kontrolowanym uwalnianiu leków [11].

Wciąż rosnący popyt na materiały polimerowe powoduje zwiększenie zapotrzebowania na nowe tworzywa sztuczne. Do tego celu oprócz pozyskiwania nowych polimerów można zastosować proces mieszania ze sobą w odpowiednich proporcjach tworzyw sztucznych [3, 6]. Poznane dotychczas właściwości wielu tworzyw sztucznych powodują możliwość dowolnego komponowania cech materiałowych. Stworzenie blendy polilaktydu i poli(3-hydroksymaślanu-ko-3-hydroksywalerianu) przyczynia się do zwiększenia wydłużenia, kosztem spadku właściwości wytrzymałościowych w porównaniu do czystego kwasu polimlekowego, politereftalanu etylenu i poliamidu 6 [10]. Kolejnym sposobem pozyskiwania nowoczesnych materiałów kompozytowych jest proces mieszania ze sobą materiałów polimerowych oraz odpowiednich napełniaczy organicznych lub nieorganicznych [22].

## 9.2. Materiały biodegradowalne

Panujące trendy zwiększania produkcji biodegradowalnych tworzyw sztucznych powodują coraz większe zainteresowanie tymi materiałami. Są one stosunkowo wytrzymałe oraz zmniejszają ilość śladu węglowego. Ich wadą jest posiadanie znacząco niższej wytrzymałości w stosunku do tworzyw sztucznych, wykorzystywanych w obszarach wymagających specjalnego zastosowania, takich jak przemysł samochodowy, lotniczy oraz budowlany.

### 9.3. Wytwarzanie przyrostowe metodą FDM

Polilaktyd jest materiałem polimerowym szeroko stosowanym w addytywnym wytwarzaniu. Ze względu na swoje właściwości mechaniczne oraz możliwość degradacji środowiskowej stanowi on idealny materiał przeznaczony do produkcji w domowych „małych fabrykach”. Tempo rozwoju technologii druku 3D jest bardzo duże, ponieważ istnieje możliwość zastąpienia technik wytwarzania wtryskowego oraz rozdmuchiwania, zwłaszcza dla małej liczby części. Często koszty wykonania pojedynczych elementów znacząco przewyższają koszt produkcji pojedynczej formy lub matrycy.

W takich przypadkach szczególnie przydatna jest technologia addytywnego wytwarzania materiału. Ważne również jest, że wykorzystuje się ją zarówno w przemyśle, jak i do użytku codziennego. Dodatkowo dużą zaletą jest możliwość wykorzystania powyższej metody do produkcji implantów, które w efekcie potrafią w idealny sposób odwzorować wymagany kształt [5, 7, 8].

### 9.4. Anizotropia właściwości

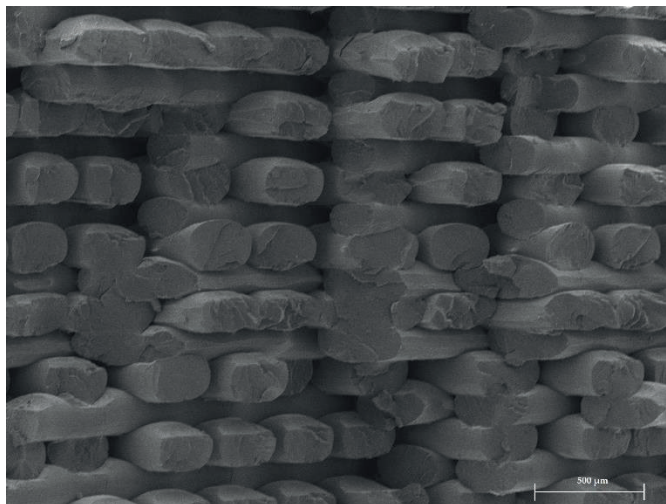
Proces addytywnego wytwarzania materiałów jest bezpośrednio związany z występowaniem zjawiska anizotropii. Badany materiał charakteryzuje się odmiennymi właściwościami w zależności od kierunku pomiaru. Związane jest to z charakterystyką procesu wytwarzania przyrostowego. Występowanie warstw, pustych przestrzeni pomiędzy każdą z nich oraz różnorodność możliwości zaprojektowania połączeń międzywarstwowych przyczyniają się do występowania powyższego zjawiska [20]. Wytrzymałość materiałów wytwarzanych metodą Fused Deposition Modelling mierzona wzdłuż nitki filamentu jest znacznie większa niż w przypadku tego samego pomiaru wykonanego poprzecznie. Znajac szczegółowo proces tworzenia materiału oraz zjawisko anizotropii przyczynia się to do zwiększenia możliwości projektowania właściwości materiałów polimerowych [9].

### 9.5. Analiza SEM

W celu rozwoju sektora przemysłu drukarek 3D wytworzone zostały filamenty z blendy polilaktydu oraz poli(3-hydroksymaślanu-ko-3-hydroksywalerianu) na jednoślismakowej wylączarce 3DEVO COMPOSER 350/450 (Holandia) firmy 3devo. Wytworzono próbki metodą Fused Deposition Modelling oraz poddano je statycznej próbie rozciągania na maszynie MTS Criterion Model 43 (MTS System Corp., Eden Prairie, MN, USA) o zakresie pomiarowym do 30 kN zgodnie z normą PN-EN ISO 527-1:2010 z szybkością 2 mm/min.



Po przeprowadzonym teście zdjęcia zostały wykonane na skaningowym mikroskopie elektronowym JSM-IT200 InTouchScope. W celu uzyskania jak najlepszej przewodności w trakcie pomiarów wszystkie próbki napyłono złotem. Wykonano zdjęcia mikrostruktury dwóch rodzajów biodegradowalnych kompozytów. Pierwszym z nich była blendą składająca się z 70% polilaktydu i 30% poli( $\beta$ -hydroksymaślanu- $\beta$ -hydroksywalerianianu) oraz a drugim blendą z 80% polilaktydu i 20% poli( $\beta$ -hydroksymaślanu- $\beta$ -hydroksywalerianianu).

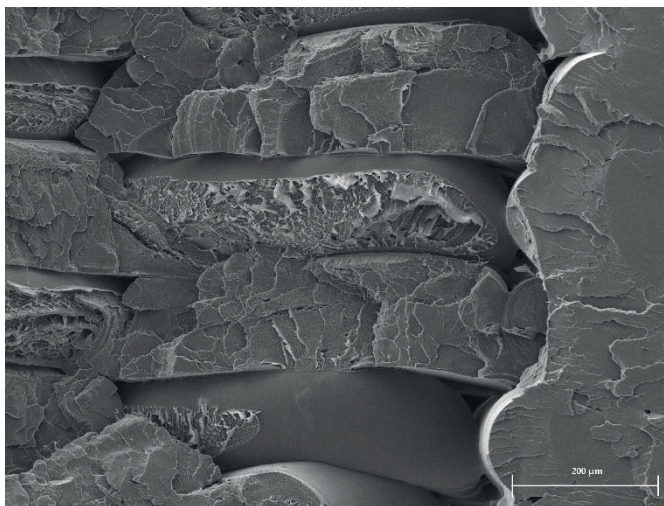


Rysunek 1. Mikrostruktura blendy PLA70PHBV30 po statycznej próbie rozciągania

Źródło: opracowanie własne.

Główną przyczyną rozpoczęcia procesu pęknięcia materiałów polimerowych wytwarzanych metodami addytywnymi jest ich charakterystyczna mikrostruktura. W trakcie procesu wytwarzania pojedyncze nitki filamentu łączone są ze sobą w trakcie ekstruzji. W następstwie tworzone są pojedyncze warstwy, których orientacja może być dowolna. Powoduje to różnice w wytrzymałości w zależności od sposobu ich ułożenia. Najlepszą wytrzymałość uzyskuje się w przypadku prostopadłego ułożenia warstw.

Zauważalne jest również występowanie pustych przestrzeni, powstałych w trakcie procesu addytywnego wytwarzania. Na rysunku 1 przedstawiona została mikrostruktura blendy wykonanej z 70% polilaktydu oraz 30% poli( $\beta$ -hydroksymaślanu- $\beta$ -hydroksywalerianianu). Na zdjęciu SEM ukazana jest również nieregularność filamentu, która bezpośrednio wpływa na koncentrację naprężeń. Im bardziej zbliżony kształt do koła, tym mniejsze wartości koncentracji naprężeń. Świadczy to o większych możliwościach przenoszenia obciążeń, które w efekcie skutkują wyższą wytrzymałością wytworzonego elementu.



Rysunek 2. Mikrostruktura blendy PLA80PHBV20 po statycznej próbie rozciągania

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 2 przedstawiona została mikrostruktura blendy, składającej się z 80% polilaktydu oraz 20% poli( $\beta$ -hydroksymaślanu- $\beta$ -hydroksywalerianianu). W przypadku tego materiału zauważalny jest znaczący problem z mieszalnością obu polimerów. Widać również lokalne zastrzone fragmenty struktury, które świadczą o występowaniu w tych obszarach czystego PHBV. Stanowi to jeden z powodów obniżenia właściwości wytrzymałościowych wytworzonych kompozytów. Porowata struktura oraz omówione wcześniej puste przestrzenie generują większe ryzyko powstawania fragmentów potencjalnie podatnych na degradację, które w efekcie prowadzą do dekohezji materiału.

## 9.6. Podsumowanie i wnioski końcowe

Biodegradowalne materiały polimerowe stanowią ogromną grupę materiałów inżynierskich o możliwościach niezliczonej liczby modyfikacji właściwości wytrzymałościowych. Istnieją różne sposoby wytwarzania tych materiałów, które wiążą się bezpośrednio ze zmianą właściwości wytrzymałościowych. W trakcie projektowania elementów przez addytywne wytwarzanie należy skupić się głównie na parametrach przeprowadzonego procesu. Wysokość warstwy, prędkość druku oraz średnica dyszy mają bezpośredni wpływ na wytrzymałość elementów wytworzonych tą techniką.

Ważnym elementem, wpływającym na powyższe parametry, jest mieszalność wytwarzanych blend. Powstawanie porowatych struktur związane jest ze



zwiększeniem prawdopodobieństwa powstawania miejsc podatnych na degradację, co w efekcie związane jest ze zmniejszeniem właściwości wytrzymałościowych.

W trakcie projektowania parametrów procesu warto zwrócić szczególną uwagę na charakterystykę procesu addytywnego wytwarzania materiału. Jest z nim ściśle związana anizotropia właściwości, która powoduje zróżnicowane właściwości materiałowe w zależności od kierunku pomiaru. Najbardziej korzystne pod względem wytrzymałości jest zaprojektowanie elementu z prostopadłym ułożeniem warstw oraz maksymalnym stopniem wypełnienia próbki.

## Bibliografia

- [1] Aaliya B., Sunooj K. V., Lackner M., *Biopolymer composites: a review*, „International Journal of Biobased Plastics” 2021, t. 3, nr 1, s. 40–84.
- [2] Borkowski K., *Plastics industry – manufacturing materials for 21st century*, „Mechanik” 2015, t. 4, s. 278–282.
- [3] Chiulan I., Frone A. N., Brandabur C., Panaitescu D. M., *Recent advances in 3D printing of aliphatic polyesters*, „Bioengineering” 2018, t. 5, nr 1, 1–18.
- [4] Djukić-Vuković A., Mladenović D., Ivanović J., Pejčin J., Mojović L., *Towards sustainability of lactic acid and poly-lactic acid polymers production*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2019, t. 108, s. 238–252.
- [5] Ding Q., Li X., Zhang D., Zhao G., Sun Z., *Anisotropy of poly(lactic acid)/carbon fiber composites prepared by fused deposition modeling*, „Journal of Applied Polymer Science” 2020, t. 137, nr 23, 48786.
- [6] Ecker J. V., Burzic I., Haider A., Hild S., Rennhofer H., *Improving the impact strength of PLA and its blends with PHA in fused layer modelling*, „Polymer Testing” 2019, t. 78, 105929.
- [7] Edgar J., Tint A., *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, 2nd Edition, „Johnson Matthey Technology Reviews” 2015, t. 59, nr 3, s. 193–198.
- [8] Gibson I., Rosen D., Stucker B., *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, Springer, Nowy York 2013.
- [9] Hinrichs K., Blevins B., Furchner A., Yadavalli N. S., Minko S., *Infrared polarimetry: Anisotropy of polymer nanofibers*, „Micro and Nano Engineering” 2022, t. 14, s. 100116.
- [10] Huang X. X., Tao X. M., Zhang Z. H., Chen P., *Properties and performances of fabrics made from bio-based and degradable polylactide acid/poly (hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) (PLA/PHBV) filament yarns*, „Textile Research Journal” 2017, t. 87, nr 20, s. 2464–2474.

- [11] Ibrahim M. I., Alsafadi D., Alamry K. A., Hussein M. A., *Properties and Applications of Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) Biocomposites*, „Journal of Polymers and the Environment” 2021, t. 29, nr 4, s. 1010–1030.
- [12] Janssens V., *Plastics – the Facts*, 2022, no. October, s. 81, <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/> [dostęp: 14.12.2023]
- [13] Kovalcik A., Sangroniz L., Kalina M., Skopalova K., Humpolicek P., Omasotova M., Mundigler N., Muller A. J., *Properties of scaffolds prepared by fused deposition modeling of poly(hydroxyalkanoates)*, „International Journal of Biological Macromolecules” 2020, t. 161, s. 364–376.
- [14] Lenz R., *Biodegradable polymers and plastics in Japan: Research, development, and applications*, Japanese Technology Evaluation Center, Baltimore 1995.
- [15] Maraveas C., *Production of sustainable and biodegradable polymers from agricultural waste*, „Polymers” 2020, t. 12, nr 5, 1127.
- [16] Marchetti P. A., Zamarripa M. A., Reyes-Labarta J. A., Grossmann I. E., Bucey W., Majewski R. A., *Optimal planning and feedstock-mix selection for multiproduct polymer production*, „Computers & Chemical Engineering” 2016, t. 95, s. 182–201.
- [17] Mizielińska M., Łopusiewicz Ł., Soból M., *Polihydroksyalkanolany – obiecujące polimery biodegradowalne*, „Kosmos” 2018, t. 67, nr 2, s. 299–306.
- [18] Mohanty A. K., Misra M., Hinrichsen G., *Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview*, „Macromolecular Materials and Engineering” 2000, t. 276–277, s. 1–24.
- [19] Namazi H., *Polymers in our daily life*, „BioImpacts” 2017, t. 7, nr 2, s. 73–74.
- [20] Shaffer S., Yang K., Vargas J., Di Prima M. A., Voit W., *On reducing anisotropy in 3D printed polymers via ionizing radiation*, „Polymer (Guildf)” 2014, t. 55, nr 23, s. 5969–5979.
- [21] Tebaldi M. L., Maia A. L. C., Poletto F., de Andrade F. V., Soares D. C. F., *Poly(-3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV): Current advances in synthesis methodologies, antitumor applications and biocompatibility*, „Journal of Drug Delivery Science and Technology” 2019, t. 51, s. 115–126.
- [22] Vohlidal J., *Polymer degradation: A short review*, „Chemistry Teacher International” 2021, t. 3, nr 2., s. 213–220.
- [23] Werten M. W. T., Eggink G., Cohen Stuart M. A., de Wolf F. A., *Production of protein-based polymers in Pichia pastoris*, „Biotechnology Advances” 2019, t. 37, nr 5, s. 642–666.
- [24] Zhang M., Biesold G. M., Choi W., Yu J., Deng Y., Silvestre C., Lin Z., *Recent advances in polymers and polymer composites for food packaging*, „Materials Today” 2022, t. 53, s. 134–161.

## 10. Ocena jakości powierzchni wybranych materiałów lotniczych po znakowaniu laserowym wg zadanych kryteriów

### 10.1. Wprowadzenie

We współczesnych przedsiębiorstwach w procesach logistycznych wykorzystuje się znaki umieszczane bezpośrednio na wyrobach. Techniki znakowania są różnorodne, a w ostatnich latach coraz bardziej popularne stało się znakowanie laserowe. W pracy przedstawiono możliwości znakowania dwóch wybranych materiałów lotniczych. W procesie znakowania użyto laser światłowodowy impulsowy, dostępny na rynku, umożliwiający uzyskanie różnorodnych efektów powierzchniowych. Efekty te są uzależnione od rodzaju materiału oraz parametrów pracy lasera. Przedstawiono wybrane kryteria oceny jakości znaków, otrzymane wyniki pomiarów i obserwacji oraz wnioski użytkowe płynące z przeprowadzonego eksperymentu. Stwierdzono, że ocena ilościowa będzie pomocna w wyborze wariantu znakowania celem uzyskania znaku gładkiego lub szorstkiego, a także w uniknięciu wykonawstwa charakterystycznego dla grawerowania. Kryterium jakościowe, jakim jest ocena wizualna, może być pomocne w doborze efektów związanych z estetyką wyrobu, takich jak kolor czy brak lub występowanie defektów powierzchniowych.

### 10.2. Znakowanie części maszyn

Z uwagi na współczesne procesy logistyczne, wielkość produkcji, różnorodność produkowanego asortymentu, zmienność klientów, konieczność identyfikacji części i inne wyroby w produkcji się znakuje [2]. Znaki umieszczane na ich powierzchni mogą być nietrwałe, w postaci przywieszek lub naklejek, lub trwałe – wykonane określoną techniką i niemożliwe do szybkiego i łatwego usunięcia.

---

\* Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów; barbara.ciecinska@prz.edu.pl.

\*\* Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Informatyzacji i Robotyzacji Produkcji, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin; a.rudawska@pollub.pl.

Na potrzeby produkcji elementów konstrukcyjnych obiektów latających znajduje się je, umieszczając na nich numery identyfikacyjne, numery seryjne, logo producenta, logo klienta i inne. W wielu przypadkach ułatwiają one znalezienie elementu spośród wielu w różnych etapach procesu wytwórczego, ułatwiają jego serwis, sprzedaż, a także zarządzanie procesem produkcji. W zależności od sposobu znakowania oznaczenia mogą charakteryzować się m.in. zróżnicowaną trwałością, czytelnością, odpornością na wpływ czynników zewnętrznych, na ścieranie, kolorem i fakturą (chropowatością powierzchni). Oznaczeniem mogą być ciągi liter, cyfr, symbole, logo, kody, np. kreskowe, Data Matrix lub QR.

W grupie popularnych metod znakowania trwałego wyróżnia się wytrawianie elektrochemiczne, znakowanie mikroudarowe (tzw. *dotpeening*), atramentowy druk ciągły oraz znakowanie laserowe. Znakowanie laserowe, z uwagi na rozwój technologii laserów, coraz powszechniejsze i tańsze, a jednocześnie nowoczesne urządzenia, staje się coraz bardziej popularne i chętnie jest stosowane w przemyśle, m.in. lotniczym czy motoryzacji. Trend ten wynika z możliwości znakowania wielu różnych materiałów, takich jak aluminium, miedź, tytan i ich stopy, żelazo, stal, mangan, ceramika, papier i tektura, drewno, polimery [7]. Dodatkowo na rynku dostępne są urządzenia laserowe o różnych możliwościach obróbkowych, co pozwala na dobór właściwego ze względu na realizowaną produkcję. Warunkiem powodzenia operacji znakowania jest dobór lasera ze względu na spodziewane rezultaty oraz właściwe parametry technologiczne. Lasery są postrzegane pozytywnie z uwagi na elastyczną możliwość zmiany parametrów do wykonywanego oznaczenia w zależności od potrzeb. W produkcji częstym rozwiązaniem jest połączenie urządzenia laserowego z komputerem, dysponującym właściwym oprogramowaniem. Umożliwia to włączenie stanowiska w linię produkcyjną, gdzie w systemach z informatyzowanych dzięki sterownikom PLC są one łatwe do konfiguracji z innymi urządzeniami i połączenia ich w jeden system wytwórczy CIM.

Znakowanie laserowe jest metodą bezkontaktową (brak tradycyjnie rozumianego styku narzędzia z przedmiotem), ale przy ustalaniu parametrów technologicznych konieczne jest uwzględnienie zjawisk występujących w związku z oddziaływaniem skoncentrowanej energii na materiał. Istnieje ryzyko wywołania naprężeń cieplnych lub chemicznych i pęknięcia materiału. Oddziaływanie wiązki może skutkować zainicjowaniem zróżnicowanych procesów. Może wystąpić dyfuzja, powodując zmianę koloru, nagrzewanie (zmiana struktury i koloru), utlenianie (zmiana koloru), odparowanie (usunięcie materiału), topienie (zmiana struktury, odbarwienie) i inne [2]. Przedmiot poddany oddziaływaniu wiązki może zatem mieć zmienioną powierzchnię, co może mieć znaczenie ze względów estetycznych (efektowny kolor, dokładność wykonania znaku), eksploatacyjnych, np. niewielką lub zwiększoną chropowatość powierzchni (jeśli odpowiednio potrzebna jest powierzchnia gładka lub szorstka), trwałości wywołanych zmian, odporności na korozję itp. [6].

### 10.3. Badania eksperymentalne

#### a. Materiały wykorzystane w badaniach

W lotnictwie stosuje się różne stopy metali dobierane z uwagi na potrzebę zapewnienia odpowiednio małej masy, a w rezultacie zwiększenia zasięgu lotów, ładowności czy zmniejszania zużycia paliwa. W licznej grupie materiałów wyróżnić można aluminium i jego stopy oraz tytan i jego stopy. Aluminium i stopy aluminium stosuje się w lotnictwie ze względu na bardzo dobre własności mechaniczne, odporność na korozję, a przede wszystkim małą gęstość. Produkuje się z nich m.in. dźwigary, wręgi, uźebrowanie, wsporniki, elementy poszycia. Z kolei tytan i stopy tytanu, ze względu na małą gęstość, odporność cieplną, wysoką wytrzymałość mechaniczną, odporność na pękanie, stosuje się do produkcji ram okiennych, przewodów hydraulicznych, wydechowych, podpór, elementów podwozia i innych [1, 4].

W eksperymencie wykorzystano stop aluminium EN AW-2024 oraz stop tytanu Ti6Al4V. Stop aluminium EN AW-2024 jest stosowany w lotnictwie do produkcji drobnych elementów konstrukcyjnych i złącznych wykonywanych z blach, taśm, prętów, kształtowników, odkuwek [3. 8]. Stop tytanu Ti6Al4V jest stosowany w lotnictwie do tworzenia elementów konstrukcyjnych skrzydeł samolotów, ram okiennych kokpitów, łączników, a także w powłokach silników rakietowych, elementach silników turbinowych, pierścieniach, tarczach, łopatkach, naczyniach ciśnieniowych wykonywanych m.in. z płyt, pasów, arkuszy lub prętów [4]. Skład chemiczny badanych stopów podano w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny i właściwości badanych stopów [8]

Skład chemiczny stopu EN AW-2024 (stężenie masowe, %)		Skład chemiczny stopu Ti6Al4V (stężenie masowe, %)	
Si	≤0,02	Al	5,5÷6,75
Fe	≤0,50	W	3,5÷4,5
Cu	3,50÷4,90	Cu	–
Mn	0,30÷0,90	Si	–
Mg	1,20÷1,80	Fe	≤0,30
Cr	≤0,10	O	≤0,20
Ni	–	N	≤0,05
W	–	C	≤0,08
Zn	≤0,15	H	≤0,01
Ti	≤0,15	Ti	pozostała część
Al	pozostała część	Mo	–
inne	≤0,15	Sn	–

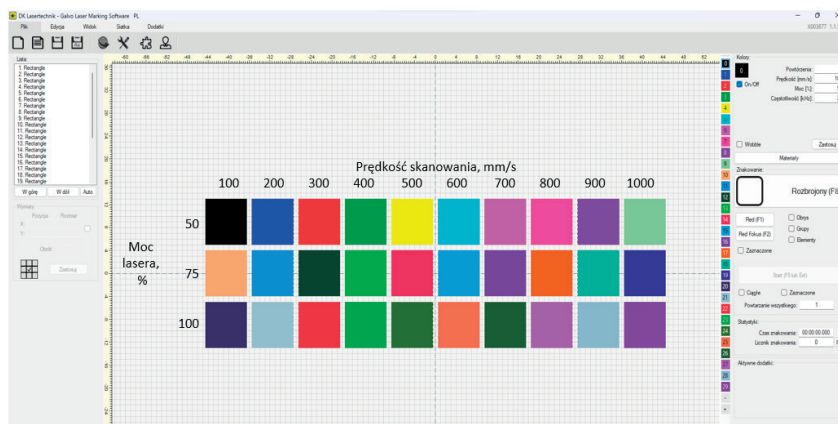
## b. Metodyka badań

Do prób znakowania został użyty laser światłowodowy impulsowy SPI-TRUMPF Polska z oprogramowaniem firmy DK Lasertechnik-Kraków o mocy 20 W, długości fali 1030÷1200 nm, energii pojedynczego impulsu 0,8 mJ i średnicy plamki < 20  $\mu\text{m}$ .

Test znakowania przeprowadzono przy zmiennych parametrach:

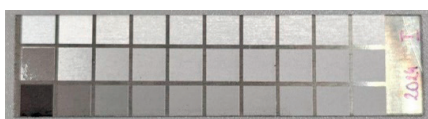
- moc lasera – 50, 75 i 100% (10, 15 i 20 W),
- prędkość skanowania – 100÷1000 mm/s, zmieniana z krokiem 100,
- częstotliwość impulsu – 20 (wariant I) i 50 kHz (wariant II).

Znakowanie wykonano, wypełniając założone pole liniami odległymi od siebie o 0,04 mm. Sposób wykonania znaków i plan eksperymentu pokazano na rysunku 1, a wykonane w ten sposób próbki – na rysunku 2.



Rysunek 1. Sposób wykonania próbek i plan eksperymentu

Źródło: opracowanie własne.



a) stop EN AW-2024; 20 kHz



b) stop EN AW-2024; 50 kHz



c) stop Ti6Al4V; 20 kHz



d) stop Ti6Al4V; 50 kHz

Rysunek 2. Próbkki wykonane w eksperymencie: a) i b) próbki ze stopu EN AW-2024, c) i d) próbki ze stopu Ti6Al4V

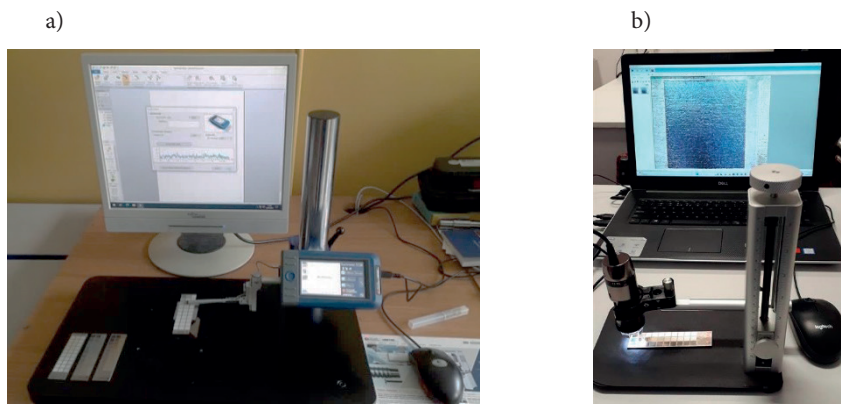
Źródło: opracowanie własne.



Do zweryfikowania efektów znakowania wybrano dwa kryteria:

- ilościowe – wyrażone parametrem Ra w pomiarach chropowatości powierzchni znaku,
- jakościowe – kolor oraz wygląd powierzchni (matowa lub błyszcząca), także ewentualne wady – weryfikowane wzrokowo.

Do weryfikacji chropowatości powierzchni wykorzystano profilometr stykowy Surtronic S128 z oprogramowaniem TalyProfile Silver 7.4. Znakowane pola zmierzono dwukrotnie, a następnie wybrano parametr Ra i obliczono średnią arytmetyczną. Natomiast ocenę wizualną przeprowadzono okiem nieuzbrojonym oraz z użyciem mikroskopu cyfrowego Dino-Lite z oprogramowaniem DinoCapture 2.0, wykonano zdjęcia z powiększeniem ok. 50x (rys. 3).



Rysunek 3. Sposób weryfikacji wybranych kryteriów oceny jakości znaków: a) pomiar chropowatości powierzchni, b) obserwacje mikroskopowe

Źródło: opracowanie własne.

#### 10.4. Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki pomiarów chropowatości powierzchni dla wszystkich badanych wariantów stopu EN AW-2024 i Ti6Al4V podano w tabeli 3 i tabeli 4.

**Tabela 3.** Wartości parametru Ra w  $\mu\text{m}$ , uzyskane w pomiarach chropowości powierzchni EN AW-2024 po znakowaniu z częstotliwością impulsu 20 i 50 kHz

Moc lasera, W	Prędkość skanowania, mm/s	20 kHz			50 kHz		
		RaI	RaII	Ra <sub>śr</sub>	RaI	RaII	Ra <sub>śr</sub>
10	100	0,72	0,69	0,71	0,62	0,64	0,63
	200	0,98	0,89	0,94	0,67	0,63	0,65
	300	1,06	1,13	1,10	0,68	0,69	0,69
	400	1,31	1,65	1,48	0,7	0,69	0,70
	500	1,64	1,69	1,67	0,72	0,73	0,73
	600	1,82	1,79	1,81	0,8	0,78	0,79
	700	1,88	1,92	1,90	0,8	0,82	0,81
	800	2,05	2,10	2,08	0,85	0,84	0,85
	900	2,13	2,11	2,12	0,9	0,87	0,89
	1000	2,15	2,12	2,14	0,9	0,92	0,91
15	100	10,72	10,68	10,70	0,61	0,58	0,60
	200	3,35	3,43	3,39	0,92	0,89	0,91
	300	2,70	2,83	2,77	1,1	0,99	1,05
	400	2,64	2,62	2,63	1,22	1,12	1,17
	500	2,58	2,59	2,59	1,31	1,33	1,32
	600	2,52	2,47	2,50	1,63	1,65	1,64
	700	2,40	2,43	2,42	1,82	1,75	1,79
	800	2,38	2,37	2,38	1,75	1,98	1,87
	900	2,35	2,28	2,32	2,23	2,35	2,29
	1000	2,31	2,25	2,28	2,32	2,45	2,39
20	100	8,11	8,14	8,13	0,81	0,84	0,83
	200	3,90	4,25	4,08	1,10	1,08	1,09
	300	3,20	3,33	3,27	1,15	1,13	1,14
	400	2,80	3,12	2,96	1,32	1,27	1,30
	500	2,80	2,77	2,79	1,54	1,45	1,50
	600	2,73	2,62	2,68	1,62	1,66	1,64
	700	2,61	2,56	2,59	1,84	1,79	1,82
	800	2,54	2,51	2,53	2,08	2,09	2,09
	900	2,50	2,47	2,49	2,15	2,18	2,17
	1000	2,46	2,45	2,46	2,16	2,24	2,20

Źródło: opracowanie własne.

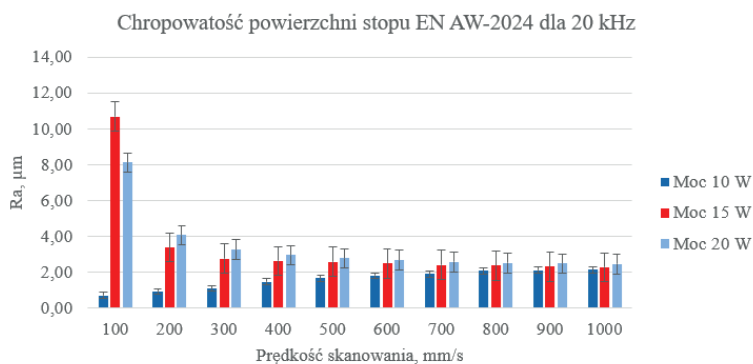


**Tabela 4.** Wartości parametru Ra w  $\mu\text{m}$ , uzyskane w pomiarach chropowatości powierzchni Ti6Al4V po znakowaniu z częstotliwością impulsu 20 i 50 kHz

Moc lasera, W	Prędkość skanowania, mm/s	20 kHz			50 kHz		
		RaI	RaII	Ra <sub>śr</sub>	RaI	RaII	Ra <sub>śr</sub>
10	100	2,77	2,56	2,67	0,45	0,48	0,47
	200	1,44	1,98	1,71	0,52	0,49	0,51
	300	1,22	1,35	1,29	0,59	0,55	0,57
	400	1,06	1,12	1,09	0,47	0,51	0,49
	500	0,98	1,13	1,06	0,43	0,49	0,46
	600	0,98	1,15	1,07	0,44	0,46	0,45
	700	1,19	1,13	1,16	0,75	0,64	0,70
	800	1,13	0,88	1,01	0,61	0,68	0,65
	900	0,89	0,97	0,93	0,57	0,62	0,60
1000	1,03	0,95	0,99	0,42	0,46	0,44	
15	100	4,42	4,28	4,35	0,61	0,68	0,65
	200	3,82	3,75	3,79	0,71	0,72	0,72
	300	3,08	3,32	3,20	0,71	0,70	0,71
	400	2,69	2,98	2,84	0,73	0,69	0,71
	500	2,56	2,46	2,51	0,78	0,65	0,72
	600	2,31	2,47	2,39	0,82	0,76	0,79
	700	2,15	2,25	2,20	0,84	0,79	0,82
	800	1,97	2,21	2,09	0,78	0,81	0,80
	900	1,97	1,86	1,92	0,71	0,67	0,69
1000	1,84	1,85	1,85	0,80	0,76	0,78	
20	100	4,97	4,89	4,93	14,70	13,98	14,34
	200	3,73	3,94	3,84	3,96	4,23	4,10
	300	2,77	2,86	2,82	2,75	3,21	2,98
	400	2,22	2,56	2,39	1,98	2,34	2,16
	500	2,02	1,99	2,01	1,86	1,79	1,83
	600	1,83	1,75	1,79	1,84	1,75	1,80
	700	1,82	1,65	1,74	1,75	1,83	1,79
	800	1,76	1,68	1,72	1,62	1,73	1,68
	900	1,69	1,65	1,67	1,39	1,45	1,42
1000	1,58	1,66	1,62	1,25	1,36	1,31	

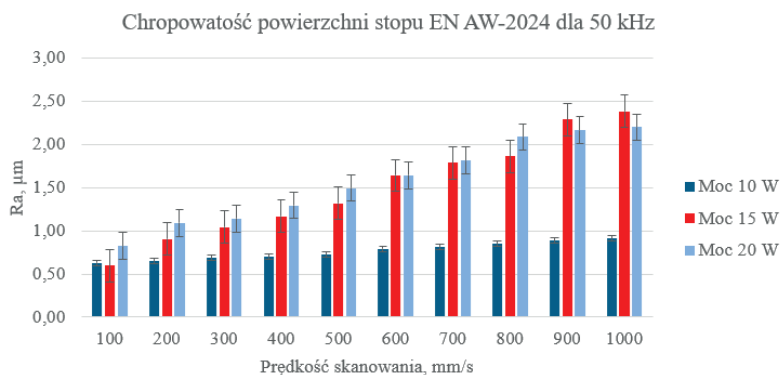
Źródło: opracowanie własne.

Na rysunkach 4–7 pokazano zależność chropowatości powierzchni od prędkości skanowania, mocy i częstotliwości impulsu lasera.



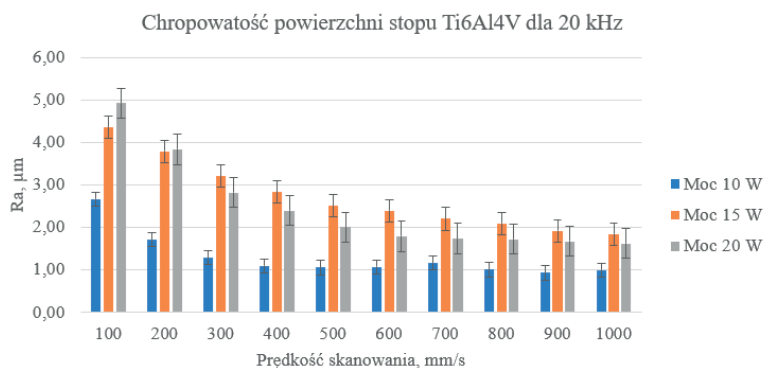
Rysunek 4. Stop aluminium EN AW-2024 – wariant I

Źródło: opracowanie własne.



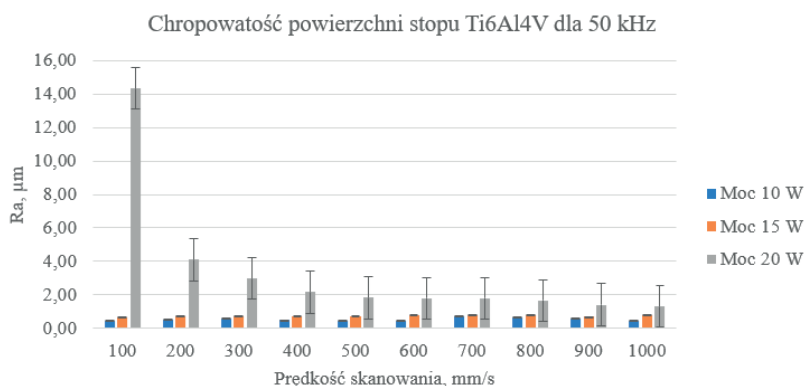
Rysunek 5. Stop aluminium EN AW-2024 – wariant II

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 6. Stop tytanu Ti6Al4V – wariant I

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 7. Stop tytanu Ti6Al4V – wariant II

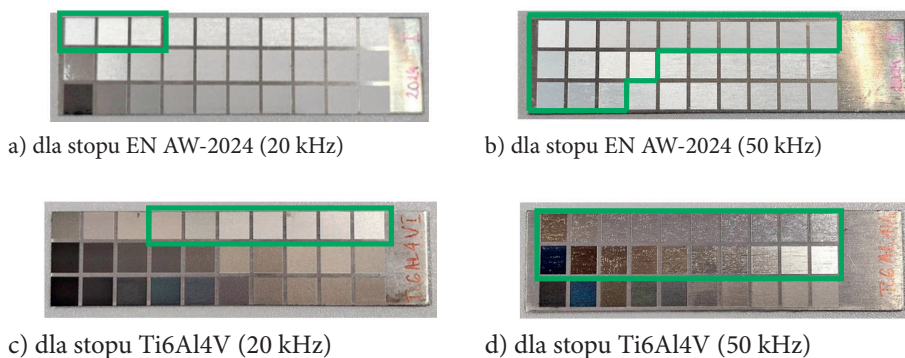
Źródło: opracowanie własne.

Efekt zmiany chropowości powierzchni jest uzależniony od zastosowanych parametrów pracy lasera. W przypadku stopu aluminium (dla którego wyjściowa chropowość Ra po walcowaniu wynosiła ok. 0,40 μm) obróbka z częstotliwością 20kHz i mocą 10W powodowała nieznaczny wzrost chropowości ze wzrostem prędkości skanowania. Chropowość zmieniała się w zakresie od 0,71 dla 100 mm/s do 2,14 μm dla 1000 mm/s. Zwiększenie mocy lasera do 15 W oraz 20 W spowodowało, że chropowość ze wzrostem prędkości skanowania malała. Dla mocy 15 W i prędkości 100 mm/s Ra wynosiła 10,7 μm, dla 200 mm/s wyraźnie spadła do 3,39 μm, a następnie spadała już mniej gwałtownie do 2,28 μm dla 1000 mm/s. Dla mocy 20 W spadek miał podobny charakter, ale wartość maksymalna Ra dla prędkości 100 mm/s była nieco mniejsza i wynosiła 8,13 μm, przy 200 mm/s spadła o ok. połowę do 4,08 μm i dalej do 2,46 μm dla prędkości 1000 mm/s. Obróbka z częstotliwością impulsów 50 kHz natomiast powodowała we wszystkich wariantach mocy niewielki wzrost chropowości powierzchni ze wzrostem prędkości, który wynosił odpowiednio: dla 10 W w zakresie 0,63–0,91 μm, dla 15 W w zakresie 0,60–2,39 μm i dla 20 W w zakresie 0,83–2,20 μm.

Powierzchnia stopu tytanu o wyjściowej chropowości powierzchni Ra po walcowaniu 0,52 μm poddana obróbce wg takiego samego planu jak stop aluminium zmieniała się nieco inaczej. W przypadku obróbki z częstotliwością 20 kHz we wszystkich wariantach mocy chropowość malała ze wzrostem prędkości skanowania odpowiednio: dla mocy 10 W z 2,67 μm do 0,99 μm, dla mocy 15 W od 4,35 μm do 1,85 μm i dla mocy 20 kHz z 4,93 μm dla prędkości 100 mm/s do 1,62 μm dla prędkości 1000 mm/s. W przypadku pól wykonanych z mocą 15 i 20 W chropowość była ok. dwukrotnie wyższa niż dla odpowiadających sobie pól wykonanych z mocą 10 W. Z kolei zwiększenie częstotliwości impulsów do 50 kHz spowodowało, że dla pól wykonanych z mocą 10 W obserwowano

nieznaczny wzrost chropowatości powierzchni ze wzrostem prędkości skanowania w zakresie 0,47–0,60  $\mu\text{m}$ , dla pól wykonanych z mocą 15 W podobnie, tj. wzrost w zakresie 0,65–0,78  $\mu\text{m}$ . Pola wykonane z maksymalną mocą 20 W charakteryzowały się spadkiem chropowatości  $R_a$  ze wzrostem prędkości, dla 100 mm/s wynosiła ona aż 14,34  $\mu\text{m}$ , dla 200 mm/s spadła do 4,1  $\mu\text{m}$ , a następnie już stopniowo malała dla dalszych rosnących prędkości do wartości 1,31  $\mu\text{m}$  przy prędkości 1000 mm/s.

Z powyższej analizy wynika, że przedział parametru  $R_a$  jest szeroki, a uzyskiwana wartość jest związana z parametrami obróbkowymi. Do ustalenia optymalnych warunków znakowania przyjęto założenie sugerowane w [5], że  $R_a$  równe lub mniejsze od 1,25  $\mu\text{m}$  jest wskaźnikiem niskiej chropowatości. Uznaje się, że znakowanie laserowe z założenia nie wymaga znaczącej ingerencji w materiał i nie powinno istotnie zmieniać chropowatości. Przyjęto zatem, że wartość  $R_a = 1,25 \mu\text{m}$  będzie wartością graniczną pomiędzy znakowaniem a grawerowaniem. W związku z tym pola charakteryzujące się większą chropowatością niż  $R_a = 1,25 \mu\text{m}$  nie były zaklasyfikowane jako poprawnie wykonane znaki. Analizując uzyskane wyniki pomiarów, uznano pola zaznaczone na rysunku 8 kolorem zielonym za optymalne (znakowane), zaś pozostałe za nieoptymalne – grawerowane.

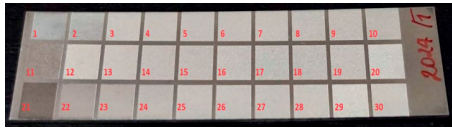
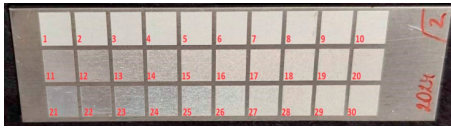


Rysunek 8. Warianty obróbki optymalne dla znakowania laserowego; a) dla stopu EN AW-2024 (20 kHz), b) dla stopu EN AW-2024 (50 kHz), c) dla stopu Ti6Al4V (20 kHz), d) stopu Ti6Al4V (50 kHz)

Źródło: opracowanie własne.

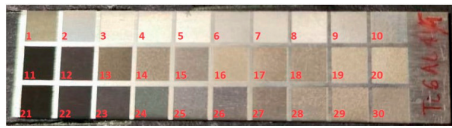
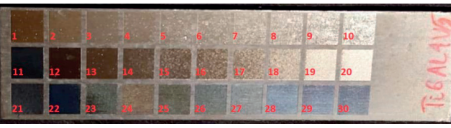
Drugim wykorzystanym kryterium oceny był kolor znakowanej powierzchni. W zależności od materiału oraz parametrów lasera kolory te były bardzo zróżnicowane. W przypadku stopu aluminium EN AW-2024 pozostawały one w skali odcieni szarości, natomiast znaki na stopie tytanu Ti6Al4V były ciekawsze – np. niebieskie, zielone, złote, szare, srebrne, brązowe. W tabeli 5 i tabeli 6 pokazano wyniki oceny kolorystycznej uzyskanych znaków.

Tabela 5. Ocena kolorystyczna znaków stopu aluminium EN AW-2024

Wariant I – 20 kHz	Wariant II – 50 kHz
	
Ocena koloru wg nr pola	Ocena koloru wg nr pola
1 niebieski, lekko błyszczący 2 srebrny, mocno błyszczący 3–10 kolory zbliżone, szare, błyszczące 11 ciemnoszary, matowy 12–20 jasny szary, matowy 21 bardzo ciemny szary, matowy 22 ciemnoszary matowy 23–24 szary, matowy 25–30 jasnoszary, matowy	1 bardzo jasny szary, prawie biały, matowy 2–8 jasny szary, matowy 9–10 jasny szary, lekko błyszczący 11 jasny niebieski, błyszczący 12–14 jasny szary, błyszczący 15–20 jasny szary, lekko błyszczący 21–22 jasnoniebieski, bardzo błyszczący 23–27 jasnoszary, bardzo błyszczący 28–30 jasnoszary, lekko błyszczący

Źródło: opracowanie własne.

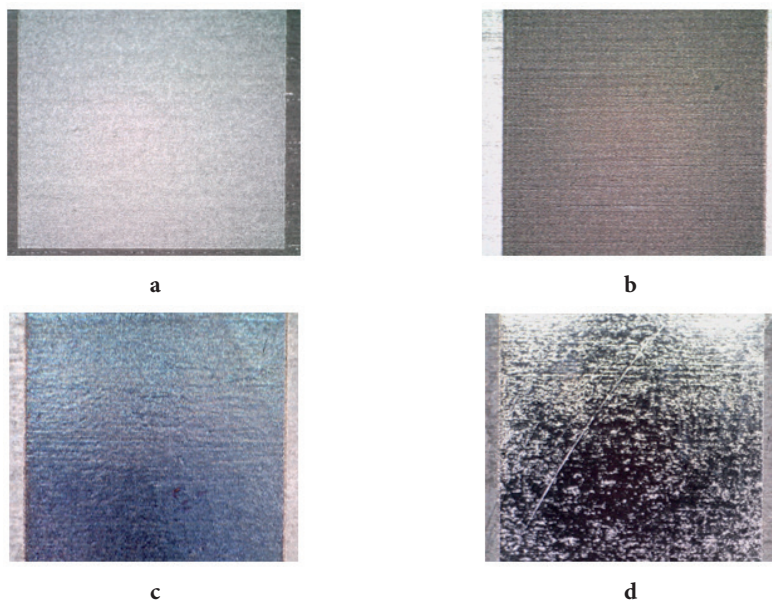
Tabela 6. Ocena kolorystyczna znaków stopu tytanu Ti6Al4V

Wariant I – 20 kHz	Wariant II – 50 kHz
	
Ocena koloru wg nr pola	Ocena koloru wg nr pola
1 lekko złoty, matowy 2 jasnofioletowy, matowy 3–4 złoty, lekko błyszczący 5 jasny srebrny, błyszczący 6 srebrny, błyszczący 7–9 srebrny, lekko matowy 10 ciemnosrebrny, matowy 11 ciemny szary, matowy 12 zielonkawy, matowy 13 lekko fioletowy, matowy 14 niebieski, matowy 15 lekko różowy, matowy 16 lekko złoty, lekko błyszczący 17–18 złoty, błyszczący 19–20 jasny złoty, błyszczący 21 bardzo ciemny szary, matowy 22 szary, matowy 23 lekko zielony, matowy 24 lekko turkusowy, matowy 25 niebieski, matowy 26 fioletowy, matowy 27 lekko różowy, matowy 28 miedziany, błyszczący 29–30 złoty, błyszczący	1 złoty, bardzo błyszczący 2–10 srebrny, bardzo błyszczący 11 intensywny niebieski, błyszczący 12 miedziany, błyszczący 13–14 złoty, błyszczący 15–20 coraz jaśniejsze odcienie srebrnego, błyszczące 21 brązowozielony, matowy 22 niebieski, matowy 23 złoty, matowy 24 zielonkawy, matowy 25 szarobrązowy, matowy 26–27 delikatnie zielony, matowy 28 niebieskawy, matowy 29 niebieski, wpadający w odcienie fioletu, matowy 30 niebieskofioletowy, matowy

Źródło: opracowanie własne.

Oddziaływanie skoncentrowanej wiązki energii na wybrane materiały jest bardzo zróżnicowane, a uzyskany kolor i właściwość powierzchni (matowa czy błyszcząca) wyraźnie zależy od parametrów lasera. Rezultaty są także wyraźnie odmienne dla badanych materiałów. Skutek oddziaływania cieplnego wiązki na stopie aluminium nie jest tak wyraźny i atrakcyjny jak w przypadku stopu tytanu.

Powyższe obserwacje zostały przeprowadzone tzw. okiem nieuzbrojonym, gdzie wrażenie koloru może być subiektywne i zależne od percepcji ludzkiego oka, oświetlenia, wielkości wykonanego znaku itp. Przeprowadzone dodatkowo obserwacje mikroskopowe pozwoliły stwierdzić, że mogą one być przydatne w ocenie jakości znaków, ale nie pod względem koloru. Stwierdzono, że pola widoczne pod mikroskopem mogą nie być ciekawe ze względów kolorystycznych, ale uwidoczniają strukturę powierzchni wynikającą z kolejnych linii przejścia wiązki lasera. Dodatkowo zaobserwowano, że tą metodą można zweryfikować jakość powierzchni i zwrócić uwagę na wady powierzchniowe (rys. 9).



Rysunek 9. Przykłady obserwacji mikroskopowych znaków: a) stop EN AW-2024 – utrata walorów kolorystycznych, lekko uwidoczniona struktura, b) stop Ti6Al4V – utrata koloru, uwidocznienie struktury, c) stop Ti6Al4V – analiza równomierności koloru, d) stop Ti6Al4V – uwidoczniona wada powierzchniowa

Źródło: opracowanie własne.

## 10.5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Technika znakowania laserowego spotykana jest w wielu branżach, m.in. w lotnictwie. Umożliwia ona nadawanie trwałych i estetycznych oznaczeń wyrobom. Przeanalizowana w pracy możliwość znakowania uwidocznia konieczność doboru właściwych parametrów pracy lasera wykorzystywanego do obróbki. Uzyskane efekty zależą od jego właściwości oraz od rodzaju materiału, dla którego zostały dobrane. W niniejszym opracowaniu wskazano, że istotne znaczenie ma także dobór kryteriów oceny jakości wykonanych znaków. Pokazane kryterium ilościowe ilustruje zmienność chropowatości powierzchni materiału, a także możliwość obróbki nie wg wytycznych charakterystycznych dla znakowania, ale właściwych grawerowaniu.

Wykorzystanie do oceny kryterium jakościowego, jakim była ocena koloru, może być przydatne z punktu widzenia potrzeb klienta, w kontekście walorów wizualnych, estetycznych znakowanych wyrobów. Niezbędna jest wstępna analiza kolorystyczna, na co wskazują bardzo zróżnicowane wyniki znakowania w zależności od materiału. Dodatkową pomocą może być ocena mikroskopowa wad powierzchniowych, chociaż nie jest efektywna pod względem oceny koloru. Przedstawiona w pracy ocena wykonana mobilnym mikroskopem może mieć jednak uzasadnienie w warunkach produkcyjnych, w kontekście wyrobów zróżnicowanych pod względem gabarytów i kształtów.

*Badania zostały zrealizowane w ramach zadania zleconego pn. „Politechniczna Sieć VIA CARPATIA im. Prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego” finansowanego z dotacji celowej Ministra Edukacji i Nauki, nr umowy MEiN/2022/DPI/2578 działanie „PO SĄSIEDZKU – międzyuczelniane staże badawcze i wizyty studyjne”.*

## Bibliografia

- [1] Bielawski R., Rządowski W., Augustyn, S., Pyrzanowski P., *Nowoczesne materiały stosowane w konstrukcjach lotniczych – wybrane problemy oraz kierunki rozwoju*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej” 2015, z. 291, s. 203–216.
- [2] Bieńkowski M., *Znakowanie przemysłowe*, „Automatyka” 2019, nr 6, <https://automatykaonline.pl/Artykuly/Systemy-wizyjne-i-RFID/Znakowanie-przemyslowe> [dostęp: 3.02.2020].
- [3] Chodorowski J., Ciszewski A., Radomski T., *Materiałoznawstwo lotnicze*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [4] Dudek Ł., Hryniewicz T., Rokosz K., *Zastosowanie tytanu i wybranych stopów tytanu w lotnictwie*, „Autobusy” 2016, nr 9, s. 62–66.



- [5] Feld M., *Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn*, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2009.
- [6] Lazov, L., Deneva, H., Narica, P., *Laser marking methods*, “ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES” 2015, t. 1, s. 108–115.
- [7] *Metody bezpośredniego znakowania części. Systemy identyfikacji do odczytu maszynowego dla przemysłu samochodowego i lotniczego. Przewodnik techniczny*, Videojet Technologies, <https://global.videojet.com/wp-content/uploads/dam/pdf/Poland%20-%20Polish/Technical%20Guides/tg-methods-for-direct-part-marking-pl.pdf> [dostęp: 14.12.2023].
- [8] Sitek W., Trzaska J., Gołombek K., Hajduczek E., *Zasady doboru materiałów inżynierskich z kartami charakterystyk*, Wydaw. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.





**ZARZĄDZANIE ORGANIZACJAMI  
PRODUKCYJNYMI I USŁUGOWYMI**



## 11. Systemy operacyjne bez aktualizacji ze strony producentów a zagrożenia dla cyberbezpieczeństwa

### 11.1. Wprowadzenie

Koniec XX i początek XXI w. to okres wzmożonego rozwoju technik zawiązanych z cyfryzacją, co doprowadziło do zwiększenia możliwości obliczeniowych współczesnych komputerów oraz szerokiego ich zastosowania. Wykorzystanie technologii informatycznych pozwala na automatyzację i usprawnienie wielu procesów i zwiększenie ich efektywności, ale wiąże się również z ryzykiem. Cyfryzacja poszczególnych dziedzin działalności człowieka wpływa na wzrost zagrożenia cyfrową przestępczością, która wzrasta z roku na rok [27]. Cyberbezpieczeństwo rozumiane jako reakcyjne i prewencyjne działania związane z ochroną danych, systemów informatycznych i fizycznych elementów sieci przez zastosowanie technicznych i programowych środków i procedur [12, 18] stało się kluczowym aspektem wszelkiej działalności człowieka, zarówno tej związanej z gospodarką, jak i życiem prywatnym czy ochroną zdrowia.

Rozwój cyfryzacji zaowocował m.in. opracowaniem koncepcji przemysłu 4.0, która powstała w 2011 r. [17]. Opiera się ona na połączeniu elementów fizycznych (czujników, maszyn, ludzi) oraz programów komputerowych, w tym tych opartych na sztucznej inteligencji, z siecią internetową w czasie rzeczywistym. W założeniu takie podejście umożliwić ma jeszcze lepszy przepływ danych i informacji zarówno na poziomie konkretnego wytwórcy, jak i całego łańcucha wartości [17, 21] i pozwolić na zwiększenie produktywności i usprawnienie procesów wytwarzania. Niestety zwiększone możliwości wiążą się również z większym ryzykiem.

---

\* Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Katedra Inżynierii Biosystemów i Procesów Chemicznych, ul. Ozimska 75, 45-370 Opole; karol.bierczynski@doktorant.po.edu.pl

\*\* Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki Automatyki i Elektrotechniki, Katedra Informatyki, ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole; wiktorsedkowski@doktorant.po.edu.pl

## 11.2. Przegląd literatury

Zagrożenia występujące w cyberprzestrzeni mają różny charakter i jedną cechę wspólną: zagrażają wszystkim. W literaturze [12, 15, 24] spotkać można się nawet z twierdzeniami, że ataki w cyberprzestrzeni są jedynie kwestią czasu i wszyscy padną ofiarą cyberprzestępczości prędzej czy później. Świadomość istniejącego ryzyka nakłada na wszystkie podmioty obowiązek podjęcia wszelkich możliwych kroków, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia ataku oraz do minimum ograniczyć jego ewentualne negatywne skutki.

Pierwszym krokiem, który pozwala na podjęcie działań związanych z zabezpieczeniem przed cyberprzestępcami, jest świadomość zagrożenia. Drugim krokiem, jaki należy podjąć, jest identyfikacja zagrożeń. Agencja Unii Europejskiej ds. Cyberbezpieczeństwa (ENISA) co roku publikuje raport, w którym wskazuje, z jakimi zagrożeniami spotkać można się w cyberprzestrzeni. W raporcie z 2020 r. wskazano listę 15 najważniejszych cyberzagrożeń:

1. Złośliwe oprogramowanie (malware).
2. Ataki z wykorzystaniem złośliwego kodu na stronach internetowych.
3. *Phishing*, czyli bezpośrednie wyłudzenie poufnych informacji lub za pomocą złośliwego oprogramowania.
4. Ataki na aplikacje internetowe.
5. SPAM, czyli niechciana korespondencja.
6. Ataki DDoS, czyli blokowanie dostępu do usług przez sztuczne generowanie wzmożonego ruchu.
7. Kradzież tożsamości.
8. Naruszenie poufności, integralności lub dostępności danych.
9. Zagrożenia wewnętrzne powodowane przez pracowników.
10. Botnety, czyli sieci komputerów przejętych przez przestępców.
11. Ingerencja fizyczna, uszkodzenia oraz kradzież.
12. Wyciek danych.
13. Ataki ransomware w celu wyłudzenia okupu za odszyfrowanie lub nieujawnianie wykradzonych danych.
14. Cyberszpiegostwo.
15. Kradzież kryptowalut (*cryptojacking*)[1].

Mnogość zagrożeń oraz postępująca cyfryzacja powodują, że z każdym rokiem wzrasta liczba ataków. Jednocześnie badania pokazują [26], że jedynie 16% badanych podmiotów uważa się za gotowe na wyzwania związane z cyberatakami. Jako główne przyczyny takiego stanu rzeczy wskazywane są [21] brak standardów postępowania oraz wskazówek, w jaki sposób należy je wdrażać, a nawet ich niezrozumienie. Sytuacja taka prowadzi do wciąż rosnącej liczby ataków [10, 15, 25, 26], powodując wymierne straty dla poszczególnych podmiotów i światowej gospodarki jako całości. FBI szacuje, że cyberataki wymierzone

w adresy IP i krytyczne dane biznesowe kosztują amerykańskie firmy nawet 600 miliardów dolarów rocznie [19], jednocześnie wskazując na znaczny wzrost cyberzagrożeń, np. liczbę ataków, których celem było szpiegostwo gospodarcze względem amerykańskich firm, wzrosła pomiędzy 2014 a 2015 r. o oszałamiające 53% [20].

Cyberataki nie stanowią jedynie teoretycznego zagrożenia, które ujęte powinno być w polityce bezpieczeństwa i analizie ryzyka poszczególnych organizacji, lecz są rzeczywistym niebezpieczeństwem, które powoduje konkretne straty. Historia zagrożeń związanych z technologiami informatycznymi jest niemal tak stara jak one same. Pierwszym wirusem był powstały w 1971 r. program Crepper system [13]. Była to samopowielająca się aplikacja, która zapełniała dysk komputera danymi do momentu, w którym nie mógł on już pracować. W 1988 r. prawie 10% urządzeń podpiętych do sieci (składającej się wówczas z ok. 60000 urządzeń) została zainfekowana przez złośliwe oprogramowanie o nazwie Morris [2]. Było to robak internetowy, który miał za zadanie, jak wskazywał później jego twórca, uwidocznić słabości zabezpieczeń i swoim zasięgiem objął 230 000 komputerów globalnie [23], powodując straty szacowane na 4 biliony dolarów. Jednak nie był to najbardziej kosztowny atak w historii. Za taki uznawany jest NotPetya/ExPetr, który 2017 r. spowodował straty na łączną kwotę szacowaną na 10 bilionów dolarów [9].

Ataki przeprowadzane są też na mniejszą skalę, czego przykładem jest groźba, jaką wystosowano względem firmy Netflix [27]. Cyberprzestępcy, grożąc upublicznieniem odcinków popularnego serialu przed ich oficjalną premierą, zażądali okupu. Niestety mimo wpłacenia żądanej kwoty przestępcy spełnili swoją groźbę, argumentując swoją decyzję złamaniem przez Netflix umowy (poinformowano FBI) [3]. W 2018 r. Hancock Health (dostawca usług zdrowotnych) stał się celem ataku, którego celem było zaszyfrowanie danych. Przestępcy otrzymali okup i udostępnili klucz deszyfrujący. Straty wniosły jednak więcej niż przekazana cyberprzestępcom kwota (50 000 dolarów), ponieważ system ofiary nie funkcjonował przez 70 godzin, spowodowało to wiele opóźnień i konieczność uzupełnienia bazy o czynności dokonywane w czasie jego wyłączenia [27].

Odmiernym podejściem wykazał się inny podmiot świadczący usługi medyczne, Erie County Medical Centre. Zaatakowany został w 2017 r., jego dane zostały zaszyfrowane, a przestępcy zażądali okupu, ok. 44 000 dolarów. Tym razem ofiary nie zdecydowały się na płacenie okupu i przystąpiły do mozolnej pracy odszyfrowania danych, całość prac z tym związana zajęła ok. 6 tygodni i pochłonęła kwotę 10 milionów dolarów.

Złośliwe oprogramowanie wykorzystywane jest nie tylko do generowania zysków cyberprzestępców. Istnieją przesłanki [7], które wskazują, że Stuxnet, robak internetowy, który zaatakował i zniszczył instalacje przemysłowe wykorzystywane przez Iran do wzbogacania uranu, stworzony został przez służby specjalne USA i Izraela. Złośliwe oprogramowanie zostało również wykorzystane przez Federację

Rosyjską do ataku na państwo ukraińskie [11]. Cyberataki stały się więc narzędziem współczesnej wojny [8], nie tylko tej gospodarczej, ale również militarnej.

Jak wskazano, ofiarą cyberprzestępczości może stać się każdy komputer, jednak część urządzeń narażona jest bardziej niż inne. Dzieje się tak z kilku powodów. Jednym z nich jest cecha, która mogłaby uchodzić za pozytyw, a mianowicie żywotność. Odpowiednio serwisowane maszyny produkcyjne mogą wykonywać swoje zadania przez 20 lub nawet 30 lat, natomiast komputery i oprogramowanie, które z nimi współpracuje, charakteryzuje się dużo niższą żywotnością, która oscyluje wokół 9 lat [6]. Dochodzi więc do sytuacji, w której w pełni sprawna maszyna oparta jest na oprogramowaniu, którego wsparcie producenckie zakończyło się. Oznacza to, że w momencie odkrycia nowego zagrożenia i utworzenia aktualizacji, która uniemożliwi atak, dany system operacyjny nie otrzyma jej, jest on więc bardziej narażony na cyberzagrożenia. Wspomniany powyżej WannaCry wyszukiwał właśnie tę lukę w zabezpieczeniach [15, 22], atakując urządzenia korzystające z systemów Windows, których okres wsparcia zakończył się.

Badania przeprowadzone w 2018 r. [23] wskazują, że jedynie 29,9% badanych korzystało z najnowszej (na owe czasy) wersji systemu Windows, tzn. Windows 10, dla porównania 4,4% badanych wciąż używało systemu Windows XP. Taka sytuacja spowodowana może być wieloma czynnikami, do których zaliczyć można kłopoty z migracją danych na nowe systemy, ich wady (często nie są dość dobrze dopracowane, co prowadzi do ich zawieszania i przestojów produkcyjnych) lub brak sterowników dla urządzeń peryferyjnych [5].

Ataki na urządzenia wykorzystywane w procesach produkcyjnych prowadzić mogą do szeregu nieprzyjemnych konsekwencji [14, 15, 19, 21]. Część z nich, jak wspomniane wcześniej szyfrowanie danych czy ich kradzież, stanowi zagrożenie dla każdego użytkownika komputera, jednak niektóre związane są bezpośrednio z procesami wytwarzania. Podstawowym zagrożeniem, które wiąże się z produkcją, jest szpiegostwo gospodarcze, kradzież *know-how* może realnie zagrozić pozycji danego podmiotu na rynku. Celem cyberprzestępców często stają się także bazy, które zawierają dane kontrahentów (zarówno dostawców, jak i odbiorców). Taka wiedza pozwala na podjęcie kroków zmierzających do przejęcia części klientów lub niwelacji przewagi konkurencyjnej przez zakup komponentów u tego samego dostawcy. Wiedza taka może zostać też użyta w negocjacjach biznesowych przez wskazanie warunków handlowych innych podmiotów funkcjonujących na rynku.

Równie niebezpieczna dla przedsiębiorstw produkcyjnych jest ingerencja w proces produkcyjny, która przybierać może różne formy. Możliwa jest zmiana parametrów maszyn produkcyjnych, co wpływać może na produkt końcowy (niższa jakość, błędy konstrukcyjne), ale również na szybsze zużywanie się narzędzi i wzrost kosztów wytwarzania. Możliwe jest także fizyczne zniszczenie maszyn produkcyjnych, np. przez zmianę ich parametrów pracy i przegrzanie, czego dowodem mogą być ataki cybernetyczne na infrastrukturę energetyczną Ukrainy [16].

Zagrożeniem, które pomijane bywa często w analizie ryzyka związanego z działalnością firm produkcyjnych, jest możliwość kradzieży danych wrażliwych, tzn. takich, których ujawnienie może wpłynąć na wizerunek danej organizacji, np. współpraca z moralnie dwuznacznym podmiotem (wykorzystującym pracę dzieci). Wdrażanie koncepcji przemysłu 4.0 zwiększa jeszcze ryzyko wystąpienia cyberataków i poszerza zakres możliwych zagrożeń.

### 11.3. Metodyka badawcza

Badania wstępne przeprowadzono w formie autorskiej anonimowej ankiety internetowej, która przygotowana została z wykorzystaniem formularza Google. W ankiecie znalazło się 5 pytań. Dwa pierwsze miały charakter zamknięty. Ankietowani wskazywali, czy w ich organizacji używane są systemy, których okres wsparcia się zakończył, wybierając jedną z dwóch możliwych odpowiedzi (tak lub nie). Dla ułatwienia w treści pytań przedstawiona została lista systemów operacyjnych, których okres wsparcia został zakończony. Pytanie trzecie dotyczyło ogólnej liczby komputerów wykorzystywanych w badanych pomiotach, miało ono również charakter zamknięty. Ankietowani wybrać mogli jedną z 4 odpowiedzi (1–10; 11–50; 51–250; 250+). Ostatnie dwa pytania miały charakter otwarty, ankietowani ręcznie wpisywali odpowiedź, podając dokładną liczbę komputerów z niewspieranym systemem operacyjnym oraz informację, ile z nich wykorzystywanych jest w procesach produkcyjnych.

Celem badania była analiza poziomu wykorzystania przez przedsiębiorstwa produkcyjne systemów operacyjnych, których okres wsparcia został zakończony, ze szczególnym uwzględnieniem ich użycia na komputerach wykorzystywanych w procesach wytwórczych oraz odniesienie otrzymanych rezultatów do poziomu cyberbezpieczeństwa badanych podmiotów. Ankietę skierowano do przedsiębiorstw zrzeszonych w jednej z organizacji skupiających przedsiębiorców z obszaru województwa opolskiego. Pomimo długiego okresu badania (trzy miesiące na wypełnienie ankiety) nie spotkała się ona z dużym odzewem ze strony przedsiębiorców. Częściowo może to wynikać z faktu, że dane dotyczące bezpieczeństwa organizacji są danymi wrażliwymi, którymi przedsiębiorstwa nie dzielą się chętnie. Mimo tego udało się zgromadzić odpowiedzi od 16 respondentów, co stanowi oczywiście jedynie niewielki ułamek wszystkich przedsiębiorstw działających na terenie województwa opolskiego. Jednak już tak niewielka ilość danych pozwala na dokonanie pewnych obserwacji i wyciągnięcie wstępnych wniosków, które stanowić mogą podstawę do dalszych badań.



## 11.4. Wyniki badania

Wyniki otrzymane w badaniu poddane zostały analizie ilościowej. Całość otrzymanych odpowiedzi przedstawiono w tabeli 1, a ich interpretację graficzną na rysunkach 1–5. Zwrócić należy uwagę na pewne sprzeczności, które pojawiają się w odpowiedziach poszczególnych respondentów. Podmiot numer 1 oraz 11 w odpowiedziach na pytanie pierwsze i drugie udzielił przynajmniej jednej odpowiedzi pozytywnej, jednocześnie wykazując w odpowiedzi na pytanie 4 wartość zero. Świadczyć to może o niezrozumieniu pytania lub pomyłce, niemniej odpowiedzi od wskazanych podmiotów uznać należy za błędne, a co za tym idzie – nie należy uwzględniać ich w realizowanym badaniu. Przyjęto zatem liczbę badanych  $n = 14$ .

Tabela 1. Zestawienie otrzymanych wyników

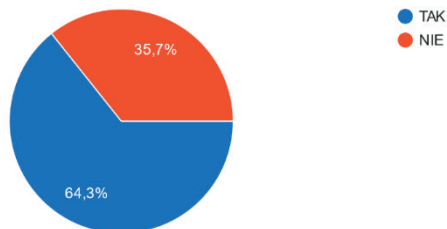
Podmiot	Odpowiedź na pyt. 1	Odpowiedź na pyt. 2	Odpowiedź na pyt. 3	Odpowiedź na pyt. 4	Odpowiedź na pyt. 5	
Podmiot 1	Tak	Nie	1–10	0	0	Odrzucone
Podmiot 2	Tak	Nie	1–10	6	2	
Podmiot 3	Tak	Nie	1–10	3	0	
Podmiot 4	Nie	Nie	11–50	brak	brak	
Podmiot 5	Tak	Tak	11–50	5	4	
Podmiot 6	Tak	Tak	11–50	5	4	
Podmiot 7	Nie	Nie	1–10	zero	zero	
Podmiot 8	Tak	Nie	1–10	2	1	
Podmiot 9	Nie	Nie	251+	0	0	
Podmiot 10	Nie	Nie	251+	0	0	
Podmiot 11	Tak	Tak	11–50	0	0	Odrzucone
Podmiot 12	Tak	Nie	1-10	1	1	
Podmiot 13	Tak	Nie	1–10	1	0	
Podmiot 14	Tak	Nie	11–50	1	1	
Podmiot 15	Tak	Nie	11–50	3	2	
Podmiot 16	Nie	Nie	11–50	0	0	

Źródło: opracowanie własne.

Pytanie 1 dotyczyło komputerów wyposażonych w system Windows, którego okres wsparcia zakończył się. Ponad 64% respondentów (rys. 1) wskazało, że w ich przedsiębiorstwach używa się takich komputerów, jedynie niewiele powyżej 35% udzieliło odpowiedzi negatywnej.

1. Czy w Państwa firmie używane są komputery wyposażone w system operacyjny Windows, którego okres wsparcia przez producenta zakończył się (lista poniżej)?

14 odpowiedzi



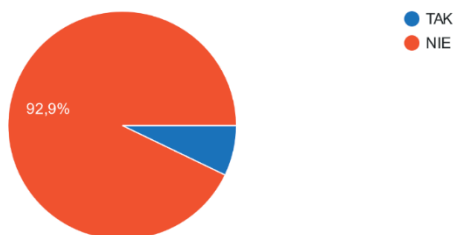
Rysunek 1. Użycie niewspieranych systemów Windows w badanych podmiotach

Źródło: opracowanie własne.

Pytanie 2 dotyczyło użycia systemów operacyjnych Linux/Unix (rys. 2). Liczba udzielonych pozytywnych odpowiedzi (7,1%) diametralnie różni się od ich liczby w pytaniu 1. Otrzymane odpowiedzi wskazują, że więcej niż 92% respondentów nie wykorzystuje w swojej organizacji systemów Linux/Unix, których okres wsparcia został zakończony. Znaczenie różnic w odpowiedziach na pytania 1 i 2 oraz ich możliwe przyczyny omówione zostaną w dalszej części opracowania.

2. Czy w Państwa firmie używane są komputery wyposażone w system operacyjnym Linux/Unix, którego okres wsparcia przez producenta zakończył się (lista poniżej)?

14 odpowiedzi



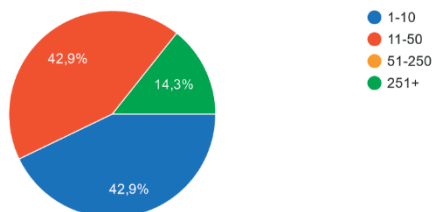
Rysunek 2. Użycie niewspieranych systemów Linux/Unix w badanych podmiotach

Źródło: opracowanie własne.

Pytanie 3 odnosiło się do liczby komputerów wykorzystywanych w danym przedsiębiorstwie (rys. 3). W badanej grupie przedsiębiorstw znajduje się taka sama liczba podmiotów, w których wykorzystywanych jest od 1 do 10 komputerów oraz od 11 do 50. Co ciekawe, w badaniu nie wziął udziału żaden podmiot, w którym liczba wykorzystywanych komputerów była większa niż 51 sztuk, ale mniejsza niż

250. 12,5% respondentów wskazało, że liczba urządzeń wykorzystywanych w ich firmach jest większa niż 251.

3. Ile komputerów jest wykorzystywanych w Państwa firmie?  
14 odpowiedzi

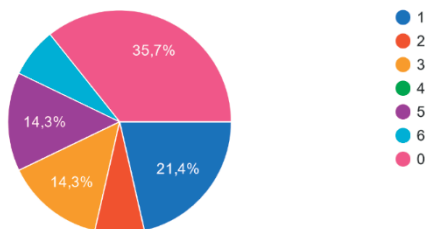


Rysunek 3. Liczba komputerów wykorzystywana w badanych przedsiębiorstwach

Źródło: opracowanie własne.

Pytanie 4 dotyczyło ogólnej liczby komputerów z niewspieranym oprogramowaniem, wykorzystywanych w badanym podmiocie. Otwarty charakter pytania pozwolił na wpisywanie dowolnej odpowiedzi (słownie lub w postaci liczbowej), co skutkowało (patrz tabela 1) otrzymaniem różnych odpowiedzi oznaczających to samo. Na rysunku 4 przedstawiono otrzymane wyniki, które zostały ustandaryzowane (wszystkie odpowiedzi tożsame, np. brak, zero, 0, zostały zakwalifikowane do tej samej kategorii).

4. Ile komputerów z niewspieranym oprogramowaniem jest wykorzystywana w Państwa firmie?  
14 odpowiedzi



Rysunek 4. Liczba komputerów z niewspieranym systemem operacyjnym wykorzystywana w badanych przedsiębiorstwach

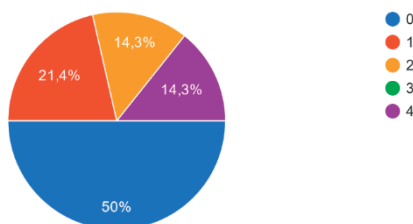
Źródło: opracowanie własne.

Największa liczba respondentów (35,7%) wskazała, że w ich przedsiębiorstwie nie są używane komputery oparte na systemie operacyjnym, którego okres wparcia producentkiego zakończył się. Ponad 21% wskazało, iż korzysta z jednego

takiego urządzenia, natomiast 14,3% respondentów używa 2 lub 5 takich urządzeń. Podobnie taka sama liczba respondentów (7,1%) wskazała, że wykorzystuje w swojej organizacji 2 lub 6 takich urządzeń.

W ostatnim pytaniu respondenci podać musieli, jaka liczba urządzeń, wskazanych w odpowiedzi na pytanie 4, wykorzystywana jest w procesach produkcyjnych (rys. 5). Połowa respondentów zadeklarowała, że nie wykorzystuje w procesach produkcyjnych systemów operacyjnych, których okres wsparcia producenckiego zakończył się. 21,4% respondentów jako liczbę takich urządzeń wskazało 1. Natomiast 4 lub 2 urządzenia zostały wskazane przez 14,3% badanych.

5. Ile komputerów z niewspieranym oprogramowaniem jest wykorzystywana w procesach produkcyjnych?  
14 odpowiedzi



Rysunek 5. Liczba komputerów z niewspieranym systemem operacyjnym wykorzystywana w badanych przedsiębiorstwach w procesach produkcyjnych

Źródło: opracowanie własne

## 11.5. Dyskusja

Otrzymane wyniki, choć oparte na niewielkiej grupie respondentów, wskazują, że problem wykorzystywania systemów operacyjnych, których okres wsparcia producenckiego zakończył się, nie jest sprawą marginalną. Większość (64,3%) badanych podmiotów potwierdziła, że wykorzystuje takie oprogramowanie w swojej organizacji, a z tej grupy prawie 80% podmiotów używa ich w procesach produkcyjnych. W 28,6% przypadków wszystkie komputery bez wsparcia producenckiego, które używane są przez przedsiębiorstwo, wykorzystywane są w procesach produkcyjnych, w pozostałych przypadkach (71,4%) – tylko część z nich. Wynikać to może m.in. z kosztów zakupu samych urządzeń, których wysoka cena w sposób oczywisty wpływa na okres zwrotu inwestycji, a tym samym czas użytkowania urządzenia. Żywność samych maszyn, która jest zdecydowanie dłuższa niż okres wsparcia systemów operacyjnych, również ma znaczenie. Problem różnicy

w czasie pracy urządzeń i czasie objęcia oprogramowania aktualizacją może być rozwiązany przez zmianę systemu operacyjnego na nowszy. Jednak operacja taka generuje często wiele problemów, gdyż nowy system operacyjny może nie obsługiwać starszych urządzeń peryferycznych (czujniki itp.) lub mieć zbyt duże wymagania sprzętowe.

Uwagę zwraca fakt, że jedynie 7,1% respondentów wskazała, że użytkuje systemy operacyjne (bez wsparcia) z rodziny Linux/Unix. Fakt ten wynikać może z ogólnego trendu, jaki zaobserwować można na rynku systemów operacyjnych, gdzie najpopularniejsze są systemy rodziny Windows, natomiast Linux/Unix zajmują dopiero trzecią pozycję [28].

W badaniu udział wzięły w większości przedsiębiorstwa o niewielkiej całkowitej liczbie komputerów, prawie 85% ma ich poniżej 50.

Śród przedsiębiorstw o liczbie komputerów do 10 sztuk 66% wykorzystuje systemy operacyjne bez wsparcia, w przypadku organizacji z całkowitą liczbą komputerów od 11–50 maszyny takie (bez wsparcia) używane są przez połowę respondentów. Duże podmioty (powyżej 251 komputerów) nie wykorzystują nieaktualizowanych systemów operacyjnych. Widać więc, że możliwe jest występowanie relacji odwrotnie proporcjonalnej pomiędzy ogólną liczbą komputerów a liczbą komputerów pracujących z wykorzystaniem systemów operacyjnych bez wsparcia; potwierdzenie jej istnienia wymaga dalszych badań.

Uwagę zwraca fakt, że wśród podmiotów, które wykorzystują w swojej działalności komputery bez wsparcia producenta, większość wykorzystuje je w procesach produkcyjnych. Odsetek takich przedsiębiorstw wynosi powyżej 50% w grupie, która posiada ogólną liczbę komputerów na poziomie 11–50. W grupie 1–10 komputerów 20% podmiotów w ogóle nie wykorzystuje ich w procesach produkcyjnych.

Przeprowadzone badania potwierdzają wskazane już w [14], że zagrożenie dla cyberbezpieczeństwa związane z zastosowaniem systemów operacyjnych, których okres wsparcia przez producentów został zakończony, stanowi wciąż realny problem. Większość badanych podmiotów opiera swoją działalność na komputerach, które stanowią „otwarte drzwi” dla wszelkiego rodzaju cyberprzestępców. Jest to więc paląca kwestia, zwłaszcza w świetle działań związanych z wdrożeniem koncepcji Przemysłu 4.0, według której każdy element procesu produkcyjnego powinien być wpięty w sieć i na bieżąco monitorowany. Konieczna jest eliminacja wszelkich czynników, które mogą stanowić zagrożenie dla organizacji, ale także jej otoczenia. Integracja procesów zachodzących w przedsiębiorstwach oraz samych podmiotów gospodarczych przez elektroniczną wymianę danych w czasie rzeczywistym i z wykorzystaniem rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji powoduje, że całe łańcuchy wartości (tworzone przez przedsiębiorstwa) są odporne na zagrożenia w takim stopniu, w jakim odporne jest najsłabsze ogniwo takiego łańcucha. Wystarczy więc jedna maszyna, która będzie pracowała na

systemie operacyjnym bez aktualizacji, aby przestępcy dostali się do wewnętrznej sieci przedsiębiorcy i jego partnerów.

Podstawą cyberbezpieczeństwa jest świadomość zagrożeń, ich eliminacja oraz minimalizacja skutków wystąpienia. Wrażliwość na ataki związana z wykorzystaniem systemów operacyjnych, których okres wsparcia przez producenta zakończył się, może być wyeliminowana lub zmniejszona. Najprostszym ze sposobów jest oczywiście zmiana systemu operacyjnego na nowszy, jednak – jak wspomniano wcześniej – nie zawsze jest to możliwe. W takim przypadku rozważyć można specjalne emulatory, tzn. programy, które pozwalają na instalację starszego systemu operacyjnego na nowszym, lub technologię wirtualizacji pozwalającą na uruchomienie wirtualnej maszyny operującej z mniejszymi prawami dostępu w wydzielonej części sieci. Innym częściowym rozwiązaniem może być też odłączenie urządzenia stanowiącego zagrożenie od sieci (nadal jest narażone na fizyczny atak, np. przez pamięć USB).

Wskazać należy również, że kwestia możliwości zmiany systemu operacyjnego powinna być brana pod uwagę przy wyborze maszyn produkcyjnych, a informacje takie powinny znaleźć się w analizie ryzyka związanej z cyberbezpieczeństwem organizacji.

Przeprowadzone badania spotkały się z niewielką responsywnością, przyszłe studia należałoby przeprowadzić na większą skalę, stosując inną metodę dystrybucji ankiety (osobiste wizyty w firmach). Sama ankieta może zostać rozszerzona o pytanie o systemy operacyjne firmy Apple. Badaniu powinna być również poddana kwestia dokładnej wersji systemu, jaki używany jest w organizacji, oraz wieku maszyny, która działa, opierając się na nim. Dodatkowe pytanie odnośnie do dokładnej branży, w jakiej działa przedsiębiorstwo, pomogłoby w identyfikacji tych działów gospodarki, które narażone w większym stopniu narażone są na cyberataki ze względu na wykorzystanie systemów operacyjnych bez aktualizacji.

## Bibliografia

- [1] *15 głównych cyberzagrożeń – raport ENISA*, Baza wiedzy – Portal Gov.pl, <https://www.gov.pl/web/baza-wiedzy/15-glownych-cyberzagrozen--raport-enisa>[dostęp: 08.04.2023].
- [2] *2023 SonicWall Cyber Threat Report | SonicWall*, <https://www.sonicwall.com/2023-cyber-threat-report/> [dostęp: 31.07.2023].
- [3] *Ashorthistoryofcomputerviruses*, <https://www.sentrian.com.au/blog/a-short-history-of-computer-viruses> [dostęp: 03.04.2023].
- [4] *Cybersecurity Threats and Attacks: All You Need to Know*, <https://www.stealthlabs.com/blog/cyber-security-threats-all-you-need-to-know/> [dostęp: 08.04.2023].

- [5] *Fog of war: how the Ukraine conflict transformed the cyber threat landscape*, <https://blog.google/threat-analysis-group/fog-of-war-how-the-ukraine-conflict-transformed-the-cyber-threat-landscape/> [dostęp: 10.04.2023].
- [6] *Hackers Leaked «Orange Is the New Black» After Getting Ransom | Fortune*, <https://fortune.com/2017/06/21/hackers-leaked-orange-is-the-new-black-ransom/> [dostęp: 04.04.2023].
- [7] *The Morris Worm — FBI*, <https://www.fbi.gov/news/stories/morris-worm-30-years-since-first-major-attack-on-internet-110218> [dostęp: 31.07.2023].
- [8] *The Top 6 Most Expensive Cyber Attacks in History – TCecure*, <https://tcecare.com/2021/10/06/the-top-6-most-expensive-cyber-attacks-in-history/> [dostęp: 04.04.2023].
- [9] *U.S. Plans to Use Spy Law to Battle Corporate Espionage – WSJ*, <https://www.wsj.com/articles/u-s-plans-to-use-spy-law-to-battle-corporate-espionage-1437688169> [dostęp: 29.07.2023].
- [10] *What Is a Cyber Threat? Definition, Types, Hunting, Best Practices, and Examples*, Spiceworks, <https://www.spiceworks.com/it-security/vulnerability-management/articles/what-is-cyber-threat/> [dostęp: 08.04.2023].
- [11] *What is WannaCry ransomware?*, [www.kaspersky.com. https://www.kaspersky.com/resource-center/threats/ransomware-wannacry](https://www.kaspersky.com/resource-center/threats/ransomware-wannacry) [dostęp: 31.07.2023].
- [12] Bansal Y., Mamodiya U., *Technical Security Known as Cyber Security: A Review*, “Journal of Computer Technology & Applications” 2022, t. 13, nr 3, s. 19–25.
- [13] Conti M., Gangwal A., Ruj S., *On the economic significance of ransomware campaigns: A Bitcoin transactions perspective*, „Comput. Secur.” 2018, t. 79, s. 162–189.
- [14] Galinec D., *Cyber Security and Cyber Defense: Challenges and Building of Cyber Resilience Conceptual Model*, „Int. J. Appl. Sci. Dev.” 2023, t. 1, s. 83–88.
- [15] Guttieres D., Stewart S., Wolfrum J., Springs S. L., *Cyberbiosecurity in Advanced Manufacturing Models*, „Frontiers in Bioengineering and Biotechnology” 2019, t. 7, 210.
- [16] Heritage I., *Protecting Industry 4.0: challenges and solutions as IT, OT and IP converge*, „Netw. Secur.” 2019, t. 2019, nr 10, s. 6–9.
- [17] Hermann M., Pentek T., Otto B., *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios*, [w:] *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). Online resources*, Koloa 2016, s. 3928–3937.
- [18] Jawaid S., *Cyber Security; Etiology and Importance*, “Preprints”, 2022, 2022080235.
- [19] Kaspersky Lab, *Building a safer future in Manufacturing*, 2021.
- [20] Lezzi M., Lazoi M., Corallo A., *Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework*, „Comput. Ind.” 2018, t. 103, s. 97–110.

- [21] Mullet V., Sondi P., Ramat E., *A Review of Cybersecurity Guidelines for Manufacturing Factories in Industry 4.0*, „IEEE Access” 2021, t. 9, s. 23235–23263.
- [22] Nakashima E., Warrick J., *Stuxnet was work of U.S. and Israeli experts, officials say*, Washington Post, [https://www.washingtonpost.com/world/national-security/stuxnet-was-work-of-us-and-israeli-experts-officials-say/2012/06/01/gJQAlnEy6U\\_story.html](https://www.washingtonpost.com/world/national-security/stuxnet-was-work-of-us-and-israeli-experts-officials-say/2012/06/01/gJQAlnEy6U_story.html) [dostęp: 31.07.2023].
- [23] Piggin R., *Cyber security trends: What should keep CEOs awake at night*, „International Journal of Critical Infrastructure Protection” 2016, t. 13, s. 36–38.
- [24] Ransford B. i in., *Cybersecurity and medical devices: A practical guide for cardiac electrophysiologists*, „Pacing Clin. Electrophysiol.” 2017, t. 40, nr 8, s. 913–917.
- [25] Solove D. J., Citron D. K., *Risk and Anxiety: A Theory of Data Breach Harms*, „SSRN Electronic Journal” 2016, t. 96, nr 737, s. 737–786.
- [26] Tuptuk N., Hailes S., *Security of smart manufacturing systems*, „Journal of Manufacturing Systems” 2018, t. 47, s. 93–106.
- [27] Wirth A., *The Times They Are a-Changin’: Part One*, „Biomedical Instrumentation & Technology” 2018, t. 52, nr 2, s. 148–152.



## **12. Wdrażanie zintegrowanych systemów zarządzania w działach logistycznych wybranych przedsiębiorstw**

### **12.1. Wprowadzenie**

Dynamicznie rozwijający się rynek wymusza na przedsiębiorstwach ciągle udoskonalanie swojej działalności. Rozwiązania telematyczne, automatyzacja procesów, zdalne przekazywanie dokumentów to dzisiaj codzienność dużych i średnich przedsiębiorstw. Wykorzystywanie do pracy zintegrowanego systemu zarządzania jest konieczne do utrzymania pozycji na rynku. Żeby system mógł wspomagać i ułatwiać codzienną pracę, konieczne jest jego poprawne wdrożenie oraz dokładne przeszkolenie pracowników z zakresu obsługi. Proces wdrażania jest długotrwały i skomplikowany, przez co nie zawsze udaje się osiągnąć wszystkie cele, jakie przedsiębiorstwo ustaliło na początku. W pracy porównano wdrożenie zintegrowanych systemów zarządzania w dwóch przedsiębiorstwach, o różnej wielkości i profilu działalności. Analiza dotyczy działów logistycznych.

### **12.2. Systemy ERP przeznaczone dla różnych typów przedsiębiorstw**

Systemy ERP (Enterprise Resource Planning) są oprogramowaniem, które pomaga firmom w zarządzaniu zasobami, procesami biznesowymi i danymi w spójny sposób. Istnieją różnice w systemach ERP przeznaczonych dla różnych typów firm, ponieważ potrzeby, procesy i branże mogą się znacznie różnić [11, 9]. Funkcje systemów, które są bardzo istotne dla decydentów w przedsiębiorstwie, nie zawsze muszą być ważne dla pracowników, obsługujących system po wdrożeniu. W tabeli 1 przedstawione zostały wybrane cechy systemów ERP, przeznaczonych dla różnych typów firm [2, 5, 6].

---

<sup>\*</sup> Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, ul. Balicka 116b, 30-149 Kraków; [michal.cupial@urk.edu.pl](mailto:michal.cupial@urk.edu.pl), [sylwester.tabor@urk.edu.pl](mailto:sylwester.tabor@urk.edu.pl).

<sup>\*\*</sup> Dyplomantka w Katedrze Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej.

Tabela 1. Najważniejsze cechy systemów ERP w różnych typach przedsiębiorstw

Typ przedsiębiorstwa	Kluczowe cechy wyróżniające system
Małe i średnie przedsiębiorstwa	prostsza funkcjonalność skalowalność koszty
Duże korporacje	zaawansowana funkcjonalność wieloobszarowość integracje
Branże specjalistyczne	dostosowanie do branży moduły branżowe
Handel detaliczny	zarządzanie zapasami obsługa klienta
Produkcja	zarządzanie produkcją
Usługi finansowe	zgodność regulacyjna zarządzanie ryzykiem

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2, 5, 6].

#### **Małe i średnie przedsiębiorstwa (MŚP):**

- prostsza funkcjonalność – systemy ERP dla MŚP często oferują podstawowe funkcje, aby sprostać wymaganiom mniejszych firm,
- skalowalność – te systemy są zazwyczaj łatwiejsze do wdrożenia i skalowania w miarę rozwoju firmy,
- koszty – systemy ERP dla MŚP są często tańsze, zarówno pod względem licencji, jak i wdrożenia.

#### **Duże korporacje:**

- zaawansowana funkcjonalność – systemy ERP dla dużych firm oferują szeroki zakres zaawansowanych funkcji, które umożliwiają zarządzanie złożonymi procesami biznesowymi,
- wieloobszarowość – duże korporacje często działają w wielu branżach i regionach, więc systemy ERP muszą obsługiwać różnorodne wymagania,
- integracje – integracja z istniejącymi systemami IT oraz zdolność do tworzenia niestandardowych rozwiązań są ważne dla dużych przedsiębiorstw.

#### **Branże specjalistyczne:**

- dostosowanie do branży – niektóre firmy działają w specjalistycznych branżach, takich jak służba zdrowia, produkcja, logistyka czy edukacja. Systemy ERP dla tych branż muszą uwzględniać unikalne wymagania i procesy,
- moduły branżowe – często istnieją specjalne moduły lub rozszerzenia dostosowane do konkretnych branż.

#### **Handel detaliczny:**

- zarządzanie zapasami – systemy ERP dla handlu detalicznego skupiają się na efektywnym zarządzaniu zapasami i dostawami, a także integracją z platformami e-commerce,

- obsługa klienta – integracja z systemami CRM i możliwość śledzenia historii zakupów klientów są ważne w handlu detalicznym.

#### **Produkcja:**

- zarządzanie produkcją – systemy ERP dla branży produkcyjnej koncentrują się na planowaniu produkcji, zarządzaniu stanami magazynowymi, monitorowaniu jakości i śledzeniu procesów produkcyjnych.

#### **Usługi finansowe:**

- zgodność regulacyjna – systemy ERP dla firm finansowych muszą spełniać wymogi regulacyjne i zapewniać bezpieczeństwo danych klientów,
- zarządzanie ryzykiem – firmy finansowe potrzebują funkcji do zarządzania ryzykiem i monitorowania transakcji.

Te różnice są ogólnymi wytycznymi. Wybór odpowiedniego systemu ERP zależy od konkretnych potrzeb i celów firmy, niezależnie od jej rozmiaru czy branży [8].

Systemy ERP przeznaczone dla działów logistyki mają specjalne cechy i funkcje, które pozwalają skutecznie zarządzać łańcuchem dostaw i procesami logistycznymi [1, 3]. Oto niektóre z głównych cech tych systemów [7],[4]:

- zarządzanie zapasami – systemy ERP dla logistyki umożliwiają dokładne śledzenie stanów magazynowych, rejestrowanie przyjęć i wydań towarów oraz automatyzację procesów uzupełniania zapasów,
- planowanie transportu – takie systemy wspierają planowanie i zarządzanie transportem towarów, w tym optymalizację tras, monitorowanie dostaw oraz zarządzanie flotą pojazdów,
- monitorowanie i śledzenie – systemy ERP dla logistyki pozwalają na śledzenie przesyłek i towarów w czasie rzeczywistym, co jest kluczowe dla efektywnego zarządzania dostawami,
- integracja z partnerami handlowymi – te systemy umożliwiają integrację z dostawcami, odbiorcami i innymi partnerami w łańcuchu dostaw, ułatwiając wymianę informacji i koordynację działań,
- zarządzanie zamówieniami – systemy ERP dla logistyki wspierają przetwarzanie i zarządzanie zamówieniami klientów, automatyzując procesy składania zamówień i ich realizacji,
- optymalizacja magazynowania – te systemy pomagają w optymalnym rozmieszczeniu towarów w magazynie, zarządzaniu przepływem towarów oraz minimalizowaniu czasu obsługi,
- monitorowanie efektywności – systemy ERP umożliwiają analizę danych logistycznych, co pozwala na monitorowanie wydajności operacyjnej, identyfikowanie obszarów do poprawy i podejmowanie strategicznych decyzji,
- zarządzanie zgodnościami i regulacjami – w dziedzinie logistyki istnieją różne przepisy regulacje dotyczące transportu, składowania itp. Systemy ERP mogą pomóc w monitorowaniu zgodności i spełnianiu wymogów prawnych,

- obsługa obszarów globalnych – przypadku firm operujących na skalę międzynarodową systemy ERP dla logistyki muszą umożliwiać zarządzanie różnymi lokalizacjami, walutami, przepisami celnymi itp.,
- analiza danych i raportowanie – systemy ERP pozwalają na generowanie raportów i analizy danych logistycznych, co umożliwia podejmowanie informowanych decyzji oraz optymalizację działań.

Przy wyborze systemu ERP dla działu logistyki ważne jest dopasowanie funkcji do konkretnych potrzeb firmy oraz zapewnienie integracji z innymi systemami używanymi w organizacji.

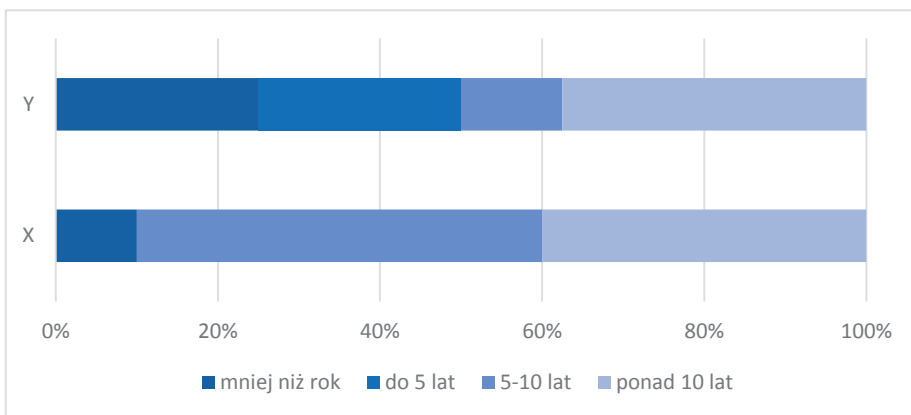
### 12.3. Charakterystyka badanych przedsiębiorstw

Pierwsze z analizowanych przedsiębiorstw (X) to koncern międzynarodowy, którego krajowy oddział został otwarty w 1991 r. i od tej pory rozwija się dynamicznie. Produkcja dotyczy branży spożywczej. Posiada certyfikaty potwierdzające spełnianie norm z zakresu bezpieczeństwa żywności. Aktualnie produkcja odbywa się na sześciu liniach technologicznych. Funkcjonowanie jest wspomagane przy pomocy zintegrowanego systemu zarządzania. Przedsiębiorstwo korzysta z oprogramowania SAP ERP, które służy do zarządzania każdym jego aspektem. Dzięki niemu pracownicy wszystkich działów mają dostęp do tych samych danych zebranych w centralnej bazie danych. System SAP wdrożony w przedsiębiorstwie składa się z zintegrowanych ze sobą modułów, w tym moduł do obsługi procesów logistycznych.

Przedsiębiorstwo drugie (Y) funkcjonuje od ponad 30 lat. Od początku swojej działalności produkuje urządzenia kotłowe w takich obszarach rynku, jak energetyka, gospodarka komunalna i przemysł. Produkcja odbywa się na podstawie otrzymanych zamówień. Każde zlecenie realizowane jest indywidualnie. Nie istnieje produkcja masowa. Firma zajmuje się również transportem zarówno gotowych urządzeń, jak i części do nich. Spółka posiada certyfikaty potwierdzające spełnianie wymagań odpowiednich norm. Firma korzysta z systemu ERP IMPULS. System jest wykorzystywany w działach przedsiębiorstwa, z których największym jest dział logistyki i zakupów. Jego pracownicy dostają informacje od pracowników działu konstrukcyjno-technologicznego w postaci zestawienia materiałowego i technologii wykonania danego zlecenia od klienta. Informacje te są dostępne z odpowiednim wyprzedzeniem, w systemie informatycznym. Technolog wprowadza dane do systemu i są one widoczne dla innych działów zanim zostanie zgłoszone oficjalne zapotrzebowanie. Wpływa to na optymalizację kosztów zakupu, ponieważ pracownik działu zakupów może wcześniej rozesłać zapytania ofertowe i uzyskać lepszą cenę. Spółka nie jest ukierunkowana na produkcję masową, ale

istnieją takie materiały, które powtarzają się w wielu zleceniach. Pracownik działu zakupów dzięki stałemu dostępowi do informacji o stanach magazynowych może zapobiegać brakom materiałowym, kontrolując ilość danego materiału dostępną w magazynie i dokupując go, gdy jego stan się zmniejsza. Liczba materiałów używanych do produkcji (indeksów materiałowych) w firmie Y to ok. 25 tys. sztuk. Używany system umożliwia tworzenie zapytań ofertowych na platformie zakupowej, tworzenie zamówień zakupu, dokumentów sprzedaży, kart zmian i wielu innych. Daje dostęp do stanów magazynowych, zestawień materiałowych, danych historycznych, tzn. poprzednich zakupów czy też do zrealizowanych zleceń. System IMPULS umożliwia również rozliczenie faktur oraz dołączenie do nich odpowiadających im dokumentów przychodowych. Powyższe funkcje dostępne są dla pracowników biura. Natomiast pracownik magazynu, którego codzienna praca również opiera się na systemie IMPULS, ma możliwość wystawiania dokumentów przychodowych i rozchodowych. Ma on również dostęp do stanów magazynowych oraz kartoteki zamówień.

W wybranych przedsiębiorstwach przeprowadzono analizę dokumentacji, w tym wdrożeniowej. Dodatkowo przeprowadzono wywiad kierowany z osobami zatrudnionymi w działach logistyki (łącznie 20 wywiadów, odpowiednio 11 w większym przedsiębiorstwie i 9 w mniejszym). Liczba wywiadów była ograniczona liczbą osób pracujących w działach logistyki. Na rysunku 1 przedstawiono liczbę lat, przez jaką ankietowane osoby wykorzystywały system.



Rysunek 1. Czas pracy ankietowanych z systemem

Źródło: opracowanie własne.

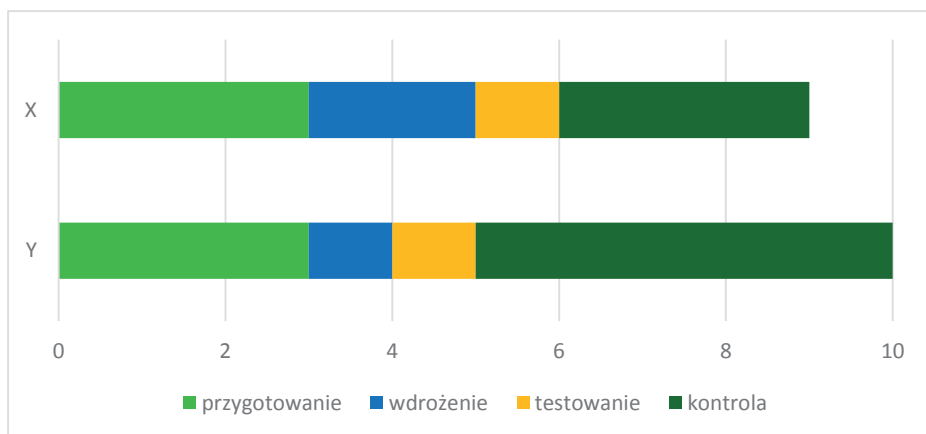
## 12.4. Przebieg wdrożenia w analizowanych przedsiębiorstwach

Wdrożenie systemu w przedsiębiorstwie X wyglądało w następujący sposób. W pierwszej kolejności przeprowadzono analizy potrzeb firmy, a następnie określono, jakie funkcje ma posiadać zintegrowany system zarządzania. Rozpoczęto poszukiwania odpowiedniego oprogramowania, porównując ceny dostępnych systemów, opinie innych użytkowników oraz funkcjonalność programów. Przedsiębiorstwo X wybrało system SAP. Wdrożenie rozpoczęto od przygotowania technicznego, przeprowadzenia audytu wewnętrznego oraz szeregu szkoleń dla pracowników, którzy będą korzystać z systemu. Przygotowania do wdrożenia systemu trwały trzy miesiące. W pierwszej kolejności wdrożono system w dziale logistycznym, a następnie w działach księgowości i finansów, produkcji, IT, palet oraz BHP. Zainstalowano wybrane oprogramowanie, a następnie przeniesiono do niego wszystkie dane i dokumenty. Wdrożenie trwało dwa miesiące. Po wdrożeniu systemu przeprowadzono szereg testów, aby upewnić się, czy działa on poprawnie. Pracowano jednocześnie na starym i nowym systemie. Testowanie oprogramowania trwało miesiąc. Drobne problemy, które zostały wykryte w jego trakcie, natychmiast rozwiązano i firma mogła zacząć korzystać z systemu SAP. Przez następne trzy miesiące system był nadzorowany przez firmę odpowiedzialną za wdrożenie w celu wykrycia błędów w działaniu. Wdrożenie przebiegło pomyślnie. Zrealizowano początkowe założenia. Przedsiębiorstwo X korzysta z systemu SAP ERP codziennie. Oprogramowanie jest na bieżąco nadzorowane oraz uaktualniane.

W czasie wdrożenia w firmie Y w pierwszej kolejności zostały zdefiniowane potrzeby firmy, a następnie rozpoczęto poszukiwania odpowiedniego oprogramowania. Przede wszystkim chciano zaspokoić potrzeby kilku działów, tj. działu konstrukcyjno-technologicznego, działu zaopatrzenia (dział logistyki i zakupów, w którego skład wchodzi magazyn) oraz działu księgowości. Przeprowadzono w firmie prezentacje proponowanych systemów oraz sprawdzono ich pracę w innych firmach, w których te funkcjonują. Po wybraniu odpowiedniego oprogramowania nastąpiło wdrożenie. W pierwszej kolejności system został wdrożony w dziale logistyki i zakupów oraz w dziale księgowości. Przeprowadzona została inwentaryzacja dokumentacji prowadzonej w formie papierowej oraz w formie cyfrowej. Zainstalowano wybrane oprogramowanie, a następnie przeniesiono do niego dane poddane uprzednio inwentaryzacji. Działy zostały powiązane między sobą w systemie, a następnie wdrożono go też w dziale konstrukcyjno-technologicznym. Przeprowadzono szereg szkoleń mających na celu zapoznanie pracowników z obsługą systemu. Przygotowania do „startu” trwały trzy miesiące. Samo wdrożenie zajęło już tylko miesiąc. Następny miesiąc kontrolowano poprawność działania systemu, pracując jednocześnie na starym i nowym systemie. Było to pracochłonne i nieco problematyczne dla pracowników, ponieważ musieli wprowadzać te same informacje dwukrotnie. W tym czasie poprawiano błędy i udoskonalano

działanie systemu. Kolejne pięć miesięcy korzystano już tylko z nowego systemu, ale był on cały czas pod nadzorem firmy odpowiedzialnej za wdrożenie. Po tym czasie system był gotowy do pracy. Wdrożenie przebiegło pomyślnie, a system funkcjonował zgodnie z początkowymi założeniami. Firma codziennie korzysta z systemu IMPULS. W ramach porozumienia firma będąca autorem oprogramowania prowadzi nadzór nad działaniem systemu, wprowadza wszelkie aktualizacje i naprawia błędy. Spółka ma możliwość zgłoszenia nowych funkcji, które są potrzebne, a autor oprogramowania wdroży je do standardu programu lub indywidualnie dla przedsiębiorstwa Y.

Wdrożenie zintegrowanego systemu zarządzania jest długotrwałe, kosztowne, czasochłonne i wymaga od przedsiębiorstwa dokładnego przygotowania [10]. W analizowanych przedsiębiorstwach wdrożenie trwało odpowiednio: dziewięć miesięcy w przedsiębiorstwie X oraz dziesięć miesięcy w firmie Y.



Rysunek 2. Czas wdrażania ZSZ w wybranych przedsiębiorstwach

Źródło: opracowanie własne.

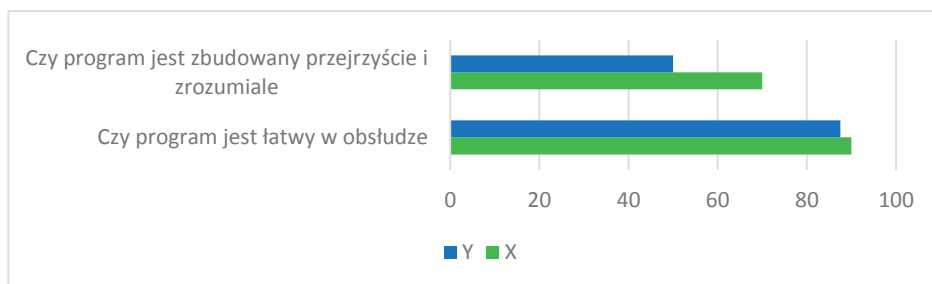
Na rysunku 2 przedstawiono czas wdrażania zintegrowanych systemów zarządzania w wybranych przedsiębiorstwach. Został on przedstawiony w miesiącach. Przygotowanie do wdrożenia, tzn. określenie potrzeb firm, wybór odpowiedniego oprogramowania oraz przeprowadzenie inwentaryzacji posiadanej dokumentacji, trwało w obydwu przypadkach trzy miesiące. W trakcie przygotowań rozpoczęto szkolenia dla pracowników i kadry, aby zapoznać ich z systemem. W firmie Y wdrożenie zajęło miesiąc. System został wdrożony w trzech działach, tj. w dziale logistyki i zakupów, finansów oraz konstrukcyjno-technologicznym. Natomiast w przedsiębiorstwie X wdrożenie trwało dwa miesiące. System został wdrożony w sześciu działach. W następnej kolejności kontrolowano działanie systemów

i przez miesiąc pracowano zarówno na starym, jak i na nowym systemie. Po tym czasie pracownicy mogli używać już tylko nowych systemów. Przez następne kilka miesięcy systemy były pod nadzorem firm odpowiedzialnych za wdrożenie. W firmie Y trwało to pięć miesięcy, a w przedsiębiorstwie X trzy miesiące. W obu przedsiębiorstwach całe wdrożenie przebiegło pomyślnie. Różny czas trwania poszczególnych etapów, a w konsekwencji całego wdrożenia jest spowodowany tym, że warunki wdrożenia w każdym z przedsiębiorstw różnią się od siebie. Należą do nich: specyfika i obszar działania, struktura i wielkość przedsiębiorstw, różne systemy informatyczne czy też stopień informatyzacji przed wdrożeniem.

## 12.5. Opinia pracowników na temat użytkowanych systemów

Opierając się na badaniach ankietowych, można stwierdzić, iż pracownicy są zadowoleni z funkcjonowania systemów, jednak w ich opiniach można to jeszcze poprawić.

Większość ankietowanych pracowników pozytywnie oceniła przejrzystość programu (rys. 3). Jednak wyraźnie widać, że przejrzystość bardziej rozbudowanego programu, jakim jest SAP, jest oceniana lepiej niż mniej rozbudowanego programu IMPULS. Natomiast łatwość obsługi obu programów jest oceniana w podobny sposób. Z odpowiedzi wynika, że mimo iż pracownicy oceniają program IMPULS jako mało przejrzysty, to jednak jego obsługa nie sprawia im problemów.

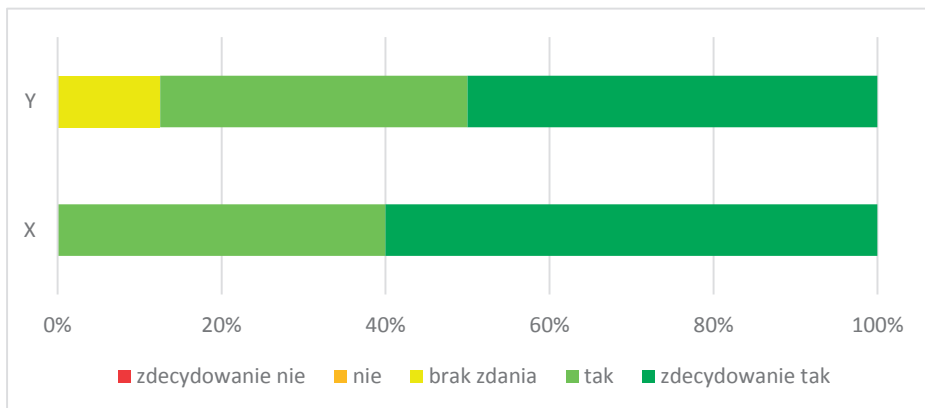


Rysunek 3. Ocena przejrzystości i łatwości obsługi programów

Źródło: opracowanie własne.

Jednym z kluczowych zadań systemu informatycznego jest umożliwienie szybkiego dostępu do informacji w przedsiębiorstwie. Ankietowani ocenili, czy dzięki wdrożeniu systemu uzyskali szybszy dostęp do informacji (rys. 4).



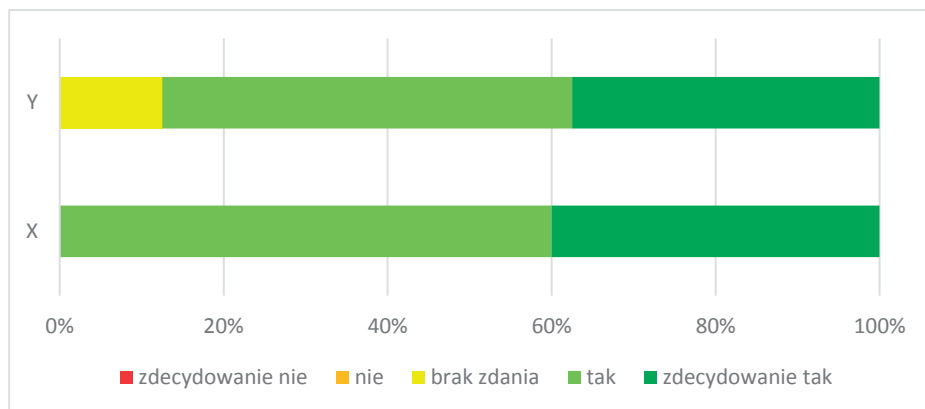


Rysunek 4. Czy dzięki wdrożeniu pracownik ma szybszy dostęp do informacji

Źródło: opracowanie własne.

W tej kwestii zdecydowana większość pracowników wypowiedziała się pozytywnie. Bardziej przekonani są o tym pracownicy większego przedsiębiorstwa (X). Prawdopodobnie w tym przypadku, po wdrożeniu, zmiana była dla nich bardziej odczuwalna.

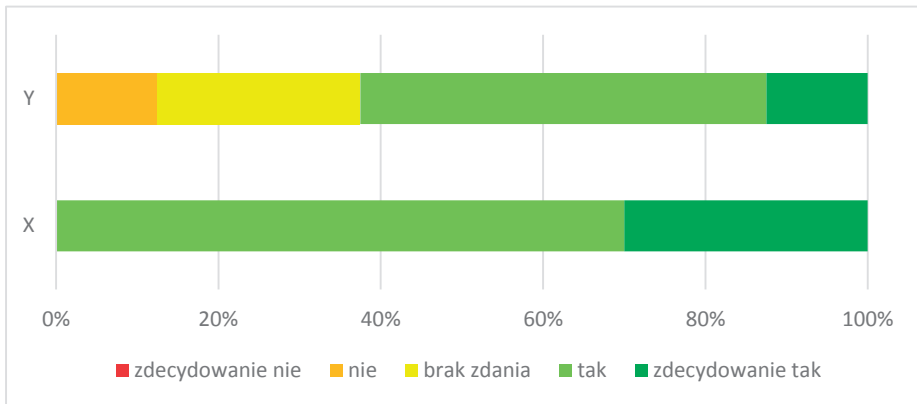
Zdecydowana większość ankietowanych ocenia, że system informatyczny spowodował lepszy obieg dokumentów (rys. 5). Podobnie jak w poprzednim przypadku pracownicy większego przedsiębiorstwa (X) lepiej oceniają ten parametr.



Rysunek 5. Czy dzięki wdrożeniu systemu powstał lepszy obieg dokumentów?

Źródło: opracowanie własne.

Dla działów logistycznych przedsiębiorstw istotne znaczenie ma możliwość zapobiegania występowaniu braków materiałowych. Dobry system informatyczny powinien wspomagać pracowników w tym zakresie. Zdanie pracowników na ten temat pokazano na rysunku 6.

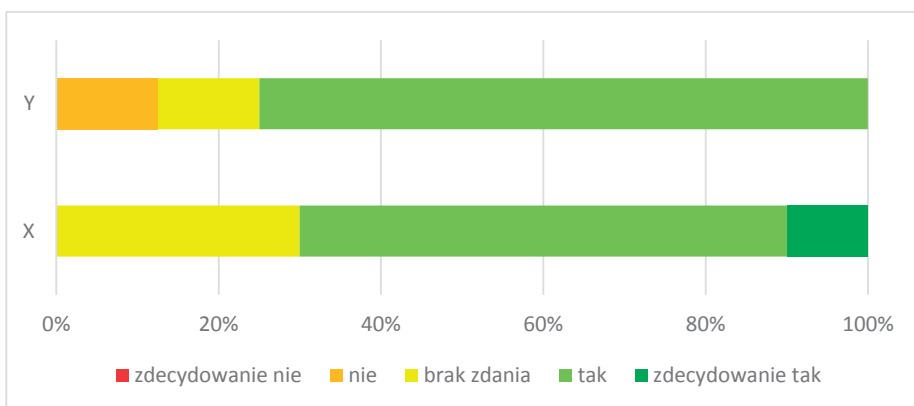


Rysunek 6. Czy dzięki wdrożeniu systemu pracownik ma większą możliwość zapobiegania występowaniu braków materiałowych?

Źródło: opracowanie własne.

Wszyscy pracownicy przedsiębiorstwa X uznali, że ta funkcja systemu jest realizowana. Inaczej sytuacja wygląda w przypadku przedsiębiorstwa Y. Tu jedynie 60% ankietowanych jest o tym przekonanych, a 12% ocenia tę funkcję systemu jako niezadowolającą. System SAP cieszy się ogromną popularnością, nie tylko w Polsce, ale i na świecie, i charakteryzuje się ogromną liczbą wdrożeń. Opinia ta potwierdza się także w tych w badaniach. Należy jednak mieć na uwadze, że pracownicy obu badanych firm mogą mieć inne oczekiwania wobec systemu informatycznego, posiadają też różne kwalifikacje.

Na rysunku 7 pokazano ocenę kolejnej funkcji, istotnej dla działów logistycznych, tj. zarządzanie relacjami z klientem.

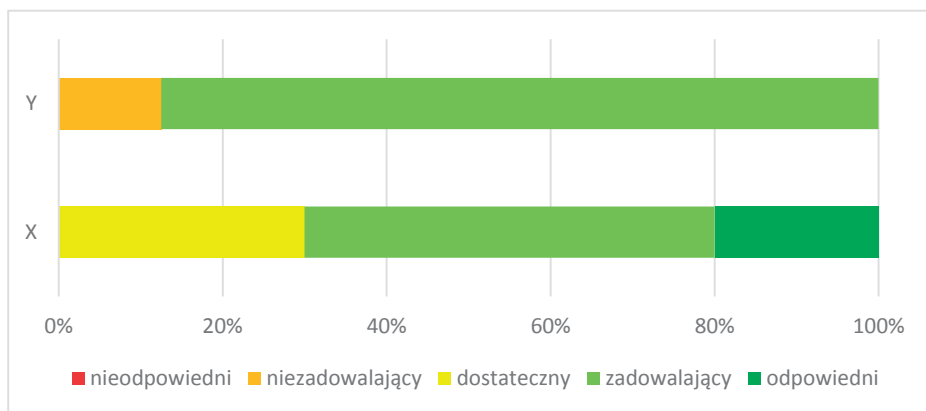


Rysunek 7. Czy wdrożenie systemu poprawiło zarządzanie relacjami z klientami?

Źródło: opracowanie własne.

O znaczeniu tej funkcji dla funkcjonowania współczesnych przedsiębiorstw świadczy fakt, że dla jej realizacji powstała osobna grupa systemów (CRM). Większość współczesnych systemów ERP ma zaimplementowaną jej realizację w mniejszym lub większym stopniu. Można zauważyć, że również ten zakres zadań realizowanych przez system jest lepiej oceniany w przedsiębiorstwie X. Pracownicy obu firm nieco słabiej oceniają tę funkcjonalność niż zapobieganie występowaniu braków magazynowych.

Kontynuacją funkcji związanych z przepływem informacji (przedstawionych na rys. 4 i 5) jest ocena przepływu informacji pomiędzy pracownikami (rys. 8).



Rysunek 8. Ocena przepływu informacji pomiędzy pracownikami

Źródło: opracowanie własne.

W tym przypadku ocena pracowników nie jest tak jednoznaczna jak we wcześniejszych analizach. Większość ankietowanych uznała przepływ informacji za odpowiedni. W firmie X wszyscy pracownicy oceniają ten wskaźnik jako co najmniej dostateczny, a 20% jako odpowiedni. Z kolei w firmie Y 87% ankietowanych wskazało, że poziom przepływu informacji pomiędzy pracownikami jest zadowolający.

Analizując opinie pracowników, można stwierdzić, że doceniają oni zalety używanych systemów ERP. Jednak zauważają drobne usterki systemu, które w przyszłości mogłyby zostać poprawione.

W przedsiębiorstwie X za najbardziej uciążliwe usterki uznano problemy techniczne, tj. zawieszanie się programu, długie oczekiwanie na wyniki wyszukiwania. Kolejne uwagi to brak wskazania, czego dotyczy błąd (system informuje o błędzie, ale nie wskazuje dokładnie, czego dotyczy, ani nie przekierowuje pracownika do błędnie wykonanej czynności). Kolejne zastrzeżenie ankietowanych dotyczyło braku możliwości cofnięcia się do poprzedniego kroku bez konieczności powtórzenia całej operacji (w przypadku błędu pracownik zmuszony jest powtarzać

całą operację od nowa). Kolejną wadą wskazaną w trakcie badania jest to, że często potrzebne dane znajdują się w różnych miejscach, przez co konieczne jest przeznaczenie dłuższego czasu na ich wyszukanie. Ważna uwaga dotyczy braku wystarczającej liczby szkoleń, w konsekwencji nowi pracownicy mają duży problem z obsługą systemu. To zaniedbanie firmy skutkuje zastrzeżeniami tych pracowników odnośnie do systemu informatycznego. Ankietowani z najdłuższym stażem pracy nie widzą wad i problemów związanych z systemem. Pomimo występujących trudności pracownicy zaliczają dostęp do informacji do najważniejszych zalet systemu. Mają możliwość uzyskania potrzebnych danych w czasie rzeczywistym, z wielu miejsc, a program umożliwia dostęp do danych także na smartfonach. Dane zawarte w systemie są bezpieczne, ponieważ zawiera on wiele zabezpieczeń. Pracownicy cenią również możliwość dodawania załączników i wielomodułowość systemu.

W przypadku przedsiębiorstwa Y, pracę utrudniają występujące problemy techniczne, a więc trudności z uruchomieniem systemu, zawieszaniem się programu. Kolejnym problemem jest czas oczekiwania na odpowiedź systemu. Wiele operacji, takich jak sortowanie czy wyszukiwanie, trwa zbyt długo. Pracownikom brakuje również podstawowych funkcji jak „usuń zaznaczone” w zamian za usuwanie każdej pozycji pojedynczo. Z rozmowy z pracownikami wynika, że nie mają oni dostępu do zestawień materiałowych, a powiązanie między działami nie jest wystarczające. Problem z obsługą systemu mają przede wszystkim nowi pracownicy. Jest to spowodowane brakiem odpowiednich szkoleń. Za największe zalety systemu uznają możliwość edycji napisanych wcześniej zamówień, co usprawnia pracę w razie pomyłki. Kolejnym plusem jest kartoteka zamówień, czyli dostęp do wszystkich zamówień, jakie kiedykolwiek zostały napisane, a przez to dostęp m.in. do danych kontaktowych dostawców oraz dostęp do stanów magazynowych.

## 12.6. Podsumowanie i wnioski końcowe

Z uwagi na niewielką liczbę ankietowanych trudno wyciągać daleko idące wnioski, jednak wyniki badań pozwalają na pewne spostrzeżenia. Badania ankietowe dotyczące oceny oprogramowania były przeprowadzone wśród pracowników firm, nie zaś wśród kadry zarządzającej, która ma zupełnie inne oczekiwania odnośnie do funkcjonalności systemu. Należy nadmienić, że w obu przypadkach ocena dokonana przez kierownictwo przedsiębiorstw, dotycząca zarówno wdrożenia, jak i późniejszej eksploatacji programów, była pozytywna.

Pracownicy pozytywnie wypowiadają się o wykorzystywanym oprogramowaniu, dotyczy to obu aplikacji. Można jednak zauważyć, że krytyczne uwagi pojawiają się u osób z najmniejszym stażem, które nie poznały wystarczająco

obsługi programów. Zjawisko to zaobserwowano w obu przypadkach. Można więc stwierdzić, że wiele problemów pojawiających się przy obsłudze oprogramowania nie zaistniałoby, gdyby przeprowadzono odpowiednie przeszkolenie kadry. To prawdopodobnie odbija się także na efektywności pracy niewystarczająco przeszkolonych pracowników.

Czas wdrażania programów w obu firmach był zbliżony, choć czas poszczególnych etapów różnił się. Ogólnie można stwierdzić, że mimo różnic w wielkości przedsiębiorstw, ich obszarów działania oraz w konsekwencji różnych wymagań odnośnie do oprogramowania w obu przypadkach zainstalowane programy spełniają stawiane wobec nich wymagania, zarówno kadry zarządzającej, jak i pracowników.

## Bibliografia

- [1] Cupiał M., Szelań-Sikora A., Sikora J., Gródek-Szostak Z., *Zintegrowane systemy zarządzania w logistyce*, [w:] G. Dzieniszewski (red.), *Aktualne problemy logistyki: Podkarpackie Forum Transportu i Logistyki: monografia T.2*, Państwowa Wyższa Szkoła Wschodnioeuropejska; Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysł 2017.
- [2] Devos J., Van Landeghem H., Deschoolmeester D., *Information systems for small and medium-sized enterprises*, Springer, Berlin Heidelberg 2014.
- [3] Golarz M., *Wykorzystanie systemu klasy ERP w logistyce przedsiębiorstw*, „Journal of Modern Management Process” 2017, t. 1, nr 2, s. 18–29.
- [4] Kubon M., Krasnodebski A., *Logistic costs in competitive strategies of enterprises*, „Agricultural Economics-Zemledska Ekonomika” 2010, t. 56, nr 58, s. 397–402.
- [5] Loh T. C., Koh S. C. L., *Critical elements for a successful enterprise resource planning implementation in small-and medium-sized enterprises*, „International Journal of Production Research” 2004, t. 42, nr 17, s. 3433–3455.
- [6] Menezes S., Creado S., Zhong R. Y., *Smart manufacturing execution systems for small and medium-sized enterprises*, „Procedia CIRP” 2018, t. 72, s. 1009–1014..
- [7] Nettsträter A., Geißen T., Witthaut M., Ebel D., Schoneboom J., *Logistics Software Systems and Functions: An Overview of ERP, WMS, TMS and SCM Systems*, [w:] M. Hompel, J. Rehof, O. Wolf (red.), *Cloud Computing for Logistics, Lecture Notes in Logistics*, Springer International Publishing, Amsterdam 2015.
- [8] Powell D., Riezebos J., Strandhagen J. O., *Lean production and ERP systems in small-and medium-sized enterprises: ERP support for pull production*, „International Journal of Production Research” 2013, t. 51, nr 2, s. 395–403.

- [9] Rut J., Kulińska E., *Zintegrowany system informatyczny wspomagający kluczowe obszary zarządzania przedsiębiorstwa*, „Logistyka” 2015, nr 4, s. 5559–5564.
- [10] Salmonowicz K., *Ekonomiczno-organizacyjne aspekty wdrażania zintegrowanych systemów informatycznych w przedsiębiorstwie*, „Logistyka” 2010, nr 6, pełny tekst na CD.
- [11] Senczyk D., *Zintegrowane systemy zarządzania w przedsiębiorstwie na wybranych przykładach*, „Przegląd Naukowo-Metodyczny” 2014, nr 1, s. 153–161.

Karolina Lipus<sup>\*</sup>, Anna Szelaǳ-Sikora<sup>\*</sup>, Aneta Oleksy-Gębczyk<sup>\*\*</sup>,  
Jakub Sikora<sup>\*,\*\*\*</sup>, Sylwester Tabor<sup>\*</sup>

## 13. Identyfikacja obszarów ryzyka – zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie transportowo-spedycyjnym

### 13.1. Wprowadzenie

W ciągu ostatnich lat można zauważyć dynamiczny wzrost zainteresowania problematyką ryzyka w działalności gospodarczej [3]. W wyniku dynamicznego rozwoju branży transportowej i informatycznej przedsiębiorstwa wyrażają gotowość obsługi rynków globalnych oraz ponadnarodowych. Najczęściej jednak bieżąca działalność firm skupiona jest przede wszystkim na zaspokajaniu aspiracji nabywców. Wykonywanie i dobieranie produktów lub usług następuje w taki sposób, aby spełnić konkretne potrzeby klientów, komórki zarządzania łańcuchem dostaw zajmują się kontrolowaniem przepływu informacji, produktów i usług, natomiast brakuje już czasu na to, aby np. zająć się analizą ryzyka, a przecież łańcuch dostaw w szczególności wyróżnia się dynamicznością oraz zmiennością, dlatego też procesy zachodzące w całej strukturze zawsze obarczone są pewnym stopniem ryzyka. Im bardziej rozwinięta i złożona sieć powiązań między przedsiębiorstwami, tym większe ryzyko przy podejmowaniu decyzji. Dla rozbudowanych łańcuchów dostaw mogą wystąpić różnego rodzaju zagrożenia. Wiąże się to z wymogiem większej czujności i podejmowaniem szybkich reakcji na zbliżające się niebezpieczeństwa [7]. W związku z tym rośnie znaczenie zarządzania ryzykiem, które należy rozpatrywać nie tylko dla pojedynczego przedsiębiorstwa, ale także na poziomie całego łańcucha dostaw [8].

---

<sup>\*</sup> Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, ul. Balicka 116 B, 30-149 Kraków; karolalip@wp.pl, anna.szelaǳ-sikora@urk.edu.pl, jakub.sikora@urk.edu.pl, sylwester.tabor@urk.edu.pl.

<sup>\*\*</sup> Akademia Nauk Stosowanych w Nowym Sączu, Wydział Nauk Ekonomicznych, Katedra Ekonomii i Finansów, ul. Aleje Wolności 38, 33-300 Nowy Sącz; aoleksy-gebczyk@ans-ns.edu.pl.

<sup>\*\*\*</sup> Małopolska Uczelnia Państwowa w Oświęcimiu, Instytut Nauk Inżynierijsko-Technicznych, ul. M. Kolbego 8, 32-600 Oświęcim; jakub.sikora@mup.edu.pl.

Ryzyko jest to potencjalne zdarzenie przyszłe, które może wpłynąć na realizację projektów lub celów w danym przedsiębiorstwie. Podczas kontroli wszystkich czynności od zakupu surowców po finalne dostarczenie gotowego produktu do ostatecznego odbiorcy często spotyka się zjawiska i sytuacje losowe, które nie zawsze da się przewidzieć [2]. Ryzyko łańcucha dostaw wiąże się z prawdopodobieństwem zastosowania błędnych strategii, nieoptymalnej konfiguracji systemu logistycznego czy podjęcia nieopłacalnych decyzji. W celach zapobiegawczych przedsiębiorstwa poszukują nowych rozwiązań i udoskonaleń na każdej płaszczyźnie, aby zminimalizować skutki nieprzewidywanych zdarzeń [6]. Z tego też względu Autorzy niniejszego opracowania podjęli się próby identyfikacji potencjalnych obszarów ryzyka w wybranym przedsiębiorstwie transportowo-spedycyjnym, w celu dostarczenia informacji, które mogą być niezbędne np. dla szacowania ryzyka w badanym przedsiębiorstwie.

### **13.2. Cel oraz metodyka badań**

Celem opracowania jest identyfikacja obszarów ryzyka w łańcuchu dostaw w przedsiębiorstwie transportowo-spedycyjnym. Szczegółowy cel uwzględnia analizę procesu związanego z importem towaru z Turcji w wybranym przedsiębiorstwie.

Zakres opracowania zawiera złożony opis procesu importu towaru z Turcji w wybranym przedsiębiorstwie spedycyjnym. Przyjęcie odpowiedniej metodyki pozwoliło ustalić, które z zagrożeń w znaczącym stopniu wpływają na działanie łańcucha dostaw w przedsiębiorstwie. Zakresem pracy objęto I kwartał roku 2023 oraz I kwartał poprzedniego roku – 2022.

Badanie przeprowadzono w formie analizy dokumentów, na podstawie której dokonano porównania liczby występujących zdarzeń w danym przedsiębiorstwie. Na potrzeby przeprowadzenia badań opracowano autorski formularz, w którym zamieszczono kryteria, dzięki którym utworzono zestawienie zmian zachodzących przy imporcie towarów z Turcji.

### **13.3. Metodyka obliczeń**

Otoczenia wraz z oznaczeniem kolorystycznym zostały przedstawione w tabeli 1. Są to cztery płaszczyzny, dla których dokonano badań dotyczących występowania nieprzewidywanych zdarzeń. Źródła implikujące ryzyko zostały utworzone na podstawie własnej obserwacji struktury działania firmy spedycyjnej.



Tabela 1. Źródła implikujące ryzyko – otoczenia

Lp.	Otoczenie	Opis otoczenia
1.	Klient	Obejmuje zlecenia, które należą do polskiej spedycji. Agent przesyła zapytanie o wycenę transportu do partnera tureckiego i wykonuje kalkulację dla importera. Po akceptacji oferty przez klienta rezerwuje miejsce na samochodzie zbiorczym oraz przekazuje zlecenie do realizacji (odbiór + czynności dodatkowe). Rozpatrywane dla każdej przesyłki, na jednym samochodzie drobnicowym może być kilka przesyłek polskiej spedycji
2.	Partner	Obejmuje zlecenia, które należą do tureckiej spedycji. Agent z Turcji przesyła awizację samochodów zbiorczych wraz z danymi kontaktowymi do importerów. Spedycja polska ma za zadanie zorganizowanie dystrybucji krajowej wraz z pozostałymi czynnościami. Rozpatrywane dla każdej przesyłki, na jednym samochodzie drobnicowym może być kilka przesyłek tureckiego partnera
3.	Środowisko	Obejmuje sytuacje losowe związane z czynnikami naturalnymi lub problemami związanymi z np. postojem samochodów na granicy. Rozpatrywane jest dla całego samochodu
4.	Procedury	Obejmuje zlecenia klientów, którzy decydują się na odprawę celną przesyłek w agencji polskiej spedycji. Rozpatrywane dla każdej przesyłki drobnicowej, na jednym samochodzie drobnicowym może być kilka przesyłek odprawianych w agencji wewnętrznej

Źródło: opracowanie własne na podstawie obserwacji struktury działania przedsiębiorstwa spedycyjno-transportowego.

W zależności od specyfiki dla każdego otoczenia można wyróżnić kilka grup ryzyka. Grupy zostały utworzone na podstawie własnej obserwacji struktury działania przedsiębiorstwa spedycyjnego oraz przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2. Grupy ryzyka

Otoczenie	Grupy ryzyka
Klient	Uszkodzenia towaru K
	Czas realizacji dostawy krajowej K
	Czas realizacji zlecenia Turcja-Polska
	Identyfikacja wymagań klienta
	Odbiór zlecenia przez stronę turecką
	Niedotrzymanie warunków umowy przez partnera

Cd Tabela 2. Grupy ryzyka

Otoczenie	Grupy ryzyka
Partner	Uszkodzenia towaru P
	Czas realizacji dostawy krajowej P
	Poprawność i komplet dokumentacji
Środowisko	Opóźnienie transportu (postój na granicy)
	Opóźnienie transportu (czynniki naturalne – deszcz, śnieżyca, trzęsienie ziemi)
	Czas rozładunku samochodu na magazynie przeładunkowym
Procedury	Kontrole i rewizje celne
	Zgodność dokumentacji
	Czas trwania odprawy celnej
	Czas oczekiwania na opłatę za należności celno-podatkowe

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4].

Dla każdej grupy ryzyka określono skalę. Opis oraz oznaczenie kolorystyczne zostało przedstawione w tabeli 3 oraz tabeli 4.

Tabela 3. Skala ocen dla każdej grupy


Otoczenie	Grupy ryzyka	Skala		
Klient	Uszkodzenia towaru K	Tak	Nie	nd.
	Czas realizacji dostawy krajowej K	1–2 dni	3–4 dni	Powyżej 4 dni
	Czas realizacji zlecenia Turcja--Polska	4 dni	5–6 dni	Powyżej 6 dni
	Identyfikacja wymagań klienta	Tak	Nie	nd.
	Odbiór zlecenia przez stronę turecką	Tak	Nie	nd.
	Niedotrzymanie warunków umowy przez partnera	Tak	Nie	nd.
Partner	Uszkodzenia towaru P	Tak	Nie	nd.
	Czas realizacji dostawy krajowej P	Tak	Nie	nd.
	Poprawność i komplet dokumentacji	1–2 dni	3–4 dni	Powyżej 4 dni

Źródło: opracowanie własne na podstawie obserwacji struktury działania przedsiębiorstwa spedycyjno-transportowego.

Cd Tabela 3. Skala ocen dla każdej grupy

Otoczenie	Grupy ryzyka	Skala		
Środowisko	Opóźnienie transportu (postój na granicy)	4 dni	5–6 dni	Powyżej 6 dni
	Opóźnienie transportu (czynniki naturalne – deszcz, śnieżyca, trzęsienie ziemi)	4 dni	5–6 dni	Powyżej 6 dni
	Czas rozładunku samochodu na magazynie przeładunkowym	1–3 h	3–6 h	Powyżej 6 h
Procedury	Kontrole i rewizje celne	Tak	Nie	nd.
	Zgodność dokumentacji	Tak	Nie	nd.
	Czas trwania odprawy celnej	1–2 dni	3–4 dni	Powyżej 4 dni
	Czas oczekiwania na opłatę za należności celno-podatkowe	1–2 dni	3–4 dni	Powyżej 4 dni

Tabela 4. Opis kolorystyczny skali

Kolor	Opis
	Niskie ryzyko
	Średnie ryzyko
	Wysokie ryzyko

Źródło: opracowanie własne na podstawie obserwacji struktury działania przedsiębiorstwa spedycyjno-transportowego.

Analizie poddano 30 samochodów z I kwartału 2022 oraz 2023 r. W związku z badaniem transportu drobnicowego liczby przesyłek na samochodach należące do danego otoczenia znacznie się różniły. Ustalony zakres ilościowy umożliwił sprawdzenie zmienności wymiany polsko-tureckiej w ciągu roku.

### 13.4. Przedmiot badań – import towaru z Turcji do Polski

Import towaru z Turcji odbywa się przy współpracy dwóch spedycji – polskiej i tureckiej. Kolaboracja umożliwiła organizację transportu, sprawny przepływ ładunku oraz kompleksową obsługę celną towarów [4]. W literaturze przedmiotu spotyka się różne schematy sieci logistycznych [1], natomiast Autorzy niniejszego

opracowania przedstawili na rysunku schemat współpracy w badanym przedsiębiorstwie, która działa na zasadzie transportu LTL – wyjazdy liniowe co tydzień. Na samochody zbiorcze zostają załadowane przesyłki drobnicowe w każdą sobotę oraz niedzielę. Spedycja turecka odpowiedzialna jest za:

- odbiór przesyłki od eksportera do własnego magazynu przeładunkowego,
- odprawę celną eksportową,
- transport międzynarodowy na odcinku Turcja – Polska.

Po przyjeździe samochodów do kraju docelowego zostają rozładowane na magazynie przeładunkowym polskiej spedycji, która odpowiedzialna jest za dalszą obsługę ładunków. Można wyróżnić takie zadania, jak:

- sprawdzenie zgodności dokumentacji ze stanem rzeczywistym,
- odprawa celna importowa,
- dystrybucja krajowa do odbiorcy finalnego – importera.



Rysunek 1. Import towaru z Turcji do Polski

Źródło: opracowanie własne na podstawie obserwacji struktury działania przedsiębiorstwa spedycyjno-transportowego.

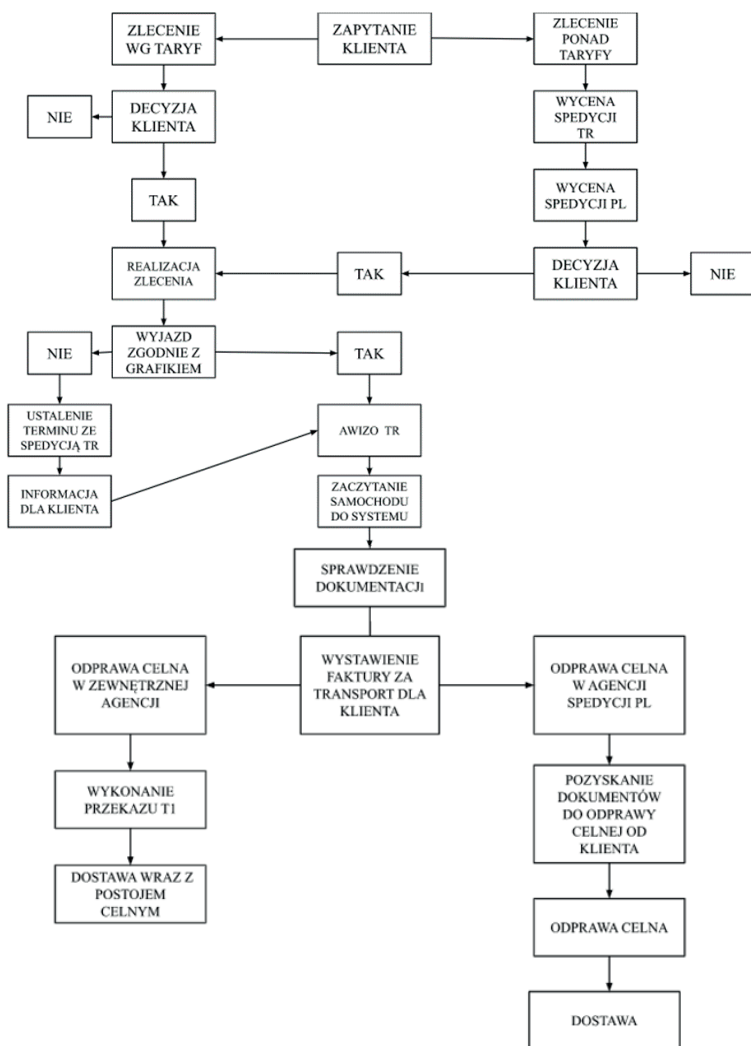
Zlecenia transportowe można podzielić na dwie grupy:

1. Zlecenia polskiego klienta, które są wyceniane przez polską spedycję, przebieg kształtuje się następująco:
  - 1.1. Zapytanie klienta.
  - 1.2. Wycena kosztu transportu u partnera tureckiego lub wycena wg taryf.
  - 1.3. Przedstawienie oferty cenowej klientowi wraz z czasem realizacji zlecenia.
  - 1.4. Akceptacja wyceny przez klienta.
  - 1.5. Przystąpienie do realizacji przez przesłanie zlecenia do Turcji.
  - 1.6. Odbiór towaru wraz z wykonaniem odprawy eksportowej oraz organizacja wyjazdu do Polski przez spedycję turecką.
  - 1.7. Awizacja przesyłek przez stronę turecką przez przesłanie list załadunkowych samochodów drobnicowych.
  - 1.8. Rozładunek samochodów tureckich na magazynie przeładunkowym polskiej spedycji.
  - 1.9. Sprawdzenie dokumentacji ze stanem rzeczywistym.
  - 1.10. Organizacja dystrybucji krajowej:

1.10.1. Przystąpienie do odprawy celnej importowej dla przesyłek odprawianych w agencji spedycji polskiej oraz organizacja transportu krajowego po zwolnieniu towaru do dostawy.

1.10.2. Wystawienie dokumentu tranzytowego T-1 oraz organizacja dostawy krajowej wraz z postojem na agencji celnej dla przesyłek odprawianych w zewnętrznym biurze.

Na rysunku 2 została zobrazowana realizacja zlecenia w punktach.

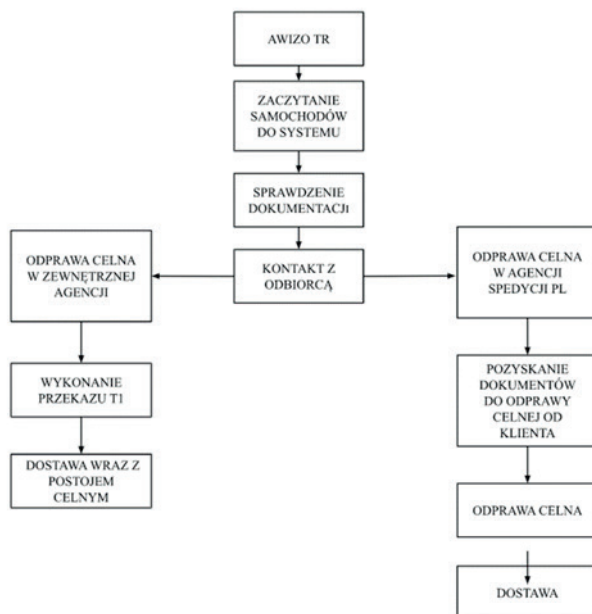


Rysunek 2. Import towaru – zlecenie klienta

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4] oraz obserwacji struktury działania przedsiębiorstwa spedycyjno-transportowego.

2. Zlecenia partnera tureckiego:
  - 2.1. Awizacja przesyłek przez stronę turecką przez przesłanie list załadunkowych samochodów drobnicowych wraz ze wskazaniem danych kontaktowych do polskich odbiorców.
  - 2.2. Potwierdzenia informacji odnośnie do miejsca odprawy celnej oraz dostawy z importerami.
  - 2.3. Rozładunek samochodów tureckich na magazynie przeładunkowym polskiej spedycji.
  - 2.4. Sprawdzenie dokumentacji ze stanem rzeczywistym.
  - 2.5. Organizacja dystrybucji krajowej wg wytycznych strony tureckiej oraz importera:
    - 2.5.1. Przystąpienie do odprawy celnej importowej dla przesyłek odprawianych w agencji spedycji polskiej oraz organizacja transportu krajowego po zwolnieniu towaru do dostawy.
    - 2.5.2. Wystawienie dokumentu tranzytowego T-1 oraz organizacja dostawy krajowej wraz z postojem na agencji celnej dla przesyłek odprawianych w zewnętrznym biurze.

Przebieg został przedstawiony na rysunku 3.



Rysunek 3. Import towaru – zlecenie partnera z Turcji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4] oraz obserwacji struktury działania przedsiębiorstwa spedycyjno-transportowego.

## 13.5. Wyniki badań

### a. Suma zdarzeń wysokiego ryzyka

W tabeli 5 oraz tabeli 6 przedstawiono sumy zdarzeń dla każdej grupy badanego otoczenia, dla których prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka jest wysokie.

Tabela 5. Suma zdarzeń wysokiego ryzyka – rok 2022

Otoczenie Grupy ryzyka	Klient	Partner	Środowisko	Procedury
Uszkodzenia towaru K	3			
Czas realizacji dostawy krajowej K	12			
Czas realizacji zlecenia Turcja–Polska	15			
Identyfikacja wymagań klienta	6			
Odbiór zlecenia przez stronę turecką	4			
Niedotrzymanie warunków umowy przez partnera	4			
Uszkodzenia towaru P		15		
Czas realizacji dostawy krajowej P		27		
Poprawność i komplet dokumentacji		31		
Opóźnienie transportu (postój na granicy)			8	
Opóźnienie transportu (czynniki naturalne – deszcz, śnieżyca, trzęsienie ziemi)			2	
Czas rozładunku samochodu na magazynie przeładunkowym			6	
Kontrole i rewizje celne				0
Zgodność dokumentacji				13
Czas trwania odprawy celnej				1
Czas oczekiwania na opłatę za należności celno-podatkowe				3

Źródło: opracowanie własne.

Główne problemy związane są z czasem realizacji zleceń. W związku z dużą odległością pomiędzy dwoma państwami bardzo często następują opóźnienia spowodowane m.in. postojem samochodów na granicy, korkami, wypadkami, a to wiąże się z wydłużeniem tzw. czasu tranzytowego. Pod uwagę należy wziąć również poprawność dokumentacji, która jest niezbędna w celu wykonania odprawy celnej importowej.

Tabela 6. Suma zdarzeń wysokiego ryzyka – rok 2023

Otoczenie	Klient	Partner	Środowisko	Procedury
Grupy ryzyka				
Uszkodzenia towaru K	5			
Czas realizacji dostawy krajowej K	7			
Czas realizacji zlecenia Turcja–Polska	15			
Identyfikacja wymagań klienta	1			
Odbiór zlecenia przez stronę turecką	6			
Niedotrzymanie warunków umowy przez partnera	2			
Uszkodzenia towaru P		23		
Czas realizacji dostawy krajowej P		38		
Poprawność i komplet dokumentacji		35		
Opóźnienie transportu (postój na granicy)			10	
Opóźnienie transportu (czynniki naturalne – deszcz, śnieżyca, trzęsienie ziemi)			5	
Czas rozładunku samochodu na magazynie przeładunkowym			6	
Kontrole i rewizje celne				1
Zgodność dokumentacji				9
Czas trwania odprawy celnej				7
Czas oczekiwania na opłatę za należności celno-podatkowe				4

Źródło: opracowanie własne.

W związku ze wzrostem liczby samochodów w ciągu roku wydłużył się również czas realizacji dostaw krajowych. Poprawność dokumentacji cały czas stanowi poważny problem dla przedsiębiorstwa spedycyjnego. Odprawa celna importowa jest obligatoryjna w przypadku każdej przesyłki, dodatkowo agencje celne wymagają wypełnienia rozmaitych formalności w zależności od obowiązującego prawa celnego.

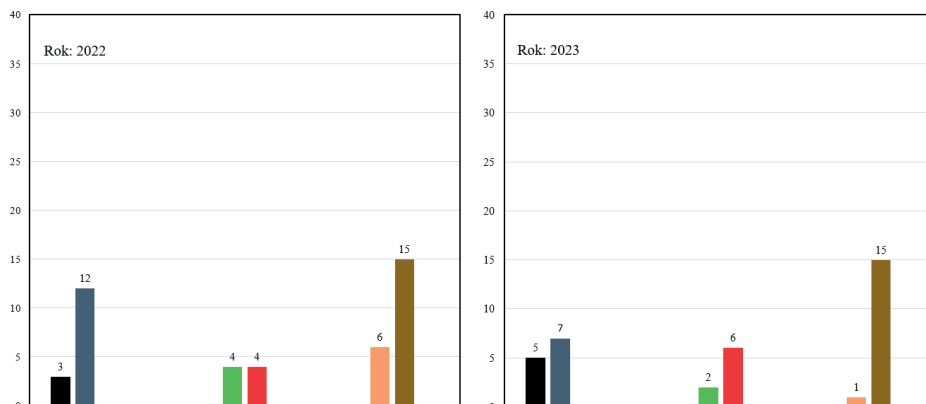


## b. Analiza porównawcza

Wykonano zestawienie danych w celach porównawczych dla lat 2022 oraz 2023 dotyczące sumy wystąpienia zdarzeń ryzyka wysokiego dla otoczenia:

- Klient

W tabeli 7 przedstawiono opis do oznaczeń kolorystycznych wykresu porównawczego przedstawionego na rysunku 4.



Rysunek 4. Porównanie zdarzeń wysokiego ryzyka – otoczenie „klient”

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 7. Opis oznaczeń kolorystycznych – otoczenie „klient”

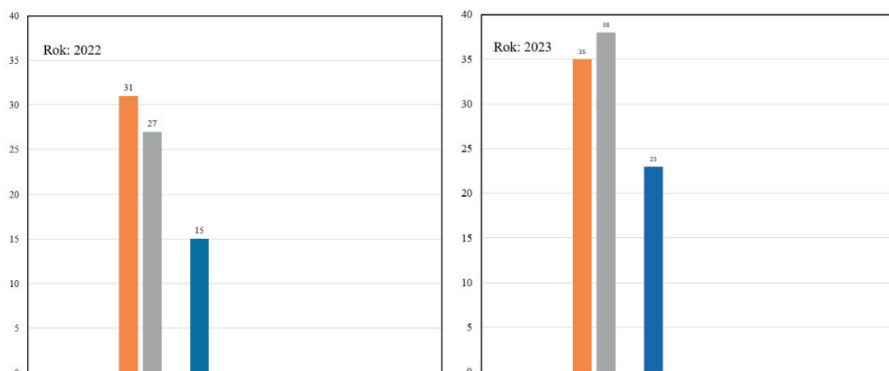
Kolor	Opis
Czarna	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „uszkodzenia towaru K”
Ciemnoniebieska	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „czas realizacji dostawy krajowej K”
Zielona	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „niedotrzymanie warunków umowy przez partnera”
Czerwona	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „odbiór zlecenia przez stronę turecką”
Pomarańczowa	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „identyfikacja wymagań klienta”
Brązowa	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „czas realizacji zlecenia Turcja–Polska”

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku otoczenia Klient największe zagrożenie stanowi czas realizacji zlecenia, który stale utrzymuje się na wysokim poziomie. Poprawę można zauważyć w przypadku organizacji dostawy krajowej oraz identyfikacji wymagań klienta. Jest to spowodowane rozwinięciem polityki firmy nastawionej na wzrost zadowolenia odbiorców finalnych przez dokonywanie ankiet oraz analiz konsumenckich. W ciągu roku wzrosła liczba uszkodzeń towarów z 3 do 5 punktów.

- Partner

W tabeli 8 przedstawiono opis do oznaczeń kolorystycznych wykresu porównawczego przedstawionego na rysunku 5.



Rysunek 5. Porównanie zdarzeń wysokiego ryzyka – otoczenie „partner”

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 8. Opis oznaczeń kolorystycznych – otoczenie „partner”

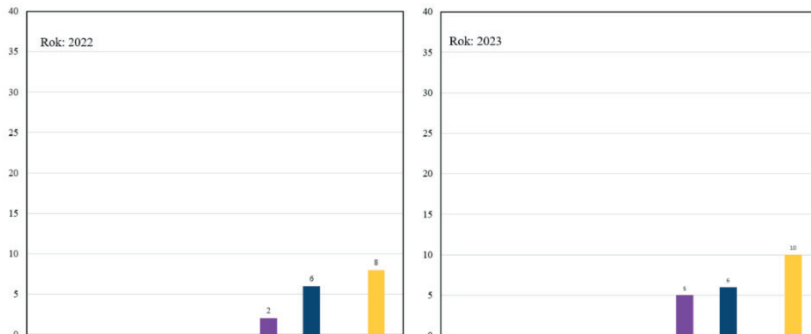
Kolor	Opis
	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „poprawność i komplet dokumentacji”
	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „czas realizacji dostawy krajowej P”
	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „uszkodzenia towaru P”

Źródło: opracowanie własne.

Dla otoczenia Partner największy problem stanowi czas realizacji dostawy krajowej oraz poprawność dokumentacji. Dwa elementy są ze sobą powiązane w związku z dużą liczbą niekompletnych zleceń przesyłanych przez stronę turecką. Brak dokumentów, adresów odbiorców finalnych, danych zewnętrznych agencji celnych wpływa na wydłużenie czasów dostaw. W ciągu roku wzrosła liczba uszkodzeń towarów z 15 do 23 punktów.

- Środowisko

W tabeli 9 przedstawiono opis do oznaczeń kolorystycznych wykresu porównawczego przedstawionego na rysunku 6.



Rysunek 6. Porównanie zdarzeń wysokiego ryzyka – otoczenie „środowisko”

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 9. Opis oznaczeń kolorystycznych – otoczenie „środowisko”

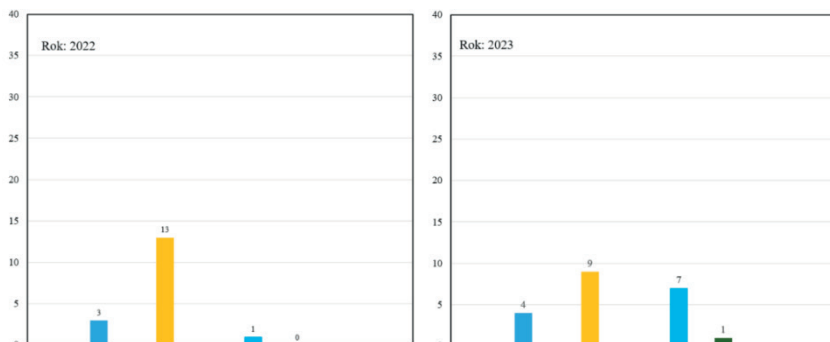
Kolor	Opis
	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „opóźnienie transportu (czynniki naturalne – deszcz, śnieżyca, trzęsienie ziemi)”
	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „czas rozładunku samochodu na magazynie przeładunkowym”
	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „opóźnienie transportu (postój na granicy)”

Źródło: Opracowanie własne.

Czas rozładunku samochodu na magazynie przeładunkowym pozostaje bez zmian. Wzrosła liczba opóźnień transportów. Postój samochodów na granicy związany jest z dynamicznym rozwojem importu różnorodnych towarów, a co za tym idzie – wzmożoną inspekcją graniczną. Do wydłużenia spowodowanego czynnikami naturalnymi w bieżącym roku przyczyniła się również katastrofa naturalna – trzęsienie ziemi w Turcji.

- Procedury

W tabeli 10 przedstawiono opis do oznaczeń kolorystycznych wykresu porównawczego przedstawionego na rysunku 7.



Rysunek 7. Porównanie zdarzeń wysokiego ryzyka – otoczenie „procedury”

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 10. Opis oznaczeń kolorystycznych – otoczenie „procedury”

Kolor	Opis
	Czas oczekiwania na opłatę za należności celno-podatkowe
	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „zgodność dokumentacji”
	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „czas trwania odprawy celnej”
	Suma zdarzeń ryzyka wysokiego dla grupy „kontrolę i rewizję celną”

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku otoczenia „procedury” zauważalna jest poprawa zgodności dokumentacji. Jest to związane z rozwinięciem polityki nastawionej na klienta w przedsiębiorstwie spedycyjnym. Obejmuje ona opracowanie czytelnych instrukcji oraz dążenie do sprawnego przepływu informacji pomiędzy agencją celną a importerem. Czas oczekiwania na wykonanie opłaty za należności celno-podatkowe utrzymuje się na podobnym poziomie. W bieżącym roku odnotowano jedną rewizję celną. Jest to sporadyczne zdarzenie, które nie wystąpiło w 2022 r. Największą różnicę odnotowano w przypadku czasu trwania odprawy celnej – wzrost z 1 do 7 punktów. Powodem zmiany jest rozwój oraz większa różnorodność towarów sprowadzanych z Turcji.

### 13.6. Podsumowanie i wnioski końcowe

Analizie poddano główne procesy, które mogą wpływać na występowanie zdarzeń niepożądanych przy imporcie towarów z Turcji. Na podstawie struktury działania przedsiębiorstwa spedycyjno-transportowego wyodrębniono cztery obszary, na podstawie których dokonano porównań. Każda grupa została przyporządkowana do wybranego otoczenia, tzw. źródła, które może implikować ryzyko. Biorąc pod uwagę analizę całościową, należy uznać, że najbardziej narażone na ryzyko jest otoczenie związane bezpośrednio z klientem badanego przedsiębiorstwa. Zarówno w roku 2022, jak i w 2023 wartość ryzyka średniego była najwyższa, obejmowała 89% (rok 2022) oraz 85% (rok 2023). Wnioskować można, że spadek może być związany z rozbudową działu handlowego, a co za tym idzie – wydłużeniem średniego czasu obsługi klienta. Ma to wpływ na rozwinięcie oferty oraz możliwość tworzenia personalizowanych wycen, które uwzględniają wszystkie wymagania konsumenta. Pomimo spadku procentowy udział na tle innych otoczeń jest bardzo wysoki. Należy stale obserwować przesyłki oraz dążyć do utrzymywania dobrych relacji z klientami dzięki:

- informowaniu o opóźnieniach, zmianach transit time'ów,
- awizacji daty dostawy/odbioru, danych kierowcy i samochodu,
- kontroli jakości załadunku/przeładunku, zabezpieczenia w transporcie,
- kontroli dokumentacji – sprawdzanie poprawności, rozbieżności ilościowych.

Dla otoczeń związanych z przesyłkami partnera oraz prawem celnym ryzyko całkowite jest niskie, nie ma konieczności ingerencji w poprawę działania. Zauważalny jest jednak przyrost poziomu o 1–2% w ciągu roku. Nasuwa się wniosek, że głównym powodem był diametralny wzrost liczby przesyłek tureckich oraz wzmożone zainteresowanie odprawą celną w agencji badanego przedsiębiorstwa. Według zebranych danych trzydziesty samochód w 2022 r. przybył na polski magazyn przeładunkowy 6.05, natomiast w tym roku – 8.03. Im większa liczba zleceń do obsłużenia, tym większe jest prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń nieprzewidywanych, które mogą prowadzić zarówno do zysku, jak i straty.

W przypadku otoczenia „środowisko” ryzyko również wzrosło nieznacząco o 2%. Dla badanego kierunku duży wpływ wywarło zjawisko naturalne na początku 2023 r. – trzęsienie ziemi, które spowodowało opóźnienia w dostawach.

### Bibliografia

- [1] Bardi E. J., Covle J. J., Langley C. J. Jr., *Zarządzanie logistyczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010.
- [2] Ciesielski M., *Instrumenty zarządzania łańcuchami dostaw*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2009.

- [3] Gephart R. P., Maanen J. V., Oberlechner T., *Organizations and Risk in Late Modernity*, „Organization Studies” 2009, t. 2–3, s. 141–155.
- [4] Konecka S., *Ryzyko zakłóceń w zarządzaniu łańcuchami dostaw*, rozprawa doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu 2015.
- [5] Kulińska E., *Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw*, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny, Poznań 2007.
- [6] Myszak J., Sowa M., *Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw. Problemy transportu i logistyki*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2016.
- [7] Rutkowski K., *Zarządzanie łańcuchem dostaw próba sprecyzowania terminu i określenie związków z logistyką*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2014.
- [8] Szymczak M., *Ewolucja łańcuchów dostaw*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań 2015.

## 14. Szacowanie ryzyka – zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie transportowo-spedycyjnym

### 14.1. Wprowadzenie

Niepewność i ryzyko – to zjawiska towarzyszące permanentnie działalności dowolnego podmiotu ukierunkowanej na osiągnięcie założonych celów. Są one odzwierciedleniem wpływu rozmaitych zagrożeń na tę działalność i dotyczą możliwości poniesienia straty. Ze względu na niebywałą dynamikę czynników, od których zależy efektywność działania podmiotu, we współczesnym świecie wzrasta zainteresowanie teoriami działania w warunkach zagrożeń, wskazującymi sposoby ograniczania niepewności i redukcji ryzyka [9]. W dzisiejszych czasach ryzyko towarzyszy każdej decyzji, tj. operacyjnej, inwestycyjnej czy finansowej. Z samej natury planowania wynika, że przewidywane przyszłe wartości branych pod uwagę zmiennych nie są pewne, lecz tylko prawdopodobne. Różne kwantyfikowane parametry przyjmują dane wartości wyłącznie przy określonych założeniach [3]. Przedsiębiorstwa, które prowadzą działalność międzynarodową, z uwagi na złożoność transakcji handlowych, coraz częściej narażone są na negatywne konsekwencje istniejących zagrożeń niewystępujących już wyłącznie w otoczeniu lokalnym. Firmy, aby przeciwdziałać takim sytuacjom, muszą dokonywać analizy ryzyka występującego w ich łańcuchu dostaw oraz opracować odpowiednie metody zarządzania nim w postaci zapobiegania i łagodzenia ewentualnych skutków [6].

Kwestia bezpieczeństwa, wrażliwości oraz ryzyka, na jakie narażone są łańcuchy dostaw, stanowi obecnie niezwykle ważny aspekt działalności każdego przedsiębiorstwa. Każda organizacja powinna również pod innym kątem analizować przyczyny oraz skutki występowania tego niepożądanego zjawiska. Niezwykle ważnym zadaniem okazuje się zatem zidentyfikowanie zagrożeń, które występują wewnątrz

---

<sup>\*</sup> Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, ul. Balicka 116 B, 30-149 Kraków; [anna.szelaǳ-sikora@urk.edu.pl](mailto:anna.szelaǳ-sikora@urk.edu.pl), [karolalip@wp.pl](mailto:karolalip@wp.pl), [sylwester.tabor@urk.edu.pl](mailto:sylwester.tabor@urk.edu.pl).

<sup>\*\*</sup> Akademia Nauk Stosowanych w Nowym Sączu, Wydział Nauk Ekonomicznych, Katedra Ekonomii i Finansów, ul. Aleje Wolności 38, 33-300 Nowy Sącz; [aoleksy-gebaczyk@ans-ns.edu.pl](mailto:aoleksy-gebaczyk@ans-ns.edu.pl).

<sup>\*\*\*</sup> Małopolska Uczelnia Państwowa w Oświęcimiu, Instytut Nauk Inżyniersko-Technicznych, ul. M. Kolbego 8, 32-600 Oświęcim; [dyrektor.init@uczelniaoswiecim.edu.pl](mailto:dyrektor.init@uczelniaoswiecim.edu.pl), [anna.szelaǳ-sikora@mup.edu.pl](mailto:anna.szelaǳ-sikora@mup.edu.pl).

przedsiębiorstwa, tj. tych obszarów zainteresowania, na które firma może oddziaływać, np. nagły spadek popytu, niska jakość produktu, awaria parku maszynowego czy zmiana systemu zarządzania. Wszystkie pozostałe elementy przekraczające granicę działalności, np. klęski żywiołowe, recesja gospodarcza, ceny paliwa czy też terroryzm, pomimo braku możliwości poddania ich bezpośredniej kontroli [5, 7] powinny być jak najszybciej wychwytywane, przeanalizowane i zrozumiane przez organizacje, co w znacznym stopniu spowoduje minimalizację pogłębienia ryzyka [5]. Niniejsze opracowanie jest kontynuacją prezentacji i analizy wyników z zakresu zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie transportowo-spedycyjnym, dla którego opracowano politykę zarządzania ryzykiem przez dokonanie identyfikacji obszarów ryzyka (rozdział w niniejszej monografii: *Identyfikacja obszarów ryzyka – zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie transportowo-spedycyjnym*) oraz oszacowanie ryzyka. W pracy aspekt szacowania ryzyka obejmuje również problemy dotyczące zarządzania przedsiębiorstwem w perspektywie standardu [8].

## 14.2. Cel i zakres

Przedsiębiorstwa powinny uwzględniać ryzyko w prowadzonej działalności gospodarczej, gdyż próba jego całkowitego wyeliminowania oznaczałaby konieczność rezygnacji z podejmowania jakichkolwiek przedsięwzięć gospodarczych. Dla funkcjonowania w tych warunkach ważna jest identyfikacja czynników ryzyka działalności, umiejętność oceny skali występującego ryzyka oraz zastosowanie odpowiednich sposobów zabezpieczenia przed ryzykiem działalności [3]. Jak w jednej ze swoich prac napisała Ewa Kulińska [2], przez ryzyko łańcucha dostaw należy zatem rozumieć prawdopodobieństwo przyjęcia nieodpowiedniej strategii, podjęcia nieodpowiednich decyzji czy nieoptymalnej konfiguracji systemu logistycznego. Dlatego kontynuując kreowanie polityki zarządzania ryzykiem dla przedsiębiorstwa objętego badaniami (jego charakterystykę przedstawiono w rozdziale pt. *Identyfikacja obszarów ryzyka – zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie transportowo-spedycyjnym*), za cel niniejszego opracowanie przyjęto oszacowanie ryzyka w ramach zarządzania ryzykiem w łańcuchu dostaw w przedsiębiorstwie transportowo-spedycyjnym, ze szczególnym uwzględnieniem przeprowadzania analizy dla procesu związanego z importem towaru z Turcji w wybranym przedsiębiorstwie.

Zakres opracowania uwzględniał obliczanie ryzyka całkowitego na podstawie ryzyka częściowego. Finalnie na podstawie przeprowadzonych analiz została sformułowana polityka zarządzania ryzykiem. Czasowy zakres pracy przyjęto jako I kwartał roku 2023 oraz I kwartał poprzedniego roku – 2022.



### 14.3. Metodyka obliczeń

Szacując ryzyko, określa się jego wartość. Wartość ryzyka rozumiana jest jako wielkość możliwej straty lub szkody pomnożonej przez prawdopodobieństwo jej zaistnienia. Im wyższy jest rozmiar potencjalnej straty lub wyższe jest prawdopodobieństwo jej zaistnienia, tym wyższe jest ryzyko [1].

Na podstawie tabeli dotyczącej sumy zdarzeń wysokiego ryzyka dla każdej grupy danego otoczenia (dane źródłowe zamieszczono w rozdziale *Identyfikacja ryzyka...*) dokonano analizy i przyporządkowania wartości  $P$  według rysunku 1. Dla najniższej sumy wartość  $P = 1$ , dla najwyższej  $P = 3$ . Wyniki zostały naniesione na wykres, na podstawie którego została wykonana mapa ryzyka (rys. 1).

		Prawdopodobieństwo wystąpienia		
		Znaczne	Średnie	Małe
Potencjalna skala wpływu	Duża	3		
	Średnia		2	
	Mała			1

Rysunek 1. Ocena prawdopodobieństwa – wyznaczenie wartości  $P$

Źródło: opracowanie własne.

Oceny dokonano przez oszacowanie możliwych konsekwencji wystąpienia danego zdarzenia, gdzie:

- $K = 1 \rightarrow$  małe konsekwencje,
- $K = 2 \rightarrow$  średnie konsekwencje,
- $K = 3 \rightarrow$  duże konsekwencje.

Następnie oszacowano stopień ważności danego ryzyka w celu podjęcia odpowiednich środków zapobiegawczych przez obliczenie ryzyka szacunkowego według wzoru 1. Na czerwono zostały zaznaczone wartości maksymalne, na zielono – wartości minimalne.

$$R_s = P \cdot K \quad (1)$$

gdzie:

$R_s$  – ryzyko szacunkowe – cząstkowe,

$P$  – prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka,

$K$  – konsekwencje ryzyka.

Obliczony wskaźnik  $R_s$  mieści się w przedziale:  $R_s \min = 1 \leq R_s \leq R_s \max = 9$ .

Ryzyko całkowite związane jest z wpływem wszystkich zidentyfikowanych elementów (działań, czynności) na wynik badanego procesu. Na podstawie ryzyka cząstkowego obliczono ryzyko całkowite według wzoru 2. Wyniki podzielono przez liczbę grup występujących w danym otoczeniu, aby dokonać analizy porównawczej według wzoru 3:

$$R_c = R_{s_1} \cdot R_{s_2} \cdot R_{s_3} \cdot R_{s_n} \quad (2)$$

$$\overline{R_c} = \frac{(R_{s_1} \cdot R_{s_2} \cdot R_{s_3} \cdot R_{s_n})}{N} = \frac{(\sum_{i=1}^N R_{c_i})}{N} \quad (3)$$

## 14.4. Prezentacja i analiza wyników badań

### a. Mapa ryzyka

W tabeli 1 zostały nadane wartości liczbowe każdej grupie w badanym otoczeniu oraz ustalono prawdopodobieństwo – *P* zmaterializowania się ryzyka.

Tabela 1. Ocena prawdopodobieństwa zmaterializowania się ryzyka

Lp.	Grupy ryzyka	P 2022	P 2023
1.	Uszkodzenia towaru K	1	2
2.	Czas realizacji dostawy krajowej K	3	2
3.	Czas realizacji zlecenia Turcja–Polska	3	3
4.	Identyfikacja wymagań klienta	2	1
5.	Odbiór zlecenia przez stronę turecką	1	2
6.	Niedotrzymanie warunków umowy przez partnera	1	1
7.	Uszkodzenia towaru P	1	1
8.	Czas realizacji dostawy krajowej P	2	3
9.	Poprawność i komplet dokumentacji	3	3
10.	Opóźnienie transportu (postój na granicy)	3	3
11.	Opóźnienie transportu (czynniki naturalne – deszcz, śnieżyca, trzęsienie ziemi)	1	2
12.	Czas rozładunku samochodu na magazynie przeładunkowym	2	2
13.	Kontrole i rewizje celne	1	1
14.	Zgodność dokumentacji	3	3
15.	Czas trwania odprawy celnej PR	1	2
16.	Czas oczekiwania na opłatę za należności celno-podatkowe	2	2

Źródło: opracowanie własne.

Dla połowy badanych grup prawdopodobieństwo zmaterializowania się ryzyka utrzymywało się na tym samym poziomie. Dla otoczenia „klient” (*K*) wzrost następuje dla uszkodzenia towaru oraz odbioru zlecenia przez stronę turecką. Spadek dotyczy czasu realizacji dostawy krajowej oraz identyfikacji wymagań klienta. W przypadku otoczenia „partner” (*P*) zauważalny jest wzrost dla czasu realizacji dostawy krajowej. Pozostałe prawdopodobieństwa pozostają na tym samym poziomie. Badając otoczenie „środowisko”, można zaobserwować wzrost dla opóźnienia transportu związanego z czynnikami naturalnymi. Dla otoczenia „procedury” (*PR*) wzrosło prawdopodobieństwo w przypadku czasu trwania odprawy celnej (tabela 1). Wyniki przedstawiono w tabeli 2 dla roku 2022 oraz w tabeli 3 dla roku 2023. Liczby zaznaczone kolorem zielonym – to wartości nadane każdej grupie w badanych otoczeniach.

Tabela 2. Ocena prawdopodobieństwa *P* dla 2022 r.

Potencjalna skala wpływu	Prawdopodobieństwo wystąpienia 2022			
		Znaczne	Średnie	Małe
	Duża	2. 3. 9. 10. 14.		
	Średnia		4. 8. 12. 16.	
	Mała			1. 5. 6. 7. 11. 13. 15.

Źródło: opracowanie własne.

Biorąc pod uwagę rok 2022, należy stwierdzić, że grupy, dla których prawdopodobieństwo spełnienia ryzyka jest wysokie, związane są z czasem realizacji zleceń, poprawnością dokumentacji oraz opóźnieniami transportowymi.

Tabela 3. Ocena prawdopodobieństwa *P* dla 2023 r.

Potencjalna skala wpływu	Prawdopodobieństwo wystąpienia 2023			
		Znaczne	Średnie	Małe
	Duża	3. 8. 9. 10. 14.		
	Średnia		1. 2. 5. 11. 12. 15. 16.	
	Mała			4. 6. 7. 13.

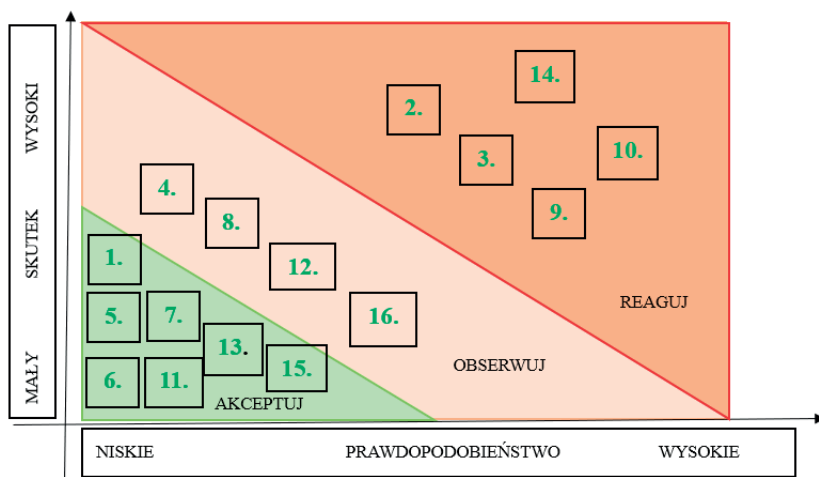
Źródło: opracowanie własne.

Biorąc pod uwagę rok 2023, można stwierdzić, że ryzyko wpływające w znaczącym stopniu na działanie przedsiębiorstwa związane jest z czasem realizacji zleceń, poprawnością oraz opóźnieniami transportowymi. Wyniki w ciągu dwóch lat nie uległy dużej zmianie, obejmują takie same zagadnienia (tab. 3).

Na podstawie tabeli 2 i tabeli 3 utworzono mapy, które klasyfikują grupy ryzyka na trzy kategorie:

1. Grupy, dla których wystąpienie ryzyka jest akceptowalne – zdarzenia losowe nie przyniosą znaczących problemów bądź występują bardzo rzadko.
2. Grupy, które należy obserwować – wystąpienie ryzyka może wpłynąć na działanie przedsiębiorstwa bądź pewne zdarzenia powtarzają się coraz częściej, dlatego też należy sprawdzić funkcjonowanie danej płaszczyzny.
3. Grupy, w przypadku których w razie wystąpienia ryzyka należy reagować. Do tej grupy mogą należeć zdarzenia, które powtarzają się nagminnie, a skutki ich wystąpienia znacznie wpłyną na działanie przedsiębiorstwa.

Wyniki przedstawiono na rysunku 2 oraz 3.

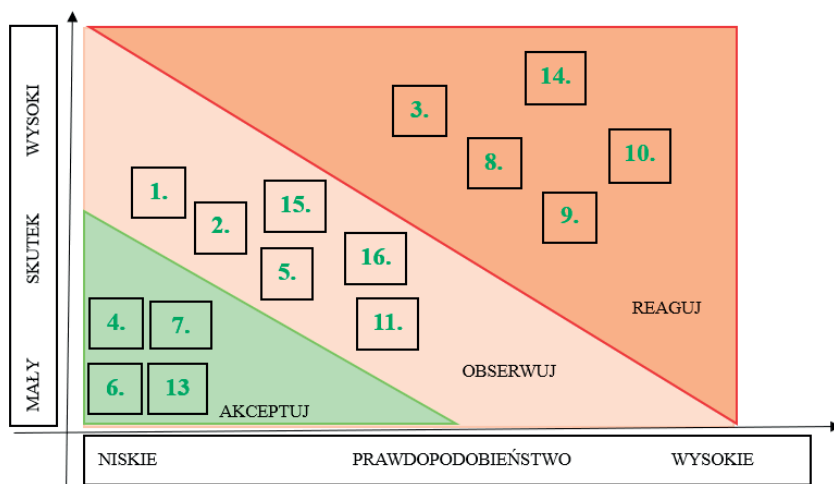


Rysunek 2. Mapa ryzyka – rok 2022

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2].

Grupy obejmujące czas realizacji dostawy krajowej, poprawność dokumentacji, opóźnienia transportowe związane z postojem na granicy mogą nieść za sobą wysokie komplikacje. Przedsiębiorstwo spedycyjne powinno wprowadzić działania korygujące, takie jak poprawa kontaktu z partnerem, monitoring samochodów czy też dokładne sprawdzanie dokumentacji. Czas oczekiwania na opłatę za należności celno-podatkowe oraz rozładunki samochodów na magazynie przeładunków należy obserwować. W przyszłości mogą mieć wysoki wpływ na działanie firmy,

dlatego też warto rozważyć wdrożenie działań dotyczących elektronicznego systemu opłat czy programu do awizacji rozładunków. Grupy, które w niskim stopniu oddziałują na przedsiębiorstwo, związane są z m.in. niedotrzymaniem warunków umowy przez partnera, kontrolami i rewizjami celnymi, czasem trwania odprawy celnej, uszkodzeniami towarów.



Rysunek 3. Mapa ryzyka – rok 2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2].

Mapy ryzyka dla lat 2022 oraz 2023 są podobne w przypadku elementów, które należą do pola „reaguj”. Poprawa nastąpiła dla grupy związanej z czasem realizacji zlecenia dostawy krajowej dla otoczenia „klient”. Realizacja dostawy krajowej dla zleceń partnera stała się niebezpieczeństwem z powodu dużej liczby niedoprecyzowanych transportów tureckich. Dla bieżącego roku – 6 grup należy obserwować. Jest to spowodowane dynamicznym rozwojem importu na odcinku Turcja – Polska (rys. 2, rys. 3).

## b. Ryzyko cząstkowe

Dokonano szacowania prawdopodobieństwa skutków ryzyka przez oszacowanie możliwych konsekwencji wystąpienia danego zdarzenia oraz określono stopień ważności danego ryzyka w celu podjęcia odpowiednich środków zapobiegawczych w momencie wystąpienia. Obliczone wskaźniki  $R_s$  mieszczą się w przedziale:  $R_s \min = 1 \leq R_s \leq R_s \max = 9$ . Wartości minimalne oraz maksymalne zostały zaznaczone kolorem zielonym oraz czerwonym w tabeli 6.

- $K = 1 \rightarrow$  małe konsekwencje,  
 $K = 2 \rightarrow$  średnie konsekwencje,  
 $K = 3 \rightarrow$  duże konsekwencje.

Tabela 6. Ryzyko cząstkowe 2022 oraz 2023 r.

Lp.	Grupy ryzyka	K 2022	RS 2022		K 2023	RS 2023	
1.	Uszkodzenia towaru <i>K</i>	3	3	<i>R</i>	3	6	<i>R</i>
2.	Czas realizacji dostawy krajowej <i>K</i>	2	6	<i>R</i>	2	4	<i>R</i>
3.	Czas realizacji zlecenia Turcja-Polska	2	6	<i>R</i>	2	6	<i>R</i>
4.	Identyfikacja wymagań klienta	1	2	<i>Rmin</i>	1	1	<i>Rmin</i>
5.	Odbiór zlecenia przez stronę turecką	2	2	<i>Rmin</i>	2	4	<i>R</i>
6.	Niedotrzymanie warunków umowy przez partnera	3	3	<i>R</i>	3	3	<i>R</i>
7.	Uszkodzenia towaru <i>P</i>	3	3	<i>R</i>	3	3	<i>R</i>
8.	Czas realizacji dostawy krajowej <i>P</i>	1	2	<i>Rmin</i>	1	3	<i>R</i>
9.	Poprawność i komplet dokumentacji	1	3	<i>R</i>	1	3	<i>R</i>
10.	Opóźnienie transportu (postój na granicy)	2	6	<i>R</i>	2	6	<i>R</i>
11.	Opóźnienie transportu (czynniki naturalne – deszcz, śnieżyca, trzęsienie ziemi)	2	2	<i>Rmin</i>	2	4	<i>R</i>
12.	Czas rozładunku samochodu na magazynie przeładunkowym	1	2	<i>Rmin</i>	1	2	<i>Rmin</i>
13.	Kontrole i rewizje celne	2	2	<i>Rmin</i>	2	2	<i>Rmin</i>
14.	Zgodność dokumentacji	3	9	<i>Rmax</i>	3	9	<i>Rmax</i>
15.	Czas trwania odprawy celnej	1	1	<i>Rmin</i>	1	2	<i>Rmin</i>
16.	Czas oczekiwania na opłatę za należności celno-podatkowe	1	2	<i>Rmin</i>	1	2	<i>Rmin</i>

Źródło: opracowanie własne.

Zarówno dla roku 2022, jak i 2023 ryzyko maksymalne zostało odnotowane dla grupy „zgodność dokumentacji”. Towary sprowadzane z Turcji są pod dozorem celnym. Każda przesyłka może zostać dopuszczona do obrotu dopiero po przejściu odprawy celnej importowej. Zaostrenie przepisów w ciągu roku wpłynęło na wydłużenie czasu kompletacji dokumentów do odprawy celnej (tab. 6).

### c. Ryzyko całkowite

Obliczono ryzyko całkowite, które jest związane z jednoczesnym wpływem wszystkich zidentyfikowanych elementów (działań, czynności) na wynik badanego procesu. W tabeli 7 obliczono ryzyko całkowite dla każdego otoczenia.

Tabela 7. Średnie ryzyko całkowite 2022 oraz 2023 r.

Lp.	Grupy ryzyka	Otoczenie	$\bar{R}_c$ 2022	$\bar{R}_c$ 2023
1.	Uszkodzenia towaru <i>K</i>	Klient	216	288
2.	Czas realizacji dostawy krajowej <i>K</i>			
3.	Czas realizacji zlecenia Turcja–Polska			
4.	Identyfikacja wymagań klienta			
5.	Odbiór zlecenia przez stronę turecką			
6.	Niedotrzymanie warunków umowy przez partnera			
7.	Uszkodzenia towaru <i>P</i>	Partner	6	9
8.	Czas realizacji dostawy krajowej <i>P</i>			
9.	Poprawność i komplet dokumentacji			
10.	Opóźnienie transportu (postój na granicy)	Środowisko	8	16
11.	Opóźnienie transportu (czynniki naturalne – deszcz, śnieżyca, trzęsienie ziemi)			
12.	Czas rozładunku samochodu na magazynie przeładunkowym			
13.	Kontrole i rewizje celne	Procedury	12	24
14.	Zgodność dokumentacji			
15.	Czas trwania odprawy celnej			
16.	Czas oczekiwania na opłatę za należności celno-podatkowe			

Źródło: opracowanie własne.

Dla każdego z badanych otoczeń średnie ryzyko całkowite wzrosło w ciągu roku. Jest to związane z prężnym rozwojem linii importowej. Biorąc pod uwagę cztery badane otoczenia, można stwierdzić, że największe ryzyko niosą przesyłki realizowane na zlecenie klientów przedsiębiorstwa spedycyjno-transportowego (tab. 7).

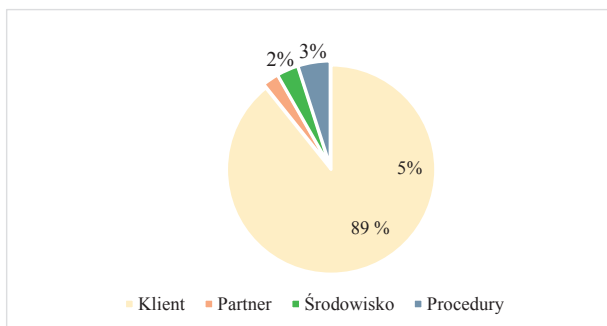
#### d. Analiza ryzyka całkowitego – norma ISO 31000

W tabeli 8 przedstawiono sumę średniego ryzyka całkowitego dla każdego otoczenia. Wyniki procentowe przedstawiono na rysunku 4 i 5. Następnie określono przedziały, według których wykreowano politykę zarządzania ryzykiem.

Tabela 8. Średnie ryzyko całkowite

Otoczenie	$\bar{R}_c$ 2022	$\bar{R}_c$ 2023
Klient	216	288
Partner	6	9
Środowisko	8	16
Procedury	12	24
Suma	242	337

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 4. Analiza ryzyka całkowitego, podział procentowy – rok 2022

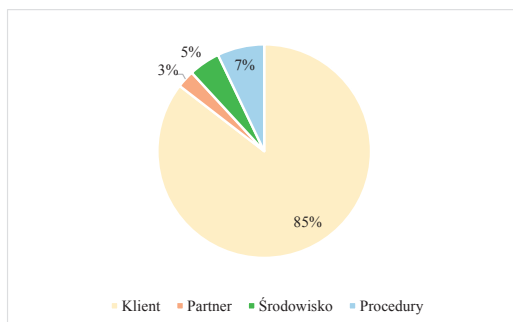
Źródło: opracowanie własne.

Przedziały dla roku 2022:

- $R_c = 1 \div 60$  (czyli poniżej 25%  $R_c$  max – ryzyko całkowite jest małe, działania w stosunku do żadnego ze zidentyfikowanych elementów nie są wymagane) – otoczenie „partner”, „środowisko”, „procedury”;



- $Rc = 61 \div 167$  (czyli  $26 \div 69\%$   $Rc$  max – ryzyko całkowite jest średnie, wymagane jest monitorowanie wszystkich zidentyfikowanych elementów),
- $Rc = 168 \div 242$  (czyli powyżej  $70\%$   $Rc$  max – ryzyko całkowite jest duże, wymagane są działania obniżające zagrożenie generowane przez wszystkie zidentyfikowane elementy jednocześnie) – otoczenie „klient”.



Rysunek 5. Analiza ryzyka całkowitego, podział procentowy – rok 2023

Źródło: opracowanie własne.

Przedziały dla roku 2023:

- $Rc = 1 \div 85$  (czyli poniżej  $25\%$   $Rc$  max – ryzyko całkowite jest małe, działania w stosunku do żadnego ze zidentyfikowanych elementów nie są wymagane) – otoczenie „partner”, „środowisko”, „procedury”,
- $Rc = 86 \div 233$  (czyli  $26 \div 69\%$   $Rc$  max – ryzyko całkowite jest średnie, wymagane jest monitorowanie wszystkich zidentyfikowanych elementów),
- $Rc = 234 \div 337$  (czyli powyżej  $70\%$   $Rc$  max – ryzyko całkowite jest duże, wymagane są działania obniżające zagrożenie generowane przez wszystkie zidentyfikowane elementy jednocześnie) – otoczenie „klient”.

## 14.5. Podsumowanie

Zarządzanie ryzykiem pozwala nie tylko na identyfikację źródeł ryzyka, ale również na określenie jego poziomu. Poznając wielkość i rodzaj ryzyka zagrażającego łańcuchom dostaw, można zapobiegać powstawaniu zdarzeń ryzykownych, czyli ograniczać ryzyko lub łagodzić jego skutki [4].

Rozważając ryzyko częściowe dla badanego otoczenia, należy wziąć pod uwagę grupy, które zostały zakwalifikowane na mapie do pola oznaczonego kolorem czerwonym – „reaguj”. Dla roku 2022 były to:

- czas realizacji dostawy krajowej – otoczenie „klient”,

- czas realizacji zlecenia Turcja–Polska – otoczenie „klient”;
- brak danych finalnego odbiorcy – otoczenie „partner”;
- czas realizacji dostawy krajowej – otoczenie „partner”;
- zgodność dokumentacji – otoczenie „procedury”.

Najbardziej narażone grupy na wystąpienie ryzyka pochodzą z dwóch otoczeń – „klient” oraz „partner”. Głównym powodem była duża liczba różnorodnych zleceń w transporcie drobnicowym, prowadzi to do powstawania opóźnień przy dostawach oraz niezgodności w dokumentacji. Poniżej podsumowanie dla 2023 r.:

- czas realizacji zlecenia Turcja–Polska – otoczenie „klient”;
- czas realizacji dostawy krajowej – otoczenie „partner”;
- brak danych finalnego odbiorcy – otoczenie „partner”;
- opóźnienie związane z postojem na granicy – otoczenie „środowisko”;
- zgodność dokumentacji – otoczenie „procedury”.

Czynniki naturalne przyczyniły się do wzmożonej liczby problemów związanych z postojem samochodów na granicy. Pozostałe elementy utrzymują się w obszarze wysokiego prawdopodobieństwa wystąpienia oraz dużych konsekwencji po ich zajściu. Biorąc pod uwagę prężny rozwój wymiany handlowej pomiędzy Turcją a Polską, jest to zjawisko nieuniknione. Należy również podkreślić, że ryzyko nie jest wyłącznie związane z porażką bądź niepowodzeniem. Bowiern zarządzenie ryzykiem to zarządzanie zagrożeniami, ale również i szansami. Nieoczekiwane sytuacje mogą prowadzić do odkrywania nowych udoskonaleń w firmie, poszerzenia horyzontów czy też uodparniania się na różne bodźce. Odpowiednia reakcja oraz budowanie dobrych relacji z partnerem pozwoli uniknąć wszelkich niespodziewanych zdarzeń. Stałe śledzenie zmian zachodzących na rynku umożliwi przeprowadzanie analiz, które pozytywnie mogą wpłynąć na rozwój przedsiębiorstwa oraz zastosowanie odpowiedniej taktyki przy wystąpieniu nieprzewidzianych sytuacji.

## Bibliografia

- [1] Buk H., *Nowoczesne zarządzanie finansami*, C.H. Beck, Warszawa 2006.
- [2] Kulińska E., *Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw*, „Logistyka” 2007, t. 1, s. 18–21.
- [3] Maj A., *Zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie – studium przypadku*, „Organizacja i Zarządzanie: kwartalnik naukowy” 2017, t. 1, s. 107–117.
- [4] Małyszek E., *Wybrane aspekty ryzyka w zarządzaniu łańcuchem dostaw*, [w:] *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, R. Knosala (red.), Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Opole 2015.

- [5] Myszak J., Sowa M., *Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw*, „Problemy Transportu i Logistyki” 2016, t. 4, nr 36, s. 185–192.
- [6] Nowacki F., *Analiza ryzyka w łańcuchu dostaw i zarządzania nim w aspekcie międzynarodowym*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 2014, t. 4, s. 2–9.
- [7] Ozga P., *Strategiczne podejście do zarządzania ryzykiem. Wieża kontroli łańcucha dostaw*, 2012, [www.log24.pl](http://www.log24.pl) [dostęp: 24.09.2016].
- [8] PN-ISO 31000:2018-08 Zarządzanie ryzykiem – Zasady i wytyczne.
- [9] Wróblewski R., *Zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach Seria: Administracja i Zarządzanie” 2011, t. 90, s. 9–31.

Marcin Bobruk<sup>\*</sup>, Zbigniew Wiśniewski<sup>\*\*</sup>, Maciej Bielecki<sup>\*\*\*</sup>,  
Paweł Olszewski<sup>\*\*\*\*</sup>

## 15. Model zarządzania wiedzą w szpitalach uniwersyteckich w Polsce

### 15.1. Wprowadzenie

Złożoność i znaczenie wiedzy w organizacjach opieki zdrowotnej determinuje istotną rolę, jaką odgrywa zarządzanie wiedzą w szpitalach. Rozdział zawiera wstępne wnioski z badań, które przeprowadzono w odniesieniu do zarządzania wiedzą w szpitalach uniwersyteckich w Polsce. Badanie to stanowi podstawę do oceny świadomości i poziomu sformalizowania zarządzania wiedzą na bazie ocen pracowników zajmujących kierownicze stanowiska w tych szpitalach. W ramach badań określono główne czynniki umożliwiające, napędzające, a także cały proces przyjmowania, przetwarzania, przechowywania, aktualizowania i udostępniania wiedzy. Główne cele badawcze skupiają się na następujących dylematach:

1. Świadomość roli zarządzania wiedzą wśród pracowników szpitali III stopnia referencyjności (klinicznych) jest niska.
2. Organizacja zarządzania wiedzą w szpitalach akademickich III stopnia referencyjności ma głównie charakter nieformalny.

Badanie rzuca światło na aktualny stan KM w szpitalach uniwersyteckich w Polsce i jest pierwszym tak kompleksowym badaniem dokonanym od czasu pandemii COVID-19. W niniejszej pracy przedstawiono wnioski podsumowujące wyniki badań, które sprowadzają się do propozycji modelu dynamicznego procesów tworzenia zasobów wiedzy w szpitalach uniwersyteckich. Jest to propozycja, która poddana zostanie walidacji w kolejnej iteracji badań, a jej efektem ma być szczegółowa struktura tegoż modelu wraz z parametrami.

---

<sup>\*</sup> Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Wydział Nauk o Zdrowiu, Plac Hallera 1, 90-647 Łódź; marcin@bobruk.com.

<sup>\*\*</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Organizacji i Zarządzania, ul. Wólczańska 221, 93-005 Łódź; zbigniew.wisniewski@p.lodz.pl.

<sup>\*\*\*</sup> Uniwersytet Łódzki, Wydział Ekonomiczno-Socjologiczny, ul. Rewolucji 1905 r. 37/39, 90-214 Łódź; maciej.bielecki@uni.lodz.pl.

<sup>\*\*\*\*</sup> Uczelnia Łazarskiego, ul. Świeradowska 43, 02-662 Warszawa; p.olszewski@lazaeski.edu.pl.

## 15.2. Zarządzanie wiedzą w szpitalach

Rola zarządzania wiedzą (Knowledge Management – KM) w organizacjach opieki zdrowotnej jest kluczowa dla zapewnienia ich rozwoju, zdolności innowacyjnych, jakości usług i efektywności. Opieka zdrowotna jest sektorem intensywnie korzystającym z wiedzy, charakteryzującym się wysokim wskaźnikiem innowacji w zakresie farmaceutyków, metod leczenia i sprzętu. W ostatnim okresie, m.in. w wyniku pandemii COVID-19, nastąpiło zauważalne przyspieszenie procesów przyswajania nowej wiedzy oraz zwiększył się stopień wykorzystania narzędzi informatycznych.

Pracownicy opieki medycznej posiadają dostęp do wielu źródeł wiedzy. W tym kontekście stoją oni przed wyzwaniem związanym z koniecznością dokonania selekcji potrzebnej wiedzy, jej oceny, interpretacji oraz dalszego dzielenia się wiedzą, która ma dla nich największe znaczenie i jest najbardziej przydatna w ich specjalności. Wystarczy wspomnieć, że mogą oni korzystać z zasobów ponad 200 000 czasopism medycznych, z ponad 7000 rodzajów procedur, 800 testów, 1000 badań obrazowych, 1500 zabiegów chirurgicznych [5].

Dodać do tego należy, że poszczególne szpitale generują własną wiedzę. W szczególności dotyczy to takich organizacji opieki zdrowotnej, jakimi są szpitale uniwersyteckie, które są zaangażowane w działalność badawczo-rozwojową, generującą nową wiedzę.

W organizacji opieki zdrowotnej, takiej jak szpital, wraz z wiedzą jawną powstaje wiedza ukryta (*tacit knowledge*), której rolę trudno przecenić. W swojej naturze wiedza ukryta obejmuje umiejętności, idee i doświadczenia, które ludzie posiadają, do których trudno jest dotrzeć i je przekazać. Wiedza ukryta jest trudna do wyartykułowania w jawnej formie [2]. W publikacjach na ten temat podkreśla się, że cała wiedza jest zakorzeniona w wiedzy ukrytej i ta forma wiedzy ma o wiele większe znaczenie dla tworzenia innowacji niż wiedza jawna [6]. W literaturze podkreśla się, że wiedza ukryta jest więc ważnym czynnikiem stymulującym udane innowacje [3]. Niebagatelną rolę odgrywa możliwość dzielenia się w sieci tworzoną wiedzą, co pozwala na komentarze i sugestie ulepszeń, które wzbogacą wartość projektów [7].

Wybór szpitali uniwersyteckich, wśród których przeprowadzono badania, jest nieprzypadkowy. Szpitale uniwersyteckie odgrywają bowiem główną rolę w polskim systemie opieki zdrowotnej ze względu na ich wielkość, potencjał zawodowy, wyposażenie, a także powiązania z wiodącymi uczelniami medycznymi. Należą one do najwyższego, III stopnia referencyjności szpitali klinicznych.

O ich znaczeniu w systemie opieki zdrowotnej świadczą kluczowe zadania, jakie te szpitale mają do zrealizowania. Zatem do głównych zadań realizowanych przez szpital kliniczny należy zaliczyć działalność leczniczą, działalność dydaktyczną oraz działalność badawczą i rozwojową. Świadczenie usług przez szpitale kliniczne

w tych trzech obszarach stanowi główny cel ich istnienia. Należy przy tym podkreślić, iż najważniejsza dla rozwoju nauk medycznych, a także całego systemu opieki zdrowotnej, jest działalność badawcza i rozwojowa tych jednostek [4].

Powyższe aspekty stawiają je w czołówce organizacji ochrony zdrowia z punktu widzenia tworzenia i dzielenia się wiedzą medyczną oraz możliwych innowacji medycznych. Mają one także największą zdolność przyswajania nowej wiedzy oraz jej rozwijania. Warto podkreślić, że na postęp w zakresie wiedzy medycznej składa się zarówno postęp w zakresie technologii leczenia, jak i nowych farmaceutyków [1].

### 15.3. Zakres badań

Dane badawcze uzyskano za pomocą kwestionariusza ankiety i wywiadu. Respondentami były szpitale uniwersyteckie (jeden kwestionariusz na szpital). Odpowiedzi na pytania zawarte w ankiecie zostały udzielone przez członków kierownictwa każdego ze szpitali klinicznych. Badanie ankietowe przygotowano oraz przeprowadzono w okresie październik 2022 – styczeń 2023 r.

Ankieta miała charakter anonimowy. Ogółem przebadano 27 wiodących szpitali uniwersyteckich. Wśród nich 20 stanowią szpitale zatrudniające minimum 550 lekarzy, pielęgniarek i farmaceutów. Oznacza to, że  $\frac{3}{4}$  badanych szpitali należy do największych organizacji służby zdrowia pod względem liczby zatrudnionych, i prowadzi do wniosku, że wśród nich występuje największy potencjał z punktu widzenia procesu zarządzania wiedzą.

Połowa ankietowanych szpitali posiada co najmniej 550 łóżek według danych raportowanych do GUS-u. Szpitale posiadające poniżej 350 łóżek stanowiły łącznie 44,4% ankietowanych szpitali, z czego grupa szpitali posiadających 250–349 łóżek jest drugą najliczniejszą grupą z badanych szpitali. Innymi słowy: badane szpitale należą głównie do kategorii średnich i dużych.

Treść pytań ankiety opiera się na przeglądzie literatury przeprowadzonym przed badaniem. W procesie formułowania pytań do ankiety kierowaliśmy się zagadnieniami opisywanymi w literaturze naukowej, jak również kryteriami opisanymi w standardzie ISO 30401-2018, odnoszącym się do zarządzania wiedzą.

Ankieta zawierała pytania, które można podzielić na następujące grupy:

1. Czynniki wpływające na zarządzanie wiedzą. Pytania dotyczyły zarówno zagadnień interakcji pomiędzy pracownikami, ich motywowania, identyfikacji liderów wiedzy, jak i czynników związanych ze strukturą organizacyjną, czynnikami technologicznymi w zakresie zarządzania wiedzą, środowiska, w którym funkcjonuje szpital, w szczególności relacji z klientami, szkoleń i nauki.
2. Sformalizowany system i procedury zarządzania wiedzą w szpitalu.
3. Efektywność zarządzania wiedzą w szpitalu.

4. Zasoby technologiczne w zarządzaniu wiedzą.
5. Ochrona przed utratą wiedzy lub przedawnieniem wiedzy, sposoby przechowywania wiedzy, dostęp pracowników do zasobów wiedzy.
6. Struktura organizacyjna zarządzania wiedzą i kultura organizacyjna, nagradzanie pracowników dzielących się wiedzą.

Badania ankietowe przeprowadzono metodą wywiadu internetowego wspomaganego komputerowo (CAWI), uzupełnianą metodą wywiadu telefonicznego wspomaganego komputerowo (CATI).

Wyniki w każdej kategorii pytań poddano analizie ilościowej w celu określenia cech dominujących. Analiza doprowadziła do weryfikacji hipotez i oceny dominującego modelu KM w szpitalach uniwersyteckich w Polsce. W niniejszym opracowaniu przedstawiono część wniosków, które mają charakter propozycji modelu dynamiki zasobów wiedzy.

#### **15.4. Rezultaty i wnioski końcowe**

Profesjonalne podejście do zarządzania wiedzą jest szczególnie ważne dla szpitali uniwersyteckich z kilku powodów. Szpitale uniwersyteckie są miejscami, gdzie łączą się różne dziedziny naukowe, a wiedza jest często wytwarzana, przetwarzana i wymieniana w czasie rzeczywistym. Profesjonalne zarządzanie wiedzą pozwala na skuteczne gromadzenie i dzielenie się nią, co zwiększa możliwości interdyscyplinarnej pracy, a także poprawia jakość opieki medycznej. Szpitale są również instytucjami, w których ciągle pojawiają się nowe technologie i metody leczenia, co wymaga stałego uczenia się i aktualizacji wiedzy przez personel medyczny. Skuteczne zarządzanie wiedzą umożliwia szybkie i łatwe dostarczanie informacji, szkoleń i szkoleń online dla personelu medycznego.

W szpitalach uniwersyteckich często pracują eksperci, którzy posiadają unikatową wiedzę i doświadczenie. Profesjonalne zarządzanie zasobami wiedzy umożliwia dokumentowanie tej wiedzy doświadczenia, co pozwala na lepsze korzystanie z niej w przyszłości i zapobieganie jej utracie przy zmianie personelu.

Szpitale uniwersyteckie są również ważnymi centrami badawczymi, w których prowadzone są badania kliniczne, eksperymenty i analizy danych. Skuteczne zarządzanie wiedzą pozwala na efektywne gromadzenie, przetwarzanie i wykorzystywanie wyników badań, co umożliwia skuteczniejszą diagnozę i leczenie pacjentów.

Wszystkie te czynniki sprawiają, że profesjonalne podejście do zarządzania wiedzą w szpitalach uniwersyteckich nabiera szczególnego znaczenia.

Najważniejsze zasoby wiedzy są zwykle związane z dziedzinami medycyny, biologii, chemii oraz informatyki medycznej. Wiele z tych zasobów jest specyficznych dla każdej jednostki, w zależności od zakresu działań i badań, jakie prowadzi.

Podstawowym zasobem wiedzy w szpitalach uniwersyteckich jest wiedza ekspercka personelu medycznego. Doświadczenie i wiedza, którą posiada, ma dużą wartość i dlatego należy ją kodyfikować, a następnie przekazywać innym pracownikom. Wiedza ekspercka jest często gromadzona w formie baz wiedzy, a także eksternalizowana w trakcie spotkań i konsultacji zespołowych.

Drugim kluczowym zasobem wiedzy w szpitalach uniwersyteckich są protokoły postępowania medycznego. Wszelkie standardy postępowania, procedury i wytyczne stanowią istotną część wiedzy, ponieważ zapewniają skuteczność i bezpieczeństwo opieki medycznej dla pacjentów. Protokoły te są zwykle dokumentowane w systemach informatycznych i uaktualniane wraz z pojawianiem się nowych badań i odkryć.

Kolejnym zasobem wiedzy w szpitalach uniwersyteckich są badania naukowe i prace naukowe prowadzone przez pracowników naukowych. Wiedza ta jest gromadzona w formie artykułów, raportów i książek, które są często udostępniane w ramach sieci bibliotek uniwersyteckich lub w inny sposób rozpowszechniane w celu umożliwienia korzystania z nich innym pracownikom naukowym i medycznym.

Ostatnim, ale równie istotnym zasobem wiedzy w szpitalach uniwersyteckich są dane medyczne pacjentów, takie jak wyniki badań laboratoryjnych, obrazowania medycznego, informacje o lekach, historii chorób itp. Te dane są gromadzone w systemach informacyjnych i wykorzystywane do diagnozowania i leczenia pacjentów, jak również do prowadzenia badań naukowych i analiz.

Z punktu widzenia kadry menedżerskiej szpitali występują następujące zagrożenia zasobów wiedzy:

1. Utrata wiedzy eksperckiej pracowników z powodu przechodzenia pracowników na emeryturę lub odchodzenia do innych placówek.
2. Ujawnienie poufnych danych medycznych.
3. Zmiana przepisów i standardów.

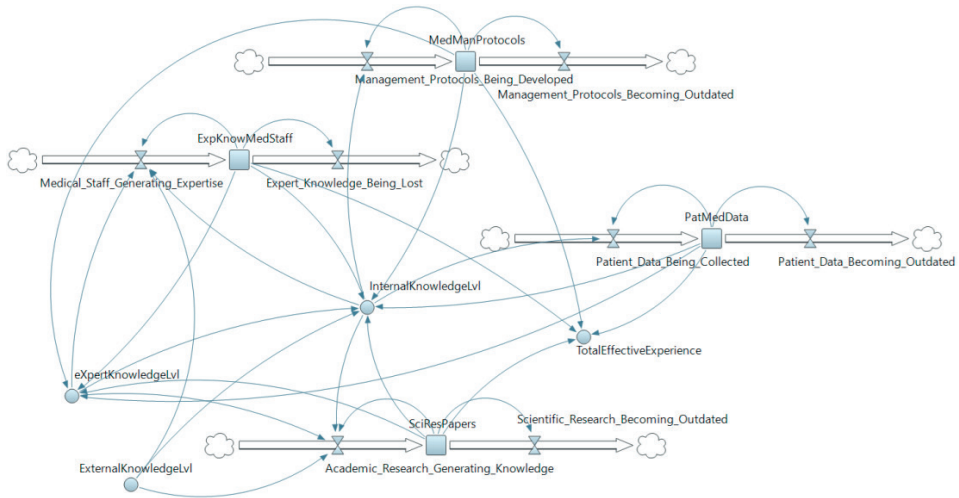
Ze względu na złożoność zagadnień zarządzania wiedzą i jego znaczenie dla prawidłowego działania placówek szpitalnych należy stosować kompleksowe podejście do zarządzania tak skomplikowanym obszarem. Jednym z najważniejszych podejść, które sprawdza się w takich zagadnieniach, jest podejście systemowe z całym aparatem oferowanym przez teorię systemów oraz podejście *system dynamics*, które pozwalają na analizę złożonych zależności i interakcji między różnymi elementami systemu. Wykorzystując tę metodę analityczno-prognostyczną, można budować modele ukazujące dynamikę zasobów wiedzy, kiedy występują zjawiska napływu nowej kadry, odpływu oraz tworzenia nowych zasobów wiedzy w wewnętrznych procesach internalizacji wiedzy.

Dynamika systemów to metoda modelowania symulacyjnego, która pozwala na analizę i zrozumienie złożonych procesów i interakcji między różnymi elementami systemu w ujęciu jakościowym i ilościowym. W kontekście zarządzania



wiedzą w szpitalach uniwersyteckich można przedstawić przykładową strukturę systemu, opierając się na dynamice systemów.

Jednym z podstawowych elementów takiego systemu jest baza wiedzy medycznej i organizacyjnej, która pozwala na gromadzenie i przechowywanie informacji o pacjentach, chorobach, lekach, procedurach medycznych i innych aspektach opieki zdrowotnej. Kolejnym elementem systemu jest grupa pracowników: lekarzy, pielęgniarek i innych pracowników medycznych, którzy korzystają z tej bazy wiedzy, aby podejmować decyzje dotyczące diagnozy, leczenia i opieki nad pacjentami.



Rysunek 1. Szkielet modelu w konwencji system dynamics tworzenia zasobów wiedzy w 4 kategoriach: *expert knowledge of medical staff, medical management protocols, scientific research and research papers, patient medical data such as lab results, medical imaging, drug information, medical histories*

Źródło: opracowanie własne.

Wzrost wielkości zasobów wiedzy eksperckiej (*eXpertKnowledgeLvl*, XKL) jest wynikiem procesów uczenia się i internalizacji wiedzy zewnętrznej oraz wewnętrznej:  $XKL = f(EKL, IKL)$ . Wzrost zasobów wiedzy wewnętrznej (*InternalKnowledgeLvl*, IKL) jest wynikiem procesów absorpcji i internalizacji wiedzy zewnętrznej oraz eksperckiej:  $IKL = g(EKL, XKL)$ , natomiast wzrost zasobów wiedzy zewnętrznej (*ExternalKnowledgeLvl*, EKL) jest wynikiem procesów akwizycji wiedzy z otoczenia (*KnowledgeBase*, KB):  $EKL = h(KB)$ .

Tempo zmian wiedzy wewnętrznej zależy od procesów absorpcji i internalizacji wiedzy zewnętrznej oraz eksperckiej, a także od stopnia zastosowania wiedzy wewnętrznej. Można to zapisać jako:

$$\frac{dIKL}{dt} = \alpha * EKL * \beta * IKL * \gamma * XKL \quad (1)$$

Tempo zmian wiedzy eksperckiej zależy od procesów uczenia się i internalizacji wiedzy zewnętrznej oraz wewnętrznej, a także od stopnia zastosowania wiedzy eksperckiej. Można to zapisać jako:

$$\frac{dXKL}{dt} = \delta * EKL * \varepsilon * IKL * \zeta * XKL \quad (2)$$

Tempo zmian wiedzy zewnętrznej zależy od ilości dostępnej wiedzy w bazie wiedzy. Można to zapisać jako:

$$\frac{dEKL}{dt} = \eta * KB \quad (3)$$

Wartości parametrów  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\zeta$  i  $\eta$  należy oszacować na podstawie charakterystyki systemu oraz dostępnych danych empirycznych.

W strukturze systemu trzeba uwzględnić również procesy szkoleniowe dla pracowników medycznych, które pozwalają na uaktualnianie ich wiedzy i umiejętności. Inne elementy systemu to procedury i standardy, które zapewniają spójność i jakość opieki medycznej, oraz systemy raportowania i analizy danych, które umożliwiają monitorowanie skuteczności działań podejmowanych przez personel medyczny.

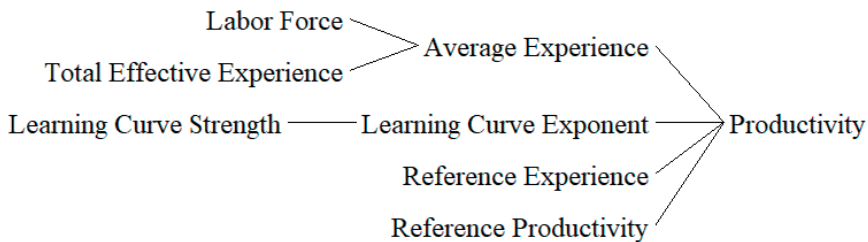
Modelowanie takiego systemu za pomocą dynamiki systemów pozwala na analizę wpływu różnych czynników na jego funkcjonowanie i wydajność. Na przykład można analizować, jakie są skutki braku szkoleń dla personelu medycznego w kontekście jakości opieki nad pacjentami lub jakie są konsekwencje braku spójności między bazą wiedzy medycznej a procedurami klinicznymi dla diagnozy i leczenia chorób. Najważniejszym jednak aspektem w takim systemie jest proces powiększania zasobu wiedzy dzięki napływowi nowej kadry oraz ubytek wiedzy na skutek odchodzenia pracowników.

Istnieje wiele *case studies* z różnych dziedzin, które można adaptować do symulowania systemów zarządzania wiedzą w szpitalach uniwersyteckich. Przykłady te pozwalają na zrozumienie podstawowych koncepcji i technik modelowania symulacyjnego oraz pokazują, jak można je stosować w praktyce.

Jeden z przykładów, który można zastosować w kontekście zarządzania wiedzą w szpitalu, to model *Beer Game*. W tym modelu symuluje się łańcuch dostaw w branży piwnej, ale można go z powodzeniem zastosować do modelowania systemu dostarczania leków i innych zasobów medycznych w szpitalu. Model ten pozwala na analizę wpływu różnych czynników na efektywność procesu

dostarczania zasobów, w tym na przepływ informacji między różnymi etapami procesu i na decyzje podejmowane przez różnych uczestników.

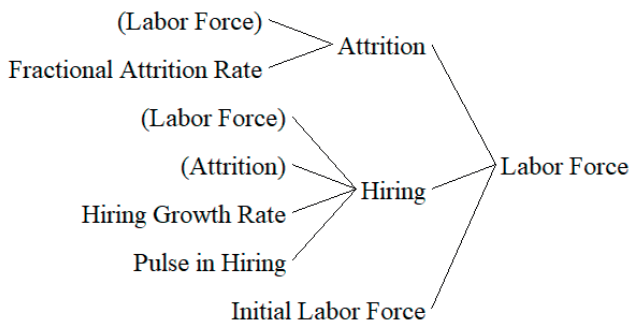
Innym przykładem, który można zastosować do modelowania systemu zarządzania wiedzą w szpitalu jest model „*Learning Curve*”. Ten model pozwala na analizę procesu uczenia się i dostosowywania się do nowych sytuacji oraz na określenie, jakie są koszty i korzyści związane z różnymi poziomami uczenia się i doskonalenia umiejętności. W kontekście szpitali uniwersyteckich można zastosować ten model do analizy procesów szkoleniowych dla pracowników medycznych i oceny, jakie są skutki braku szkoleń lub niedostatecznego szkolenia dla jakości i skuteczności opieki medycznej. Przywołany model *Learning Curve* opiera się na znanym przykładzie przedstawionym przez Johna Stermana do zilustrowania *coflows with nonconserved flows* [8]. W modelu tym przyjmuje się, że nowi pracownicy wnoszą nową wiedzę, zaś odchodzący ją zabierają. Podczas realizacji zadań następuje powiększanie zasobu wiedzy personelu, ale również częściowa degeneracja z powodu zapomnienia. Rzadko stosowane metody działania ulegają zapomnieniu i pracownicy tracą umiejętności z tego obszaru. Ogólny wniosek z tego modelu jest taki, że większość procesów się równoważy i im większe są kwalifikacje zatrudnianych osób, tym większy jest wzrost średniego poziomu wiedzy w organizacji mimo występowania zjawisk ubywania wiedzy. Osiąga się też wyższą produktywność realizowanych procesów.



Rysunek 2. Czynniki determinujące produktywność w modelu *labor force-experience (knowledge)*

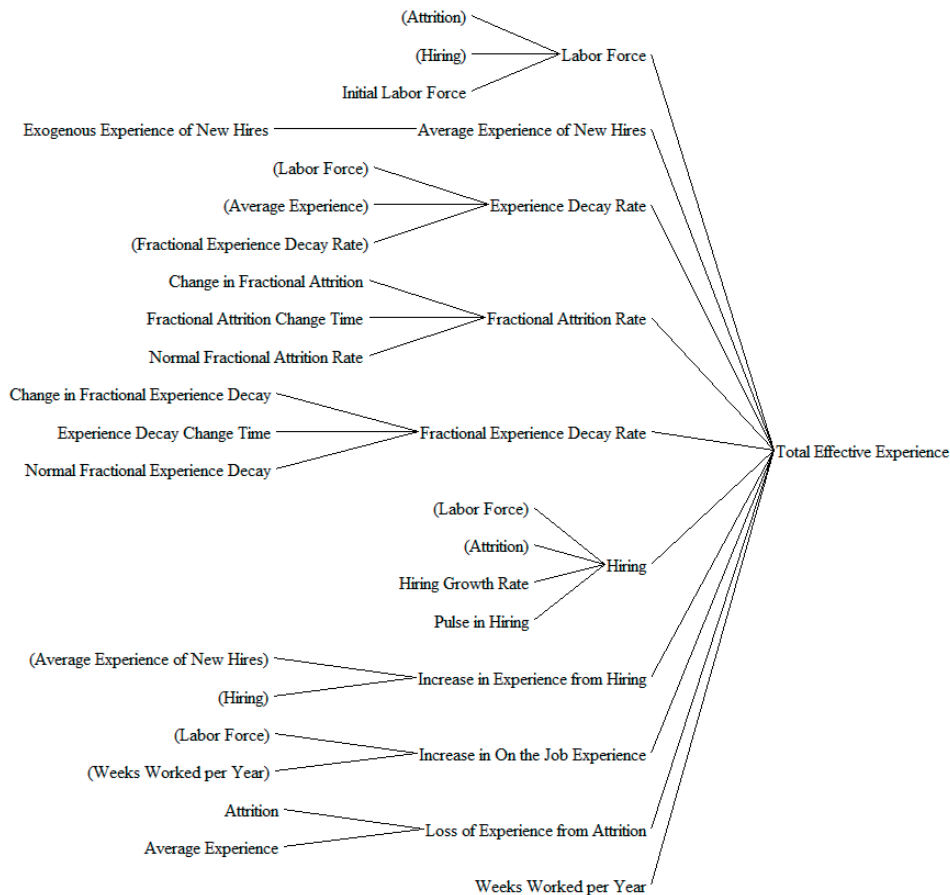
Źródło: opracowanie własne na podstawie [8].

Natomiast dwa najważniejsze czynniki wpływające na produktywność przez *average experience to labor force* i *total effectiveness experience*. To, od czego zależą, pokazano na rysunkach poniżej. Nawiasy w nazwach zmiennych oznaczają, że dana zmienna występuje w kilku miejscach i świadczy to również o istnieniu pętli sprzężenia zwrotnego.



Rysunek 3. Czynniki determinujące Labor Force

Źródło: opracowanie własne na podstawie [8].



Rysunek 4. Total effective experience

Źródło: opracowanie na podstawie [8].

W obu perspektywach (rys. 1 i rys. 4) mamy różne ujęcia tego samego parametru *Total Effective Experience*. Parametr ten przedstawiono jako ten sam efekt, ale opisywany innym zestawem determinant. Należy dokonać połączenia obu modeli, aby uzyskać spójność opisową zjawiska tworzenia zasobu wiedzy w obu zestawach deskryptorów (przestrzeniach). Jest to kolejny cel badawczy, jaki realizują autorzy.

Nie ma jednego konkretnego przykładu, który można by określić jako najlepszy wzór do modelowania systemu zarządzania wiedzą w szpitalu, ponieważ każdy system jest inny i wymaga dostosowania do konkretnych potrzeb i wymagań. Warto jednak zaznaczyć, że ważne jest, aby model był odpowiednio skalibrowany i uwzględniał złożoność i specyfikę systemu, aby uzyskać dokładne i wartościowe wyniki.

## Bibliografia

- [1] Buchelt B., Jończyk J., *Innovativeness as a determinant of physicians employability*, „Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu” 2018, nr 511, s. 50–61.
- [2] Chugh R., *Tacit Knowledge Transfer in Australian Universities: Exploring the Barriers and Enablers*, „MATEC Web of Conferences” 2018, t. 210, 04054.
- [3] Ganguly A., Talukdar A., Chatterjee D., *Evaluating the role of social capital, tacit knowledge sharing, knowledge quality and reciprocity in determining innovation capability of an organization*, „Journal of Knowledge Management” 2009, t. 23, nr 6, s. 1105–1135.
- [4] Gądek M., *Misja a innowacyjność szpitali klinicznych w Polsce*, [w:] *Oblicza innowacji w gospodarce i społeczeństwie*, red. Z. Malara, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2016.
- [5] Karamat J., Shurong T., Ahmad N., Afridi S., Khan S., Khan N., *Developing Sustainable Healthcare Systems in Developing Countries: Examining the Role of Barriers, Enablers and Drivers on Knowledge Management Adoption*, „Sustainability” 2019, t. 11, nr 4, s. 1–31.
- [6] Kucharska W., *Tacit knowledge influence on intellectual capital and innovativeness in the healthcare sector: A cross-country study of Poland and the US*, „Journal of Business Research” 2022, nr 149, s. 869–883.
- [7] Maravilhas S., Martins J., *Strategic knowledge management a digital environment: Tacit and explicit knowledge in Fab Labs*, „Journal of Business Research” 2019, nr 94, s. 353–359.
- [8] Sterman J. D., *Business dynamics. System thinking and modeling for a complex world*, Irwin McGraw-Hill 2000.