

Akademia WSB

Dąbrowa Górnicza, Cieszyń, Olkusz, Żywiec, Kraków

mgr inż. Wojciech Rupik

**OPRACOWANIE METODY OCENY ZALEŻNOŚCI MIĘDZY
ODPORNOŚCIĄ NA ZAKŁÓCENIA SYSTEMU
LOGISTYCZNEGO, A NIEZAWODNOŚCIĄ DOSTAW
WYROBÓW W BRANŻY ZAAWANSOWANYCH
TECHNOLOGII**

Praca doktorska napisana pod kierunkiem:
prof. dr hab. inż. Lech Bukowski

Dąbrowa Górnicza 2026

OŚWIADCZENIE PROMOTORA PRACY DOKTORSKIEJ

Oświadczam, że praca doktorska pt. OPRACOWANIE METODY OCENY ZALEŻNOŚCI MIĘDZY ODPORNOŚCIĄ NA ZAKŁÓCENIA SYSTEMU LOGISTYCZNEGO, A NIEZAWODNOŚCIĄ DOSTAW WYROBÓW W BRANŻY ZAAWANSOWANYCH TECHNOLOGII autorstwa mgr inż. Wojciecha Rupik została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego.

DocuSigned by:
Lech Bukowski
BBCA5A3CFD954B8...

Data 02.01.2026

Podpis promotora pracy

Wojciech Rupik
Imię i nazwisko doktoranta

Dąbrowa Górnicza, 02.01.2026

Adres

OŚWIADCZENIE

Świadom(a) odpowiedzialności prawnej oświadczam, że złożona praca doktorska pt.: OPRACOWANIE METODY OCENY ZALEŻNOŚCI MIĘDZY ODPORNOŚCIĄ NA ZAKŁÓCENIA SYSTEMU LOGISTYCZNEGO, A NIEZAWODNOŚCIĄ DOSTAW WYROBÓW W BRANŻY ZAAWANSOWANYCH TECHNOLOGII została napisana przeze mnie samodzielnie.

Równocześnie oświadczam, że praca doktorska nie narusza praw autorskich w rozumieniu ustawy z dnia 4 lutego 1994 roku o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. Nr 24, poz.83 z późn. zm.) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym.

Ponadto praca doktorska nie zawiera informacji i danych uzyskanych w sposób nielegalny i nie była wcześniej przedmiotem innych procedur urzędowych związanych z uzyskaniem dyplomów lub tytułów zawodowych uczelni wyższej.

Wyrażam również zgodę na udostępnianie pracy doktorskiej bez wynagrodzenia dla celów badawczych lub poznawczych Biblioteki Akademickiej Akademii WSB im. prof. J. Altkorna, z zastrzeżeniem, że udostępnianie to następować będzie wyłącznie na miejscu, w siedzibie Biblioteki.

.....
podpis doktoranta

SPIS TREŚCI

STRESZCZENIE	6
ABSTRACT	7
1 WPROWADZENIE	8
1.1 Uzasadnienie podjęcia tematu wraz z opisem luki badawczej	8
1.2 Cel i zakres pracy badawczej	9
1.3 Etapy oraz wykorzystane metody i techniki	10
1.4 Hipotezy badawcze	12
2 ZARZĄDZANIE ŁAŃCUCHEM DOSTAW W ŚWIECIE AKTUALNYCH BADAŃ	13
2.1 Rozwój logistyki na przestrzeni lat	13
2.2 Dotychczasowe podejście do zarządzania łańcuchem dostaw	20
2.3 Aktualnie dostępne rozwiązania w obszarze bezpieczeństwa dostaw.....	27
2.4 Rola zarządzania łańcuchem dostaw w kształtowaniu odporności organizacji na zakłócenia	31
3 BRANŻA ZAAWANSOWANYCH TECHNOLOGII	36
3.1 Charakterystyka branży	36
3.2 Specyfika sieci dostaw w branży zaawansowanych technologii	41
3.3 Strategiczne postrzeganie branży.....	46
3.4 Rola branży w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa narodowego	49
4 PRZYGOTOWANIE DO BADAŃ SYMULACYJNYCH	51
4.1 Sytuacja wyjściowa do badań symulacyjnych	51
4.2 Analiza systemu logistycznego podmiotu badań.....	52
4.3 Zestawienie źródeł danych do modelu cyfrowego	63
4.4 Plan badań symulacyjnych	67
5 PRZEDSIĘBIORSTWO Z BRANŻY ZAAWANSOWANYCH TECHNOLOGII.....	70
5.1 Opis przedsiębiorstwa z branży zaawansowanych technologii	70

5.2 Wybrany segment rynku branży zaawansowanych technologii	72
5.3 Analiza stanu istniejącego wybranego segmentu rynku w badanym przedsiębiorstwie	74
5.4 Zdefiniowanie danych wejściowych i wyjściowych oraz parametrów modelu	79
6 BADANIA SYMULACYJNE ŁAŃCUCHA DOSTAW	98
6.1 Opracowanie modelu cyfrowego	98
6.2 Opracowanie scenariuszy	114
6.3 Optymalizacja modelu badawczego	118
6.4 Ponowne przeprowadzenie symulacji	121
7. WNIOSKI	126
7.1 Wnioski z badań	126
7.2 Opis opracowanej metody	128
7.3 Zalecenia dla badanego łańcucha dostaw	134
7.4 Zalecenia dalszych badań	136
PODSUMOWANIE	138
SPIS TABEL	141
SPIS WYKRESÓW	142
SPIS RYSUNKÓW	143
SPIS LITERATURY	145
ZAŁĄCZNIK 1 – ANKIETA WERSJA POLSKOJĘZyczna	158
ZAŁĄCZNIK 2 – ANKIETA WERSJA NIEMIECKOJĘZyczna	162

STRESZCZENIE

Celem dysertacji było opracowanie metody oceny zależności między odpornością na zakłócenia systemu logistycznego, a niezawodnością dostaw wyrobów w branży zaawansowanych technologii. Praca składa się z siedmiu numerowanych rozdziałów. W pierwszym rozdziale nazwanym „wprowadzenie” wykazano istnienie luki badawczej – potrzebę opracowania metody opartej na modelu cyfrowym pozwalającej na zapewnienie optymalnego poziomu odporności łańcucha dostaw materiałów przedsiębiorstwa z branży zaawansowanych technologii na możliwe zagrożenia. Opisano strukturę pracy oraz wykorzystane metody i techniki. Sformułowano również hipotezy. W drugim rozdziale przedstawiono rozwój logistyki, powstanie zarządzania łańcuchem dostaw wraz z aktualnymi trendami. Zwrócono uwagę na implementację koncepcji Just in Time, postrzegania globalnych łańcuchów dostaw jako dodatkowych możliwości zwiększenia marży poprzez minimalizację kosztów, lekceważąc przy tym kwestię odporności na zakłócenia. W rozdziale przedstawiono dostępne rozwiązania, działania za pomocą których możliwe jest wprowadzić zwiększenie rezyliencji sieci dostaw, przy czym nie gwarantują one samodzielnie utrzymania ciągłości dostaw i mają ogólny charakter. W trzecim rozdziale przedstawiono obszernie branżę zaawansowanych technologii. W rozdziale skupiono się na wpływie branży na utrzymanie, uzyskanie przewagi technologicznej. Opisano również wyzwania sieci dostaw w branży. W czwartym rozdziale dokonano analizy stanu istniejącego systemu logistycznego za pomocą metody IDEF0. Zestawienie źródeł informacji oraz poszczególnych etapów badań symulacyjnych również zostało opisane w czwartym rozdziale. W kolejnym, piątym rozdziale przedstawiono wybrany segment rynku, który postanowiono zbadać. Zdecydowano się na segment CaF₂, ze względu na bardzo dobrą reprezentatywność segmentu na tle pozostałych oraz jasne kryterium klasyfikacji, którym był materiał wejściowy. W rozdziale zdefiniowano elementy modelu symulacyjnego. W szóstym rozdziale przeprowadzono najpierw analizę wrażliwości w oparciu o stan faktyczny w celu weryfikacji mierników, by kolejno przeprowadzić badania na zdefiniowanych ustawieniach modelu. W tym celu za pomocą badań ankietowych wśród pracowników podmiotu opracowano trzy scenariusze. W ostatnim, siódmym rozdziale napisano wnioski z badań. Opis nowo opracowanej metody, zalecenia operatywne dla badanego łańcucha dostaw oraz potencjalne kierunki dalszych badań również zostały opisane w rozdziale. Na koniec napisano podsumowanie. Co istotne, w oparciu o przeprowadzone badania udało się potwierdzić występowanie zależności między odpornością na zakłócenia systemu logistycznego, a niezawodnością dostaw wyrobów w branży zaawansowanych technologii.

ABSTRACT

The aim of the dissertation was to develop a method for assessing the relationship between the resilience to disruptions of the logistics system and the reliability of product deliveries in the high-tech industry. The dissertation consists of seven numbered chapters. The first chapter, titled “Introduction”, demonstrates the existence of a research gap – the need to develop a method based on a digital model that allows ensuring the optimal level of resilience of the supply chain of materials of a company from the high-tech industry to possible threats. The structure of the work and the used methods and techniques was also in the chapter described. Hypotheses were formulated. The second chapter presents the development of logistics, the emergence of supply chain management, and current trends. In the chapter attention was paid to the implementation of the Just in Time concept, viewing global supply chains as additional opportunities to increase margins by minimizing costs, disregarding their resilience to disruptions. The chapter presents available solutions and actions that can increase supply network resilience, but these do not guarantee supply continuity on their own and are general in nature. The third chapter provides a comprehensive overview of the high-tech industry. The chapter focuses on the industry's impact on maintaining and achieving a technological advantage. The challenges faced by supply networks in the industry are also described. The fourth chapter analyzes the current logistics system using the IDEF0 method. A summary of information sources and the individual stages of the simulation study are also described in the fourth chapter. The fifth chapter presents the selected market segment for conduct research. The CaF₂ segment was chosen due to its excellent representativeness compared to other segments and the clear classification criterion, which was the input material. The elements of the simulation model were also defined. In the sixth chapter, a sensitivity analysis was first conducted based on the actual situation to verify the metrics, and then additional tests were conducted using the defined model settings. For this purpose, three scenarios were developed using surveys among the entity's employees. In the last, seventh chapter the research conclusions were presented. A description of the newly developed method and operational recommendations for the studied supply chain and potential directions for further research are also provided in this chapter. A summary was written at the end. Importantly, based on the conducted research, it was possible to confirm the existence of a connection between the resilience to disruptions of the logistics system and the reliability of product deliveries in the advanced technology industry.

1 WPROWADZENIE

1.1 Uzasadnienie podjęcia tematu wraz z opisem luki badawczej

Dotychczasowe trendy w logistyce jak Just in Time, postrzeganie zapasów (w tym powierzchni magazynowej) jako zbędne koszty oraz kierowanie się kosztami pozyskania towarów jako głównym czynnikiem podejmowania decyzji dotyczących globalizacji łańcuchów dostaw wpłynęło na zmniejszenie odporności łańcuchów dostaw na zakłócenia. Niedawne wydarzenia (wojna handlowa z Chinami, wojna w Ukrainie czy pandemia COVID-19) ukazały wrażliwość globalnych łańcuchów dostaw na zakłócenia. W czasie pandemii COVID-19, ciągłość dostaw towarów została przerwana. Doszło do sytuacji, w której na półkach sklepowych zabrakło wystarczającej ilości towarów. Również konflikt w Ukrainie i związane z nim decyzje polityczne w pierwszym roku konfliktu spowodowały wstrzymanie dostaw m.in. gazu ziemnego z Rosji czego konsekwencją był znaczny wzrost ceny tego surowca. Menedżerowie łańcucha dostaw nie byli przygotowani na takie sytuacje, a dotychczas jak już wspomniano głównym wyznacznikiem przy podejmowaniu decyzji dot. kreowania łańcuchów dostaw był koszt pozyskania produktów i jak najniższy koszt zapasów. Aspekty takie jak stabilność, odporność łańcucha dostaw i alternatywne (niezależne od siebie) źródła pozyskania towarów były mało „popularne”. W świecie globalizacji, w którym łańcuchy dostaw coraz częściej nie mają ograniczeń geograficznych, nieoczekiwane zakłócenia mogą występować coraz częściej. Zakłócenia te prowadzą często do przerw w dostawach materiału wejściowego i mogą mieć bardzo duży wpływ na stabilność procesów produkcyjnych. Obecnie poszukuje się rozwiązań, które zapobiegą ponownemu wystąpieniu przerwania ciągłości dostaw. Istnieje konieczność ponownego zweryfikowania pojęcia odporności łańcucha dostaw jak i przeprowadzenia dodatkowych badań w kierunku zwiększenia bezpieczeństwa dostaw wyrobów gotowych (Bygballe i inni, 2023; Fend i Hofmann, 2024; Liebetrueth, 2024; Rahman i inni, 2023; Venkataraman i Demirag, 2022,).

W ramach przygotowania do pisania rozprawy przeanalizowano ponad 60 pozycji literaturowych dotyczących tematyki odporności łańcucha dostaw na zakłócenia opublikowanych przez ostatnie 3 lata (bezpieczeństwa dostaw). Analiza wykazała, iż jedni badacze zwracają uwagę na istotę odporności łańcucha dostaw, a drudzy idąc krok dalej proponują możliwe rozwiązania, modele, optymalizacje łańcuchów dostaw. Na podstawie analizy stwierdzono, iż pracuje się nad rozwiązaniami mającymi na celu zmniejszenie wrażliwości łańcuchów dostaw na zakłócenia jednakże nie dla branży zaawansowanych technologii. Dotychczasowe badania koncentrowały się na ocenie reakcji procesów i systemów

logistycznych na pojedynczo występujące zakłócenia, bez uwzględnienia interakcji między nimi i agregacji poszczególnych typów zakłóceń.

Tematyka nie została dostatecznie zbadana, a dotychczasowe ustalenia są niewystarczające by móc wykazać zależność między poziomem odporności łańcucha dostaw materiałów wejściowych, a niezawodnością dostaw wyrobów gotowych.

Dostępne rozwiązania, takie jak np. systemy APS (Advanced Planning and Scheduling) – systemy zaawansowanego planowania i harmonogramowania, ze względu na duże zbiory danych oraz częste zmiany wersji produktów nie są odpowiednie dla branży zaawansowanych technologii, gdyż produkty charakteryzują się ogólnie niską powtarzalnością w trybie „tylko dla Ciebie” (ang. „just for you”). Rozwiązania proponowane przez takie systemy nie są przewidywalne i powtarzalne w sytuacjach nadzwyczajnych. Dodatkowo ograniczenia w magazynowaniu jak i presja czasu realizacji produkcji w ograniczonym czasie (wymogi technologiczne) dodatkowo mogą wpływać na organizację procesów logistycznych. W branży zaawansowanych technologii szczególnie ważne jest spełnienie wszystkich warunków, zarówno technologicznych, jak i organizacyjnych, aby sprostać wysokim wymaganiom stawianym produktom z tej branży. Zapewnienie pełnej ciągłości dostaw w sytuacji wystąpienia nieprzewidzianych zakłóceń jest zatem bardzo ważnym elementem zarządzania systemami i procesami. W branży wraz z zdobytymi nowymi doświadczeniami po pandemii oraz rozwojowi koncepcji polegającym na hybrydowym prowadzeniu wojny polegającym np. na ograniczeniu dostępu do części zamiennych do systemów obrony powietrznej zachowanie bezpieczeństwa dostaw zyskuje na znaczeniu. Występowanie działań w ramach hybrydowego prowadzenia wojny, które są specyficzną formą prowadzenia wojny objawia się niekonwencjonalnym działaniem przeciwnika kreując nowe wyzwania dla łańcuchów dostaw (Hartmann i inni, 2023). W związku z tym konieczne jest m.in. zdefiniowanie miar, wskaźników do zmierzenia niezawodności i odporności łańcucha dostaw.

1.2 Cel i zakres pracy badawczej

Celem głównym rozprawy doktorskiej jest opracowanie metody opartej na modelu cyfrowym pozwalającej na zapewnienie optymalnego poziomu odporności łańcucha dostaw materiałów przedsiębiorstwa z branży zaawansowanych technologii na możliwe zagrożenia. Metoda ta przyczyni się do zwiększenia odporności łańcuchów dostaw mających wpływ na utrzymanie bezpieczeństwa.

W związku ze strategicznym charakterem produktów, kwestia przeciwdziałania zakłóceniom w łańcuchu dostaw ma kluczowy wpływ na bezpieczeństwo. Opracowanie metody oceny poziomu odporności łańcucha dostaw wymagać będzie w pierwszej kolejności

identyfikacji potencjalnych źródeł zakłóceń mogących zaburzyć ciągłość dostaw, a następnie zbadania zależności między odpornością na zakłócenia łańcucha dostaw materiałów wejściowych, a niezawodnością dostaw gotowych wyrobów.

Do celów cząstkowych zalicza się:

- zdefiniowanie miary do oceny pojęć niezawodność dostaw oraz odporność łańcucha dostaw z uwzględnieniem ich niepewności,
- opracowanie wskaźników do zmierzenia niezawodności oraz odporności łańcucha dostaw z uwzględnieniem ich niepewności,
- stworzenie modelu cyfrowego w celu przeprowadzenia symulacji z uwzględnieniem różnych rodzajów zakłóceń i ich kombinacji,
- analiza związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy różnymi kombinacjami zakłóceń w łańcuchach dostaw przemysłu zaawansowanych technologii, a niezawodnością dostaw wyrobów gotowych, w obszarach zaopatrzenia, produkcji oraz dystrybucji gotowych produktów,
- ocena oraz zaproponowanie rozwiązań mających na celu zmniejszenie wrażliwości łańcucha dostaw badanego przedsiębiorstwa na zakłócenia dostaw materiałów.

Przewiduje się następujące efekty:

- opracowanie wskaźników, miar za pomocą których będzie możliwe dokonanie oceny odporności łańcucha dostaw,
- stworzenie modelu cyfrowego oraz przeprowadzenie symulacji zakłóceń wraz z konsekwencjami dla łańcucha dostaw przedsiębiorstwa z branży zaawansowanych technologii,
- opracowanie metody pozwalającej dokonanie oceny poziomu odporności sieci dostaw na zakłócenia,
- zidentyfikowanie obszarów zabezpieczających utrzymanie bezpieczeństwa dostaw w przypadku wystąpienia zakłóceń.

Dodatkowym efektem będzie zaproponowanie konkretnych przedsięwzięć mających na celu zmniejszenie wrażliwości łańcucha dostaw badanego przedsiębiorstwa na kombinacje zakłóceń dostaw produktów gotowych.

1.3 Etapy oraz wykorzystane metody i techniki

Postępowanie badawcze będzie się składać z następujących etapów:

I Przeprowadzenie badań literaturowych.

II Analiza stanu istniejącego podmiotu badań wraz z wizualizacją łańcucha dostaw badanego

podmiotu z branży zaawansowanych technologii dla wybranej grupy materiałowej.

III Opracowanie modelu cyfrowego ukazującego system logistyczny.

IV Zidentyfikowanie potencjalnych źródeł zakłóceń łańcucha dostaw materiałów wejściowych.

V Wybór wskaźników mierzących wpływ zakłóceń na łańcuch dostaw.

VI Przeprowadzenie wstępnych symulacji na modelu cyfrowym, weryfikacja wskaźników.

VII Opracowanie scenariuszy (bardzo prawdopodobny, prawdopodobny, najbardziej ekstremalny przypadek).

VIII Przeprowadzenie obszernych symulacji na skorygowanym modelu cyfrowym.

IX Przeanalizowanie wyników symulacji.

X Ponowne przeprowadzenie symulacji na zmodyfikowanym modelu.

XI Weryfikacja efektów modyfikacji.

XII Wnioski końcowe oraz propozycje optymalizacji.

Pierwszym źródłem, z którego będą pochodzić dane do przeprowadzenia badań będzie wybrane przedsiębiorstwo z branży zaawansowanych technologii mające swoją siedzibę na terenie Republiki Federalnej Niemiec. Drugim źródłem będzie łańcuch dostaw tzn. pozyskane dane będą pochodzić od pozostałych uczestników łańcucha dostaw.

Do przeprowadzenia badań zostaną wykorzystane następujące metody i techniki:

- opracowanie i przeprowadzenie badań statystycznych – ankieta,
- obserwacja naukowa dokonana bezpośrednio przez doktoranta,
- eksport danych z systemu SAP,

W rozprawie doktorskiej zostaną wykorzystane metody analityczne i diagnostyczne oraz techniki przetwarzania danych dotychczas niewykorzystywane w tym obszarze badawczym, a mianowicie:

- Analiza strukturalna – z wykorzystaniem notacji IDEF0. Notacja IDEF0 (Integration Definition for Function Modelling) – jest metodą wykorzystywaną do opisywania funkcji przedsiębiorstwa. Model funkcyjny jest rozumiany jako struktura reprezentująca funkcje, procesy oraz czynności wewnątrz modelowanego procesu. IDEF0 zapewnia bardzo przydatne graficzne przedstawienie interakcji funkcjonalnych i fizycznych elementów systemu. Notacja ukazuje, które funkcje systemu odpowiadają za transformację wejść w wyjścia (Buede i Miller, 2024).
- Modelowanie abstrakcyjne (cyfrowe) – jest metodą badania złożonych układów, zjawisk i procesów z wykorzystaniem techniki komputerowej.

- Symulacja komputerowa – jest informatyczną metodą wnioskowania o zachowaniu obiektów rzeczywistych. W metodzie tej wykorzystuje się modele symulacyjne.
- Analiza scenariuszowa – jest metodą za pomocą której można zbadać przyszłe stany i ścieżki rozwoju. Scenariusze mogą mieć bardzo szeroki zakres rzeczowy, czasowy i przestrzenny (Awedyk, 2016).

1.4 Hipotezy badawcze

Hipoteza główna brzmi następująco: możliwe jest opracowanie metody opartej na modelu cyfrowym, która wykaże zależności między odpornością na zakłócenia łańcucha dostaw materiałów wejściowych, a niezawodnością dostaw gotowych wyrobów.

Jeśli w trakcie badań, w oparciu o wyniki badań cząstkowych wystąpią przesłanki wskazujące na możliwość pojawienia się dodatkowych celów i hipotez, to nie wyklucza się ich sformułowania.

2 ZARZĄDZANIE ŁAŃCUCHEM DOSTAW W ŚWIETLE AKTUALNYCH BADAŃ

2.1 Rozwój logistyki na przestrzeni lat

Słowo „logistyka” pochodzi z języka starogreckiego i wywodzi się z (Maśloch, 2005):

- logos – mowa, słowo, myśl,
- logike – logika,
- logistike – sztuka liczenia, sztuka kalkulowania.

Na tej podstawie można wyróżnić dwa nurty. Pierwszym z nich jest nurt matematyczno-filozoficzny (postrzeganie logistyki jako dział algebry), a drugim jest ujęcie pragmatyczne dzielące logistykę na obszar cywilny i militarny. Żyjący na przełomie IX i X wieku cesarz bizantyjski Leontos VI był jednym z pierwszych reprezentantów pragmatycznego rozumienia problemów logistyki. Uważał on, iż logistyka ma za zadanie zaopatrywanie wojska, rozpoznanie terenu i sił przeciwnika oraz przygotowanie dyslokacji własnych sił. W XIII wieku we Francji postrzegano logistykę w kontekście zaopatrzenia wojsk i wyborze lokalizacji dla fortyfikacji. W USA od 1882 roku admirał A.T. Mahan postrzegał logistykę jako wsparcie dla sił zbrojnych przez przemysłową i ekonomiczną mobilizację państwa. W 1951 roku, a w 1955 skorygowany wkład dot. decyzji logistycznych opublikował Oskar Morgenstern. Autor zwraca uwagę na powiązania logistyki militarnej z gospodarką. Określa operację logistyczną jako zaopatrzenie aktywności towarami i usługami, które są konieczne w celu realizacji czynności obecnie lub w przyszłości. Zaopatrzenie odbywa się z różnych źródeł, które z kolei również wykazują aktywności i są zaopatrywane z innych źródeł. Autor zwraca uwagę na wyzwania logistyczne polegające na skoordynowaniu ze sobą czasowych i przestrzennych luk za pomocą funkcji transportu i magazynowania. Również problem podejmowania optymalnych decyzji logistycznych w kwestii czasu dostawy, kosztów dostawy oraz ilości towarów został opisany przez autora. Czynnikiem wpływającym na decyzje są komplementarność oraz substytucyjność pozyskiwanych towarów, jak i przypadkowość wielkości potrzeb (Seelbach, 1997). Przeniesienie logistyki z sfery militarnej do gospodarczej miało miejsce w USA w latach 60 XX wieku (Maśloch, 2005). Decyzje logistyczne w gospodarce w przeciwieństwie do sfery militarnej mają miejsce w oparciu o cele technologiczne, ekonomiczne, ekologiczne i socjalne (Pfohl, 2024).

Ze względu na złożoność celów stawianych logistyce istnieje wiele definicji, w których autorzy zwracają uwagę na różne kwestie. Przykładowo Council of Logistics Management (CLM) definiuje logistykę jako proces planowania, realizacji i kontrolowania wydajnego,

ekonomicznego przepływu oraz magazynowania surowców, półfabrykatów i produktów gotowych wraz z powiązanymi z tym informacjami od punktu wysyłki do punktu dostawy zgodnie z wymaganiami klienta (Pfohl, 2023). Wszyscy badacze zgadzają się co do tego, że w logistyce ma miejsce przepływ obiektów. Zorientowanie logistyki na przepływy obiektów utwierdza dwie podstawowe reguły podejścia logistycznego, mianowicie podejście do całkowitych kosztów oraz podejście systemowe. Podejście kosztów całkowitych wymaga, by decyzje logistyczne podejmować w oparciu o zidentyfikowane całkowite koszty logistyczne. W tym podejściu analizuje się wpływ poszczególnych kosztów. W logistycznym podejściu systemowym jest kompleksowo analizowany cały system (Krüger, 2004). Jako system należy rozumieć każdy złożony obiekt wyróżniony w badanej rzeczywistości, stanowiący całość tworzoną przez zbiór obiektów elementarnych (elementów) i powiązań (relacji) między nimi (Sienkiewicz, 2010). W celu kreowania i realizacji zadań logistycznych konieczne jest znalezienie perspektywy umożliwiającej analizę wejść i wyjść oraz powiązań między elementami systemu. W podejściu systemowym ma miejsce zarówno myślenie procesowe, które uwzględnia synergii i wąskie gardła jak i myślenie z perspektywy realizacji usługi, które koncentruje się na spełnieniu wymagań stawianych przez klienta (Krüger, 2004).

Nowoczesne kompleksowe systemy muszą koncentrować się na stale wzrastającej zmienności jak i konkurujących celach. Celami mogą być skuteczność, atrakcyjność dla użytkownika, efektywność, zrównoważony rozwój, ochrona i bezpieczeństwo (Bukowski, 2023). Zdolność systemu umożliwiająca zachowanie podstawowej funkcjonalności oraz umożliwiająca szybkie przywrócenie pełnej funkcjonalności wszystkich komponentów (elementów), w sytuacji wystąpienia nieoczekiwanych zakłóceń lub nietypowych zdarzeń stanowi podstawowy warunek postrzegania układu za odporny. Poziom odporności takich systemów można zdefiniować za pomocą następujących zdolności – Faz (Bukowski, 2023):

- Faza I – zaplanowanie i przygotowanie. Opracowanie podstaw do utrzymania dostępności usług oraz produktów podczas występowania zakłócenia,
- Faza II – absorpcja. Utrzymanie najważniejszych funkcji systemu podczas zapobiegania, bądź izolowania zakłóceń,
- Faza III – przywracanie. Doprowadzenie wszystkich funkcji systemu i usług do poziomu funkcjonalności przed zakłóceniem,
- Faza IV – adaptacja. Wykorzystanie zdobytej wiedzy i doświadczenia w celu zwiększenia odporności systemu w przyszłości.

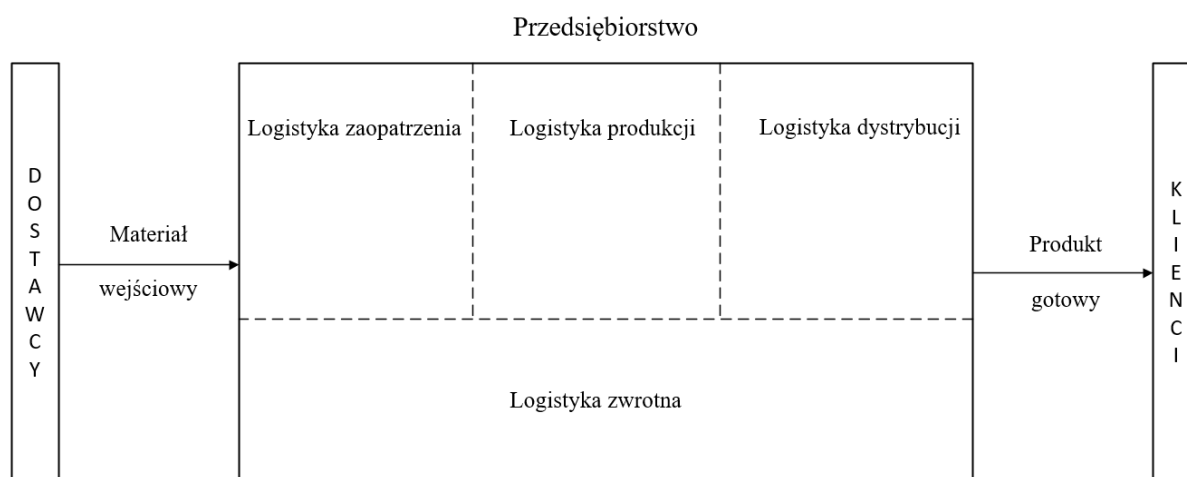
Gdy funkcjonuje więcej niż jeden system to ma się do czynienia z tzw. systemem systemów (ang. System of Systems – SoS). Podejście systemu systemów jest naturalnym rozwinięciem

pojęcia dużych systemów (ang. Large-Scale Systems – LSS). Paradygmat SoS przedstawia zbiór niezależnych działań operacyjnych oraz aktywnych interakcji dużych systemów zintegrowanych ze sobą wspólnymi celami (Bukowski, 2019). Charakteryzują się one następującymi cechami (Bukowski, 2023):

- kompleksowa, rozproszona struktura,
- wysoki stopień autonomii poszczególnych komponentów,
- dynamika wielostanowa,
- emergentne właściwości,
- zdolność do adaptacji do szybko zmieniających się celów.

Wyróżnienie kilku podsystemów logistycznych jest konieczne ze względu na różnorodność problemów, które mają miejsce w zbiorczym systemie. Duży wpływ ma obszerność oraz perspektywa (Pfohl, 2024).

W przedsiębiorstwie produkcyjnym można wyróżnić cztery podstawowe podsystemy. Zostały one przedstawione na poniższym rysunku 1.



Rys. 1 Wizualizacja systemu logistycznego

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Balsliemke F. (2004). *Logistiksysteme zur integrierten Distribution und Redistribution. Eine ökonomische Analyse am Beispiel der deutschen Möbelbranche*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag/GWV Fachverlage GmbH

Logistyka zaopatrzenia jest podsystemem logistycznym powiązanym z rynkiem, który łączy podsystem logistyki dystrybucji dostawcy z podsystemem logistyki produkcji producenta. Wszystkie potrzebne materiały wraz z powiązanymi informacjami są pozyskiwane przez ten podsystem (Zander, 2024). Głównym jej celem jest w sposób efektywny dostarczyć materiały, komponenty lub gotowe produkty na czas, tak by utrzymać ciągłość procesu produkcyjnego i móc zaspokoić potrzeby klienta. W ramach logistyki zaopatrzenia ma miejsce zarządzanie dostawcami. Polega ono na wyborze, ocenie i rozpoczęciu współpracy z dostawcą. Konkretnie mają miejsce identyfikacja potencjalnego dostawcy, ewaluacja jego zdolności,

negocjacje umów oraz umów ramowych, ustalenie standardów jakości jak i dbanie o relacje biznesowe. Efektywne zarządzanie dostawcami wpływa na zapewnienie dostaw o wysokiej jakości, utrzymaniu konkurencyjności cen oraz długoletniego partnerstwa. Kolejnym elementem logistyki zaopatrzenia jest planowanie potrzeb materiałowych. Polega ono na przeprowadzeniu analizy w kontekście zapotrzebowania na materiały lub produkty, podczas której są brane pod uwagę potrzeby produkcji, stany magazynowe, potrzeby klientów oraz czas dostawy. Efektem jest wygenerowanie zamówień. Następnym ważnym zadaniem logistyki zaopatrzenia jest kontrolowanie poziomu dostaw jak i zapewnienie odpowiedniej jakości towarów lub usług. W ramach tego ma miejsce regularne sprawdzanie i ocenianie dostawcy za pomocą takich kryteriów jak terminowość dostaw, jakość towarów/usług, koszty towarów/usług, komunikacja i obsługa klienta. Również magazynowanie materiałów wejściowych jest elementem logistyki zaopatrzenia. W ramach tego ma miejsce odebranie towaru, sprawdzenie i przyjęcie na magazyn. Kwestia transportu i dostarczenia pozyskanego towaru do miejsca docelowego również jest elementem logistyki zaopatrzenia. W ramach tego ma miejsce planowanie tras, wybór odpowiedniego środka transportu, negocjowanie cen frachtu i śledzenie dostaw (Weber, 2023).

Logistyka produkcji jest podsystemem znajdującym się pomiędzy podsystemem logistyki zaopatrzenia i podsystemem logistyki dystrybucji. W tym podsystemie ma miejsce transformacja pozyskanych materiałów wejściowych w produkty gotowe oferowane przez przedsiębiorstwo. W podsystemie ma miejsce planowanie, sterowanie i kontrola wszelkich procesów, które mają miejsce między magazynem materiałów wejściowych, a magazynem produktów gotowych. Do celów logistyki produkcji zalicza się minimalizację kosztów materiałów, maszyn, personelu, stanów magazynowych, przebrożenia maszyn, transportu wewnętrznego oraz pozyskania i obróbki informacji (Pollmeier i Schade, 2022).

Logistyka dystrybucji jest podsystemem, który łączy podsystem logistyki produkcji producenta z podsystemem logistyki zaopatrzenia klienta. Celem podsystemu jest kształtowanie, sterowanie i kontrola procesów transportowych oraz magazynowania w sieci, by dostarczyć produkty gotowe z przedsiębiorstwa do klientów. Centralnym zadaniem logistyki dystrybucji jest zapewnienie dostępności produktów dla klientów zgodnie z zasadą 7W (Dietel, 1997). Wedle tej zasady właściwy produkt ma zostać dostarczony do właściwego klienta, w właściwej ilości, o właściwej jakości, do właściwego miejsca, w właściwym czasie i w właściwej cenie (Kadłubek, 2021). Logistyka dystrybucji może zostać wykorzystana jako instrument do tworzenia i implementacji celu poziomu dostaw (Dietel, 1997).

Ostatnim z podsystemów jest logistyka zwrotna. Ma ona bardzo szeroki obszar oddziaływania poczynając od zużytych opakowań, przez zwroty niesprzedanych produktów, aż po części mechaniczne. Logistyka zwrotna jest procesem, który zajmuje się recyklingiem zużytych, przestarzałych i uszkodzonych produktów oraz opakowań. Podstawowymi zadaniami logistyki zwrotnej są (Yang, 2022):

- uzyskanie z powrotem wartości użytkowej uszkodzonego, bądź wyrzuconego produktu lub odpowiednia utylizacja odpadu,
- przepływ produktów, pojemników, opakowań i związanymi z tym informacjami, które od końca łańcucha do docelowego ogniw mają zostać dostarczone,
- nadzór nad recyklingiem, sortowaniem, testowaniem, naprawą, ponownym przetwarzaniem i ostateczną utylizacją obiektów.

Od prawidłowego współdziałania tych podsystemów zależy m. in. terminowe realizowanie dostaw wyrobów gotowych do klienta. By to zapewnić, w przedsiębiorstwach rozwinęło się zarządzanie logistyczne. Ma ono dwie podstawowe funkcje. Pierwszą z nich jest jak już wspomniano zarządzanie pojedynczymi podsystemami logistycznymi opisanymi powyżej. Dodatkowo zarządzanie logistyczne podejmuje kwestie fizycznego składowania towarów, transportu, pakowania, stanów magazynowych oraz realizacji zamówień. W tym celu mają miejsce m.in. następujące czynności (Pfohl, 2023):

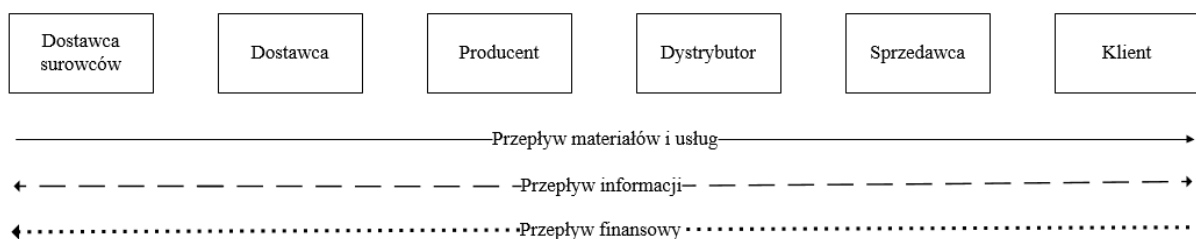
- planowanie tras,
- planowanie potrzeb materiałowych,
- planowanie miejsc magazynowych.

Drugą funkcją jest implementacja koncepcji logistycznych poprzez koordynację oraz integrację aktywności zarządczych. Konkretnie system oraz myślenie z punktu widzenia wartości wymagają koordynacji oraz całościowego podejścia do systemów logistycznych i procesów. Ma to na celu wykluczenie, zmniejszenie negatywnych wpływów pojedynczych podsystemów na siebie poprzez np. elastyczniejszą koordynację procesów. Podsumowując, zarządzanie logistyczne można zdefiniować jako zbiór zarządczych aktywności wymaganych zarówno w celu realizacji pojedynczych logistycznych procesów jak i procesów logistycznych mogących przebiegać przez kilka firm (Pfohl, 2023; Vollmar, 2022).

W celu identyfikacji oddziaływania procesów logistycznych w różnych firmach powstało pojęcie łańcucha logistycznego. Łańcuch logistyczny powstaje, kiedy ma miejsce powiązanie logistyczne pomiędzy systemami dostawcy, a odbiorców. Przede wszystkim skupia się on na fizycznych czynnościach łączących ze sobą przestrzeń i czas (Muchna i inni, 2018). Głównymi uczestnikami łańcucha logistycznego są (Zander, 2024):

- dostawcy surowców i materiałów,
- dostawcy środków pomocniczych,
- dostawcy mediów,
- dostawcy usług,
- klienci – odbiorcy gotowego produktu, których można sklasyfikować jako:
 - dystrybutorzy,
 - usługodawcy logistyczni,
 - handlarze hurtem,
 - pośrednicy handlowi.

Również centra usług, węzły logistyczne czy place przeładunkowe są postrzegane jako elementy łańcucha logistycznego. Łańcuch logistyczny składa się z procesów informacyjnych, logistycznych i produkcyjno-technicznych, którego celem jest wydajne wyprodukowanie produktu i dostarczenie go po niskich kosztach do użytkownika końcowego. Na wyjściu może chodzić o produkt pośredni (produkt gotowy jest produktem wejściowym dla innego producenta) lub produkt ostateczny (Zander, 2024). Poniższy rysunek 2 przedstawia łańcuch logistyczny wraz z przepływami informacji, usług i materiałów oraz finansów.



Rys. 2 Wizualizacja łańcucha logistycznego

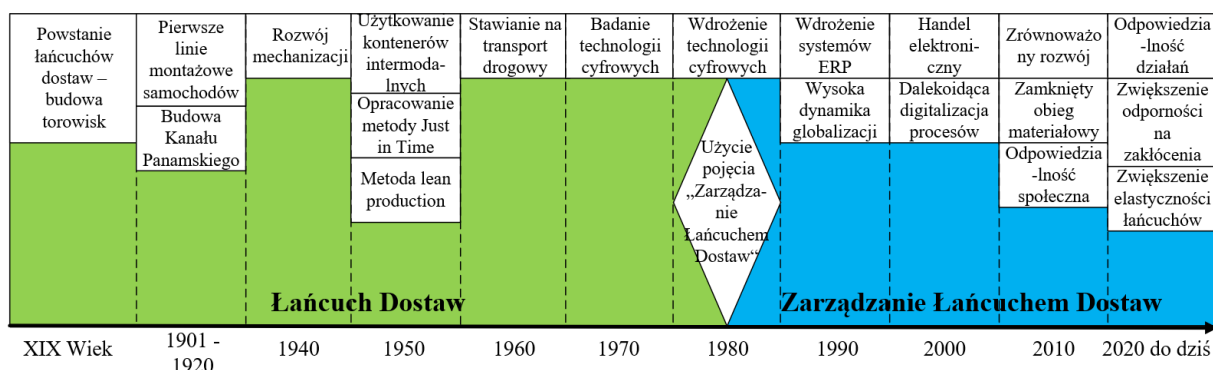
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Zander B. (2024). *Entwicklung einer adaptiven digitalen Logistikkette für eine intelligente Fabrik im Bauwesen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Po lewej stronie łańcucha logistycznego znajdują się dostawcy. Jako dostawcę rozumie się osobę fizyczną lub prawną, która dostarcza zasoby w formie surowców, materiałów, materiałów pomocniczych albo informacje. Dostawca produkuje materiały dla procesu produkcyjnego, ale nie dostarcza gotowych produktów. W centralnej części łańcucha logistycznego znajduje się producent. Dostarczone moduły, komponenty i części wykorzystuje on w celu wyprodukowania produktu gotowego. Kolejno znajdują się dystrybutorzy, którzy mają często bezpośrednie kontakty z producentami i kupują od nich za pomocą kontraktów zakupowych określone ilości produktów oraz przechowują je na magazynie. Tym samym umożliwiają oni producentom obsługę rynków. Dystrybutorzy często przejmują dodatkowe funkcje i współpracują z firmami handlowymi. Na końcu łańcucha (po prawej stronie) znajdują się klienci, którzy są konsumentami lub użytkownikami produktu (Zander, 2024).

Na przestrzeni lat badacze zauważyli, iż podmioty współtworzące łańcuch logistyczny pomimo wspólnych celów działali często w sposób nieefektywny, sprzeczny z sobą. W związku z tym stało się konieczne, by to jeden uczestnik łańcucha logistycznego podjął się koordynacji procesów logistycznych w całym łańcuchu. Od tego momentu łańcuch logistyczny staje się łańcuchem dostaw (Muchna i inni, 2018).

Powstanie łańcuchów dostaw datuje się na XIX wiek, czas drugiej rewolucji przemysłowej. W tym czasie rozwijał się dynamicznie transport kolejowy. Nowo powstałe torowiska połączyły centra produkcji z portami tworząc pierwsze sieci łańcuchów dostaw. Umożliwiło to transportować duże ilości towarów pomiędzy krajami jak i kontynentami, co przyczyniło się do wzrostu międzynarodowego handlu. W XIX wieku powstały również linie telegraficzne, co umożliwiło lepszą komunikację oraz koordynację procesów (Vyas i inni, 2024). W XX wieku miał miejsce dalszy rozwój łańcuchów dostaw. Henry Ford stworzył pierwsze linie montażowe samochodów. Jego koncepcja miała istotny wpływ na procesy produkcyjne jak i łańcuchy dostaw. W 1914 roku zakończyła się budowa Kanału Panamskiego, co skróciło czas dostaw oraz koszty transportu (Vyas i inni, 2024). W latach 40 oraz 50 XX wieku miał miejsce rozwój mechanizacji, by lepiej móc wykorzystać przestrzeń magazynową, usprawnić proces przemieszczania towarów (załadunek/wyładunek). W latach 50-tych XX wieku pojawiły się kontenery intermodalne (Kumar i inni, 2021). W Japonii w drugiej połowie XX wieku zyskała rozgłos metoda Just in Time oraz Lean Production. Metody zostały rozpowszechnione wpływając na globalne strategie łańcuchów dostaw (Vyas i inni, 2024). W latach 60-tych XX wieku pojawił się trend szybkich dostaw, co sprawiło iż zaczęto stawiać na transport drogowy kosztem kolejowego. W latach 70-tych zaczęto badać wykorzystanie technologii cyfrowych w celu optymalizacji logistyki. Pojawiły się systemy planowania materiałowego. W latach 80-tych XX wieku rozwój technologii komputerowych przyczynił się do znaczącego ulepszenia planowania logistycznego oraz realizacji zadań. W 1982 roku Keith Oliver dał początek pojęciu „zarządzania łańcuchem dostaw”. W latach 90-tych XX wieku powstały systemy ERP (ang. Enterprise Resource Planning) (Kumar i inni, 2021) oraz miał miejsce rozwój globalizacji wraz z relokacją produkcji do regionów świata z taną siłą roboczą. Celem tej strategii było zmniejszenie kosztów produkcji oraz zdobycie nowych rynków zbytu towarów poprzez tworzenie globalnych łańcuchów dostaw. Rozwój handlu elektronicznego oraz digitalizacja transformowały zarządzanie łańcuchem dostaw w XXI wiek. Kwestie takie jak zrównoważony rozwój, koncepcja gospodarki o zamkniętym obiegu materiałowym oraz odpowiedzialność społeczna przyczyniły się w XXI wieku do ukształtowania koncepcji zarządzania łańcuchem dostaw. Niedawne wydarzenia takie jak pandemia Covid-19, wojny handlowe i kierowanie się

zrównoważonym rozwojem jeszcze raz podkreślają istotę odporności, elastyczności oraz odpowiedzialnego działania w koncepcji zarządzania łańcuchem dostaw (Vyas i inni, 2024). Rysunek 3 ukazuje rozwój koncepcji zarządzania łańcuchem dostaw.



Rys. 3 Rozwój koncepcji Zarządzania Łańcuchem Dostaw

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Vyas N., Dasgupta D., Sošić G. (2024). *Supply Chain Network Design. How to Create Resilient, Agile and Sustainable Supply Chains*. New York: Kogan Page Limited

Koncepcja zarządzania łańcuchem dostaw ciągle się rozwija, ewoluuje.

2.2 Dotychczasowe podejście do zarządzania łańcuchem dostaw

Tak jak zdefiniowanie logistyki, tak również zdefiniowanie zarządzania łańcuchem dostaw nie jest łatwym zadaniem. Część badaczy definiując zarządzanie łańcuchem dostaw czyni to z perspektywy zarządzania logistycznego. Zauważają oni, iż zarządzanie łańcuchem dostaw obejmuje planowanie oraz zarządzanie wszystkimi aktywnościami zawartych w wytwarzaniu, pozyskiwaniu, przetwarzaniu oraz wszystkimi aktywnościami w ramach zarządzania logistycznego. Nacisk kładziony jest przede wszystkim na nawiązywaniu współpracy oraz jej koordynacji wśród partnerów współtworzących łańcuch dostaw. Partnerami są dostawcy, pośrednicy, dostawcy usług oraz klienci. Ich zdaniem istotą zarządzania łańcuchem dostaw jest zrównoważenie łańcucha popytu i podaży oraz zintegrowanie uczestników łańcucha ze sobą. Autorzy ci postrzegają zarządzanie łańcuchem dostaw jako następny etap rozwoju logistyki (Basu, 2023; Hugos, 2024; Manglik, 2024; Muchna i inni, 2018; Pryke, 2020). Druga grupa badaczy postrzega zarządzanie łańcuchem dostaw jako nowy obszar, który wywodzi się z logistyki i nie jest już jej częścią. Uważają oni, iż logistyka jest częścią zarządzania łańcuchem dostaw ograniczającą się do procesów logistycznych w pojedynczych przedsiębiorstwach będących elementem łańcucha. Autorzy zwracają uwagę na to, iż zarządzanie łańcuchem dostaw skupia się na obszarach w łańcuchu, które mogą przyczynić się do optymalizacji wymiany informacji w całym łańcuchu lub sieci. Odizolowana od siebie logistyka poszczególnych uczestników łańcucha nie jest w stanie tego uczynić (Muchna i inni, 2018). Wychodząc od łańcucha dostaw, rozumie się go jako sieć podmiotów zaangażowanych w wytwarzanie oraz dostarczanie wyrobów gotowych do klienta końcowego (użytkownika).

W tym zawiera się pozyskanie materiałów oraz części, wytwarzanie wraz z montażem produktu, pakowanie wraz z etykietowaniem, składowanie towarów w magazynach, wprowadzanie zamówień do systemu informatycznego wraz z śledzeniem przesyłki, dystrybucja i dostawa wyrobów gotowych do klienta końcowego (Harland, 2024; Liang i inni, 2016; Sanders, 2020; Stark, 2020). Badacze zauważają również pokrycie się elementów logistyki z zarządzaniem łańcuchem dostaw. Oddzielenie logistyki od zarządzania łańcuchem dostaw pozostaje wciąż kwestią otwartą (Muchna i inni, 2018). W sytuacji, gdy ma się na myśli kilka łańcuchów dostaw mówi się o sieciach dostaw. Z globalnego punktu widzenia w całej sieci będzie wielu dostawców oraz dostawców jak i wielu klientów oraz klientów (Christopher, 2023). Organizacje będące elementami sieci dostaw współpracują ze sobą w stale rozwijających się konstelacjach, aby móc w pożądanym sposób obsługiwać jeden lub więcej rynków. Konkretnie w ramach współpracy ma zostać osiągnięty konkretny cel biznesowy (Stark, 2020; Tamlia i inni, 2020).

Firmy coraz częściej przekonują się, że muszą polegać na efektywnych łańcuchach dostaw lub sieciach dostaw, by móc być konkurencyjnym na rynku globalnym. Zarządzanie łańcuchem dostaw tworzy nowoczesną koncepcję dla sieci przedsiębiorstw, dzięki której jest możliwy dodatkowy ponad organizacyjny rozwój. Jest to możliwe dzięki rozwojowi, kształtowaniu, sterowaniu oraz realizacji efektywnych i zrównoważonych przepływów materiałowych, informacyjnych i finansowych w całej sieci. (Muchna i inni, 2018; Stark, 2020).

W związku z szerokim spektrum oddziaływania jak i dużej kompleksowości, zarządzaniu łańcuchem dostaw stawiane jest wiele zadań. Jednym z najważniejszych jest przeciwdziałanie efektowi Forrester'a (nazwa pochodzi od nazwiska autora, który jako pierwszy go opisał). Zauważono, iż odchylenia potrzeb materiałowych w łańcuchu dostaw zwiększają się z poziomu na poziom. Tym samym małe odchylenie potrzeb na poziomie produktu gotowego powoduje znaczne wahania potrzeb na poziomie materiału surowego. Spowodowane jest to ograniczonymi i przesuniętymi w czasie informacjami o zapotrzebowaniu na produkt, które przechodzą przez każdy poziom łańcucha dostaw. W przypadku realnego spadku zapotrzebowania poziomy zapasów magazynowych zwiększają się nieproporcjonalnie. W przypadku kooperatywnego sterowania łańcuchem dostaw z lepszym przepływem informacji efekt ten może zostać ograniczony lub w pełni wyeliminowany (Muchna i inni, 2018; Wyciślak i Radin, 2024). Kolejnym zadaniem jest redukcja kosztów oraz przyczynienie się do rozwoju organizacji (Schneider i Sucky, 2020). Z powodu nakładu pracy w złożonych sieciach dostaw powstają wysokie potrzeby i koszty koordynacji. Ich optymalizacja jest postrzegana za zadanie zarządzania łańcuchem dostaw (Muchna i inni, 2018). Firmy będące

częścią globalnych łańcuchów dostaw mają możliwość wykorzystania nowych trendów w celu zwiększenia innowacyjności i produktywności (Stark, 2020). Dzięki temu zarządzanie łańcuchem dostaw wpływa na opracowanie rozwiązań mających na celu w sposób zrównoważony reagować na zmiany popytu m.in. poprzez definiowanie zdolności produkcyjnych. Ponadto zarządzanie łańcuchem dostaw przygotowuje przedsiębiorstwa do walki o klienta z nową konkurencją oraz by mogły one optymalnie funkcjonować na dynamicznie zmieniającym się rynku. Również zarządzanie łańcuchem dostaw w obszarze operatywnym opracowuje rozwiązania mające na celu zaspokojenie oczekiwań klientów, ich żądań. Skrócenie czasu reakcji na wydarzenia w sieci dostaw również należy do obowiązków zarządzania łańcuchem dostaw (Schneider i Sucky, 2020). Kwestie takie jak zwiększenie terminowości dostaw, umożliwienie wyboru prawidłowego łańcucha dostaw, czy uproszczenie procesów zarządzanie łańcuchem dostaw jest w stanie zrealizować dzięki sterowaniu przedsiębiorstwem, jego oddziałami z globalnej perspektywy. Poprzez podejmowanie decyzji, które produkty, dla których klientów, w którym oddziale na świecie mają być produkowane jest to możliwe (Schneider i Sucky, 2020; Stark, 2020).

Dzięki funkcjonowaniu zarządzania łańcuchem dostaw oczekuje się uzyskanie następujących korzyści (Schneider i Sucky, 2020):

- wzrost rentowności,
- wzrost zysków,
- rozszerzenie struktury klientów,
- skrócenie czasu realizacji zamówienia,
- wzrost terminowości dostaw,
- redukcja zbędnych zapasów,

Ze względu na technologiczne zmiany, w szczególności drastyczny spadek kosztów komunikacji stało się możliwe wprowadzenie zmian w koordynacji wśród uczestników sieci dostaw. W wyniku globalizacji oraz namnożeniu się międzynarodowych firm, joint ventures, partnerstw strategicznych oraz biznesowych, zarządzanie łańcuchem dostaw przyczyniło się do opracowania nowoczesnych rozwiązań (Stark, 2020). Jednym z nich jest opracowanie systemów SRM (ang. Supply Relationship Management), za pomocą których możliwe jest kompleksowe podejście w zarządzaniu relacjami z partnerami, z którymi ma miejsce wymiana towarów oraz usług. Celem systemów SRM jest usprawnienie oraz zwiększenie efektywności procesów pomiędzy przedsiębiorstwem, a jego dostawcami. System ten jest komponentem w przepływie informacji w ramach zarządzania łańcuchem dostaw. Tworzy on wspólną platformę umożliwiającą efektywną komunikację pomiędzy przedsiębiorstwem a jego

dostawcami, którzy korzystają z różnych praktyk biznesowych oraz technologii. Rezultatem funkcjonowania systemów SRM jest zwiększenie wydajności procesów z obszaru pozyskania towarów oraz usług, zarządzania zapasami oraz przetwarzania materiałów (Manglik, 2022). Podstawą prawidłowego funkcjonowania systemu SRM jest sklasyfikowanie dostawcy pod względem typu relacji (tabela 1), by móc w zrównoważony sposób zdefiniować procesy, opracować standardy.

Tabela 1 Typy relacji z dostawcami

Typ relacji	Wyjaśnienie	Typowy charakter relacji
Niezależny dostawca działający na wolnym rynku	Ma miejsce prosta i powszechnie stosowana umowa transakcyjna między kupującym, a sprzedającym dotycząca określonych towarów lub usług	Ma miejsce wyłącznie realizacja zamówienia, może wystąpić ograniczona komunikacja np. poprzez dodatkowe informacje na zamówieniu lub potwierdzeniu
Poddostawca, podwykonawca	Dostawca, najczęściej usług zaangażowany w realizację specyficznego zadania lub pakietu zadań (np. część dużego projektu) lub podmiot realizujący cały zlecony projekt	Najczęściej wymagana jest komunikacja dotycząca szczegółowych wymagań dotyczących kwestii technicznych lub specyfikacji produktu. Współpraca może mieć miejsce z pracownikami zlecniodawcy jak i innymi podwykonawcami. Dostawca może zyskać przewagę, poprzez zdobytą wiedzę co do potrzeb zlecniodawcy
Preferowany dostawca	Dostawca, który posiada formalny lub nieformalny status, jako podmiot preferowany w stosunku do innych dostawców	Potencjalne warunki współpracy zostały z góry pisemnie ustalone np. w umowie ramowej. Preferowany status dostawcy został nadany w ramach umieszczenia go na liście lub poprzez wydanie polecenia kierownictwa. Występowanie preferowanego dostawcy zakłada i wymaga pewnego stopnia scentralizowanej kontroli nad zamówieniami przedsiębiorstwa

Zewnętrzny dostawca usług	Dostawca, który wziął na siebie odpowiedzialność za realizację podstawowego zadania w firmie, które wcześniej mogło być realizowane samodzielnie (np. wsparcie informatyczne)	Ma miejsce bliska, codzienna wymiana informacji na poziomie operacyjnym. Relacja jak i umowa jest tworzona w oparciu o wydajność, ekonomiczność jak i zarządzanie operacyjne
Krytyczny dostawca	Dostawca, spełnia wymagania, bez których odbiorca nie może się obejść. Nie jest możliwe w łatwy sposób zmienić dostawcę lub pozyskać towar, usługę z innego źródła	Mają miejsce przedsięwzięcia mające na celu zbudowanie oraz dbanie o dobre relacje z dostawcą. Niestety wielu firmom nie udaje się zidentyfikować krytycznych dostawców przez co nie są one świadome ryzyk
Strategiczny dostawca	Dostawca, który jest istotny strategicznie, dzięki któremu możliwa jest realizacja celów i aspiracji np. możliwość zaoferowania kompleksowej oferty klientom	W celu wykorzystania potencjału współpracy konieczna jest bardzo bliska i partnerska współpraca. Niestety potencjał nie zawsze udaje się w pełni wykorzystać
Partner	Strony współpracują ze sobą w oparciu o zawarte porozumienie o współpracy. Może mieć ono formalny lub nieformalny charakter.	W celu wykorzystania potencjału współpracy również w przypadku partnerskich relacji konieczna jest bardzo bliska, współpraca. Ma miejsce codzienny kontakt w danym obszarze np. technologii.
Dostawca należący do tej samej grupy kapitałowej co klient	Dostawca należy do przedsiębiorstwa lub do grupy kapitałowej	Relacja powinna być taka, jakby dostawca „był jednym z nas”. W przypadku, gdy dostawca jest daleko, mają miejsce różnice kulturowe lub został niedawno włączony do grupy relacja nie może odbiegać od „preferowanego dostawcy”

Zródło: opracowanie własne na podstawie: O'Brien J. (2022). *Supplier Relationship Management. Unlocking the Value in your Supply Base*. London: Kogan Page Limited

Kolejnym nowoczesnym rozwiązaniem współtworzonym przez zarządzanie łańcuchem dostaw jest metoda Just in Time, która polega na planowaniu, sterowaniu oraz operatywnej

filozofii mającej na celu natychmiastowe zaspokojenie potrzeb przy zachowaniu doskonałej jakości i braku strat (Boateng, 2021). Metoda Just in Time jest stosowana w celu uzyskania wyższej wydajności. Utrzymywanie dużych zapasów produktów i komponentów wiąże się z zamrożeniem kapitału, aktywów oraz zasobów magazynowych (Peng i Kathuria, 2021). W ramach tej metody poziom zapasów jest minimalny, bądź w ogóle nie istnieje. Środek transportu np. kontener staje się ruchomym magazynem i musi dotrzeć dokładnie na czas tzn. ani za późno ani za wcześnie (Boateng, 2021). Stawianie na wysoce niezawodne procesy logistyczne w celu dostarczenia towaru dokładnie na czas – czasami bezpośrednio na półki sklepowe czy linię montażową może przynieść duże oszczędności (Peng i Kathuria, 2021). Produkcja Just in Time ma miejsce od momentu otrzymania zamówienia, gdy jest wiadomo że produkt zostanie sprzedany. Materiały są kupowane dopiero gdy są potrzebne (SurrIDGE i inni, 2026).

Następnym nowoczesnym rozwiązaniem jest „Lean Manufacturing”. Wywodzi się ono z systemu produkcyjnego Toyoty i oparte jest na metodzie Just in Time. Oznacza to, iż materiał wejściowy ma zostać dostarczony dokładnie na czas, produkt ma zostać wyprodukowany oraz dostarczony dokładnie na czas w oparciu o potrzeby klienta. Tak jak w metodzie Just in Time ma miejsce redukcja zapasów. Pojęcie „lean” oznacza z wykorzystaniem mniejszej ilości np. powierzchni, zapasów, ludzi czy czasu. Szybkość realizacji procesu zależy od potrzeb klienta. Kwestię utrzymywania zapasów postrzega się jako stratę. Lean Manufacturing kładzie nacisk na wartość produktu z perspektywy klienta. Celem przewodnim jest rozpoznawanie i eliminowanie niepotrzebnych strat w oparciu o podejście Kaizen (Vinodh, 2023). Podejście Kaizen wywodzi się również z Japonii i składa się z dwóch pojęć „Kai” – zmiana i „Zen” – na lepsze, co w połączeniu przetłumaczyć można jako ciągłe doskonalenie (Shaffner, 2025). Lean Manufacturing jest zdefiniowany jako proces składający się z pięciu etapów (Vinodh, 2023):

- wartość dla klienta,
- łańcuch wartości,
- przepływ wartości,
- system ciągnący (zorientowany na potrzeby klienta),
- ciągłe doskonalenie.

System lean składa się zespołu elementów, narzędzi/technik i reguł rządzących, które mają na celu zwiększenie konkurencyjności organizacji. Lean Manufacturing oznacza szybką, sprawną i ekonomiczną produkcję (Vinodh, 2023).

Interesującym rozwiązaniem jest również „Print on Demand”. Głównym celem rozwiązania jest umożliwienie szybkiego reagowania na zmiany. Projektant, autor nie zajmuje

się produkcją, magazynowaniem czy wysyłką tylko zleca te procesy wyspecjalizowanej firmie. Na początku procesu powstaje unikatowy dizajn, który odróżnia jego dzieło od innych dostępnych na rynku. Może to być slogan, grafika czy E-Book (Hari, 2025). Kolejno jest on zamieszczany, oferowany klientom do zakupu np. w sklepie internetowym, aby mógł on zostać zamówiony. W ramach Print on Demand produkcja danego produktu zgodnego z zamówionym dizajnem (z specyfikacją) ma miejsce dopiero po otrzymaniu zamówienia przez klienta (Brooks, 2025). Z punktu widzenia twórcy możliwe jest zaproponowanie kilku wersji produktu, bez ponoszenia ryzyka finansowego. Przez to twórcy mogą szybko dostosować się do trendów i preferencji klientów. Nie ma miejsca magazynowanie produktów gotowych, a z racji wyspecjalizowania się firm na taki model biznesowy procesy logistyczne odbywają się sprawnie (Hari, 2025).

Ostatnim rozwiązaniem, które zdecydowano się przedstawić w tym podrozdziale jest implementacja systemów transportowych bez kierowcy w przedsiębiorstwach. Systemy te znajdują zastosowanie przede wszystkim w obszarze logistyki (transport do i z magazynu) jak i produkcji (transport pomiędzy stanowiskami pracy, obszarami). System składa się z reguły z pojazdu bez kierowcy, centrali sterowania, czujników ustalających lokalizację oraz identyfikujących otoczenie. Również technika przesyłu informacji (komunikacji) pomiędzy pojazdami a centralą sterującą jak i innymi urządzeniami jest elementem systemu (Holtschulte, 2021). W przypadku napędu elektrycznego jest konieczne wygospodarowanie miejsca na ładowanie baterii. Korzyści z wdrożenia systemu transportowego bez kierowcy w przedsiębiorstwie są następujące (Griemert, 2024):

- wysoka elastyczność w kwestii ilości towaru do przetransportowania jak i czasu realizacji transportu (możliwość transportu 24h, 7 dni w tygodniu),
- nieskomplikowane zwiększenie zdolności transportowania dodatkowych towarów poprzez zwiększenie ilości pojazdów,

Prognozuje się, iż częstość występowania tego typu systemów w przedsiębiorstwach będzie w przyszłości dalej wzrastać. Powody tego są następujące (Holtschulte, 2021):

- problemy z pozyskaniem wykwalifikowanej kadry w obszarze produkcji i logistyki,
- połączenie się produkcji z logistyką – brak oddzielnego postrzegania tych obszarów,
- wysokie koszty pracownicze,
- coraz częściej występująca konieczność synchronicznych dostaw materiału wejściowego do maszyn – stanowisk pracy z równoczesnym odebraniem materiałów wyjściowych. Powodem tego jest coraz częściej występujący brak miejsca do tymczasowego składowania obok stanowisk pracy,

- dostępność innowacyjnych rozwiązań na rynku umożliwiających szerokie zastosowanie systemów transportowych takiego typu.

Zarządzanie łańcuchem dostaw wypracowało szereg rozwiązań mających na celu zmniejszenie poziomu zamrożenia kapitału oraz kosztów magazynowania. Posiadanie zapasów jest postrzegane wyłącznie negatywnie. Wdrożenie powyższych rozwiązań na szeroką skalę wpłynęło niestety negatywnie na bezpieczeństwo dostaw, ciągłość dostaw (Liebetrueth, 2024). Zostało to zauważone i postanowiono opracować rozwiązania zwiększające bezpieczeństwo dostaw, które opisano w poniższym podrozdziale.

2.3 Aktualnie dostępne rozwiązania w obszarze bezpieczeństwa dostaw

Tematyka bezpieczeństwa dostaw została podjęta w kilku miejscach, gdyż zarządzanie łańcuchem dostaw obejmuje obszar od zarządzania operacyjnego, przez logistykę, zakupy i technologię informacyjną oraz dąży do integracji tych komponentów (Stark, 2020).

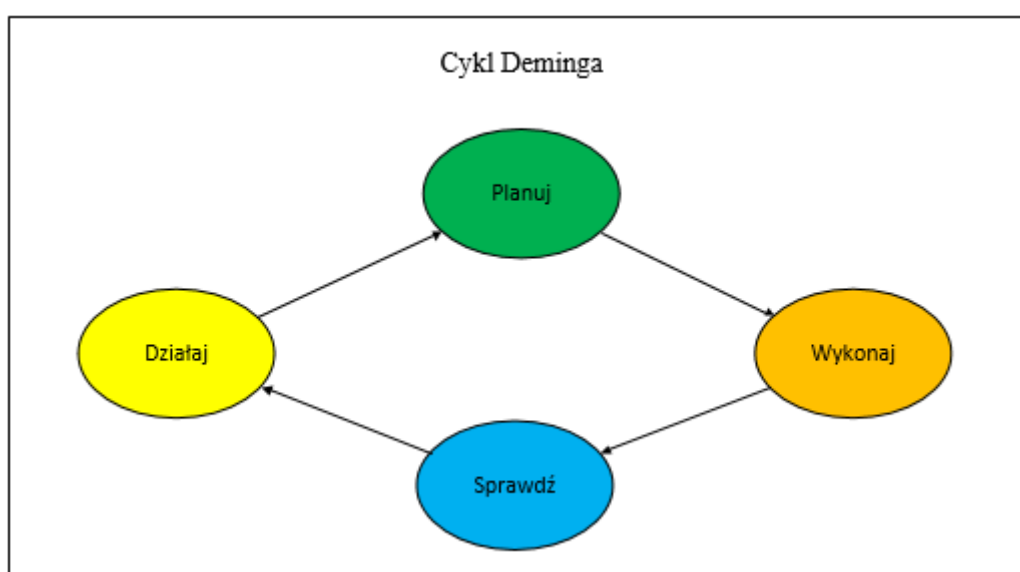
Pierwszym z rozwiązań jest norma ISO 28000, która dotyczy bezpieczeństwa i odporności. Powstała ona w 2005 roku (pierwsza wersja), by wspomóc w rozwiązywaniu potencjalnych problemów bezpieczeństwa na wszystkich etapach procesu dostaw oraz w odpowiedzi na trwające procesy globalizacji kooperujących ze sobą podmiotów w łańcuchu dostaw. Jest ona ogólnym standardem bezpieczeństwa łańcucha dostaw. Norma ISO 28000:2022 (najnowsza wersja) jest możliwa do wdrożenia w różnych typach organizacji. Pierwotnie (w 2007 roku) była ona przewidziana wyłącznie dla branży spedycyjnej i transportu morskiego. Norma ta postrzega ryzyko jako zagrożenie bezpieczeństwa całej organizacji, a nie tylko działu logistyki i utożsamia je z takimi zdarzeniami jak przemyt, kradzież, terroryzm czy nielegalny przeładunek towarów. W normie zamiast operować pojęciami ryzyko i zarządzanie ryzykiem stosuje się określenia bezpieczeństwo i zarządzanie bezpieczeństwem. Pod pojęciem bezpieczeństwo rozumie się odporność na celowe i nielegalne incydenty mające na celu zakłócenie prawidłowego funkcjonowania procesów w łańcuchu dostaw. Pod pojęciem zarządzanie bezpieczeństwem rozumie się systematyczne i skoordynowane aktywności przy pomocy których przedsiębiorstwa optymalnie radzą sobie z ryzykiem, związanymi z nim potencjalnymi zagrożeniami i konsekwencjami (Crossley, 2024; Jedynak i Bąk, 2021). Norma ISO 28000 (systemy zarządzania bezpieczeństwem) tworzy spójną całość wraz z poniższymi normami (Crossley, 2024):

- ISO 28001:2007 – najlepsze praktyki w wdrażaniu bezpieczeństwa łańcucha dostaw. W celu wdrożenia normy konieczne jest przeprowadzenie przez organizację oceny swojego środowiska biznesowego i wdrożenie odpowiednich środków bezpieczeństwa (Kummer i inni, 2022). Efekty wdrożenia normy są następujące (Rowbotham, 2025):

- jest określony zakres ochrony łańcucha dostaw w planie bezpieczeństwa,
- dostępna jest ocena bezpieczeństwa dokumentująca podatność łańcucha dostaw na określone scenariusze zagrożeń bezpieczeństwa. Na podstawie oceny powstaje opis oczekiwanego wpływu pochodzącego z poszczególnych zagrożeń,
- dostępny jest plan bezpieczeństwa, który opisuje środki bezpieczeństwa wdrożone w celu radzenia sobie z zagrożeniami bezpieczeństwa opisanymi w ocenie bezpieczeństwa,
- ustalony jest program szkoleniowy określający zakres szkolenia personelu, by mógł on wypełnić przydzielone mu obowiązki związane z bezpieczeństwem,
- ISO 28002:2011 – budowanie odporności łańcucha dostaw. Norma określa wymagania systemu zarządzania bezpieczeństwem w osiąganiu jakości w zarządzaniu łańcuchem dostaw, co wpływa na projektowanie, wdrażanie i dobrą kontrolę celów organizacji zwiększając tym samym zadowolenie uczestników łańcucha dostaw (Mrabet, 2022),
- ISO 28003:2007 – wymagania dla podmiotów przeprowadzających audyt i certyfikację systemów zarządzania bezpieczeństwem łańcuchów dostaw,
- ISO 28004 – czteroczęściowy cykl wytycznych dotyczących wdrażania normy ISO 28000,
- ISO 28005 – dwuczęściowy cykl dotyczący elektronicznej odprawy portowej.

Kolejnym rozwiązaniem jest norma ISO 22301, która odnosi się do kontynuacji procesów biznesowych (Petrenko, 2021). Z racji tego, iż organizacje niezależnie od wielkości i typu podatne są na oddziaływanie zakłóceń, które mogą wystąpić nagle i niespodziewanie uznano za konieczne opracowanie normy wspomagającej zbudowanie odporności organizacji na zakłócenia. Konkretnie ma zostać opracowany system zarządzania ciągłością funkcjonowania organizacji. Celem jest skuteczniejsza reakcja na zakłócenia i szybszy powrót do stanu sprzed wystąpienia zakłócenia. Kluczowe jest zapewnienie, by priorytetowe działania zapewniły wznowienie dostaw towarów, realizacji usług w akceptowalnych ramach czasowych i przy użyciu akceptowalnych środków. W obszarze kontynuacji procesów biznesowych został stworzony szereg norm, które współtworzą spójną całość. Pierwszą z nich jest wspomniana już ISO 22301, która odnosi się do bezpieczeństwa i odporności – systemy zarządzania ciągłością funkcjonowania organizacji – wymogi. Pierwsza wersja normy została opracowana w 2012 roku. Zakres normy zawiera opis wymagań dotyczących wdrożenia, utrzymania i doskonalenia systemu zarządzania w celu ochrony organizacji przed zakłóceniami, zmniejszenia prawdopodobieństwa ich wystąpienia, przygotowania się na nie, reagowania na

nie i odzyskania szybko prawidłowego funkcjonowania organizacji w przypadku ich wystąpienia. Wymagania mają ogólny charakter, a zakres ich funkcjonowania zależy od złożoności organizacji i środowiska operacyjnego. Drugą normą jest ISO 22313, która zawiera zbiór wytycznych dotyczący wdrożenia normy ISO 22301. Kolejne normy, takie jak ISO TS 22317 dotycząca analizy wpływu na biznes oraz ISO TS 22331 dotycząca strategii kontynuacji biznesu są pakietami specyfikacji technicznych, dzięki którym możliwe jest lepsze zrozumienie zarządzania ciągłością funkcjonowania organizacji. Zawierają one bardziej szczegółowe informacje oraz przykłady. Cały zakres oparty jest o cykl Deminga (Herdmann, 2022; Shandilya i inni, 2024). Wizualizacja cyklu została przedstawiona na poniższym rysunku 4.



Rys. 4 Cykl Deminga

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Posluschny P. (2025) *Qualitätsmanagement für Führungskräfte. Instrumente, Methoden, qualitätssichernde Maßnahmen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Cykl składa się z 4 etapów. Pierwszym z nich jest planowanie, następnie ma miejsce wykonywanie, kolejno sprawdzanie, a na koniec działanie. Te cztery etapy mogą powtarzać się wielokrotnie (Calder, 2021).

W oparciu o powyżej opisane normy ISO 22301 oraz ISO 28001 opracowano normę ISO/TS 22318, która odnosi się do kontynuacji procesów biznesowych w łańcuchu dostaw, zajmuje się systemami zarządzania bezpieczeństwem łańcuchów dostaw. Norma ta koncentruje się na relacjach z dostawcami w celu zapewnienia ciągłości dostaw. Ma ona zastosowanie w przedsiębiorstwach wydobywczych, produkcyjnych jak i usługowych. Na obecną chwilę nie przewidziano możliwości certyfikacji (Kummer i inni, 2022; Reis i inni, 2025).

W celu skutecznej i efektywnej realizacji strategii zarządzania łańcuchem dostaw można skorzystać z modelu SCOR, który jest skrótem od Supply Chain Operations Reference model.

Rozwiązanie (model referencyjny łańcucha dostaw) jest międzybranżowym standardem sieci dostaw oraz narzędziem diagnostycznym wydawanym przez American Supply Chain Association. Model zapewnia kompleksowe, poprawne, zoptymalizowane, ustandaryzowane warunki oraz procesy dla sieci łańcuchów dostaw o różnej wielkości oraz złożoności. Celem jest analizowanie wybranych kwestii organizacji w kontekście wdrożenia możliwych rozwiązań (Leeman, 2020; Nicoletti, 2023). Za pomocą modelu poszukuje się odpowiedzi na następujące pytania (Nicoletti, 2023).:

- jakie są rzeczywiste globalne skutki potencjalnych rozwiązań?
- co wskazuje na to by stać się największym wyzwaniem bądź źródłem obaw?
- czy jest możliwe określić relatywne korzyści w wzroście wydajności i konkurencyjności?

Model SCOR może pomóc poradzić sobie z ryzykami operacyjnego łańcucha dostaw. W 2025 roku wyróżnia się 7 istotnych procesów: orkiestracja łańcucha dostaw, planowanie, pozyskiwanie, wytwarzanie, transformacja, dostarczanie i zwrot. Istnieją również 4 stopnie modelu: szczytowy, konfiguracyjny, elementów procesu oraz wdrożenia. Na pierwszym stopniu procesy podlegają wizualizacji. Na drugim stopniu każdy proces podlega dogłębnej analizie. Na trzecim stopniu ma miejsce zdefiniowanie nowych procesów logistycznych od zapytania klienta po wysłania faktury do klienta. W tym celu wykorzystuje się udostępnione szablony procesów. Na 4 stopniu opisane są instrukcje wdrożenia optymalizacji z 3-go stopnia (Nicoletti, 2023). Model SCOR podlega regularnie modyfikacji w celu dopasowania do najnowszego stanu wiedzy. Obecnie najnowszą wersją modelu jest SCOR DS, gdzie DS jest skrótem od Digital Standard (standard cyfrowy). W wersji tego modelu zwrócono szczególną uwagę na orkiestrację łańcucha dostaw jako zerowe działanie (pierwsze przed pozostałymi na poziomie 0). Orkiestracja, czyli ustalanie istotnych kwestii w łańcuchu dostaw ma strategiczny charakter. Wpływ jak i uzyskane informacje są podstawą dalszych działań (Association for Supply Chain Management, 2025). Za pomocą modelu referencyjnego SCOR można zwiększyć odporność łańcucha dostaw na zakłócenia.

Łańcuch dostaw jest na tyle silny co jego najsłabsze ogniwo. W przypadku przerwania dostaw w jednym miejscu łańcucha dostaw (wystąpienia problemów u jednego uczestnika) może mieć miejsce zatrzymanie aktywności w całym łańcuchu (Peng i Kathuria, 2021). W związku z tym opracowano alternatywne podejście sterowania poziomem zapasów – Just in Case. W ramach tego podejścia w przedsiębiorstwie przechowuje się świadomie zapasy w określonych ilościach na wypadek wystąpienia zakłóceń takich jak brak możliwości pozyskania wystarczającej ilości materiału wejściowego, czy nagły wzrost zapotrzebowania na

produkty. Negatywną kwestią jest fakt, iż zapasy muszą być magazynowane, utrzymywane i chronione. Z racji tego powstają koszty. Podejście to nie znajduje zastosowania w przypadku mogącej się zepsuć żywności, mogącej się szybko zmienić mody czy bardzo drogich materiałów (Surridge i inni, 2026). Dzięki temu podejściu możliwe jest zmniejszenie wpływu zakłóceń na ciągłość dostaw, poprzez utrzymywany zapas bezpieczeństwa. Wyzwaniem jest przekonanie menedżerów do tego podejścia, gdyż w porównaniu do Just in Time organizacja wydaje się „napuchnięta” i mniej wydajna. Kolejnym wyzwaniem jest ustalenie poziomu zapasów, by nie były one ani za duże ani za małe (Peng i Kathuria, 2021). W tym celu konieczne jest podjęcie działań w zakresie zarządzania łańcuchem dostaw.

2.4 Rola zarządzania łańcuchem dostaw w kształtowaniu odporności organizacji na zakłócenia

W czasach po pandemii inwestuje się dużo czasu i energii w celu wyjaśnienia powodów dlaczego globalne sieci dostaw zostały przerwane. Jest się również w poszukiwaniu rozwiązań mających na celu w sposób zrównoważony zwiększyć poziom odporności łańcuchów dostaw na zakłócenia mogące wystąpić w przyszłości (Munim i inni, 2023). Jako odporność należy rozumieć zdolność systemu do absorpcji oraz przeciwstawienia się zakłóceniom w taki sposób by ciągle móc dostarczać produkty (świadczyć usługi) na z góry ustalonym, akceptowalnym poziomie wydajności (Bukowski, 2019). Oznacza to posiadanie zdolności do łagodzenia najczęstszych zakłóceń w łańcuchu dostaw oraz w znaczny sposób ograniczenia ich negatywnego wpływu. Ryzyko operacyjne jak i zakłócenia mogą zagrozić wielu obszarom łańcucha dostaw, a w następstwie odporności biznesowej (Burkhart i Bode, 2024).

Obecnie zarządzaniu łańcuchem dostaw stawiane jest wiele zadań w zakresie bezpieczeństwa dostaw. Zarządzanie łańcuchem dostaw ma m.in. za cel zwizualizowanie powiązań (zidentyfikowanie uczestników łańcucha dostaw) oraz sklasyfikowanie ich w kontekście istoty utrzymania ciągłości dostaw w momencie wystąpienia zakłóceń (Harland, 2024). Mając za zadanie stworzenie pomyślnego, wydajnego łańcucha dostaw konieczne jest zintegrowanie uczestników łańcucha do wspólnej współpracy. Taki poziom koordynacji nazywany jest integracją łańcucha dostaw. Objawia się on poprzez (Russel i Taylor, 2023):

- dzielenie się informacjami z uczestnikami łańcucha dostaw – każde użyteczne dane, takie jak zapotrzebowanie, stany magazynowe, harmonogramy produkcji i wysyłek. Wszelkie informacje, które mogą pomóc uczestnikom łańcucha w zwiększeniu wydajności są pożądane,
- wspólne planowanie – ustalenia, co się uczyni na podstawie udostępnionych informacji,

- koordynację działań – ustalenia, jak uczestnicy łańcucha dostaw współpracują ze sobą, w celu integracji podjętych działań w wspólną całość,
- wdrażaniem nowych technologii i modeli – jak członkowie łańcucha dostaw w racjonalny sposób ewoluują i poprawiają swoją wydajność w łańcuchu dostaw,

Ze względu na potrzebę zapewnienia dostaw dawna rola dostawcy uległa zmianie. Coraz częściej występujący, na coraz szerszą skalę outsourcing (zlecanie podmiotom krajowym i/lub zagranicznym części zadań wykonywanych dotychczas samodzielnie), zarządzanie łańcuchem dostaw i zapasami przez dostawców zwiększyły ryzyko, że kluczowy komponent nie będzie dostępny, gdy nadejdzie czas dostawy do odbiorcy (Pang, i inni, 2021; Manglik, 2022). Mając to na uwadze konieczne jest rozpatrzenie kwestii zapasu bezpieczeństwa inaczej nazywanego minimalnym zapasem lub rezerwowym zapasem. Przyczynia się on do zabezpieczenia się w przypadku występowania niepewności z zapotrzebowaniem, dostawami czy poziomem zapasów. W kontekście zarządzania łańcuchem dostaw jest szczególnie istotne zabezpieczenie przed niepewnym popytem. Za wysoki lub za niski poziom zapasów prowadzi do kosztów nadmiernych zapasów lub braków w sprzedaży. Przez to zbyt wysoki poziom zapasu bezpieczeństwa, który z jednej strony zabezpiecza wahania popytu z drugiej strony powoduje wysokie koszty magazynowania. Z drugiej strony zbyt niski poziom zapasu bezpieczeństwa prowadzi do braków w dostawach, co z kolei wpływa negatywnie na relacje z klientami jak i przychód (Sucky, 2022). Z globalnego punktu widzenia agregacja pojedynczych zapotrzebowań w całość redukuje występujące odchylenia w zapotrzebowaniu. Ten efekt nazywany jest Risk Pooling-Efekt i jest jednym z najważniejszych instrumentów przeciwdziałania niepewnością w łańcuchu dostaw (Sucky, 2022).

W celu zbudowania odpornych na zakłócenia łańcuchów dostaw, przedsiębiorstwa najpierw muszą przeprowadzić ocenę ryzyka swojego łańcucha dostaw. Firmy muszą ponownie ocenić ryzyko związane z fragmentacją (strukturą) łańcucha dostaw i wykorzystaniem lean manufacturing ponieważ rozwiązania te mogą prowadzić do poważnych niedoborów produktów w przypadku kryzysów takich jak pandemia, huragany, trzęsienia ziemi itp. Wdrożenie elastycznych rozwiązań w łańcuchu dostaw takich jak szybkie pozyskiwanie surowców, projektowanie, rozwój i testowanie produktów oraz dystrybucja może odgrywać kluczową rolę w ograniczeniu strategicznych zagrożeń łańcucha dostaw. Aby zwiększyć odporność i elastyczność łańcuchów dostaw, można podjąć następujące działania (Sucky i Pflaum, 2022; Venkataraman i Demirag, 2022):

- zaprojektowanie zwinnych sieci dostaw – aby móc szybko reagować na zakłócenia w łańcuchu dostaw powinno się zaprojektować elastyczny system złożony z dostawców

i partnerów, którzy mogą poradzić sobie z nagłymi niedoborami produktów, a nawet wyprodukować szybko nowe produkty. Stworzenie takiego poziomu elastyczności wiąże się z organizacją alternatywnych lokalizacji produkcji i montażu. Przedsiębiorstwa produkujące poza granicami kraju powinny rozważyć regionalizację produkcji, poprzez zbliżenie produkcji do swoich głównych rynków i swojej bazy dostaw.

- dokonanie oceny skali produkcji i asortymentu produktów – wiele firm decyduje się na wyspecjalizowanie pojedynczych fabryk pod produkcję ograniczonej liczby wariantów produktów np. montaż konkretnego modelu samochodu w konkretnej fabryce i eksportowanie go na cały świat. Aby zwiększyć odporność łańcucha dostaw, firmy te muszą znaleźć sposób na obsługę szerszego asortymentu produktów w poszczególnych fabrykach. Takie działania umożliwią przedsiębiorstwom nie tylko szybką zmianę konfiguracji w różnych liniach produktów i stworzenie większego pola manewru w przypadku wystąpienia zakłóceń, ale także wesprą regionalizację produkcji.
- implementacja nowoczesnych technologii – odporność łańcucha dostaw można znacznie zwiększyć, wdrażając narzędzia technologiczne, takie jak aplikacje łańcucha dostaw w chmurze, platformy współpracy i inne narzędzia technologiczne, które promują udostępnianie informacji. Takie aplikacje poprawiają również jakość i szybkość podejmowania decyzji w organizacji, u jej dostawców i innych zewnętrznych interesariuszy w bezpiecznym środowisku. W ten sposób może powstać system wczesnego ostrzegania, a wyspecjalizowane zespoły są w stanie w oparciu o dostępne informacje stworzyć możliwości szybkiego reagowania, które pomogą firmom sprawnie uporać się z zakłóceniami.
- rozwijanie alternatywnych źródeł dostaw lub ustalenie dodatkowych zapasów bezpieczeństwa – pomimo dodatkowych kosztów, posiadanie alternatywnych źródeł dostaw i utrzymywanie dodatkowych zapasów bezpieczeństwa zapewnia większą odporność łańcucha dostaw w przypadku wystąpienia zakłóceń w łańcuchu dostaw. Poza rozwijaniem alternatywnych źródeł dostaw firmy powinny zawierać długoterminowe kontrakty zakupowe, ponieważ takie rozwiązania zapewniają zachęty u nowych dostawców do dokonywania inwestycji w dodatkowe zdolności produkcyjne.

Zarządzanie łańcuchem dostaw zyskało na przestrzeni lat na znaczeniu i stało się osobnym obszarem w wielu przedsiębiorstwach. W celu przedstawienia mocnych stron i słabości oraz szans i zagrożeń funkcjonowania zarządzania łańcuchem dostaw postanowiono w poniższej tabeli 2 przedstawić wyniki analizy SWOT. Analiza ukazuje dotychczas wypracowaną pozycję

obszaru zarządzania łańcuchem dostaw w przedsiębiorstwach (Schloss i Botta, 2025).

W analizie litery są skrótem od następujących słów (Fagan, 2024):

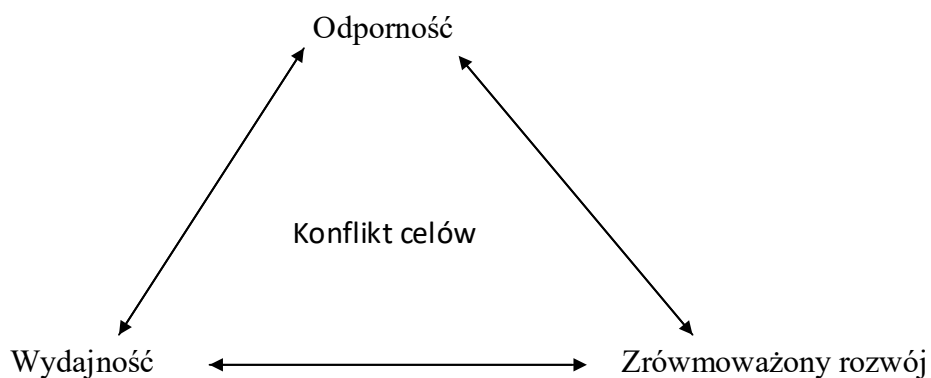
- S (ang. Strengths) – mocne strony,
- W (ang. Weaknesses) – słabe strony,
- O (ang. Opportunities) – szanse,
- T (ang. Threats) – zagrożenia.

Tabela 2 Analiza SWOT obszaru zarządzania łańcuchem dostaw

Mocne strony	Szanse
1. Solidne podstawy, nauka i adaptacja 2. Przeprojektowanie sieci jest konieczne w celu uzyskania dywersyfikacji co wzmacnia pozycję 3. Wdrażanie technologii jest konieczne w celu zwiększenia efektywności, a zarządzanie łańcuchem dostaw już korzysta z zaawansowanych technologii 4. Część strategii organizacji	1. Sztuczna inteligencja i pozostałe narzędzia 2. Zmiana podejścia z łańcucha do sieci 3. Gotowość na wdrażanie zwinnych i odpornych strategii 4. Digitalizacja
Słabe strony	Zagrożenia
1. Znaczne odległości pomiędzy uczestnikami rozproszonymi na całym świecie 2. Podejmowanie decyzji dotychczas wyłącznie pod względem finansowym 3. Uwzględnienie interesów uczestników całego łańcucha dostaw 4. Wystarczy jeden uczestnik, by przerwać dostawę całego łańcucha	1. Nowe, niekorzystne regulacje 2. Niekorzystne oddziaływanie polityki na handel 3. Zmieniająca się globalna dynamika 4. Ideały konsumenckie kontra wydatki

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Fagan M. L. (2024). *Supply Chain Management. A Public Sector Perspective*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited

Mając na uwadze szerokie spektrum zarządzania łańcuchem dostaw jak i powyższe wyniki analizy SWOT należy stwierdzić, iż zadaniem menedżerów łańcucha dostaw jest ustalenie kwestii logistycznych w łańcuchu dostaw. To ich praca jest podstawą do stworzenia odpornych na zakłócenia łańcuchów dostaw, co zostało zauważone przez wielu badaczy. Zadanie to nie jest łatwe zarówno ze względu na kompleksowość obszaru, różne cele podmiotów współtworzących łańcuch dostaw oraz konflikt celów przedstawiony na poniższym rysunku 5.



Rys. 5 Konflikt celów w zarządzaniu łańcuchami dostaw

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Locker A., Grosse-Ruyken P. T. (2024). *Chefsache Finanzen in Einkauf und Supply Chain. Millionenwerte schaffen mit Digitalisierung, Resilienz und Nachhaltigkeit*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Dodatkowo warunki panujące w poszczególnych branżach różnią się od siebie. Ten fakt sprawia, iż efekt uzyskany poprzez wybór adekwatnych instrumentów bardzo dobrze sprawdzających się w jednej branży nie musi tak samo oddziaływać w innej. W związku z tym należy wpierw poznać branżę, by móc wybrać właściwe rozwiązanie.

3 BRANŻA ZAAWANSOWANYCH TECHNOLOGII

3.1 Charakterystyka branży

Branża zaawansowanych technologii składa się z firm, które oferują swoim klientom zaawansowane technologicznie rozwiązania. Oferowane najnowocześniejsze produkty wymagają dużej ilości prac badawczo-rozwojowych i inwestycji kapitałowych. Produkty te nie tylko zmieniają styl życia ludzi i produkcję, ale także charakteryzują się wysoką konkurencyjnością i dużym ryzykiem na etapie eksportu. Ponadto produkty te wyróżnia wysoki koszt utylizacji (Zheng i Shu, 2024). Badacze zaliczają do branży również firmy z przemysłu IT oferujące zaawansowane, innowacyjne rozwiązania cyfrowe swoim klientom (Engelhardt, 2025). Firmy poza przynależnością do branży zaawansowanych technologii są sklasyfikowane równocześnie w innej branży. Miano przynależności do branży zaawansowanych technologii wskazuje na to, iż produkty oferowane przez przedsiębiorstwo są wysoce innowacyjne. Produkty wyróżniają się wysokim stopniem złożoności, nowoczesnością oraz unikatowością technologiczną, muszą one spełniać również wysokie standardy jakości. Produkty z branży oferowane są w dwóch różnych obszarach rynku, mianowicie „B to B” oraz „B to C”. Pod pojęciem „B to B” (ang. Business to Business) rozumie się rynek dóbr produkcyjnych i inwestycyjnych. Na rynku jest tylko kilku odbiorców, a procesy zakupowe są kolektywne, sformalizowane. Ma miejsce najczęściej sprzedaż bez pośredników. Odbiorcami są firmy oraz instytucje. Pod pojęciem „B to C” (ang. Business to Client) rozumie się rynek dóbr konsumpcyjnych oraz usług. Na tym rynku występuje wielu anonimowych, indywidualnych odbiorców/klientów. Łańcuch dostaw jest długi, a produkty są promowane na szeroką skalę (Balderjahn i Specht, 2020; Koch i Riedmüller, 2025). Fakt, iż ma miejsce równoczesne oferowanie produktów w dwóch obszarach sprawia, że spektrum sprzedawanych produktów jest bardzo szerokie.

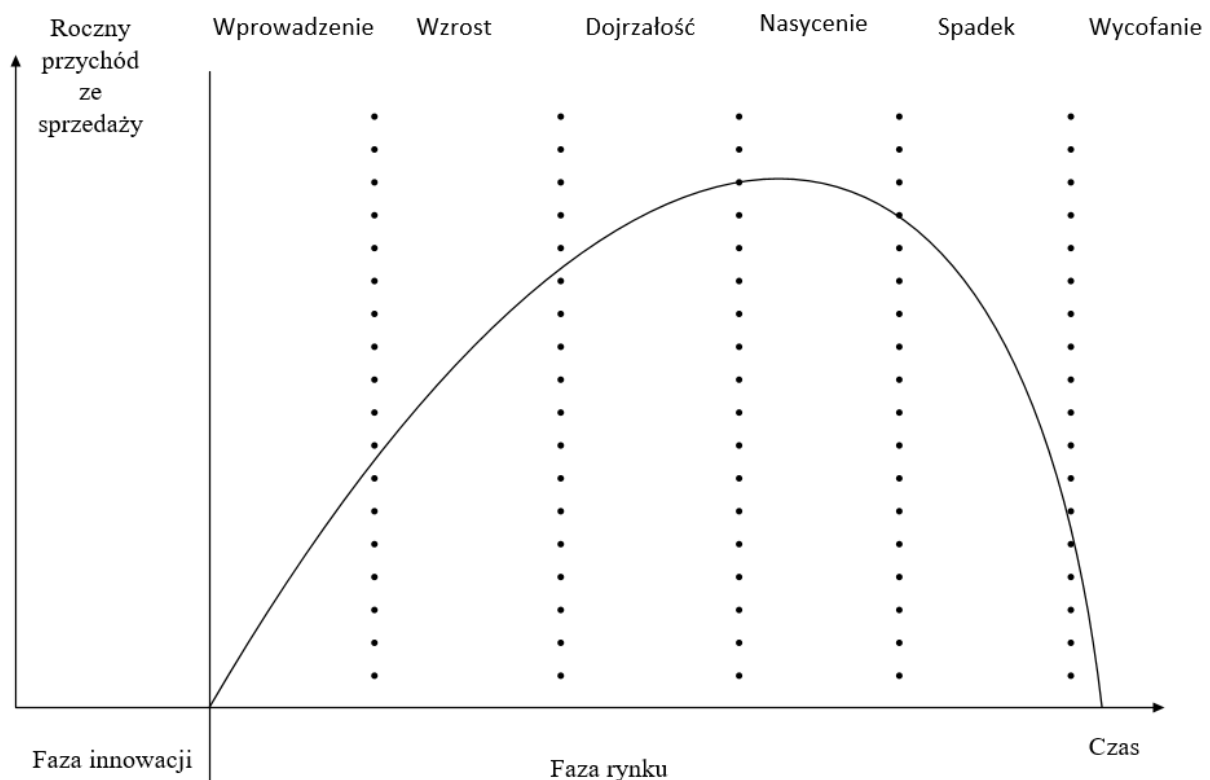
W branży bardzo dużą uwagę poświęca się cyklowi życia produktu, który składa się z fazy innowacji, gdzie ma miejsce stworzenie nowego produktu (m.in. planowanie produktu, opracowywanie produktu, przygotowanie produktu na wprowadzenie na rynek) oraz fazy rynku, w której z kolei można wyróżnić następujące etapy (Kreimeyer i inni, 2025; Vogl, 2025):

- wprowadzenie – produkt pojawia się na rynku w małych ilościach. Mogą mieć miejsce wysokie koszty marketingowe. Znajomość produktu jest mała. Panuje ograniczone zaufanie do produktu w przypadku kompletnie nowego produktu. Występują koszty wprowadzenia produktu na rynek,
- wzrost – wzrasta rozpoznawalność produktu. Może pojawić się pierwsza konkurencja. Mogą być zanotowane pierwsze zyski,

- dojrzałość – ma miejsce walka o udziały w rynku. Dynamika wzrostu przychodu zmniejsza się w porównaniu z fazą „Wzrost”. Na ogół zmniejsza się cena produktu, co może wpłynąć na zmniejszenie udziału marży,
- nasycenie – walka o udziały w rynku zaostrza się. Roczny przychód ze sprzedaży osiąga maksimum. Udział marży w dalszym ciągu zmniejsza się,
- spadek – zmniejszenie przychodu. Wymieranie produktu ma miejsce,
- wycofanie – produkt nie jest już produkowany. Ostatnie dostępne sztuki, w tym części zamienne są sprzedawane. W jego miejscu może pojawić się nowy.

Na poniższym wykresie 1 przedstawiono rozwój rocznego przychodu ze sprzedaży na poszczególnych etapach.

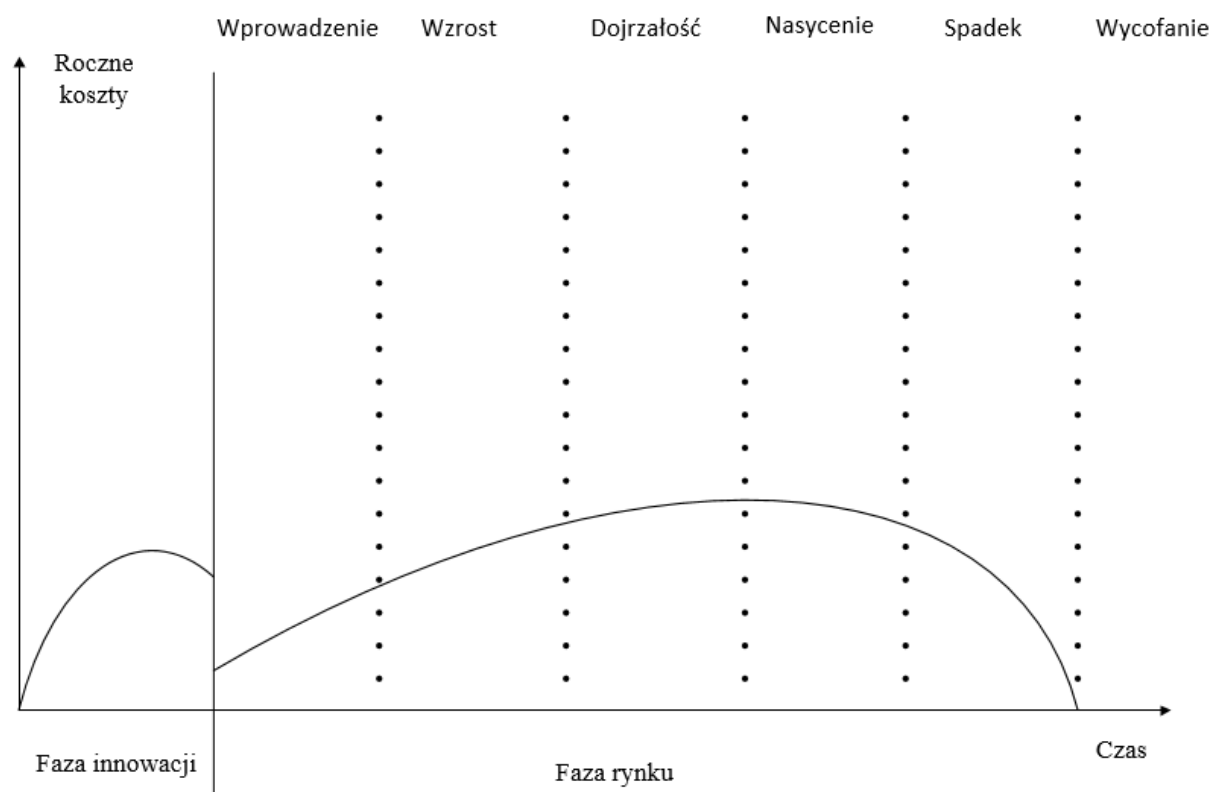
Wykres 1 Rozwój rocznego przychodu ze sprzedaży



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Vogl W. (2025). *Die Bewertung der Erfolgswahrscheinlichkeit von Software-Innovationen*. Norderstedt: Books on Demand GmbH oraz Kreimeyer M., Stölzle M. G., Dausch V. (2025) *Product Life Cycle*. W: Márquez García F. P. *Product Lifecycle Management*. London: IntechOpen.

Przychód ze sprzedaży ma miejsce na ogół od momentu wprowadzenia produktu na rynek, aż do momentu gdy nie jest on już dostępny na rynku. W przypadku kosztów, ich występowanie ma miejsce w obu fazach. Poniższy wykres 2 przedstawia ich kształtowanie się.

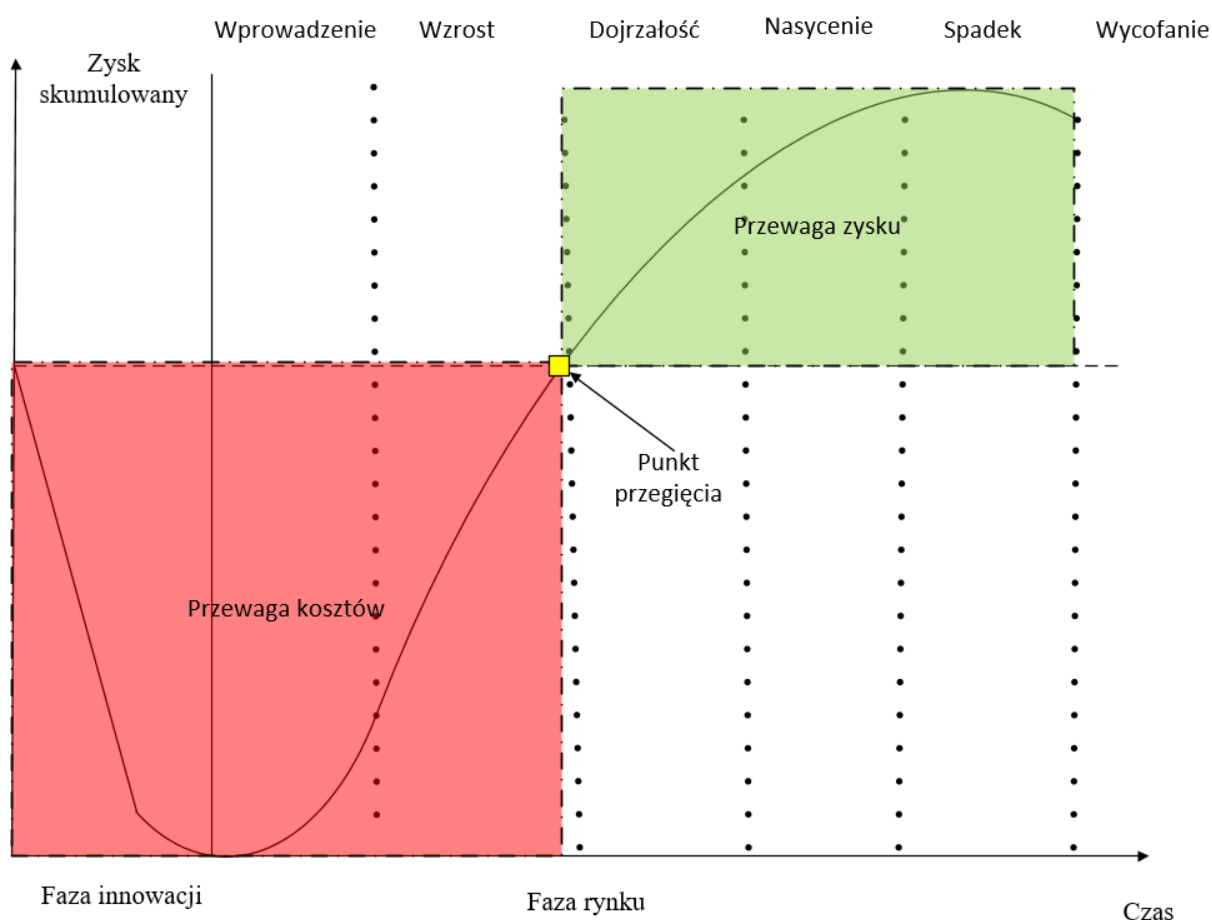
Wykres 2 Kształtowanie się kosztów



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Vogl W. (2025). *Die Bewertung der Erfolgswahrscheinlichkeit von Software-Innovationen*. Norderstedt: Books on Demand GmbH oraz Kreimeyer M., Stölzle M. G., Dausch V. (2025) *Product Life Cycle*. W: Márquez Garcia F. P. *Product Lifecycle Management*. London: IntechOpen.

Zestawiając ze sobą koszty i przychód ze sprzedaży na przestrzeni od pomysłu na produkt po jego wycofanie z rynku uwidacznia się skumulowany zysk. Został on przedstawiony na poniższym wykresie 3.

Wykres 3 Skumulowany zysk



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Vogl W. (2025). *Die Bewertung der Erfolgswahrscheinlichkeit von Software-Innovationen*. Norderstedt: Books on Demand GmbH oraz Kreimeyer M., Stölzle M. G., Dausch V. (2025) *Product Life Cycle*. W: Márquez Garcia F. P. *Product Lifecycle Management*. London: IntechOpen

W optymalnym funkcjonowaniu firma jest w stanie pokryć wysokie koszty poniesione w fazie innowacji przychodem ze sprzedaży produktu, który już z sukcesem został wprowadzony na rynek (Kreimeyer i inni, 2025).

Warto zaznaczyć, że najczęściej w organizacji pracuje się równocześnie nad rozwojem kilku produktów, a rzeczywisty czas trwania poszczególnych etapów badań i rozwoju każdorazowo różni się od siebie oraz jest trudny do przewidzenia. Z tego powodu podejmuje się działania, by zaistniałe niepewności „móc zmierzyć”, móc zidentyfikować wystąpienie niebezpieczeństwa błędnych decyzji – ryzyka (Timm, 1976). Przeprowadzenie oceny ryzyka jest kluczowe. Ocena obejmuje (Vanini i Rieg, 2021):

- analizę przyczyn ryzyka (czynniki ryzyka),
- ujęcie ilościowego oddziaływania ryzyka na finansowe i niefinansowe cele przedsiębiorstwa,
- ustalenie istotności pojedynczych ryzyk,

- agregacja pojedynczych ryzyk w ujęciu całościowym.

Podjęmowane wysiłki mają związek z występowaniem ryzyka niepowodzenia wprowadzenia produktu na rynek, które ma na celu odnieść sukces (przynieść zysk firmie). W fazie innowacji mogą mieć miejsce opóźnienia względem zaplanowanego harmonogramu i wystąpić nieoczekiwane problemy, a równocześnie przychody ze sprzedaży już dostępnych na rynku produktów mogą się zmniejszyć przez co może powstać luka finansowa, która z kolei może wpłynąć na stabilność finansową przedsiębiorstwa (Dindarian, 2024).

Kolejną charakterystyczną cechą branży jest szeroko praktykowane podejście projektowe. W klasycznym modelu podejścia projektowego występują następujące etapy (Woehe i Kurz, 2021):

- pomysł na produkt oraz zdefiniowanie produktu,
- analiza wymagań,
- dizajn produktu, dizajn danych, techniczny dizajn,
- techniczna i organizacyjna realizacja m.in. testy, odbiór i szkolenie,
- integracja i wdrożenie,
- działanie operacyjne.

W typowym przedsiębiorstwie z branży zaawansowanych technologii ma miejsce ciągła praca nad ulepszeniem dotychczasowych produktów jak i nad opracowaniem nowych innowacyjnych rozwiązań od zera. W związku z tym w branży zatrudnionych jest wielu naukowców oraz osób obsługi technicznej (Glasmeier, 2017).

Ze względu na dużą chłonność kapitału podczas fazy opracowywania innowacji w branży panują wysokie bariery wejścia na rynek. Ponadto w branży zwraca się szczególną uwagę na kwestie finansowania badań i rozwoju nowych produktów. W procesie sprzedaży wyróżnia się trzy fazy, w których można uzyskać finansowanie (Wirtz, 2024; Losarwarr i inni, 2023):

- pre sales – przedsprzedaży – jest to etap przed wprowadzeniem produktu na rynek. Przykładem przychodu jest grant badawczy na opracowanie nowego produktu czy zaliczka przyszłych potencjalnych klientów,
- sales – sprzedaży – na tym etapie produkt jest już dostępny na rynku i głównie z jego sprzedaży uzyskuje się przychód. Dodatkowo można uzyskać przychód z oferowanych usług finansowych, prowizji z gwarancji czy usługi dostawy,
- after sales – po sprzedaży – na tym etapie klient posiada już produkt. Producent może osiągnąć przychód poprzez wystawienie rachunku za prace konserwacyjne, prace naprawcze, czy dzięki sprzedaży części zamiennych.

Przedsiębiorstwa współtworzą sieci dostaw, które zostały szczegółowo opisane w następnym podrozdziale.

3.2 Specyfika sieci dostaw w branży zaawansowanych technologii

Sieci dostaw w branży zaawansowanych technologii podlegają często regulacjom. W obszarze militarnym obowiązuje konieczność utrzymania tajemnicy, co do współpracy, uczestników łańcucha dostaw, technologii i miejsca produkcji – wszelkich istotnych informacji mogących zagrozić utrzymaniu bezpieczeństwa. Wszystkie aspekty dotyczące wymiany wrażliwych informacji są prawnie uregulowane (Racine, 2022). Klienci mogą żądać wykluczenia udziału w sieci dostaw technologii, materiałów i pracowników z przez siebie wymienionych krajów. Ma to na celu zmniejszenie ryzyka utraty przewagi technologicznej lub w razie pogorszenia się stosunków dyplomatycznych przerwania łańcucha dostaw np. ze względu na sankcje (Roubini, 2022).

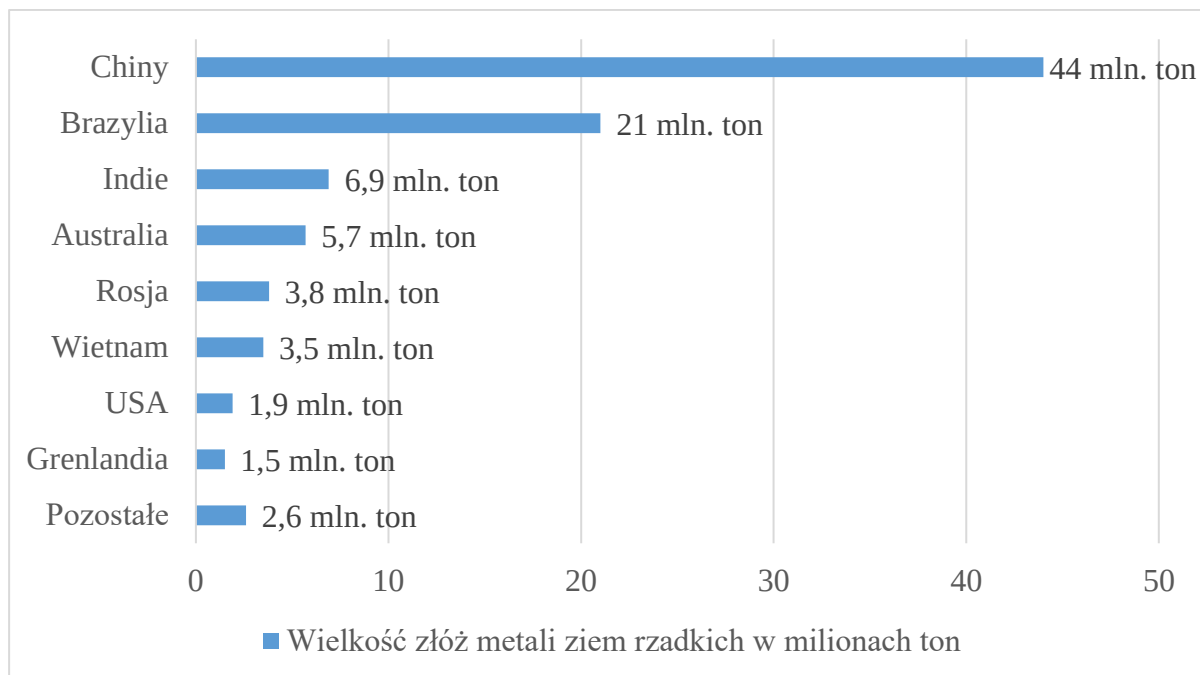
W celu wyprodukowania nowoczesnych produktów często potrzebne są tzw. metale ziem rzadkich, bez których nie można się obejść w produkcji zaawansowanych produktów. Obecnie istnieje zależność od Chińskiej Republiki Ludowej w kwestii pozyskania tych surowców (Tiemann, 2021). 60% rocznie wydobywanych surowców pochodzi z Chin. Do metali ziem rzadkich zalicza się następujące pierwiastki (Ge i inni, 2023):

- Skand (Sc),
- Itr (Y),
- Lantan (La),
- Cer (Ce),
- Prazeodym (Pr),
- Neodym (Nd),
- Promet (Pm),
- Samar (Sm),
- Europ (Eu),
- Gadolin (Gd),
- Terb (Tb),
- Dysproz (Dy),
- Holm (Ho),
- Erb (Er),
- Tul (Tm),
- Iterb (Yb),

- Lutet (Lu),

Metale ziem rzadkich wbrew nazwie występują w znacznych ilościach na świecie, ale wydobycie surowców jest drogie i powoduje obciążenie środowiska naturalnego przez co nie wszystkie kraje decydują się na ich wydobycie. Zidentyfikowane wielkości złóż metali ziem rzadkich zostały przedstawione na poniższym wykresie 4.

Wykres 4 Wielkość złóż metali ziem rzadkich w milionach ton w poszczególnych krajach



Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Janson M. (2025) *Wie abhängig ist die Welt von Seltenen Erden aus China?* de.statista.com de.statista.com/infografik/33751/natuerliche-reserven-an-seltenen-erden/ (30.11.2025)

Według niedawnych doniesień medialnych z listopada 2025 roku jest planowane rozpoczęcie wydobycia w Australii. Zarówno USA jak i Unia Europejska zamierzają wspomóc finansowo wydobycie w zamian za otrzymanie gwarancji dostaw, by stworzyć alternatywne niezależne od Chin źródło pozyskiwania metali ziem rzadkich. Niestety do czasu powstania alternatywnego źródła surowców, co może potrwać nawet kilka lat trzeba się będzie liczyć z wykorzystywaniem zależności od dostaw w geopolityce (tagesschau.de, 2025). Ten istotny stan rzeczy musi być wzięty pod uwagę w ramach ustalenia strategii zakupowej jak i poziomu zapasu bezpieczeństwa (Wellbrock i inni, 2025). Stanowi to wyzwanie dla menedżerów łańcuchów dostaw.

W sieci dostaw branży zaawansowanych technologii mogą wystąpić zakłócenia, których skutkiem może być nie dostarczenie wystarczającej ilości towaru o wymaganej jakości na czas. Ich przykładowe źródła mogą być następujące (Ivanov, 2021; Wang i Li, 2022; Burkhardt, 2021):

- w logistyce zaopatrzenia:

- błędy w planowaniu potrzeb materiałowych – wydłużenie czasu dostawy komponentów,
- brak przeprowadzenia certyfikacji dostawcy, czego skutkiem może być otrzymanie towaru niezgodnego ze specyfikacją,
- za późne wysłanie zamówienia,
- błędy w specyfikacji materiału wejściowego,
- w logistyce produkcji:
 - wybór błędnej strategii planowania produkcji,
 - brak alternatywnej metody produkcji,
 - brak identyfikacji wąskich gardeł,
 - niestabilne procesy produkcyjne (wysokie straty, dodatkowe kroki produkcyjne),
 - chaotyczne prioryzowanie produkcji,
 - błędy w planach produkcji,
- w logistyce dystrybucji:
 - błędne terminy wysyłki w systemie ERP,
 - brak zlecenia komisjonowania pomimo osiągnięcia terminu wysyłki,
 - brak opakowań,
 - za mała liczba pracowników,
 - za późne ustalenie wszystkich kwestii dot. specyfikacji produktu,
- w zarządzaniu łańcuchem dostaw:
 - za krótki czas ustalony z klientem na realizację zamówienia produktu gotowego,
 - brak ustalonych gwarancji odbioru produktów gotowych, przez co brak zapasów bezpieczeństwa,
 - brak, niewystarczająca komunikacja z partnerami,
 - brak alternatywnego dostawcy,
 - brak przeprowadzonej analizy ryzyka uwzględniającej m. in. katastrofy naturalne, globalne pandemie, polityczne zawirowania, wstrząsy gospodarcze, ataki terrorystyczne i cybernetyczne, niezetelność dostawców oraz dynamiczne wahania popytu klientów jak i zmiany ich preferencji.

Następstwem zakłóceń systemu produkcyjnego u dostawcy może być nie zrealizowanie dostaw do klientów na czas, co w konsekwencji może skutkować utratą slotu produkcyjnego u klienta (producenta – np. wykonującego montaż) oraz utratą przychodu całego łańcucha dostaw. W sytuacji, gdy terminy realizacji zleceń regularnie nie są w stanie być dotrzymane,

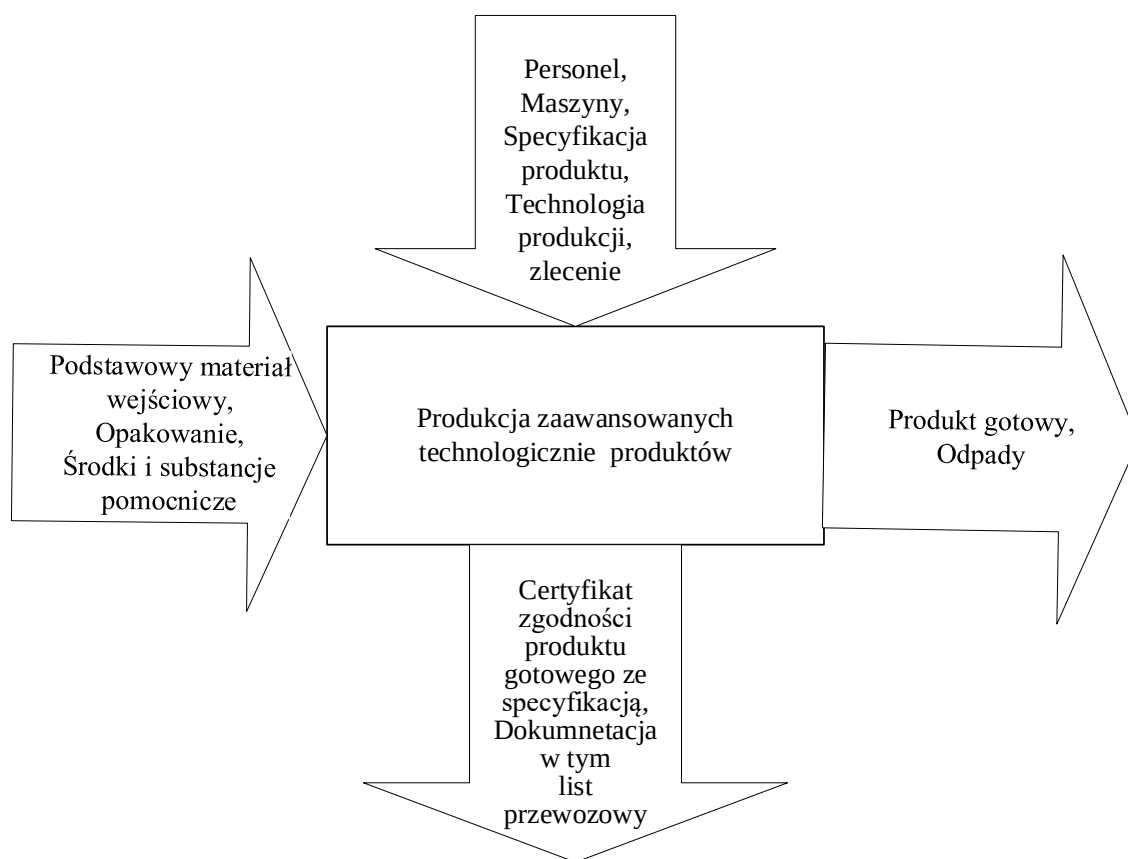
zlecniodawca może w konsekwencji ograniczyć ilości zleconych produktów w łańcuchu dostaw, bądź całkowicie zrezygnować ze współpracy (Helmold, 2022). Wtedy dotychczasowy łańcuch dostaw przestaje istnieć.

W branży zaawansowanych technologii kładzie się również wysoki nacisk na jakość i powtarzalność, stabilizację procesów w produkcji produktów. W związku z tym w branży (sieciach dostaw) na szeroką skalę występują certyfikaty potwierdzające zgodność produktów ze specyfikacją. CoC (ang. Certificate of Conformity) jest dokumentem potwierdzającym, że dany produkt, materiał spełnia określone standardy czy wymagania. Dokument wystawiany jest przez dostawcę, producenta lub firmę trzecią (Markus, 2023). Użytkownik otrzymując certyfikat wie, że produkt lub materiał jest bezpieczny w użyciu. Ściśle związane z bezpieczeństwem użytkowania jest również zamrożenie specyfikacji oraz zarządzanie zmianą, które są powszechne w sieciach dostaw. Zamrożenie specyfikacji polega na uprzednim ustaleniu właściwości produktu m.in. jego wymiarów, materiałów czy sposobu mierzenia jego istotnych właściwości z klientem. Gdy specyfikacja jest ustalona nie ma już możliwości jej zmiany z błahego powodu. W przypadku wykrycia błędu po czasie, chęci wprowadzenia optymalizacji (ze względu na ulepszenie parametrów lub zmniejszenie kosztów) ma miejsce zarządzanie zmianą, które ma za zadanie zrealizować przez klienta zainicjowane zmiany w produkcie (Borgeest, 2023; Schmidt i Dietrich, 2023). Zważywszy na powyższe aspekty w branży zarówno uprzednio przeprowadzenie certyfikacji dostawcy (np. w ramach produkcji prototypów), jak i sam proces produkcyjny często muszą być stałe, niezmiennie by móc zagwarantować powtarzalność produkcji jak i zminimalizować prawdopodobieństwo wystąpienia odchylenia w jakości produktu, błędu w produkcji. W związku z tym w branży budowane są trwałe relacje w sieciach dostaw. Nie można bez niepoinformowania klienta zmienić sposobu produkcji czy zmienić swojego dostawcę, chyba że uprzednio otrzymano na to zgodę np. miał miejsce odbiór produktów wyprodukowanych alternatywną technologią. W innym przypadku klient może stracić zaufanie i zaprzestać współpracy (Levin i inni, 2024).

Z racji rozwoju technologicznego następuje ciągły rozwój nowych technologii produkcji komponentów wyrobów gotowych. By sprostać wymaganiom użytkowników ma miejsce nie tylko opracowywanie nowych technologii produkcyjnych, kompletnie nowych produktów zaspokajających ich nowe potrzeby, lecz także w istniejących już produktach następuje częsta zmiana ich komponentów. Konsekwencją tego jest ograniczenie możliwości produkcji komponentów w trybie „na magazyn”, bez aktywnego (zawartego) kontraktu bądź zamówienia. Bez otrzymania pisemnego zapotrzebowania wyprodukowane części o danej specyfikacji mogą już nigdy nie zostać zamówione i w konsekwencji okazać się stratą dla producenta, dostawcy.

Zmiana specyfikacji może okazać się na tyle istotna, że przed potwierdzeniem zamówienia konieczne jest sprawdzenie wykonalności wyprodukowania części, bądź potwierdzenie zamówienia z zastrzeżeniem. Coraz częściej występującą formą zabezpieczenia się dostawcy wobec możliwości wystąpienia nagłych zmian zainicjowanych przez klienta są kontrakty ilościowe i/lub klauzule wyjścia. Klauzule wyjścia regulują postępowanie w razie istotnej zmiany produktu lub rezygnacji ze współpracy, a kontrakty dają gwarancję odbioru (Janits, 2024; Leong, 2024). Te rozwiązania nie są jednak stosowane w każdym przypadku.

Rysunek 6 przedstawia uproszczony schemat systemu produkcyjnego ukazujący dwa wejścia i dwa wyjścia. Wejście i wyjście poziome ukazuje przepływ materiałowy, natomiast wejście i wyjście pionowe przepływ informacji oraz udział zasobów.



Rys. 6 Wizualizacja systemu produkcyjnego

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Löffler-Mang M., Naumann H., Schröder G. (2020). *Handbuch Bauelemente der Optik. Grundlagen, Werkstoffe, Geräte, Messtechnik*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG oraz Saleh B.E.A., Teich M.C. (2020). *Optik und Photonik*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

W zależności od branży macierzystej jak i wielkości poszczególnych uczestników sieci dostaw zaawansowane logistyczne podmiotów różni się od siebie. Na ogół im większy podmiot, tym większe zaawansowanie w procesach, większe aspiracje do sterowania całymi łańcuchami

dostaw oraz ambicja definiowania zasad, reguł mających na celu minimalizację własnych kosztów poprzez np. dostawy Just in Time (Blakeley, 2024).

3.3 Strategiczne postrzeganie branży

Siła militarna, wzrost gospodarczy i zaangażowanie w działania na arenie międzynarodowej stały się trzema kluczowymi sposobami demonstracji potęgi przez państwa w obecnych czasach. Uwzględnienie rozwoju technologii w narodowych strategiach pokrywa się z panującym na całym świecie przekonaniem, że zaawansowanie naukowe i technologiczne ma bezpośredni wpływ na rozwój (Lele, 2021). Branża zaawansowanych technologii wpisuje się bardzo dobrze w to przekonanie. W tabeli 3 wyróżniono koncerny, które są postrzegane jako część branży zaawansowanych technologii i równocześnie są przynależne do innych branż.

Tabela 3 Koncerny branży zaawansowanych technologii

Branża macierzysta	Nazwa koncernu	Siedziba główna	Przychód w roku biznesowym 2024
Przemysł chemiczny	BASF SE	Ludwigshafen (Niemcy)	65,3 mld euro
Przemysł farmaceutyczny	BAYER AG	Leverkusen (Niemcy)	46,6 mld euro
Przemysł zbrojeniowy	RHEINMETALL AG	Düsseldorf (Niemcy)	9,8 mld euro
Przemysł lotniczy i rakietowy	AIRBUS SE	Blagnac (Francja)	69,2 mld euro
Przemysł elektroniki użytkowej	ROBERT BOSCH GMBH	Stuttgart (Niemcy)	90,3 mld euro
Przemysł środków transportu	VOLKSWAGEN GROUP	Wolfsburg (Niemcy)	324,7 mld euro
Przemysł precyzyjny	ZEISS GRUPPE (CARL ZEISS)	Oberkochen (Niemcy)	10,9 mld euro
Przemysł IT	SAP SE	Walldorf (Niemcy)	34,2 mld euro
Przemysł elektroniki przemysłowej	KLA CORPORATION	Milpitas (USA)	9,8 mld dolarów

Przemysł technologii medycznej	METTLER- TOLEDO INTERNATIONAL INC.	Columbus (USA)	3,9 mld dolarów
--------------------------------	------------------------------------	----------------	-----------------

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: *Gewinn- und Verlustrechnung* BASF SE bericht.basf.com/2024/de/konternabschluss/gewinn-und-verlustrechnung.html (26.11.2025); *Geschäftsbericht 2024* BAYER AG bayer.com/sites/default/files/2025-03/bayer-geschaeftsbericht-2024.pdf (26.11.2025); *2024 Jahresabschluss der Rheinmetall AG* Rheinmetall AG ir.rheinmetall.com/de/investor/veroeffentlichungen/finanzberichte (26.11.2025); *Airbus Annual Report 2024* Airbbus SE airbus.com/sites/g/files/jlcbta136/files/2025-04/Airbus%20Annual%20Report%202024.pdf (26.11.2025); *Was wir machen* Robert Bosch GmbH bosch.de/unternehmen/bosch-gruppe-weltweit/#was-wir-machen (26.11.2025); *Volkswagen Group mit solidem Jahresergebnis 2024 und robustem Ausblick* Volkswagen Group volkswagen-group.com/de/pressemitteilungen/volkswagen-group-mit-solidem-jahresergebnis-2024-und-robustem-ausblick-19043 (27.11.2025); *Geschäftsbericht 2023/24* ZEISS GRUPPE ZEISS GRUPPE zeiss.com/geschaeftsbericht/home.html?vaURL=www.zeiss.de/geschaeftsbericht (27.11.2025); *Konzern-Gewinn- und Verlustrechnung des SAP-Konzerns für die jeweiligen Geschäftsjahre* SAP SE sap.com/integrated-reports/2024/de/datahub/financial-data.html (27.11.2025); *KLA Corporation Reports Fiscal 2024 Fourth Quarter Results and Full Year Results* KLA Corporation ir.kla.com/news-events/press-releases/detail/478/kla-corporation-reports-fiscal-2024-fourth-quarter-results (27.11.2025); *Investor Relations* Mettler-Toledo International Inc. investor.mt.com/investor-home/default.aspx (27.11.2025)

Z racji tego, że firmy wymienione w powyższej tabeli są aktywne na wielu rynkach, posiadają wiele fabryk na całym świecie i mają w ofercie wiele produktów w różnym stadium rozwoju oraz rozwiązania o różnym stopniu zaawansowania technologicznego staje się niemożliwe oszacowanie wartości sprzedaży poszczególnych grup produktów. Również w przypadku mniejszych producentów, czy dostawców nie jest inaczej. W związku z tym wartość branży, czy liczba pracowników bezpośrednio zaangażowana w badania i rozwój nowych innowacyjnych produktów jest trudna do oszacowania. Dodatkowo nie ma ujednoliconej definicji, kiedy produkt jest innowacyjny, a kiedy przestaje im być (Patiño-Galván, 2023). Niemniej jednak badacze nie kwestionują korzystnego wpływu firm na innowacyjność jak i rozwój gospodarek. (Chen i inni., 2023). Ponadto, jawne innowacje bardzo dobrze da się wykorzystać w celach marketingowych przez co wiele firm spoza branży zaawansowanych technologii prezentuje swoje produkty klientom jako wysoce innowacyjne rozwiązania mające zaspokoić ich potrzeby (Schlimok i von Lehsten, 2024). Dodatkowo firmy niechętnie „chwalać” się niepowodzeniami, które też mają miejsce. Szacuje się, że między 50 a 90% wszystkich projektów mających na celu opracowanie nowego produktu kończy się niepowodzeniem. 40% produktów doznaje niepowodzenia bezpośrednio przy wprowadzeniu na rynek. W przypadku opracowania 7 do 10 koncepcji nowego produktu tylko jedna debiutuje na rynku. Tylko 13% przedsiębiorstw podaje, że ich roczny zysk ze sprzedaż nowych produktów osiąga uprzednio ustalony cel (Götzenbrugger, 2023).

Bardzo interesująca sytuacja ma obecnie miejsce w obszarze produkcji półprzewodników. Półprzewodniki są podstawowymi elementami technologii cyfrowych i są najbardziej rozpowszechnione w telekomunikacji, komputerach oraz innych urządzeniach elektronicznych. Poza tym chipy znajdują zastosowanie w pojazdach samochodowych i urządzeniach medycznych. Produkcja półprzewodników odbywa się w wyspecjalizowanych przedsiębiorstwach. Jest ona wysoce opłacalna. W globalnym łańcuchu dostaw żadne z państw, czy regionów świata nie posiada kontroli nad całym łańcuchem. By móc rozpocząć produkcję najpierw musi zostać opracowany dizajn. Kolejno ma miejsce wytworzenie płytki krzemowej na której wymiennie osadzone są cienkie warstwy materiałów, ma miejsce litografia, a niepotrzebne warstwy są usuwane. Procesy te powtarzane są nawet kilkaset razy. Następnie ma miejsce testowanie, cięcie i pakowanie. Gotowe chipy przed wysyłką do klienta poddawane są ostatecznemu testowi. Chipy są komponentem wejściowym dla firm, które montują je w swoich produktach (Maiti, 2023; OECD, 2023). Dodatkowo wraz z rozwojem kompleksowości elektroniki oraz sztucznej inteligencji wzrasta zapotrzebowanie na chipy o wysokiej wydajności, które znajdują zastosowanie m. in. w centrach obliczeniowych, bez których sztuczna inteligencja nie może się obejść (Bauberger, 2020). Wiele państw uznało więc, że produkcja półprzewodników jest kluczowa w celu utrzymania, uzyskania przewagi konkurencyjnej wobec innych. W USA od lat 90 spada produkcja chipów, w związku z tym rząd uchwalił w 2022 roku „CHIPS Act of 2022”, by zwiększyć niezależność od dostaw z zagranicy. Liderem na rynku jest firma TSMC mająca siedzibę w Tajwanie, która w 2023 roku miała udział wynoszący 90% w produkcji najbardziej zaawansowanych chipów na świecie. Działania podjęte przez rząd USA mają konkretnie na celu przeciwdziałać problemom w dostawach i produkcji chipów. Efektem ma być również rozszerzenie kompetencji w projektowaniu oraz zwiększenie zdolności produkcyjnych w USA. W sumie 52,7 mld dolarów ma być przeznaczone na badania, rozwój oraz produkcję półprzewodników (Begun i Chowdary, 2024). W 2023 roku Komisja Europejska w ramach reakcji na działania USA uchwaliła „European Chips Act” (Almeida, 2024). Celem jest zwiększenie odporności łańcuchów dostaw, zmniejszenie zależności z zewnątrz oraz podwojenie udziału w światowym rynku, konkretnie osiągnięcie 20% udziałów w 2030 roku. Wartość wydatków publicznych oraz prywatnych ma wynieść 43 mld euro (OECD, 2023). W Chinach również tamtejszy rząd przeznacza bardzo znaczne środki (miliardowe kwoty) w celu zbudowania własnej produkcji i posiadania całego łańcucha dostaw od wydobycia surowców po produkt gotowy w własnym kraju. Celem jest zdominowanie rynku półprzewodników, jednak na obecną chwilę cel ten nie został osiągnięty (Breuer, 2024; Miller, 2023). Również z powodu kontroli eksportu najnowszej

generacji maszyn, chipów i technologii do Chin, która została zastrzona w 2022 roku z inicjatywy USA. Cel zdominowania światowego rynku staje się jeszcze bardziej trudniejszy do osiągnięcia (Jamil i Gerstl, 2026). Kontrola eksportu tradycyjnie ma miejsce ze względu na bezpieczeństwo narodowe, ograniczając handel towarami i technologiami podwójnego zastosowania, które mają zarówno cele cywilne jak i wojskowe (Schild i Schmidt, 2024). Dodatkowo kwestia Tajwanu ma istotne znaczenie w kontekście utrzymania obecnej sytuacji. Tajwan, który oficjalnie nosi nazwę Republiki Chińskiej postrzega Chińską Republikę Ludową jako część własnego terytorium i na odwrót. Na arenie międzynarodowej Tajwan nie jest uznawany jako niezależne państwo. Strategiczne położenie Tajwanu oraz jego wysoce rozwinięta produkcja półprzewodników sprawiają, że dla USA Tajwan jest kluczowy. W przypadku przejścia kontroli nad Tajwanem przez Chińską Republikę Ludową Stany Zjednoczone zostałyby wyparte z regionu i straciłyby wpływy (Huang, 2025). Ta sytuacja gwarantuje bezpieczeństwo Tajwanowi, utrzymanie dotychczasowego stanu rzeczy.

3.4 Rola branży w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa narodowego

W oparciu o wiedzę historyczną w sytuacji, w której to potężny potencjalny agresor stanowi zagrożenie bezpieczeństwa kładzie się nacisk na rozwój technologii wojskowej mając nadzieję, że w razie konfliktu uda się go pokonać. Takie podejście rozwinęło się na przestrzeni lat i do dziś ma miejsce wyścig w opracowywaniu coraz to nowszych typów broni. Samo posiadanie technologii militarnej nie prowadzi do zwycięstwa. Każdy militarny wynalazek jest dopiero wtedy skuteczny, kiedy zostanie z sukcesem zintegrowany w organizacji wojskowej i jego użycie w ramach teoretycznego konceptu jest przemyślane (Kopōtin i inni, 2025; Lele, 2021).

Tradycyjnie pod pojęciem bezpieczeństwo narodowe rozumie się ochronę przed zewnętrznymi atakami. W związku z tym w ramach polityki bezpieczeństwa (ang. National Security Policy) kraj ma być przygotowany pod względem militarnym na zagrożenia militarne z zewnątrz. Przykładowo w konstytucji USA jest napisane, że to centralny rząd ma za zadanie zapewnić zdolności obronne w celu odparcia zewnętrznych ataków (Kracht, 2022). W praktyce oznacza to przede wszystkim inwestowanie w zdolności militarne i zawieranie sojuszków militarnych. Również obecność podmiotów należących do branży zaawansowanych technologii zwiększa poziom bezpieczeństwa kraju poprzez:

- wielu zatrudnionych pracowników naukowych, technologów i specjalistów, którzy mogą pracować nad unowocześnieniem sprzętu wojskowego lub opracowaniu nowych rozwiązań mających na celu osiągnięcie przewagi technologicznej. Przykładowo w 2025 roku koncern Trumpf zdecydował się na rozpoczęcie prac nad opracowaniem

technologii laserowej mającej na celu unieszkodliwić bezzałogowe drony. Użycie takiego rozwiązania (lasera) byłoby znacznie tańsze w porównaniu z obecnymi możliwościami (Buchenau i Tyborski, 2025).

- możliwość zmiany charakteru produktu z cywilnego w wojskowy,
- możliwość sprawnej rozbudowy zdolności produkcyjnych produktów (w tym części zamiennych) i amunicji wojskowej w razie konfliktu.

W przypadku konfliktu to oferowane produkty podmiotów z branży mogą zdecydować o jego wyniku. Przedsiębiorstwa branży zaawansowanych technologii stają się istotną częścią systemu bezpieczeństwa narodowego. Poprzez wrogie działania w ramach wojny hybrydowej, która łączy ze sobą klasyczne działania militarne z naciskiem gospodarczym, atakami komputerowymi oraz szerzeniem propagandy może zostać zagrożone bezpieczeństwo narodowe. W ramach wojny hybrydowej wykorzystuje się całe spektrum terroryzmu by spowodować szkodę. Granice pomiędzy strategicznym, taktycznym i operacyjnym poziomem działania oraz ofensywne i defensywne działania zacierają się (Goertz, 2024). Potencjalne występowanie takich działań kreuje nowe wyzwania dla menedżerów łańcuchów dostaw, polegające na zapewnieniu ciągłości dostaw.

4 PRZYGOTOWANIE DO BADAŃ SYMULACYJNYCH

4.1 Sytuacja wyjściowa do badań symulacyjnych

W badanym podmiocie zaliczającym się do producentów szklanych elementów optycznych nie podchodzono w sposób adekwatny do kwestii logistyki, zarządzania łańcuchem dostaw. Jeszcze dekadę temu uważano, iż sam fakt posiadania umiejętności wyprodukowania wyrobu o wysokiej jakości, spełniającego bardzo wyśrubowane wymagania klienta wystarczy by utrzymać się na rynku i móc się rozwijać. Uważano, iż klient z racji braku alternatywnego dostawcy, przy ich ograniczonej liczbie poczeka, aż produkt zostanie wyprodukowany. Ewentualne straty np. w przypadku zmiany właściwości produktu i pozostaniu z produktem (kosztami) tylko w nieznacznym stopniu zmniejszały wysoką marżę. Taka sytuacja była możliwa dzięki jak już wspomniano ograniczonej ilości podmiotów, wysokim barierą wejścia na rynek oraz sukcesywnie rosnącemu popytowi. Obecnie ma miejsce zmiana zasad panujących na rynku. W ciągu ostatnich kilku lat powstało wiele nowych firm, które są w stanie wyprodukować w zadowalającym stopniu (o wystarczających właściwościach) dużą część już istniejących, a dalej potrzebnych produktów w niższej cenie i na czas. W związku z tym coraz więcej uwagi poświęca się kwestiom logistyki, zarządzania łańcuchem dostaw. Zauważono brak rozwiązań „szytych na miarę” dla branży zaawansowanych technologii uwzględniających jej specyfikę, do której należy podmiot.

W podmiocie, który znajduje się w środku łańcucha dostaw ma obecnie miejsce transformacja podejścia do zarządzania łańcuchem dostaw. Dawne poglądy dotyczące podejścia do biznesu ulegają powoli zmianie. Proces tworzenia zarządzania łańcuchem dostaw przede wszystkim rozwija się w obszarze projektów dla branży półprzewodników, która również jest postrzegana za część branży zaawansowanych technologii. Wśród korzyści utworzenia obszaru zarządzania łańcuchem dostaw w badanym podmiocie zalicza się m.in.:

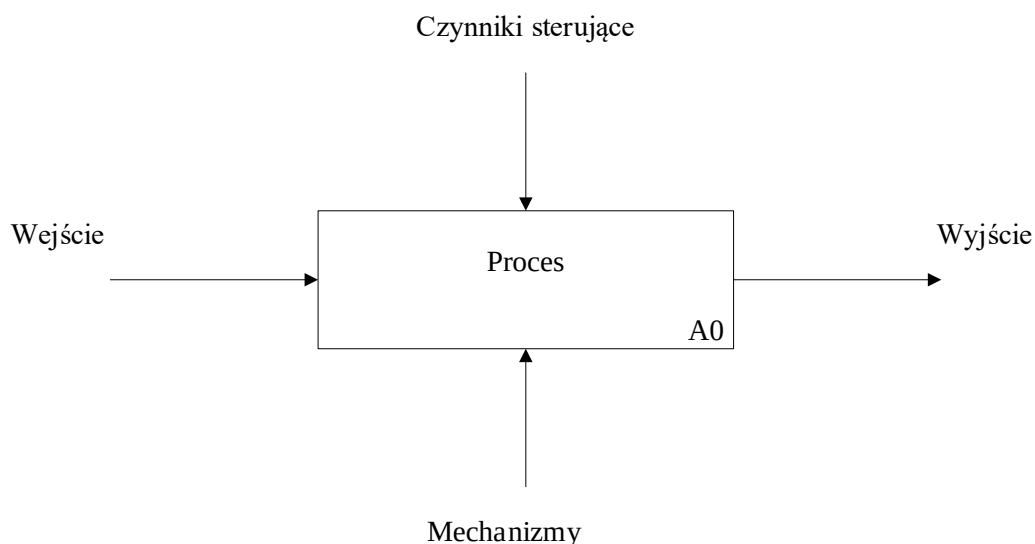
- zwiększenie intensywności spotkań, wymiany informacji z uczestnikami łańcucha dostaw,
- ustalenie jednego głównego zapasu bezpieczeństwa materiału w łańcuchu dostaw zmniejszającego wrażliwość łańcucha dostaw na zakłócenia,
- ustalenie wraz z klientami przewodniej strategii produkcji w podmiocie,
- ustalenie i zakomunikowanie realnego czasu realizacji zamówienia,
- otrzymanie wglądu w system planowania materiałowego klienta (okres do roku),
- otrzymywanie regularnie prognoz rozwoju segmentu (co najmniej dwóch lat).

Uzyskane w ten sposób informacje umożliwiają zwiększenie odporności łańcucha dostaw na zakłócenia, a w razie ich wystąpienia na zmniejszenie ich wpływu. Menedżer łańcucha dostaw w tym wybranym segmencie jest głównym partnerem w ustalaniu kwestii logistycznych. To on wspólnie z partnerami ma za zadanie opracować oraz wdrożyć rozwiązania mające na celu niedopuszczenie do opóźnień w dostawach.

Niestety z racji sceptycznego podejścia do reform, zmian zarządzanie łańcuchem dostaw nie ma miejsca w segmencie rynku, który zostanie zbadany. Z tego powodu wystąpienie niebezpieczeństwa zakłóceń wpływającego na ciągłość dostaw może być dodatkowo zwiększone. Co gorsze, zakłócenia mogą zostać zauważone dopiero w przypadku wystąpienia przerw w dostawach, gdy jest już za późno.

4.2 Analiza systemu logistycznego podmiotu badań

W procesie badawczym wykorzystano metodę IDEF0 (ang. Integration Definition for Function Modelling) w celu zdefiniowania i dekompozycji systemu logistycznego podmiotu badań, dokonania analizy systemu. Podstawą koncepcji IDEF0 jest w zwięzły graficzny sposób zaprezentowanie komunikacji w ramach aktywności modelowania. Diagramem IDEF0 jest graf z zdefiniowanymi elementami (składnią) i relacjami (semantyką). Reguły zawierają cel, punkt odniesienia, design dla elementów graficznych oraz zasady unikalności nazw oraz etykiet w diagramie. Ustalone rozmieszczenie każdego pola w diagramie wraz ze strzałkami oraz tekstem objaśniającym znaczenia przekazują spójny przekaz wizualny. IDEF0 ma charakter hierarchiczny. Począwszy od najwyższego poziomu (A0), gdzie ukazane są główne procesy po subprocesy ukazane na niższych poziomach. Tym samym wyszczególnienie procesów mających miejsce w obiekcie badań zawiera się w ramach przeprowadzenia metody. Diagram IDEF0 składa się z dwóch podstawowych elementów, kostki oraz strzałki. Strzałka jest skierowaną linią zawierającą jeden bądź kilka segmentów. Ma ona charakter wejściowy lub łączy przenoszone dane, czy obiekty od źródła do celu. Kostka jest w kształcie prostokąta i zawiera nazwę oraz numer porządkowy procesu, aktywności (Diskerson i Mavris, 2010). Wizualizację kostki wraz ze strzałkami przedstawiono na poniższym rysunku 7.



Rys. 7 Kostka wraz z wejściami i wyjściem w notacji IDEF0

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Rouse W.B. i Sage A.P. (2009). *Handbook of systems engineering and management. Second Edition*. Hoboken: John Wiley & Sons

Z lewej strony kostki znajduje się wejście, z którego elementy będą podlegać transformacji.

Przykładem elementów wejścia są:

- materiał wejściowy,
- informacje,
- zamówienie.

Czynniki sterujące znajdują się powyżej kostki i są zbiorem warunków, które wspomagają lub ograniczają wydajność procesu. Przykładem są:

- polityka, strategia organizacji,
- wymogi jakościowe,
- procedury.

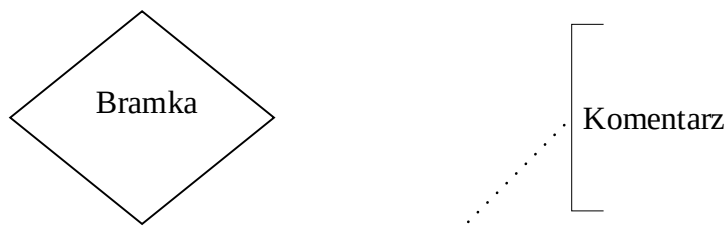
Wyjście znajduje się z prawej strony kostki. W wyniku transformacji (realizacji procesu) powstały rezultaty, przykładowo:

- części, półprodukty, produkt gotowy,
- usługi, świadczenia,
- informacje, dokumenty.

Mechanizmy znajdują się poniżej kostki i są środkami za pomocą których proces jest realizowany. Przykładem są:

- personel,
- nieruchomości,
- specjalne wyposażenie.

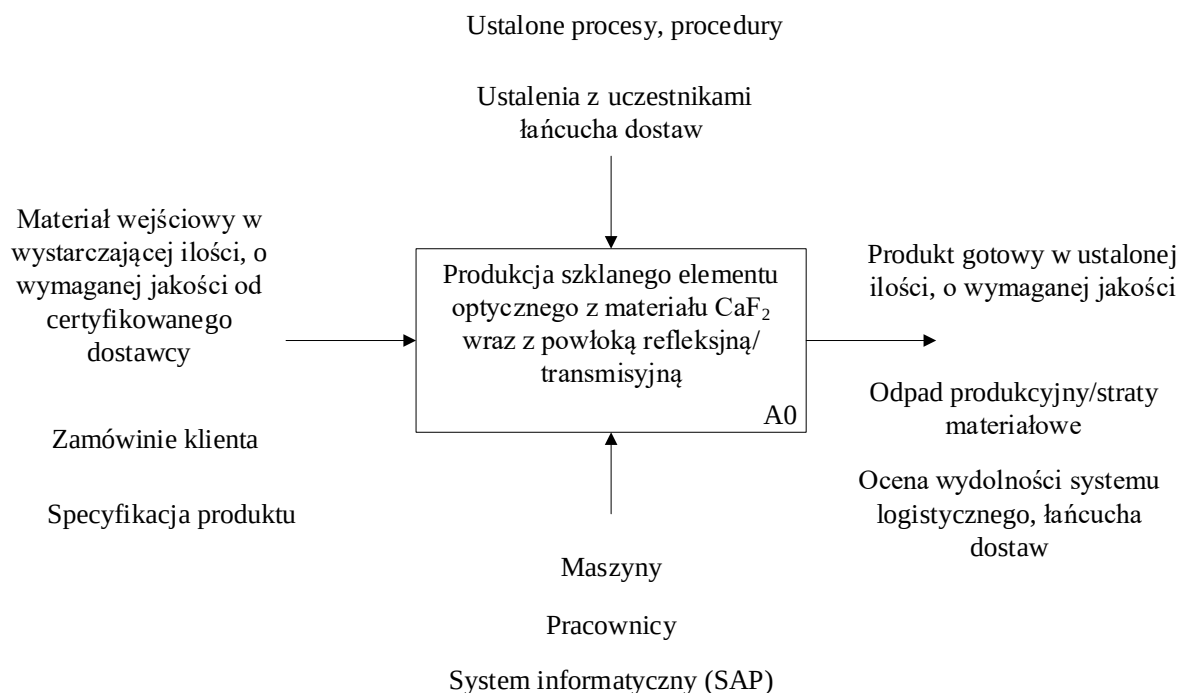
Podsumowując, wejście podlega transformacji w wyjście w ramach procesu (aktywności), za pomocą mechanizmu, kierowane czynnikami sterującymi. Konkretnie procesy, wejścia, wyjścia, mechanizmy i czynniki sterujące zależą od tematyki jaka jest podejmowana (Boucher i Yalçın, 2006). Dodatkowo w ramach uzupełnienia metody IDEF0 został wykorzystany symbol komentarza oraz bramki. Poniższy rysunek 8 przedstawia symbole.



Rys. 8 Symbol bramki oraz komentarza

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Herbig N. i Schewe S. (2020). *Lean Administration. Methoden der Prozessvisualisierung und –optimierung, Tätigkeitsanalyse, Kennzahlen und Office Management*. Norderstedt: BoD – Books on Demand GmbH

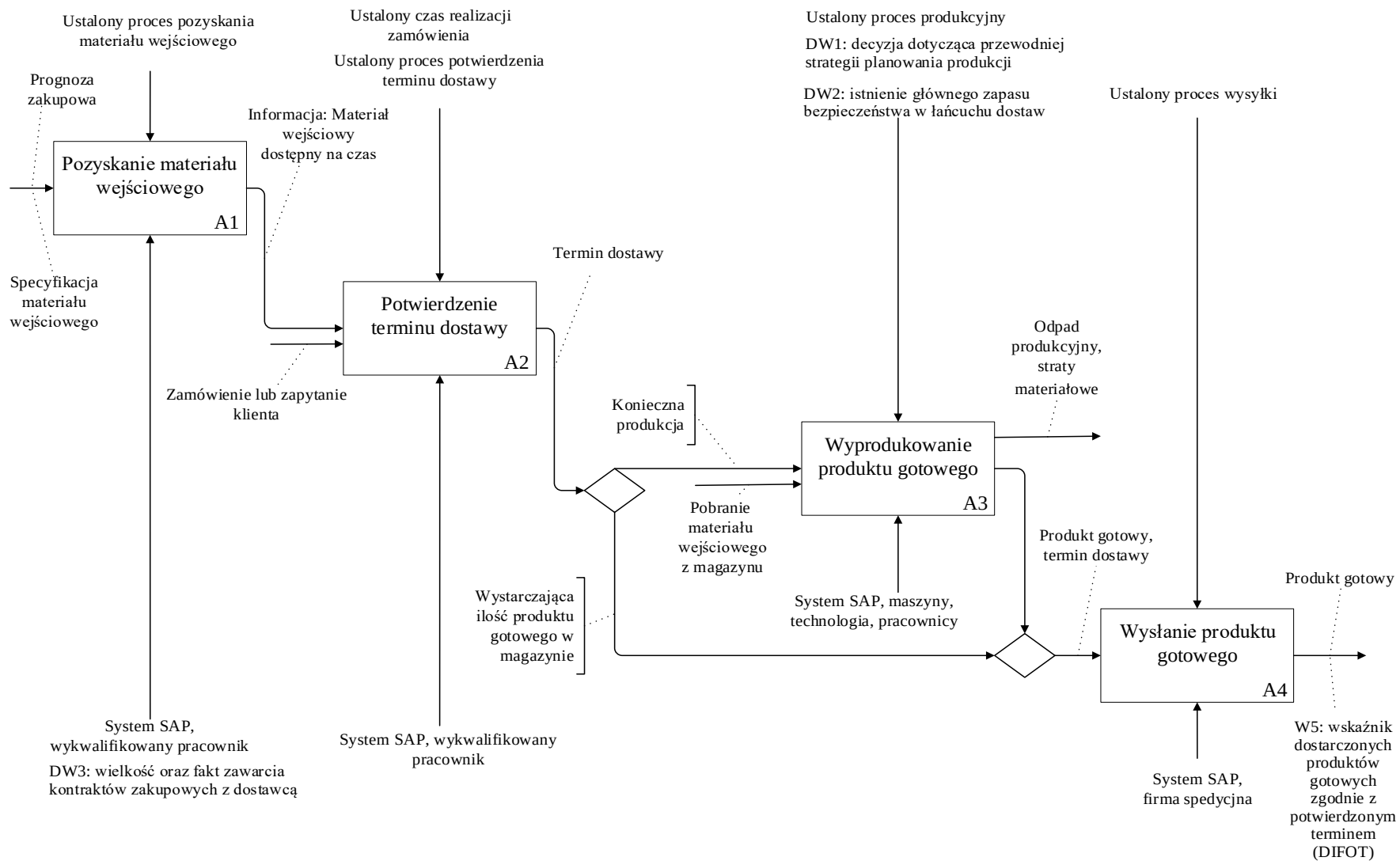
Analizę systemu logistycznego badanego podmiotu rozpoczęto od wizualizacji na najwyższym poziomie A0. Poniższy rysunek 9 przedstawia wizualizację.



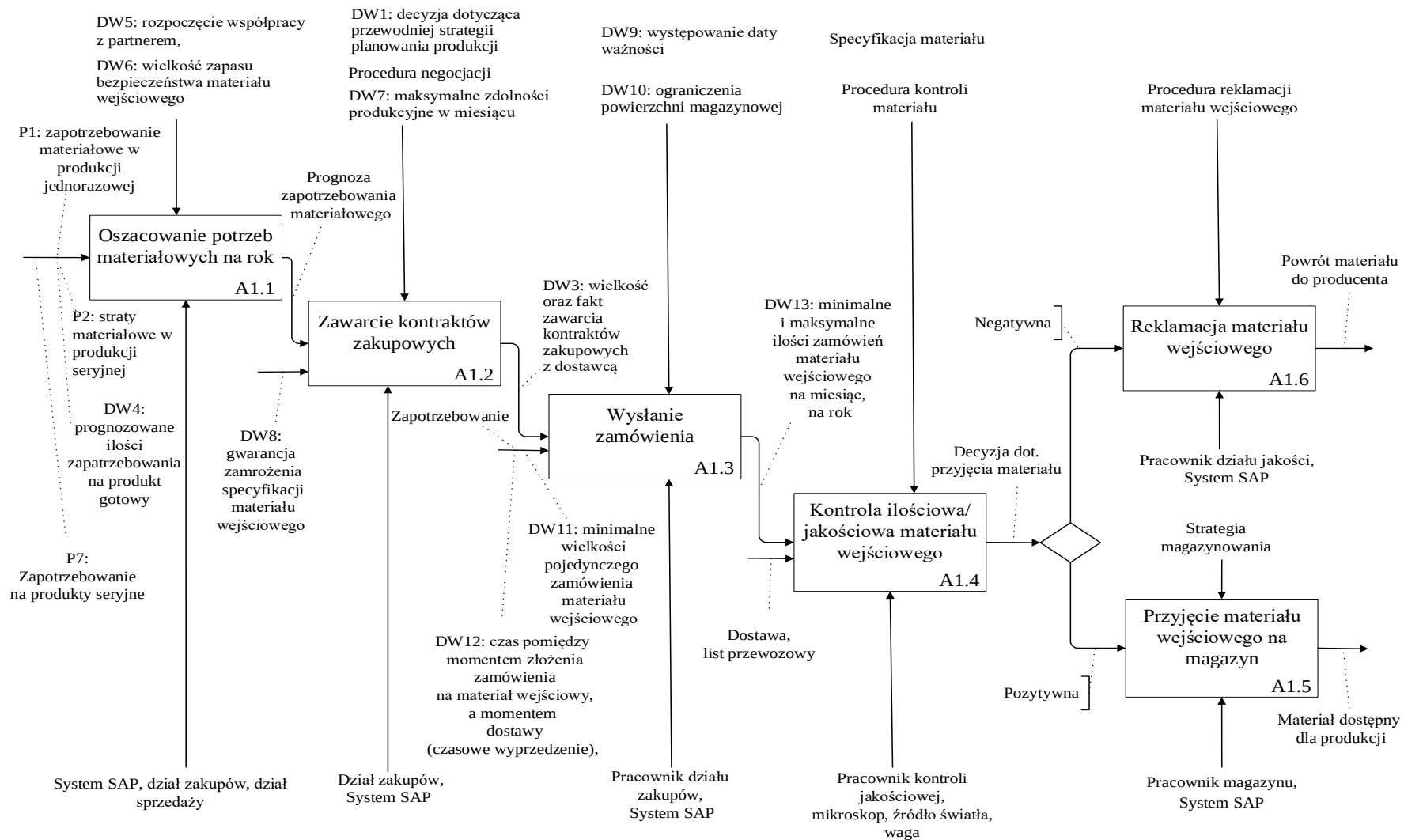
Rys. 9 Notacja IDEF0 poziom A0

Źródło: opracowanie własne

Kolejno wyszczególniono 4 podprocesy, które są konieczne w celu dostarczenia produktu gotowego klientom (pozyskanie materiału wejściowego – A1, potwierdzenie terminu dostawy – A2, wyprodukowanie produktu gotowego – A3 oraz wysłanie produktu gotowego do klienta – A4. Podprocesy wraz z wejściami, wyjściami, mechanizmami oraz czynnikami sterującymi zostały przedstawione na poniższym rysunku 10.



Rys. 10 Podprocesy w systemie logistycznym
Źródło: opracowanie własne

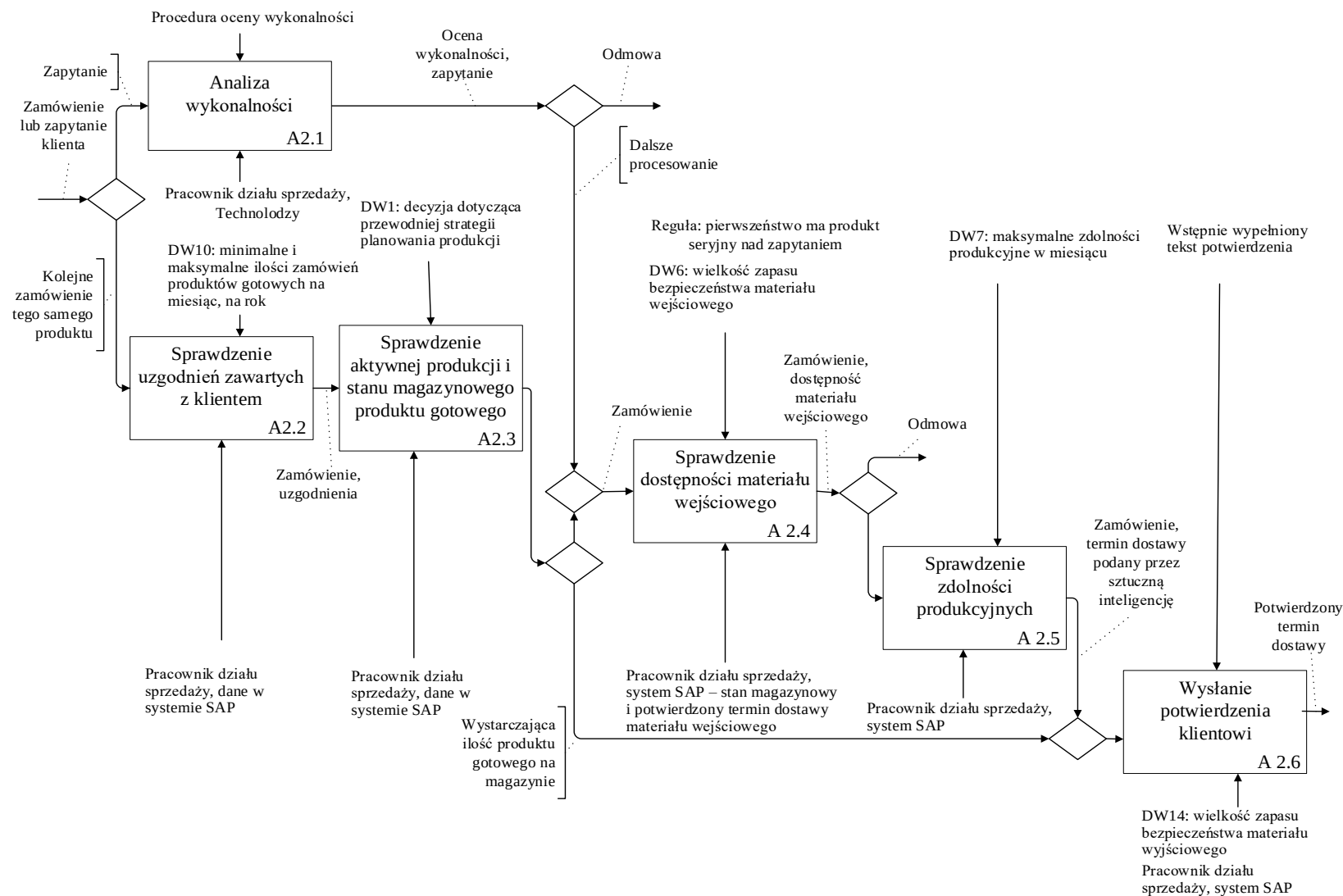


Rys. 11 Dekompozycja podprocesu pozyskania materiału wejściowego
Źródło: opracowanie własne

Następnie dokonano dekompozycji każdego podprocesu zaczynając od podprocesu pozyskania materiału wejściowego. Dekompozycja podprocesu została przedstawiona na powyższym rysunku 11. W ramach analizy skupiono się przede wszystkim na strumieniach informacyjnych i materiałowych. W ramach podprocesu pozyskania materiału wejściowego można wyróżnić 3 zadania:

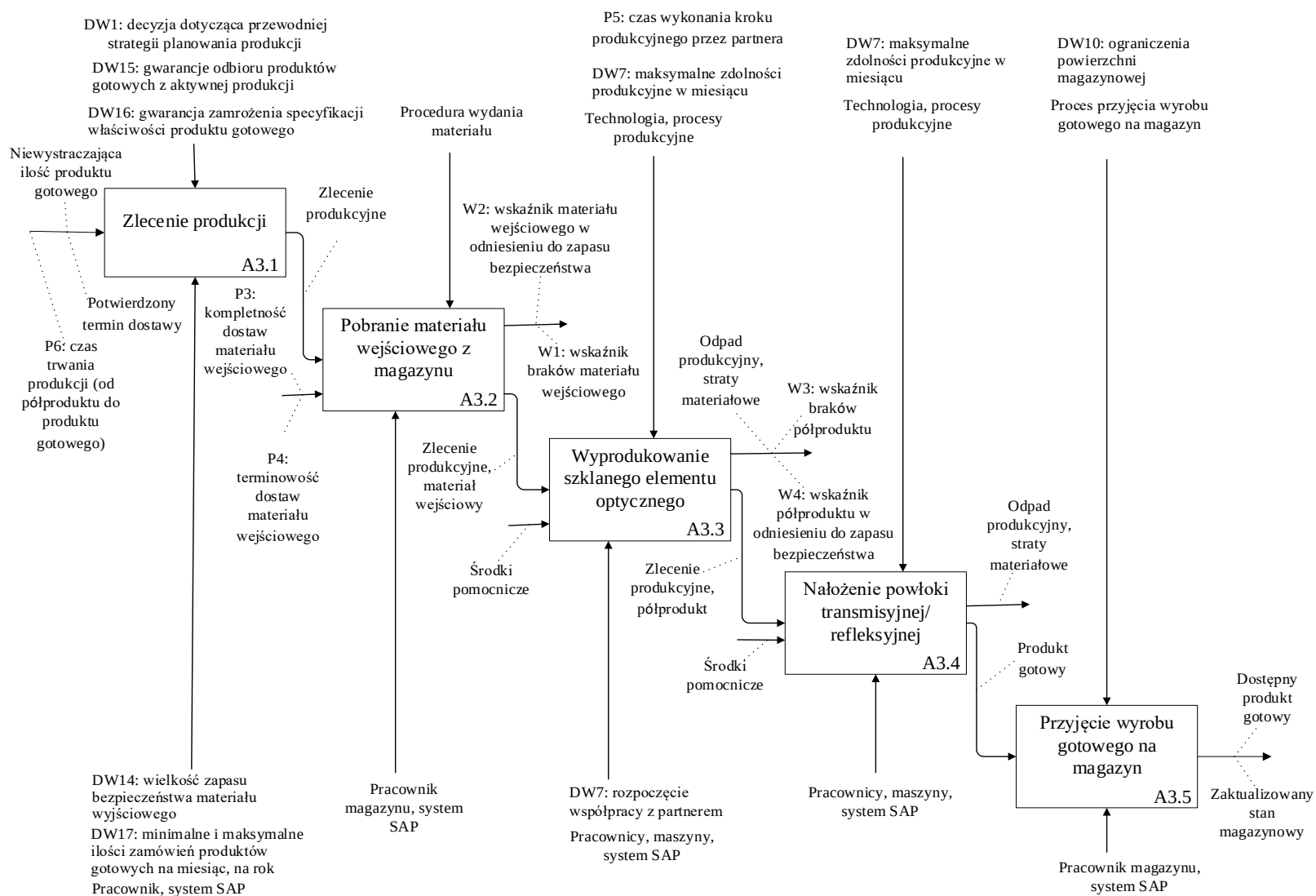
- ustalenie potrzeb materiałowych wraz z zawarciem kontraktów z dostawcą,
- zamówienie materiału wejściowego z konkretnym terminem dostawy,
- przeprowadzenie kontroli ilościowej i jakościowej wraz z możliwą do wystąpienia reklamacją.

W analizie wzięto pod uwagę scenariusz nie spełnienia stawianych wymogów właściwości materiału i związaną z tym reklamację. W przypadku organizacji dostarczenia materiału wejściowego przez klienta proces rozpoczyna się od zadania A1.4. Następnie dokonano dekompozycji podprocesu potwierdzenia terminu dostawy, który został przedstawiony na poniższym rysunku 12.



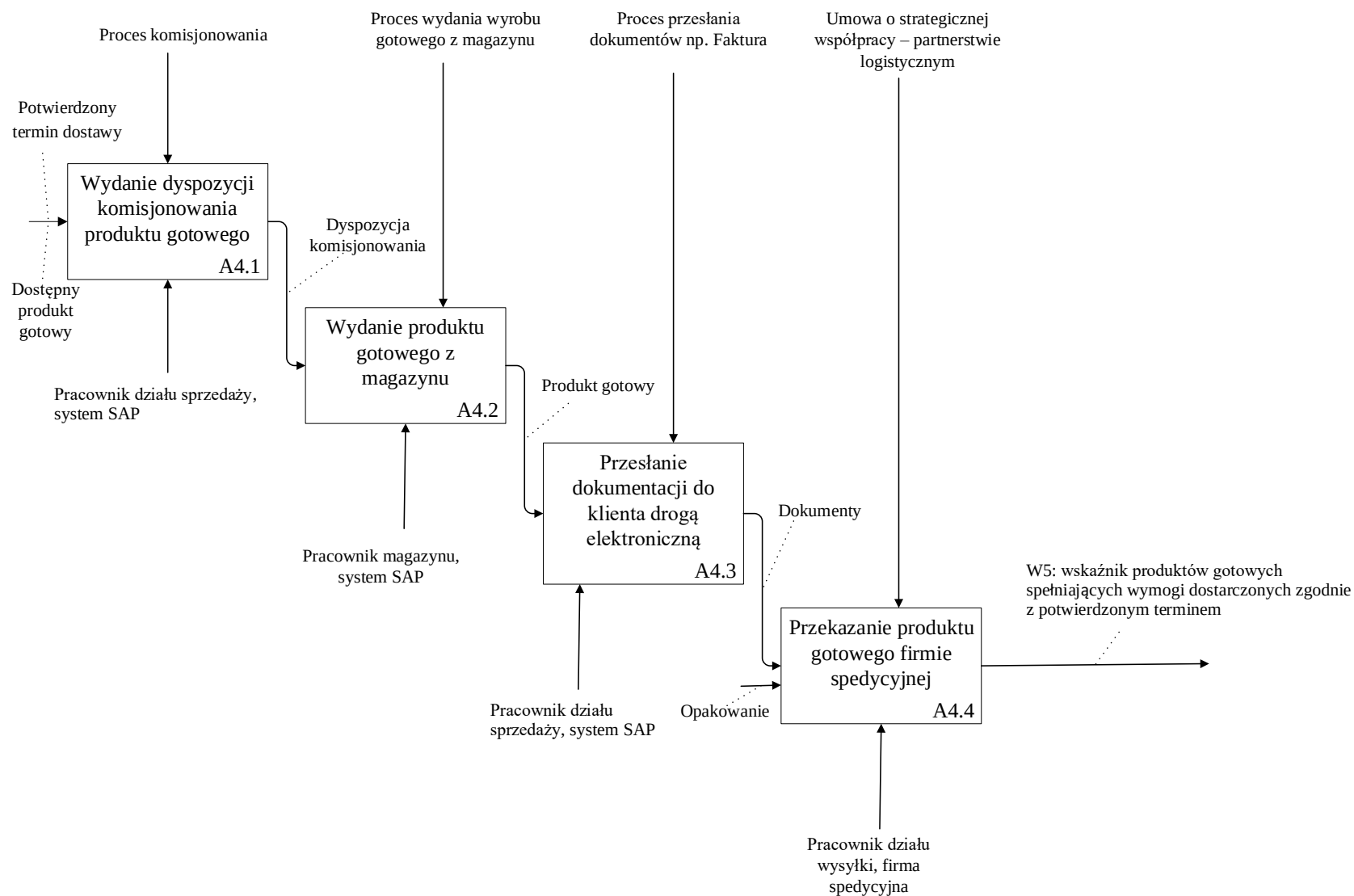
Rys. 12 Dekompozycja podprocesu potwierdzenia terminu dostawy
Źródło: opracowanie własne

W podprocesie wyróżnia się zapytanie oraz zamówienie. W przypadku zapytania konieczne jest przeprowadzenie analizy wykonalności – czy jest się w stanie wyprodukować produkt zgodnie z wymaganiami klienta. Możliwe, iż ma się do czynienia z przyszłym produktem seryjnym i konieczna będzie jego certyfikacja. Proces certyfikacji ze względu na jego złożoność nie został szczegółowo przedstawiony w powyższej wizualizacji. W przypadku otrzymania kolejnego zamówienia produktu (czy to w ramach produkcji seryjnej, czy w ramach rozpoczętego procesu certyfikacji produktu) ma miejsce sprawdzenie uzgodnień zawartych z klientem oraz sprawdzenie aktywnej produkcji wraz z stanem magazynowym. Kolejno w przypadku decyzji o rozpoczęciu produkcji ma miejsce sprawdzenie dostępności materiału wejściowego oraz zdolności produkcyjnych, by móc wysłać potwierdzenie terminu dostawy klientowi. Kolejno dokonano dekompozycji podprocesu wyprodukowania produktu gotowego, który został przedstawiony na poniższym rysunku 13.



Rys. 13 Dekompozycja podprocesu wyprodukowania produktu gotowego
Źródło: opracowanie własne

W ramach dekompozycji procesu zwrócono uwagę m.in. na przekształcenie planowanego zlecenia produkcyjnego w aktywne zlecenie produkcyjne w systemie SAP (Frick i inni, 2008). Jest to bardzo istotny moment, gdyż dopiero od tego momentu może mieć miejsce rozpoczęcie procesu produkcyjnego. Kolejno ma miejsce pobranie materiału wejściowego, jeżeli jest on dostępny w wystarczającej ilości w magazynie. Następnie ma miejsce wyprodukowanie półproduktu, a kolejno kontynuacja produkcji poprzez nałożenie powłoki. Na koniec ma miejsce przyjęcie wyrobu gotowego na magazyn. Sam proces produkcyjny jest zależny od wymagań stawianych przez klienta oraz wykorzystywanej technologii. Na koniec dokonano dekompozycji podprocesu wysyłki produktu gotowego, który został przedstawiony na poniższym rysunku 14.



Rys. 14 Dekompozycja podprocesu wysłania produktu gotowego do klienta
Źródło: opracowanie własne

W ramach ostatniego podprocesu ma miejsce dostarczenie produktu gotowego z magazynu producenta do klienta. Należy mieć na uwadze, iż termin dostawy może ulec zmianie. Ma miejsce regularna komunikacja z klientem w ramach której klient jest informowany o opóźnieniu dostawy. Każde opóźnienie, jak również dostarczenie produktu gotowego niespełniającego wymogów klienta podlega negatywnej ocenie. W ramach oceny systemu logistycznego, łańcucha dostaw uwidaczniany jest potencjał poprawy procesów.

4.3 Zestawienie źródeł danych do modelu cyfrowego

Dane konieczne do opracowania modelu cyfrowego zostały sklasyfikowane w ramach trzech grup:

- dane wejściowe,
- parametry modelu,
- dane wyjściowe.

Zawartość poszczególnych grup została szczegółowo opisana w dalszej części podrozdziału. Model cyfrowy, na którym zostaną przeprowadzone badania symulacyjne będzie się składał z następujących danych wejściowych:

- DW1: decyzja dotycząca przewodniej strategii planowania produkcji,
- DW2: istnienie głównego zapasu bezpieczeństwa w łańcuchu dostaw,
- DW3: wielkość oraz fakt zawarcia kontraktów zakupowych z dostawcą,
- DW4: prognozowane ilości zapotrzebowania na produkt gotowy,
- DW5: rozpoczęcie współpracy z partnerem, który m. in. zmniejszy straty materiałowe podczas obróbki (outsourcing kroku produkcyjnego),
- DW6: wielkość zapasu bezpieczeństwa materiału wejściowego,
- DW7: maksymalne zdolności produkcyjne w miesiącu,
- DW8: gwarancja zamrożenia specyfikacji materiału wejściowego,
- DW9: występowanie daty ważności,
- DW10: ograniczenia powierzchni magazynowej,
- DW11: minimalne wielkości pojedynczego zamówienia materiału wejściowego,
- DW12: czas pomiędzy momentem złożenia zamówienia na materiał wejściowy, a momentem dostawy (czasowe wyprzedzenie),
- DW13: minimalne i maksymalne ilości zamówień materiału wejściowego na miesiąc, na rok,
- DW14: wielkość zapasu bezpieczeństwa materiału wyjściowego,
- DW15: gwarancje odbioru produktów gotowych z aktywnej produkcji,

- DW16: gwarancja zamrożenia specyfikacji właściwości produktu gotowego,
- DW17: minimalne i maksymalne ilości zamówień produktów gotowych na miesiąc, na rok,

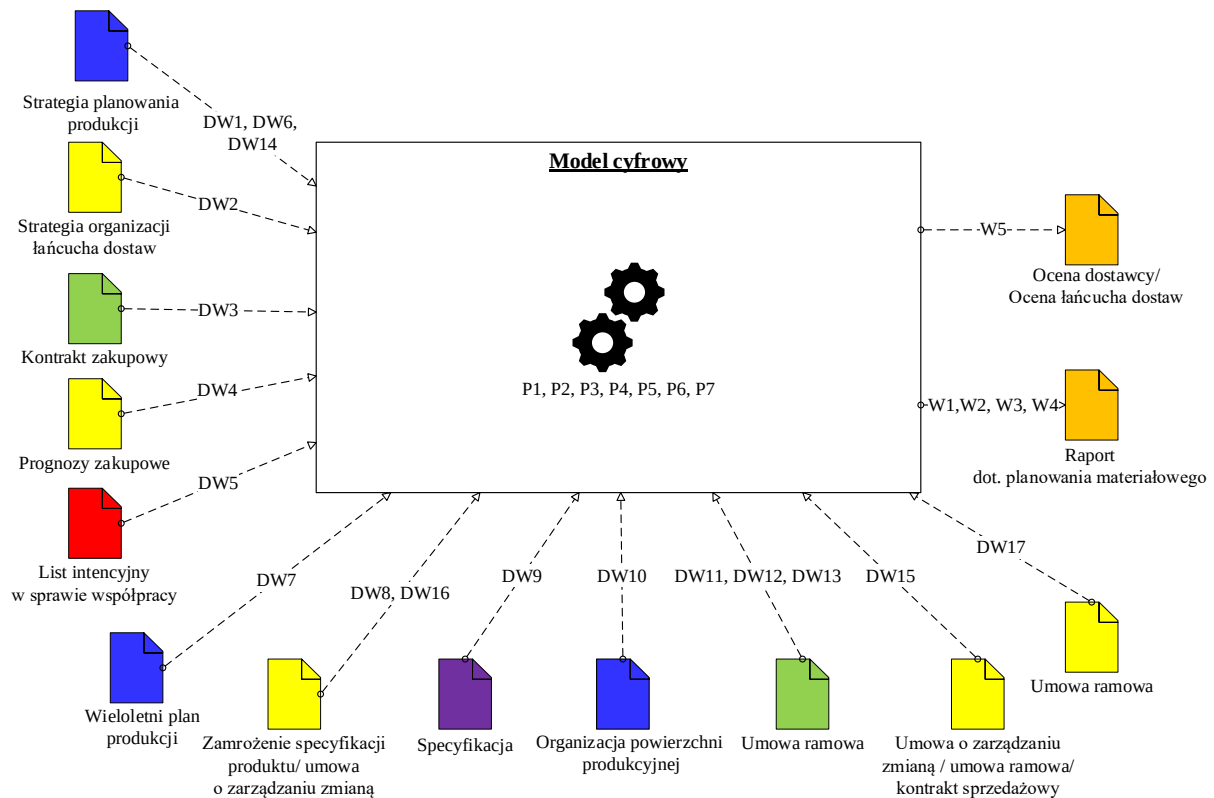
Następujące parametry zakłóceń zostaną wzięte pod uwagę w celu przeprowadzania symulacji:

- P1: zapotrzebowanie materiałowe w produkcji jednorazowej,
- P2: straty materiałowe w produkcji seryjnej,
- P3: kompletność dostaw materiału wejściowego,
- P4: terminowość dostaw materiału wejściowego,
- P5: czas wykonywania kroku produkcyjnego przez partnera,
- P6: czas trwania produkcji (od półproduktu do produktu gotowego),
- P7: zapotrzebowanie na produkty seryjne,

Danymi wyjściowymi będą:

- W1: wskaźnik braków materiału wejściowego,
- W2: wskaźnik materiału wejściowego w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa,
- W3: wskaźnik braków półproduktu,
- W4: wskaźnik półproduktu w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa,
- W5: wskaźnik produktów gotowych spełniających wymogi dostarczonych zgodnie z potwierdzonym terminem.

Wizualizacja źródeł informacji (dokumentów) została przedstawiona na poniższym rysunku 15. Kolorem niebieskim zostały oznaczone źródła danych wejściowych pochodzące bezpośrednio z badanego przedsiębiorstwa, kolorem żółtym źródła danych wejściowych pochodzące od klienta, kolorem czerwonym źródła danych wejściowych pochodzące od partnera, kolorem zielonym źródła danych wejściowych pochodzące od dostawcy materiału wejściowego, a fioletowym niezależne (niesklasyfikowane) mogące pochodzić z kilku różnych źródeł. Kolorem pomarańczowym zostały przedstawione dane wyjściowe wraz z dokumentami, w których można je znaleźć. Na rysunku zostały również zilustrowane parametry modelu.



Rys. 15 Wizualizacja źródeł informacji modelu cyfrowego

Źródło: opracowanie własne

Pod nazwami dokumentów wymienionymi na powyższym rysunku należy rozumieć:

- prognoza zakupowa – jest dokumentem, który na poziomie operacyjnym przewiduje zapotrzebowanie na konkretne materiały. W dokumencie ustala się wielkości w danym okresie czasu np. jednego roku, biorąc pod uwagę minimalne/maksymalne wielkości pojedynczych zamówień, dostępność oraz ekonomiczność (Eßig, 2013).
- strategia planowania produkcji – jest dokumentem, który jest opracowywany w oparciu o stopień dostosowania się do potrzeb klienta, złożoność produkcji, stopień zmienności popytu oraz umiejscowienie przedsiębiorstwa w łańcuchu dostaw. Za pomocą tego dokumentu definiuje się procesy planowania i sterowania produkcją w zależności od wyboru metody. Do podstawowych metod zaliczają się (Ozgun i Ray, 2022):
 - Make-To-Stock (MTS): metodę wykorzystuje się w produkcji standardowych produktów z małym stopniem zmienności popytu. Produkcja jest wielkoseryjna, a produkty gotowe są składowane w magazynie w celu późniejszego użycia.
 - Make-To-Order (MTO): w ramach tej metody produkcja rozpoczyna się od otrzymania zamówienia. Komponenty produktu są zarówno standardowe jak i dostosowane do potrzeb klienta. Produkt gotowy jest skonfigurowany według wymagań klienta.

- Assemble-To-Order (ATO): w tej metodzie podstawowe komponenty produktu gotowego są standardowe i są produkowane na magazyn. Po otrzymaniu zamówienia klienta następuje szybki montaż produktu gotowego z komponentów z magazynu zgodnego z wymaganiami klienta.
- Engineer-To-Order (ETO): w tej metodzie konieczny jest najwyższy poziom dostosowania się do potrzeb klienta (wymagań). W ramach tej metody produkt jest projektowany, części są produkowane i montowane wedle specyfikacji od początku do końca. Istotny jest stały kontakt z klientem, często w ramach projektu mającego na celu wprowadzenie nowego, zmodyfikowanego produktu na rynek.
- kontrakt zakupowy – jest dokumentem zawartym pomiędzy przedsiębiorstwem a dostawcą, w którym został ustalony odbiór produktu gotowego w określonym czasie. Klient jest zobowiązany do odbioru towaru od dostawcy (Brandl, 2024).
- kontrakt sprzedażowy – jest dokumentem zawartym pomiędzy przedsiębiorstwem a odbiorcą. Dokument reguluje te same kwestie co kontrakt zakupowy, tylko że po stronie sprzedażowej.
- umowa o zarządzaniu zmianą – jest dokumentem zawartym pomiędzy dwoma uczestnikami łańcucha dostaw. Dokument reguluje proces identyfikowania, planowania, implementowania i zarządzania modyfikacjami (Agarwal, 2024).
- umowa ramowa – jest dokumentem pomiędzy dwoma uczestnikami łańcucha dostaw, który reguluje podstawowe kwestie umów kupna, sprzedaży które będą zawierane w późniejszym terminie (Fikentscher i Heinemann, 2022).
- zamrożenie specyfikacji produktu – jest dokumentem, w którym ustala się ostateczną wersję produktu w celu wyprodukowania go w większych ilościach. Po zamrożeniu specyfikacji zmiany w produkcie nie są możliwe „z dnia na dzień” (Apelt i inni, 2023).
- list intencyjny w sprawie współpracy – jest dokumentem, w którym strony (partnerzy biznesowi) wyrażają niezobowiązująco chęć współpracy, zakładając że będzie się ona rozwijać (Kling i Nugent, 2005). W branży zaawansowanych technologii podpisuje się list intencyjny np. w celu opracowania oraz zorganizowania wymaganych zdolności produkcyjnych by wprowadzić nowy innowacyjny produkt na rynek.
- specyfikacja – jest dokumentem przedstawiającym właściwości produktu, składa się z następujących elementów (Hoischen, 2023):
 - rysunku technicznego,
 - wymagań dotyczących procesu produkcyjnego,

- wymagań jakościowych.
- wieloletni plan produkcji – powstaje na podstawie decyzji strategicznych zarządu oraz strategii sprzedaży. Dokument zawiera informacje o planowanych zdolnościach produkcyjnych (Müller, 2024).
- organizacja powierzchni produkcyjnej – jest dokumentem, który powstaje na bazie wieloletniego planu produkcyjnego – dokument wejściowy (Müller, 2024). Dokument organizacji powierzchni produkcyjnej ma formę mapy, który wizualizuje wszystkie powierzchnie związane z działalnością produkcyjną.
- strategia organizacji łańcucha dostaw – jest dokumentem, w którym partnerzy ustalają działania, by móc szybko reagować na wahania popytu i podaży (Schneider i Sucky, 2020). Celem tych działań może być np. zwiększenie zwinności łańcucha dostaw czy zmniejszenie jego wrażliwości.
- ocena dostawcy/ ocena łańcucha dostaw – jest dokumentem, mającym charakter regularnego raportu, w którym dokonywana jest ocena dostawcy lub całego łańcucha dostaw. Za pomocą tego dokumentu można zidentyfikować obszary, kwestie nadające się do optymalizacji (Scholz, 2022). Dokument zawiera m. in. procent w terminie zrealizowanych dostaw, procent reklamacji.
- raport dotyczący planowania materiałowego – jest dokumentem, w którym dokonywana jest ocena polityki planowania materiałowego.

Istnienie dokumentów, które zostały wytłumaczone powyżej wskazuje na rozwinięte procesy zarządzania łańcuchem dostaw. W sytuacji braku regulacji, umów z uczestnikami łańcucha dostaw, rozwiniętych procesów, w celu przeprowadzenia badań należałoby przyjąć wyższy stopień niepewności tzn. działania poszczególnych uczestników łańcucha dostaw byłyby mniej przewidywalne, a przez to ryzyko wystąpienia zakłóceń byłoby trudniejsze do oszacowania. Zdefiniowanie modelu cyfrowego byłoby oparte w większym stopniu na założeniach badacza w oparciu o analizę dostępnych danych z przeszłości.

W przypadku produkcji jednorazowej, bądź w razie braku dokumentów konieczne jest ustalenie danych wejściowych, parametrów modelu na podstawie dostępnych danych z przeszłości. Konieczne może się również okazać pozyskanie informacji bezpośrednio od pracowników operacyjnych.

4.4 Plan badań symulacyjnych

W celu opracowania metody oceny zależności między odpornością na zakłócenia systemu logistycznego, a niezawodnością dostaw wyrobów w branży zaawansowanych technologii było

konieczne przeprowadzenia szeregu czynności. W ramach planu badań symulacyjnych zaplanowano następujące czynności:

I Identyfikacja wejść i wyjść materiałowych, które mają miejsce podczas produkcji szklanych elementów optycznych wraz z powłoką refleksyjną.

II Ocena pojedynczych materiałów (grup materiałowych) w kontekście wpływu na przerwanie ciągłości dostaw produktów gotowych. Decyzja co do dalszego uwzględnienia w dalszych etapach analizy.

III Wizualizacja łańcucha dostaw wraz z podmiotami, które go współtworzą. Szczególnie zwrócenie uwagi na anomalie, nietypowe aspekty w łańcuchu dostaw.

IV Analiza systemu produkcyjnego w kontekście przyporządkowania produktów w ramach produkcji jednorazowej, seryjnej i projektu. Poznanie, ustalenie prognozowanych ilości. Decyzja co do interwałów czasu w modelu.

V Wizualizacja struktury zestawienia komponentów w ramach cyfrowego modelu.

VI Uzupełnienie struktury zestawienia komponentów o optymalne ilości materiału w zleceniu produkcyjnym, średnie straty w produkcji i udział materiału (ile waży jedna sztuka).

VII Pobranie stanu istniejącego na dzień 31.12.2024 (stany magazynowe, produkcja w toku, potwierdzone terminy dostaw półproduktu jak i materiału wejściowego) z systemu SAP.

VIII Zidentyfikowanie potencjalnych zakłóceń wraz z przydzieleniem skali liczbowej oddziaływania (wartości od – do).

IX Zidentyfikowanie parametrów modelu.

X Dokonanie selekcji wskaźników w celu umożliwienia dokonania oceny wydajności systemu logistycznego producenta, łańcucha dostaw.

XI Stworzenie cyfrowego modelu w Microsoft Excel w oparciu o dane wejściowe, dane wyjściowe, parametry oraz relacje między nimi.

XII Stworzenie scenariuszy wraz z przydzieleniem wartości parametrom modelu.

XIII Przeprowadzenie symulacji z wykorzystaniem modelu cyfrowego (analizy wrażliwości), zebranie danych do analizy.

XIV Przeprowadzenie analizy wrażliwości modelu cyfrowego na pojedynczo występujące zakłócenia, wstępne wyciągnięcie wniosków.

XV Opracowanie ankiety mającej na celu skorygowanie modelu cyfrowego, by móc przeprowadzić kolejne badania.

XVI Przeprowadzenie analizy ryzyka metodą ekspertów.

XVII Zdefiniowanie scenariuszy uwzględniających kilka zakłóceń równocześnie w różnym stopniu.

XVIII Skorygowanie sytuacji wejściowej modelu cyfrowego w oparciu o wyniki z analizy wrażliwości za pomocą sztucznej inteligencji działającej w oparciu o sztuczne sieci neuronowe oraz przeprowadzenie symulacji.

XIX Przeprowadzenie symulacji z wykorzystaniem sztucznej inteligencji na skorygowanym modelu cyfrowym.

XIX Weryfikacja wyników ustalonych przez sztuczną inteligencję.

XX Przeprowadzenie kolejnych obszernych symulacji na modelu cyfrowym.

XXI Wyciągnięcie wniosków z badań.

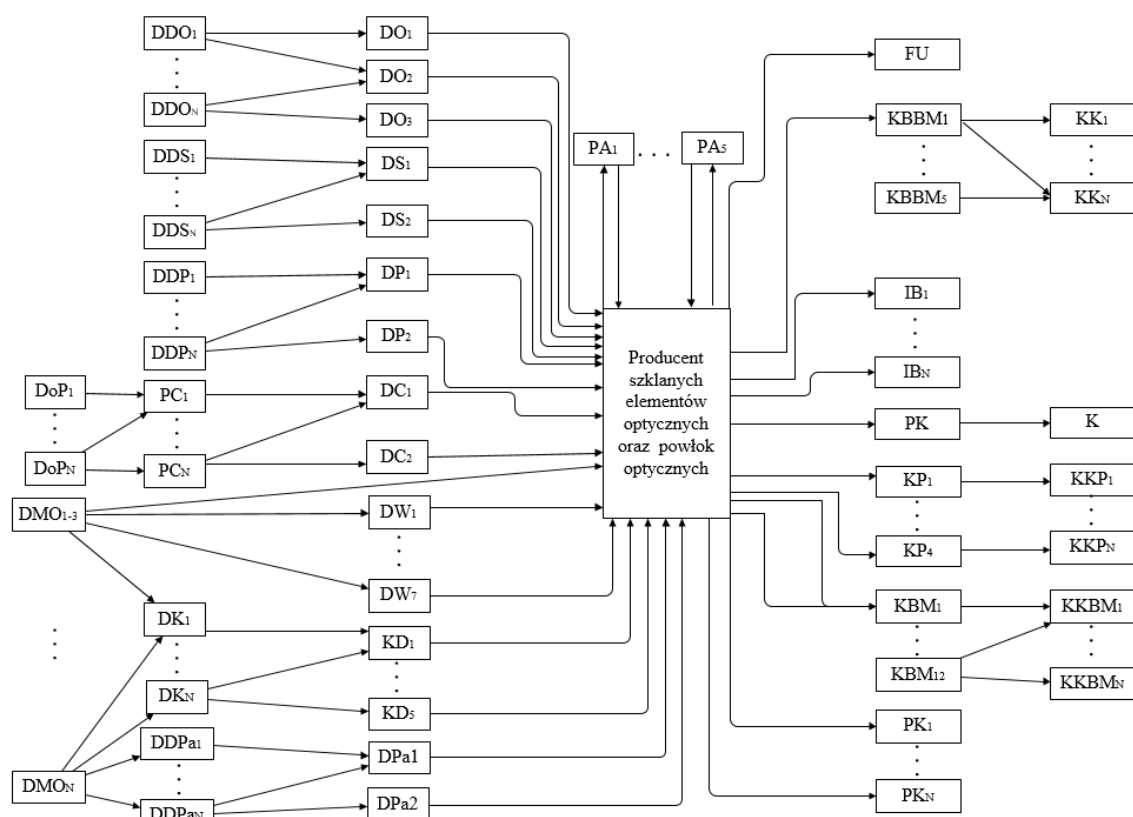
5 PRZEDSIĘBIORSTWO Z BRANŻY ZAAWANSOWANYCH TECHNOLOGII

5.1 Opis przedsiębiorstwa z branży zaawansowanych technologii

Badania zostały przeprowadzone w przedsiębiorstwie z branży zaawansowanych technologii, które ma swoją siedzibę w kraju związkowym Thüringen w Republice Federalnej Niemiec. Przedsiębiorstwo powstało w 1990 roku i jest przedsiębiorstwem rodzinnym nie notowanym na giełdzie papierów wartościowych. Na dzień 31.12.2023 w firmie było zatrudnionych 397 pracowników. Organizacja składa się z trzech firm. Działalność podstawowa, produkcyjna jest wykonywana wyłącznie w jednej z nich. Organizacja nie posiada zakładów produkcyjnych poza Republiką Federalną Niemiec. Działalnością podstawową firmy jest produkcja gotowych elementów optycznych (komponentów) do laserów z przedziału od ultrafioletowego promieniowania próżniowego (130 nm) do podczerwieni ok. 7µm. Produkty znajdują zastosowanie w przemyśle, na uniwersytetach jak i instytucjach badawczych na całym świecie. Firma oferuje zarówno produkcję elementów optycznych (szklanych geometrii) jak i nałożenie powłoki refleksyjnej/transmisyjnej za pomocą następujących technologii:

- parowania termicznego,
- wsparte wiązką jonów termicznego promieniowania elektronowego,
- napyłania w polu magnetycznym i za pomocą wiązki jonów,

Łącznie za pomocą 40 maszyn jest możliwe nałożenie powłoki refleksyjnej/transmisyjnej. Połączenie tych dwóch obszarów (produkcji szklanych elementów optycznych i nakładanie powłoki refleksyjnej/transmisyjnej) umożliwia posiadanie kontroli nad całym procesem produkcyjnym. Firma oferuje również nakładanie powłoki refleksyjnej/transmisyjnej na dostarczonych z zewnątrz elementach optycznych np. z aluminium czy miedzi. Produkcja poszczególnych produktów jest bardzo zróżnicowana, ma charakter seryjny, jednostkowy lub projektowy w zależności od preferencji i potrzeb klientów. Podmiot badań ma ze względu na szeroką gamę produktów wysoce rozbudowaną sieć dostaw. Sieć została przedstawiona na poniższym rysunku 16.



Legenda:

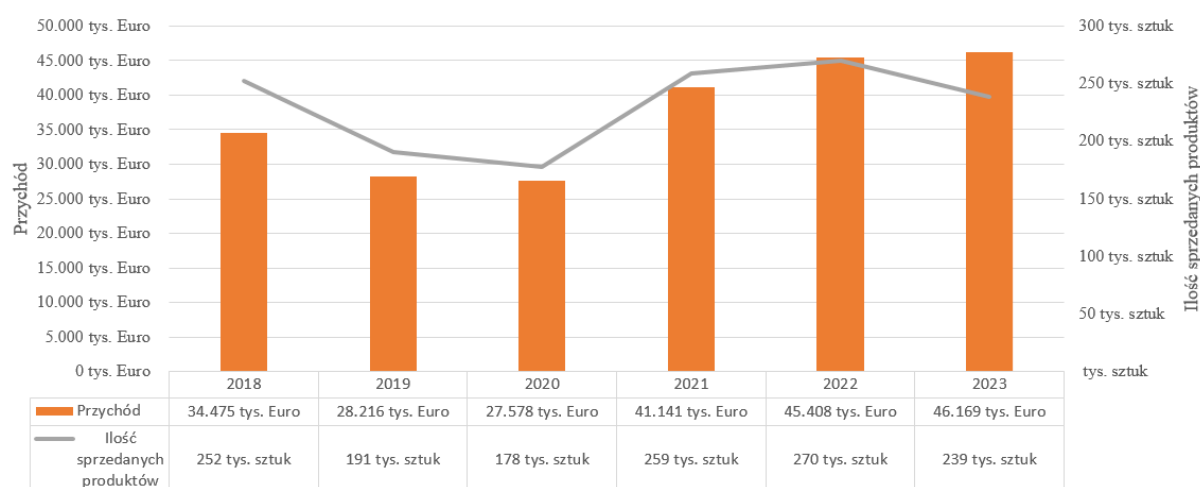
PA – Partner	DDO – Dostawcy dostawców opakowań	DDPa – Dostawcy partnera	KKBM – Klienci klientów branży medyczna
FU – Firma utylizacyjna	DS – Dostawcy materiału powłok optycznych	PK – Partner klienta	DoP – Dostawcy producentów chemikali
DO – Dostawca opakowań	DP – Dostawcy narzędzi do polerowania	IB – Instytucje badawcze	DMO – Dostawcy materiału optycznego
DK – Dostawcy klienta	DC – Dostawcy środków chemicznych	PK – Pozostali klienci	KKP – Klienci klientów projektowych
PC – Producenci chemikali	DW – Dostawcy wstępna obróbka	KK – Klienci klientów	KBBM – Klienci branży budowy maszyn
KD – Klient dostawca	KBM – Klienci branży medyczna	K – Klient	DPa – Dostawca partner

Rys. 16 Wizualizacja sieci dostaw komponentów do produkcji oraz sieci dystrybucji wyrobów gotowych
Źródło: opracowanie własne

W obiekcie badań na wejściu jest konieczne dostarczenie wystarczającej ilości „materiału wejściowego” tj. szklanych elementów o odpowiedniej geometrii i jakości materiału. Przed rozpoczęciem obróbki musi być wiadomo jakie kroki produkcyjne muszą mieć miejsce oraz jaka jest specyfikacja produktu (wymogi klienta wraz z tolerancją). Po wyprodukowaniu szklanych elementów optycznych ma miejsce nałożenie powłoki refleksyjnej i/bądź transmisyjnej. Przed rozpoczęciem procesu nałożenia powłoki musi być znany materiał, technologia oraz być dostępna wystarczająca ilość opakowań. Należy mieć również na uwadze konieczność dostarczenia dokumentacji klientowi najpóźniej w dniu wysyłki.

Przychód przedsiębiorstwa w latach 2018 do 2023 (kolumny – kolor pomarańczowy) wraz z ilością sprzedanych sztuk (linia – kolor szary) został przedstawiony na poniższym wykresie 5. Na podstawie zaprezentowanych danych można zauważyć wpływ kryzysów na sprzedaż produktów np. branży automotiv i elektronicznej (produkcja monitorów, telewizorów, tabletów, smartfonów) w 2019 roku, czy pandemii COVID-19 w 2020 roku.

Wykres 5 Sprzedaż w latach 2018 do 2023



Źródło: opracowanie własne

Co roku przedsiębiorstwo sprzedaje średnio 4,1 tys. różnych produktów, o różnych geometriach i różnych parametrach warstw refleksyjnych, transmisyjnych. W związku z tym, w celu przeprowadzenia badań konieczne było dokonanie wyboru segmentu rynku.

5.2 Wybrany segment rynku branży zaawansowanych technologii

Segmentem rynku, który zostanie poddany badaniom będzie CaF_2 , w którym materiałem wejściowym jest kryształ fluorka wapnia. CaF_2 znany jako fluoryt jest materiałem, który ze względu na swoje wyjątkowe fizyczne i chemiczne właściwości znajduje szerokie zastosowanie w różnych obszarach gospodarki. Pojedyncze kryształy fluorka wapnia zyskują coraz to większe znaczenie kosztem syntetycznego szkła kwarcowego. Przy roboczej długości fali wynoszącej 157 nm może być ze względu na brak przepuszczalności tej długości fali przez szkło kwarcowe jedynie CaF_2 stosowany. Do niedawna kryształy fluorka wapnia były wykorzystywane przeważnie do produkcji elementów optycznych wykorzystywanych w procesie naświetlania fotomaski (Ortmann L. i inni., 2005). Obecnie CaF_2 jest wykorzystywany również do produkcji urządzeń ultrafioletowego promieniowania próżniowego wykorzystywanych w mikrolitografii. Kryształy tworzą materiał wejściowy do produkcji soczewek, pryzm i innych elementów optycznych, za pomocą których możliwa jest produkcja układów scalonych np. chipów komputerowych (Parthier i Stäblein, 2005). Materiał posiada idealne właściwości do produkcji takich elementów optycznych jak soczewki, okna i pryzmy do mikroskopów i teleskopów.

Pojedyncze kryształy mogą być pozyskiwane na wiele sposobów, w zależności od ich składu chemicznego oraz stawianych wymogów z wykorzystaniem (Parthier i Stäblein, 2005):

- gazyfikacji,

- topnienia,
- roztworu,
- dyfuzji,
- rekrytalizacji.

Do najczęstszych metod produkcji przemysłowej kryształów fluorka wapnia zalicza się:

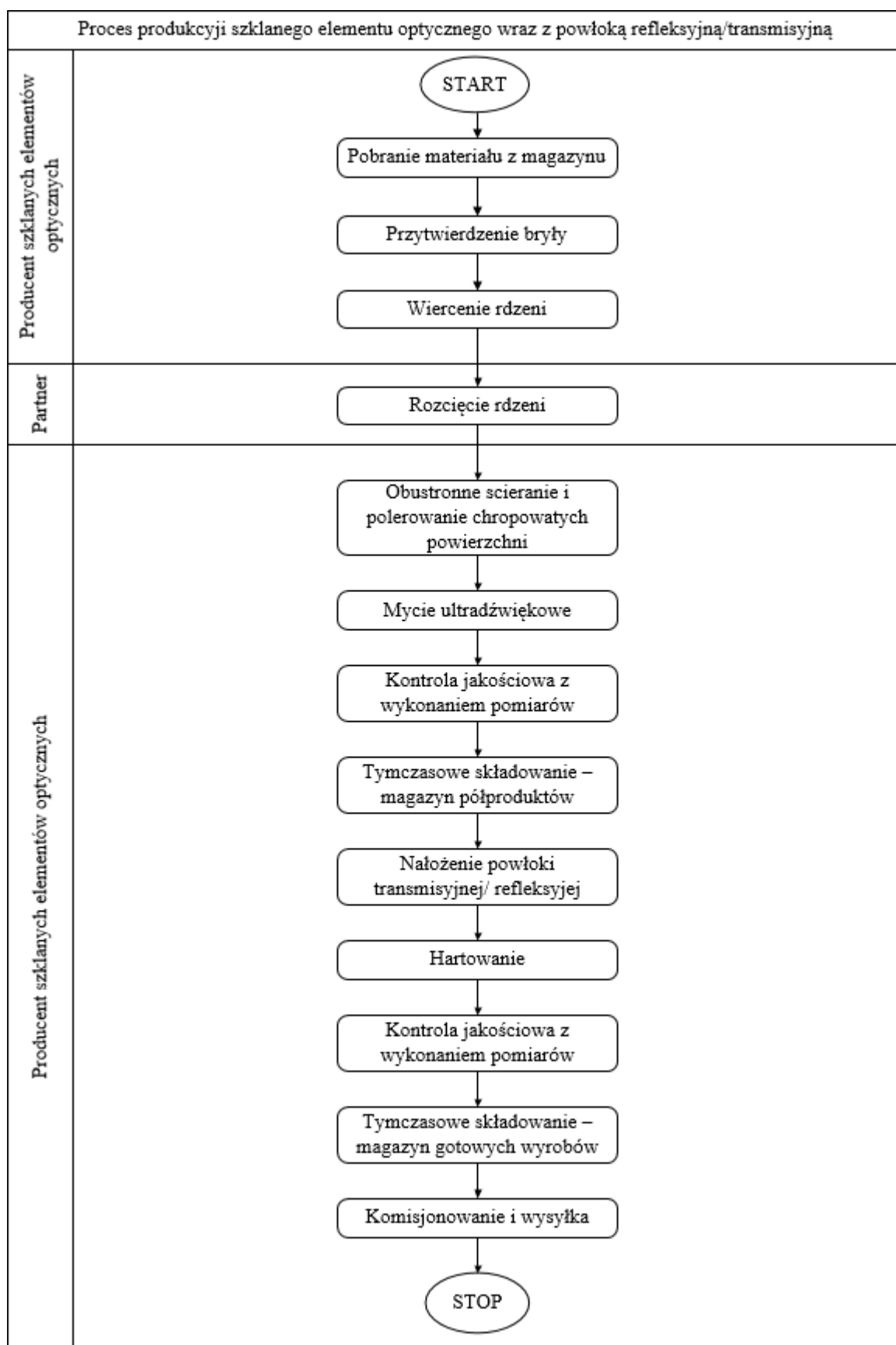
- metodę Bridgmana-Stockbargera,
- metodę Vertical Gradient Freeze,
- metodę Nacken-Kyropoulosa,
- metodę Czochralskiego.

Wszystkie wymienione powyżej metody oparte są o hodowanie kryształów. Proces odbywa się w próżni, bądź w warunkach obojętnej lub reaktywnej atmosferze. Proces produkcji składa się z wielu etapów. Najpierw musi być dostępny fluorek wapnia w postaci proszku, musi on spełniać wysokie wymagania dotyczące chemicznej czystości – braku zanieczyszczeń innymi substancjami. Proszek ten musi zostać poddany wysuszeniu w warunkach próżni, by pozbyć się wilgoci. Przeszkadzające powietrze jest usuwane z CaF_2 przy użyciu dodatkowej substancji, poprzez ogrzanie w ramach tzw. Scavenger-reaction (reakcja wymiany). Substancjami wykorzystywanymi w reakcji mogą być ZnF_2 , PbF_2 lub inne nadające się fluorki lub gazy zawierające fluor. Następnie polikrystaliczny materiał jest topiony w tyglu. Kolejno ma miejsce kontrolowany proces krzepnięcia w ustalonym kierunku, tak by powstać mogły pojedyncze kryształy. Dalej ma miejsce chłodzenie, podczas którego istotne jest utrzymanie jak najmniejszych termicznych napięć w kryształach, by zapobiec uszkodzeniom. Kolejno konieczne jest ponowne zwiększenie temperatury kryształów poniżej punktu topnienia w celu redukcji defektów kryształów oraz w celu osiągnięcia jak najmniejszej dwójłomności naprężenia jak i dużej jednorodności współczynnika załamania światła. Proces ten nazywa się hartowaniem. Podczas tego procesu przy podwyższonej temperaturze kryształu poprzez mechaniczne procesy dyfuzji i deformacji korygowane są w znacznym stopniu zaistniałe w wcześniejszym etapie produkcji defekty takie jak przesunięcia czy granice ziaren pod małym kątem. Następny etap chłodzenia w znacznym stopniu odpowiada za osiąganą jakość produktu. Hartowanie jako etap produkcyjny może mieć miejsce bezpośrednio w maszynie hodującej kryształy, bądź zostać przeprowadzony w specjalnym piecu jako osobny etap produkcji (Parthier i Stäblein, 2005). Jakość tzn. perfekcyjność kryształu jest zależna od wybranej metody hodowli i jej przeprowadzenia tzn. przede wszystkim od parametrów takich jak szybkość namnażania kryształów oraz temperatury podczas ich namnażania i chłodzenia (Ortmann L.

i inni., 2005). Tak wyprodukowany materiał w kawałku dostarczany jest do badanego przedsiębiorstwa, w którym podlega dalszej obróbce.

5.3 Analiza stanu istniejącego wybranego segmentu rynku w badanym przedsiębiorstwie

Proces produkcyjny szklanego elementu optycznego z materiału CaF_2 zależy od przeznaczenia elementu oraz stawianych wymagań klienta. Im wyższe wymagania klienta, a tym samym mniejsza tolerancja co do defektów, tym większe ryzyko konieczności podejmowania korekt oraz wystąpienia strat w produkcji. Przykładowy, uogólniony proces produkcyjny został przedstawiony na poniższym rysunku 17. Proces produkcyjny składa się z 14 etapów. W procesie bierze udział partner, który rozcina rdzenie. Ten etap produkcji został przeniesiony, eksportowany na zewnątrz ze względu na mniejsze straty materiału u partnera, który wyspecjalizował się w tym obszarze.



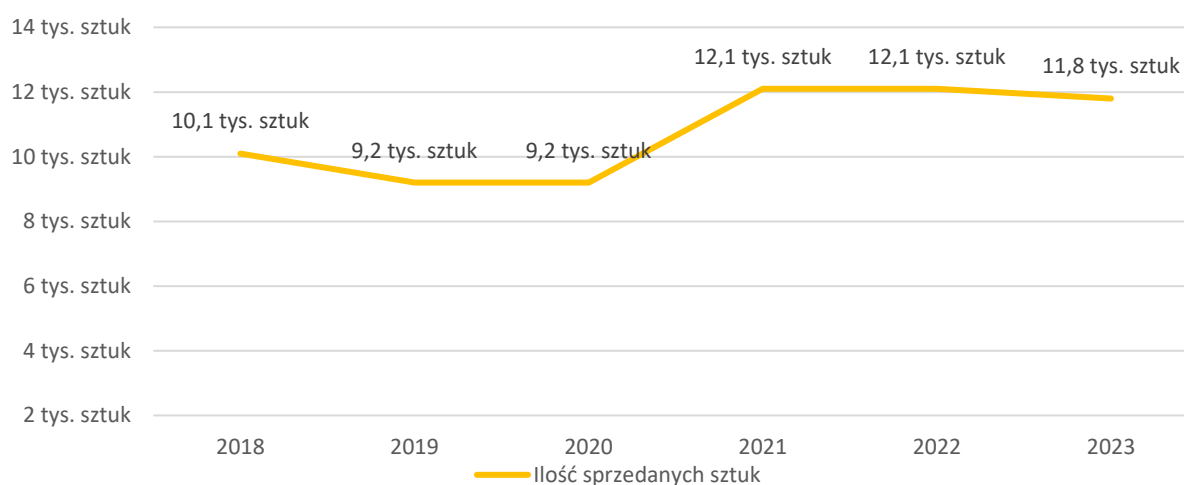
Rys. 17 Proces produkcyjny
Źródło: opracowanie własne

W obiekcie badań można wyróżnić 3 podstawowe typy podejścia do produkcji szklanych elementów optycznych z materiału CaF_2 :

1. Produkcja jednorazowa – produkt jest zamawiany jednorazowo np. w celu przeprowadzenia badań naukowych bądź testów. Klientami najczęściej są instytuty badawcze. Nie przewiduje się kolejnego zamówienia produktu o identycznej specyfikacji.
2. Produkcja w ramach projektu – powoływany jest do życia projekt, który ma na celu razem z klientem oraz innymi partnerami opracowanie nowego produktu. Jeżeli na produkt w przyszłości będzie występować zapotrzebowanie w większych ilościach (produkcja seryjna), to konieczne jest oszacowanie zdolności produkcyjnych, a w razie braku wystarczających zdolności podjęcie adekwatnych działań.
3. Produkcja seryjna – ma miejsce wtedy, kiedy produkt jest powtarzalny i jest zamawiany wielokrotnie. Klientami najczęściej są firmy z branży zaawansowanych technologii.

Produkty wyprodukowane z materiału CaF_2 w badanym podmiocie badań, były sprzedawane w latach 2018 – 2023 w następujących ilościach przedstawionych na wykresie 6.

Wykres 6 Ilość sprzedanych szklanych elementów optycznych z materiału CaF_2 w latach 2018-2023



Źródło: opracowanie własne

W latach 2018 do 2023 sprzedawano co roku między 9,2 tys. sztuk, a 12,1 tys. sztuk szklanych elementów optycznych. W latach 2018 – 2023 przychód ze sprzedaży z roku na rok wzrastał. Na wykresie 7 został przedstawiony rozwój segmentu z finansowego punktu widzenia (przychodu).

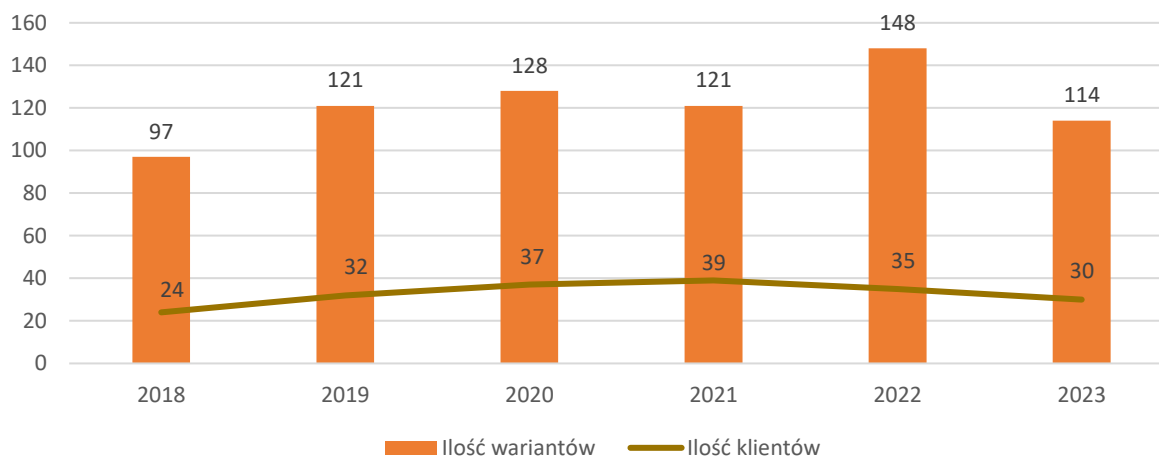
Wykres 7 Rozwój przychodu ze sprzedaży szklanych elementów optycznych z materiału CaF_2 w latach 2018-2023



Źródło: opracowanie własne

Wartość segmentu wzrosła z 1,3 mln euro w 2018 roku do 2 mln euro w 2023 roku. W ciągu 6 lat wartość przychodu z segmentu wzrosła o 51%. W analizowanym okresie czasu zarówno ilość klientów jak i ilość wariantów produktu gotowego zmieniała się, dane zostały przedstawione na wykresie 8.

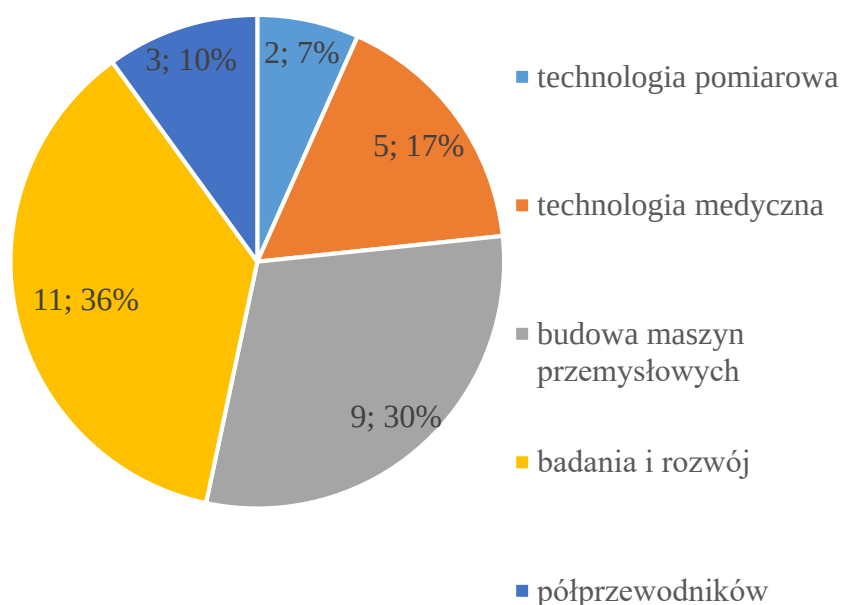
Wykres 8 Ilość klientów i wariantów produktu gotowego z materiału CaF_2 w latach 2018 - 2023



Źródło: opracowanie własne

Szklane elementy optyczne wyprodukowane z materiału CaF_2 w 2023 roku były sprzedawane zarówno dużym koncernom jak instytutom badawczym i mniejszym przedsiębiorstwom. W 2023 roku dostarczono w sumie 30 klientom, 114 różnych wersji szklanych elementów optycznych wyprodukowanych z materiału CaF_2 . Na poniższym wykresie 9 dokonano podziału klientów ze względu na branżę.

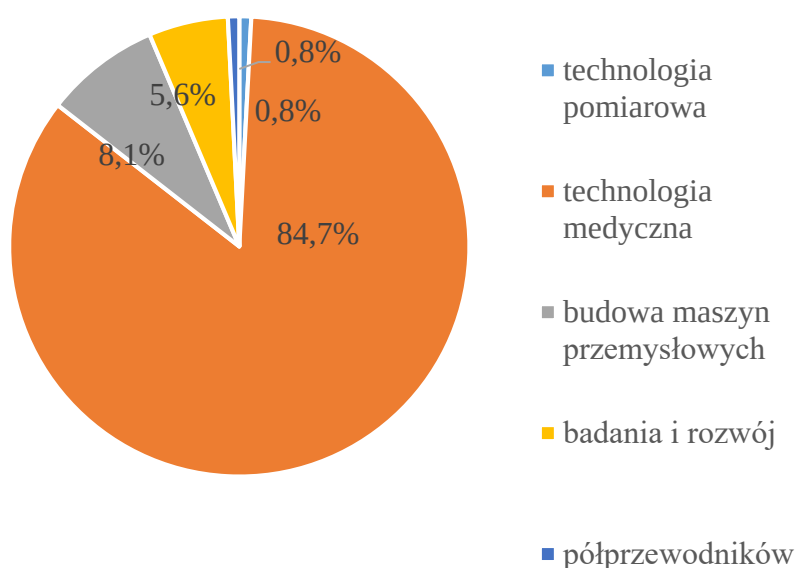
Wykres 9 Podział klientów badanego segmentu ze względu na branże w 2023 roku



Źródło: opracowanie własne

W 2023 roku najwięcej klientów (36%) zaliczało się do branży badań i rozwoju, odpowiadali oni jedynie za 5,6% przychodów w segmencie. Udział poszczególnych grup klientów w przychodzie segmentu przedstawia poniższy wykres 10.

Wykres 10 Procentowy udział branż w przychodzie badanego segmentu w 2023 roku

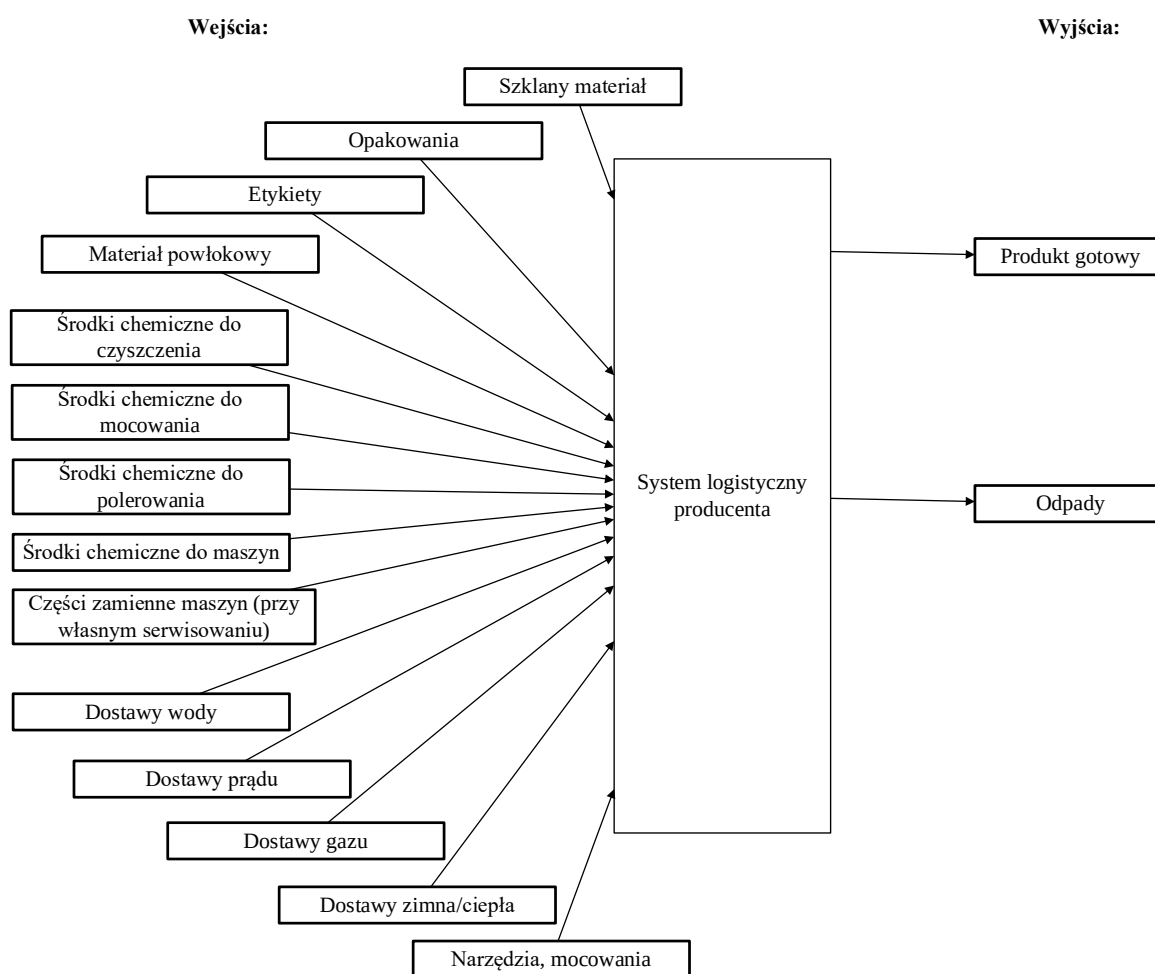


Źródło: opracowanie własne

Co istotne, klientów zaliczanych do technologii medycznej było pięciu, natomiast odpowiadali oni za 84,7% przychodu w segmencie.

5.4 Zdefiniowanie danych wejściowych i wyjściowych oraz parametrów modelu

Zgodnie z planem badań, postępowanie rozpoczęto od identyfikacji wejść i wyjść materiałowych, które mają miejsce podczas produkcji szklanych elementów optycznych wraz z powłoką refleksyjną. Zidentyfikowane materiały zostały przedstawione na poniższym rysunku 18.



Rys. 18 Wejścia i wyjścia materiałowe w systemie logistycznym producenta szklanych elementów optycznych wraz z powłoką refleksyjną/ transmisyjną

Źródło: opracowanie własne

W następnym kroku dokonano oceny wyżej zidentyfikowanych materiałów (grup materiałów) w kontekście oddziaływania na przerwanie ciągłości dostaw produktów gotowych w przypadku wystąpienia zakłóceń. W tym celu skorzystano z informacji w systemie SAP oraz przeprowadzono rozmowy z pracownikami operacyjnymi. W poniższej tabeli 4 znajdują się wyniki oceny ryzyka wraz z decyzją co do uwzględnienia poszczególnych grup materiałów w dalszych etapach analizy.

Tabela 4 Ocena ryzyka

Material	Opis	Ocena ryzyka	Do uwzględnienia
Szklany materiał	Tylko jeden certyfikowany dostawca	W przypadku utraty dostawcy mogą wystąpić problemy w dostawach. Materiał wejściowy jest trudno dostępny na rynku, dodatkowo w przypadku zmiany źródła pochodzenia musi przejść długi proces certyfikacji	tak
Opakowania	Jest dostępnych kilku dostawców	W przypadku problemu z preferowanym dostawcą można zamówić u innego dostawcy	nie
Etykiety	Wystarczająca ilość etykiet na magazynie różnych dostawców	W związku z tym, że etykieta nie ma bezpośredniego kontaktu z produktem gotowym, można w przypadku wystąpienia zakłócenia zamówić u innego dostawcy	nie
Materiał powłokowy	Jest w użyciu wiele materiałów w zależności od specyfikacji, roczny zapas na magazynie	Jest kilku producentów na rynku, w zależności od uzgodnień z klientem potrzebna może być certyfikacja przed zmianą źródła pochodzenia	nie
Środki chemiczne do czyszczenia	Zapasy na kilka miesięcy w magazynie	Jest kilku producentów na rynku, w zależności od uzgodnień z klientem potrzebna może być certyfikacja przed zmianą źródła pochodzenia	nie
Środki chemiczne do mocowania	Zapasy na kilka miesięcy w magazynie	Jest kilku producentów na rynku, w zależności od uzgodnień z klientem potrzebna może być certyfikacja przed zmianą źródła pochodzenia	nie

Środki chemiczne do polerowania	Jeden dostawca, roczny zapas na magazynie	Jest kilku producentów na rynku, w zależności od uzgodnień z klientem potrzebna może być certyfikacja przed zmianą źródła pochodzenia	nie
Środki chemiczne do maszyn	Zapasy na kilka miesięcy w magazynie	W związku z tym, że środek chemiczny do maszyn nie ma bezpośredniego kontaktu z produktem gotowym, można w przypadku wystąpienia zakłócenia zamówić u innego dostawcy	nie
Części zamienne do maszyn	Części przeznaczone do krytycznych maszyn są składowane w przedsiębiorstwie	Istnieją alternatywne plany produkcji, w razie konieczności (dłuższa awaria maszyny) można utrzymać ciągłość produkcji	nie
Dostawy wody	W produkcji korzysta się z wody z wodociągu	W razie przerwy w dostawach jest w przedsiębiorstwie na taki wypadek zbiornik z wodą	nie
Dostawy energii elektrycznej	Energię pozyskuje się z trzech źródeł	W przedsiębiorstwie dodatkowo zainwestowano w system, dzięki któremu w razie krótkich przerw w dostawie gwarantuje ciągłość zasilania	nie
Dostawy gazu	Gaz pozyskuje się z dwóch źródeł	W razie przerwy w dostawach jest w przedsiębiorstwie na taki wypadek zbiornik	nie
Dostawy zimna/ciepła	Zimno/ciepło jest pozyskiwane zarówno z zewnątrz jak i produkowane	Zimno/ciepło jest wykorzystywane w celu utrzymania stałych warunków w pomieszczeniach	nie

Narzędzia i mocowania	Narzędzia i mocowania są produkowane najczęściej w własnym zakresie	Produkcji konkretnych narzędzi i mocowań można w razie potrzeby nadać priorytet	nie
-----------------------	---	---	-----

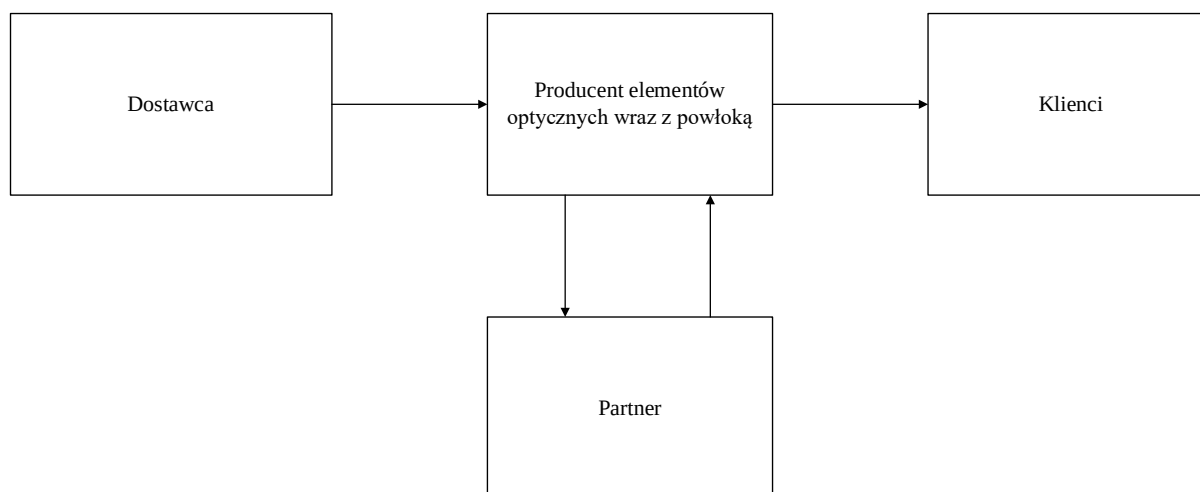
Źródło: opracowanie własne

Na podstawie dokonanej oceny stwierdzono, iż w dalszym postępowaniu będzie wzięty pod uwagę jedynie CaF₂ (szklany materiał wejściowy). Oddziaływanie pozostałych materiałów na ciągłość dostaw produktu gotowego uznano jako niekrytyczne ze względu na znaczne zapasy magazynowe oraz dostępność materiałów na rynku (bezproblemowe pozyskanie materiału od innego dostawcy). W segmencie zarówno proces produkcyjny jak i materiał wejściowy musi być zatwierdzony przez klienta, a jakiegokolwiek zmiany muszą być zgłaszane z wyprzedzeniem zgodnie z pisemnymi ustaleniami zawartymi w np. umowie o zarządzaniu zmianą. W segmencie owe regulacje dotyczą produkcji seryjnej dla klientów sklasyfikowanych w technologii medycznej.

W dalszym opracowywaniu założeń modelu, ze względu na obszerność tematyki, problemy związane z korelacją czynników oraz z niemożliwością ich oszacowania, nie zostaną wzięte pod uwagę:

- straty u dostawcy materiału wejściowego,
- czas wprowadzenia zlecenia do systemu,
- uszkodzenia produktu gotowego podczas transportu,
- zgodność i krotność użycia opakowań,
- brak opakowań, środków pomocniczych,
- priorytetyzacja produkcji zleceń kosztem innych (priorytetyzacja jednego produktu nad drugim),

Jak już w tabeli 4 wspomniano obecnie szklany materiał wejściowy pozyskuje się tylko od jednego certyfikowanego dostawcy. W związku z kosztami certyfikacji jak i wyższą ceną materiału wejściowego od innych potencjalnych dostawców, z ekonomicznego punktu widzenia certyfikowanie dodatkowego dostawcy jest niekorzystne. W związku z tym łańcuch dostaw badanego segmentu od szklanego materiału wejściowego po wyrób gotowy wygląda następująco (rysunek 19).



Rys. 19 Łańcuch dostaw badanego segmentu

Źródło: opracowanie własne

Partnerem przedstawionym na rysunku jest firma wyspecjalizowana w cięciu rdzeni. Przejęła ona krok produkcyjny ze względu na mniejsze straty materiałowe. Uczestnicy łańcucha dostaw badanego segmentu mają w różnym stopniu rozwinięte procesy logistyczne, w tym zarządzanie łańcuchem dostaw. W związku z tym, w celu zdefiniowania danych wejściowych, wyjściowych oraz parametrów modelu cyfrowego wzięto pod uwagę zarówno pisemne ustalenia jak i dokonano analizy danych z ostatnich 5 lat. W ramach analizy na wstępie dokonano podziału wyrobów gotowych ze względu na krotkość zamówienia. Wyszczególniono produkcję jednorazową oraz produkcję seryjną. Rezultat przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5 Produkcja seryjna i jednorazowa segmentu CaF₂

	2019	2020	2021	2022	2023	Średnio co roku
Ilość wariantów produktów gotowych	121	128	121	148	113	126
Ilość wariantów produktów gotowych produkowanych seryjnie	66	81	78	86	69	76
Udział procentowy produkcji seryjnej	55%	63%	64%	58%	61%	60%
Ilość wariantów produktów gotowych produkowanych jednorazowej	55	47	43	62	44	50,2
Udział procentowy produkcji jednorazowej	45%	37%	36%	42%	39%	40%

Źródło: opracowanie własne

Stwierdzono, iż stosunek między produkcją seryjną, a jednorazową wyniósł na przestrzeni lat 6 do 4. Następnie, w celu spojrzenia na segment z innej perspektywy dokonano zestawienia ilości sprzedanych produktów gotowych w sztukach. Ilość sprzedanych produktów gotowych produkcji seryjnej i jednorazowej badanego segmentu w latach 2019 – 2023 została przedstawiona w poniższej tabeli 6.

Tabela 6 Ilość sprzedanych sztuk produktu gotowego wyprodukowanego seryjnie i jednorazowo

	2019	2020	2021	2022	2023	Średnio co roku
Ilość sprzedanych produktów gotowych w sztukach	9213	9215	12091	12094	11811	10885
Ilość sprzedanych sztuk produktów gotowych wyprodukowanych seryjnie	8834	8771	11817	11221	11528	10434
Udział procentowy produkcji seryjnej	96%	95%	98%	93%	98%	96%
Ilość sprzedanych sztuk produktów gotowych wyprodukowanych w produkcji jednorazowej	379	444	274	873	283	451
Udział procentowy produkcji jednorazowej	4%	5%	2%	7%	2%	4%

Źródło: opracowanie własne

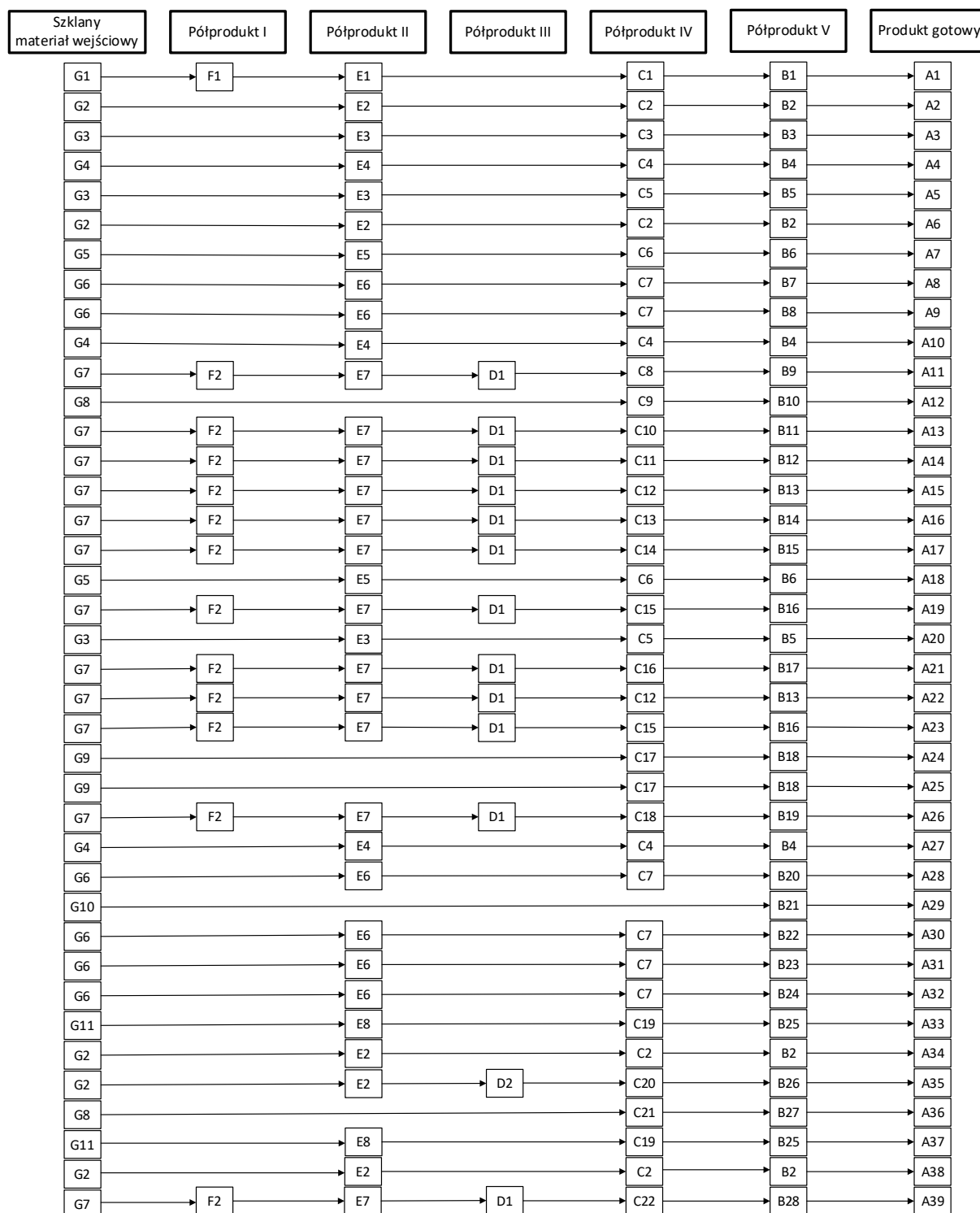
Stosunek sprzedanych sztuk produktu gotowego między produkcją seryjną, a jednorazową wyniósł na przestrzeni 5 lat 96 do 4 co w diametralny sposób zmienia postrzeganie segmentu.

W kolejnym kroku dokonano analizy systemu produkcyjnego firmy produkcyjnej (podmiotu badań). Zauważono, iż ma miejsce produkcja warsztatowa. W ramach tej produkcji inaczej nazywanej produkcją funkcjonalną lub produkcją według zasady wydajności, stanowiska pracy są klasyfikowane pod względem technologicznym oraz są przydzielane zgodnie z procedurą obróbki. Kolejność obróbki wyrobu może być w elastyczny sposób dopasowywana, ze względu na to iż wyroby są transportowane pomiędzy stanowiskami pojedynczo lub w większej ilości w ramach jednego zlecenia produkcyjnego (Bauer, 2022).

Z logistycznego punktu widzenia nie zauważono żadnych istotnych różnic w kwestii podejścia do klienta, produktów gotowych (nie stwierdzono faworyzowania produktów, klientów). W czasie przeprowadzenia analizy w segmencie nie miała miejsca produkcja w ramach projektu. Nie są znane strategie zarządzania łańcuchem dostaw u klientów, gdyż

w czasie przeprowadzania analizy działań zarządzania łańcuchem dostaw nie istniał. Z tego powodu nie poświęcano wystarczającej uwagi logistyce, zarządzaniu łańcuchem dostaw. W przedsiębiorstwie korzysta się z oprogramowania firmy SAP. Wszystkie istotne procesy takie jak m.in. pozyskanie szklanego materiału wejściowego, planowanie i sterowanie produkcją, komisjonowanie oraz wysyłka produktu gotowego odbywają się przy wsparciu tego oprogramowania. W kwestii dostępności prognozy zapotrzebowania na szklany materiał wejściowy w produkcji jednorazowej, to takiej prognozy nie było. W związku z tym samodzielnie obliczono średnie zapotrzebowanie na szklany materiał wejściowy (rzeczywiste zapotrzebowanie w przeszłości na poziomie materiału wejściowego z lat 2019 – 2023) oraz założono, iż takie ilości będą również potrzebne w 2025 roku. W praktyce w przypadku zbyt małej ilości materiału wejściowego lub zidentyfikowania zagrożenia ciągłości dostaw produktów seryjnych nie przyjęto by zlecenia od klienta. By móc dokonać oceny bezpieczeństwa dostaw założono, iż w takim przypadku miałyby miejsce ich zakłócenie. Średnio 29% rocznego zapotrzebowania na materiał wejściowy nie mogło zostać zignorowane w badaniach (10 różnych geometrii szklanego materiału wejściowego). W dalszej analizie podzielono średnie zapotrzebowanie roczne przez 12 by poznać średnie zapotrzebowanie na miesiąc. Dla produkcji seryjnej była dostępna prognoza działu sprzedaży (prognozowane ilości w danym miesiącu) na rok 2025. Z racji tego, iż prognoza działu sprzedaży była w interwale miesięcznym i tylko na 12 miesięcy zdecydowano się na interwał miesięczny w przeprowadzeniu symulacji. Ilość interwałów ograniczono do 12.

Kolejnym etapem badań było zwizualizowanie struktury zestawienia komponentów od szklanego materiału wejściowego do produktu wyjściowego. Struktura została przedstawiona na poniższym rysunku 20.

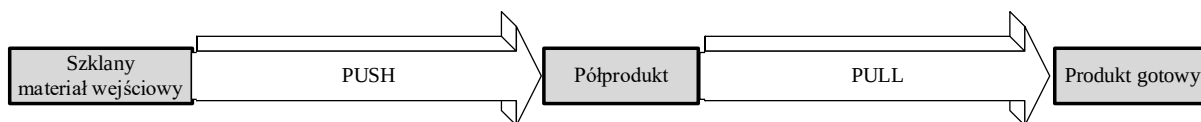


Rys. 20 Struktura zestawienia komponentów

Źródło: opracowanie własne

W sumie w strukturze jest 7 poziomów (od materiału wejściowego przez półproduktu, aż do produktu gotowego). W segmencie produkcja odbywa się według strategii produkcyjnej ATO.

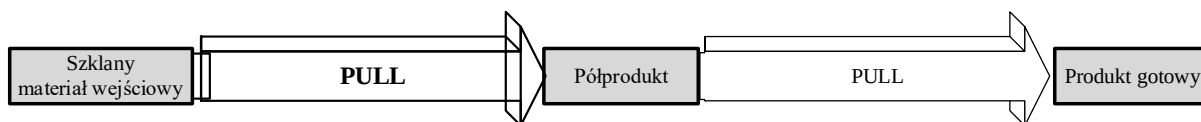
W związku z tym zidentyfikowano trzy istotne poziomy (rysunek 21).



Rys. 21 Strategia ATO

Źródło: opracowanie własne

Jak już wcześniej opisano pod pojęciem strategia produkcyjna ATO (Assemble-to-Order) należy rozumieć postępowanie, wedle którego półprodukt jest produkowany na podstawie prognozy (system PUSH). Dopiero po otrzymaniu zamówienia od klienta ma miejsce kontynuacja produkcji (system PULL) (Bhardwaj i Jain, 2007). Kształtowanie się stanów magazynowych na poziomie półproduktu ma z punktu widzenia utrzymania ciągłości dostaw znaczenie. Wewnętrzny łańcuch dostaw dzieli się tym samym na dwie części, od szklanego materiału wejściowego do półproduktu o znacznym stopniu zaawansowania oraz od półproduktu do produktu gotowego. W czasie przeprowadzania badań w przedsiębiorstwie nie było spisanego postępowania dotyczącego sterowania poziomem półproduktu (brak prognozy zleceń kroku produkcyjnego). Stwierdzono, iż przeprowadzenie symulacji na podstawie prognoz, które nigdzie nie zostały zapisane byłoby wysoce trudne do zrealizowania. Kształtowanie poziomu zapasu zależne jest od pracownika działu zakupów (to on zleca partnerowi wykonanie kroku produkcyjnego) wedle swego uznania. W związku z tym w modelu cyfrowym zmieniono system PUSH na PULL. Tym samym w modelu cyfrowym mechanizm wygląda następująco (rysunek 22).



Rys. 22 Strategia MTO

Źródło: opracowanie własne

Zmiana ta wyklucza nieprzewidywalne, chaotyczne działanie. Tym samym planowanie materiałowe może odbywać się według jasnych zasad. W modelu dopiero w sytuacji przekroczenia poziomu zapasu bezpieczeństwa ma miejsce produkcja, która ma na celu uzupełnienie zapasu.

Zauważono, iż często wykorzystuje się dany materiał wejściowy do produkcji kilku różnych produktów gotowych. W celu przeprowadzenia badań na poziomie półproduktu, który powrócił do przedsiębiorstwa po obróbce przez partnera został ustalony zapas bezpieczeństwa. Zapas bezpieczeństwa półproduktu po obróbce przez partnera ustalono jako 6-krotność średniego miesięcznego zapotrzebowania ustaloną na podstawie realnego zapotrzebowania z przeszłości. Fakt, iż producent nie ma bezpośredniej kontroli nad krokiem produkcyjnym u partnera (np. nie może prioryzować produkcji u partnera) wpłynął na wielkość zapasu

bezpieczeństwa. Zauważono, iż w ramach realizacji produkcji seryjnej partner nie zawsze bierze w niej udział. W przypadku realizacji produkcji bez udziału partnera został również ustalony zapas bezpieczeństwa. W takim przypadku zdecydowano się na 4-krotność średniego miesięcznego zapotrzebowania – z racji krótszego cyklu produkcyjnego oraz pozostawienia kroku produkcyjnego w przedsiębiorstwie (kontrola nad krokiem produkcyjnym). Zapas bezpieczeństwa może być mniejszy niż w przypadku artykułów gdzie zdecydowano się na outsourcing kroku produkcyjnego.

W przypadku szklanego materiału wejściowego również nie było ustalonego zapasu bezpieczeństwa, zdecydowano się na zapas wynoszący 12 interwałów średnich potrzeb materiału wejściowego. Decyzję tą utwierdził fakt, iż miały miejsce ustalenia pomiędzy klientami, a producentem w ramach zarządzania zmianą. Według pisemnych ustaleń od momentu ogłoszenia zmiany w produkcji dopiero po 12 miesiącach wchodzi ona w życie, chyba że dojdzie do dodatkowych ustaleń skracających ten czas. Dodatkowo, w przypadku produkcji jednorazowej czas realizacji zamówienia jest istotny dla klientów (np. konieczność rozliczenia subwencji na badania w danym roku rozliczeniowym), przez co brak oczekiwania na materiał wejściowy staje się w takiej sytuacji bardzo korzystny. Również fakt, iż materiał wejściowy znajduje coraz to szersze zastosowanie, a co za tym idzie coraz więcej producentów zgłasza zapotrzebowanie na materiał utwierdził w zasadności 12 interwałów. Jak już wspomniano w czasie przeprowadzania badań brakowało drugiego alternatywnego dostawcy. W przypadku problemów u dostawcy nie było możliwe pozyskanie materiału z innego źródła.

Kolejno przy pomocy analizy danych z systemu SAP ustalono średnie starty materiałowe oraz optymalną ilość materiału w pojedynczym zleceniu produkcyjnym. Również udział materiału (waga materiału) została ustalona na podstawie informacji zawartych w systemie. Udział materiału jest bardzo istotny ze względu na to, iż szklany materiał wejściowy jest kupowany w kilogramach. Bez tej informacji nie można by było ustalić potrzeb materiałowych na poziomie materiału wejściowego.

Z racji tego, iż analiza oparta jest o dane rzeczywiste konieczne było pozyskanie danych. W związku z tym pobrano dane z systemu operacyjnego SAP na dzień 31.12.2024. Następujące dane zostały pobrane:

- produkcja w toku (zlecenia wraz z ilością sztuk półproduktu),
- stan magazynowy materiału wejściowego, półproduktów i produktów gotowych,
- potwierdzone dostawy produktu gotowego,
- zlecone ilości półproduktu u partnera wraz z terminem dostarczenia.

W następnym etapie zidentyfikowano potencjalne zakłócenia mogące oddziaływać na system logistyczny producenta oraz terminowość dostaw produktów gotowych w łańcuchu dostaw. Do każdego zakłócenia została przydzielona skala oddziaływania. Zakłócenia wraz z skalą oraz opisem zostały przedstawione w poniższej tabeli 7.

Tabela 7 Potencjalne zakłócenia

Zakłócenie	Skala	Opis
Zwiększone potrzeby na szklany materiał wejściowy w produkcji jednorazowej	Od 1 do n	W przypadku wartości 1 potrzeby materiałowe odpowiadają założeniom (średnie zapotrzebowanie materiałowe z ostatnich lat). Im wyższa wartość, tym więcej materiału wejściowego jest potrzebne by móc rozpocząć produkcję jednorazową.
Dodatkowe straty materiałowe w produkcji seryjnej	Od 0,01 do 1	W przypadku wartości 1 nie mają miejsca dodatkowe straty. Im mniejsza wartość tym większe dodatkowe straty w produkcji seryjnej.
Brak dostaw materiału wejściowego w interwale bez możliwości zrekompensowania, dostarczenia w późniejszym terminie	Od 0 do 1	W przypadku wartości równej 1 nie ma miejsca brak dostaw szklanego materiału wejściowego. W przypadku wartości równej 0 ma miejsce brak dostaw materiału. Nie ma miejsca dostarczenie materiału w późniejszym terminie.
Opóźnienie się dostaw materiału wejściowego	1,2,3,4,5, 6,7,8,9,10 lub 11	W przypadku wartości równej 1 w interwale nie ma miejsca opóźnienie się dostaw. W przypadku wartości większej niż 1 ma miejsce opóźnienie się dostawy.
Wydłużenie się czasu dostawy półproduktu od partnera	2, 3, 4,5 lub 6	Aktualnie czas realizacji kroku produkcyjnego przez partnera wynosi 2 interwały (2 miesiące). W przypadku wartości powyżej 2 ma miejsce wydłużenie czasu realizacji kroku produkcyjnego.
Wydłużenie się czasu trwania realizacji zlecenia produkcyjnego w produkcji seryjnej (od półproduktu do produktu gotowego)	2, 3 lub 4	W roku 2024 średni czas realizacji zlecenia produkcyjnego w badanym segmencie wyniósł w zaokrągleniu 2 interwały (produkcja seryjna). W przypadku wartości powyżej 2 ma miejsce wydłużenie czasu realizacji zleceń produkcyjnych.

Zwiększone zapotrzebowanie na produkty seryjne (niedoszacowanie potrzeb przez dział sprzedaży)	Od 1 do n	W przypadku wartości równej 1 prognoza działu sprzedaży odpowiadałaby w 100% zamówieniom klientów. W przypadku wartości poniżej 1, to klienci potrzebowaliby mniej sztuk produktu gotowego, aniżeli przewidziano w prognozie, miałyby miejsce przeszacowanie potrzeb. Natomiast wartość większa niż 1 oznacza niedoszacowanie zapotrzebowania na produkty seryjne.
--	-----------	--

Źródło: opracowanie własne

W dalszym postępowaniu zostały zidentyfikowane aktualne wartości parametrów modelu cyfrowego (bez dodatkowego oddziaływania zakłóceń), które przedstawiono w poniższej tabeli 8.

Tabela 8 Wejściowe ustawienia parametrów modelu

Parametr	Wartość referencyjna
Zapotrzebowanie materiałowe w produkcji jednorazowej	1
Straty materiałowe w produkcji	1
Kompletność dostaw materiału wejściowego	1
Terminowość dostaw materiału wejściowego	0
Czas wykonywania kroku produkcyjnego przez partnera	2
Czas trwania produkcji (od półproduktu do produktu gotowego)	2
Zapotrzebowanie na produkty seryjne	1

Źródło: opracowanie własne

Powyższe wartości zostały zidentyfikowane w oparciu o dane historyczne jak i ustawienia w systemie informatycznym podmiotu badań.

W następnym kroku ustalono wskaźniki mające na celu umożliwić zmierzenie wpływu zakłóceń w modelu. Na ich podstawie będzie możliwe dokonanie oceny odporności systemu logistycznego, łańcucha dostaw. Zostały ustalone wskaźniki na trzech poziomach:

I. Na poziomie materiału wejściowego:

- a. braki materiału wejściowego. W ramach wpływu każdego zakłócenia z osobna, w każdym interwale, dla wszystkich 11 materiałów wejściowych (od G1 do G11) obliczono nadwyżkę/braki materiału (B_{mi}). W tym celu skorzystano z następującego wzoru:

$$B_{mi} = Z_{mi-1} - (Z_{pi-1} + P_{jm})$$

gdzie

m = materiał wejściowy (od G_1 do G_{11})

i = interwał czasu (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L)

Z_m = zapas na magazynie (stan magazynowy z poprzedniego interwału, Z_{m0} to stan wejściowy na dzień 31.12.2024),

Z_p = zapotrzebowanie na materiał wejściowy w danym interwale (produkcja seryjna),

P_j = zapotrzebowanie na materiał wejściowy w danym interwale (produkcja jednorazowa).

W celu wizualizacji, przedstawienia wyników pośrednich stworzono poniższą macierz (rysunek 23). Macierz jest to tablica prostokątna lub dwuwymiarowa, która składa się z wierszy i kolumn. Zazwyczaj używa się dużej litery w celu zapisania macierzy. W celu zapisania elementu macierzy używa się odpowiedniej litery z indeksem dolnym oznaczającym wiersz oraz kolejny znak z indeksem dolnym oznaczający kolumnę (Gentle, 2024).

		Interwały czasowe											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Materiał wejściowy	G1	B _{G1A}	B _{G1B}	B _{G1C}	B _{G1D}	B _{G1E}	B _{G1F}	B _{G1G}	B _{G1H}	B _{G1I}	B _{G1J}	B _{G1K}	B _{G1L}
	G2	B _{G2A}	B _{G2B}	B _{G2C}	B _{G2D}	B _{G2E}	B _{G2F}	B _{G2G}	B _{G2H}	B _{G2I}	B _{G2J}	B _{G2K}	B _{G2L}
	G3	B _{G3A}	B _{G3B}	B _{G3C}	B _{G3D}	B _{G3E}	B _{G3F}	B _{G3G}	B _{G3H}	B _{G3I}	B _{G3J}	B _{G3K}	B _{G3L}
	G4	B _{G4A}	B _{G4B}	B _{G4C}	B _{G4D}	B _{G4E}	B _{G4F}	B _{G4G}	B _{G4H}	B _{G4I}	B _{G4J}	B _{G4K}	B _{G4L}
	G5	B _{G5A}	B _{G5B}	B _{G5C}	B _{G5D}	B _{G5E}	B _{G5F}	B _{G5G}	B _{G5H}	B _{G5I}	B _{G5J}	B _{G5K}	B _{G5L}
	G6	B _{G6A}	B _{G6B}	B _{G6C}	B _{G6D}	B _{G6E}	B _{G6F}	B _{G6G}	B _{G6H}	B _{G6I}	B _{G6J}	B _{G6K}	B _{G6L}
	G7	B _{G7A}	B _{G7B}	B _{G7C}	B _{G7D}	B _{G7E}	B _{G7F}	B _{G7G}	B _{G7H}	B _{G7I}	B _{G7J}	B _{G7K}	B _{G7L}
	G8	B _{G8A}	B _{G8B}	B _{G8C}	B _{G8D}	B _{G8E}	B _{G8F}	B _{G8G}	B _{G8H}	B _{G8I}	B _{G8J}	B _{G8K}	B _{G8L}
	G9	B _{G9A}	B _{G9B}	B _{G9C}	B _{G9D}	B _{G9E}	B _{G9F}	B _{G9G}	B _{G9H}	B _{G9I}	B _{G9J}	B _{G9K}	B _{G9L}
	G10	B _{G10A}	B _{G10B}	B _{G10C}	B _{G10D}	B _{G10E}	B _{G10F}	B _{G10G}	B _{G10H}	B _{G10I}	B _{G10J}	B _{G10K}	B _{G10L}
	G11	B _{G11A}	B _{G11B}	B _{G11C}	B _{G11D}	B _{G11E}	B _{G11F}	B _{G11G}	B _{G11H}	B _{G11I}	B _{G11J}	B _{G11K}	B _{G11L}

Rys. 23 Macierz - wizualizacja częściowych wyników

Źródło: opracowanie własne

Następnie liczbom z macierzy przydzielono wartości zgodnie z poniższymi regułami:

Jeżeli $B_{mi} \geq 0$ wtedy wartość 1, jeżeli $B_{mi} < 0$ wtedy wartość 0

W sytuacji referencyjnej (bez wpływu dodatkowych zakłóceń) macierz wygląda następująco (rysunek 24).

wejściowy z ostatnich 5 lat, a następnie podzielono go przez 60 interwałów (5 lat razy 12 miesięcy). Posłużono się następującym wzorem:

$$\dot{S}_m = \frac{\sum_{i=1}^n Z_m}{n}$$

gdzie:

$\dot{S}_m$ = średnie zapotrzebowanie na materiał wejściowy (od G_1 do G_{11}) w interwale.

Z_m = zużycie materiału w interwale,

n = liczebność interwałów czasu.

Kolejno w celu obliczenia zapasu bezpieczeństwa poszczególnych materiałów wejściowych posłużono się następującym wzorem:

$$Z_b = \dot{S}_m \cdot n$$

gdzie:

Z_b = Zapas bezpieczeństwa materiału wejściowego (od G_1 do G_{11})

$\dot{S}_m$ = średnie zapotrzebowanie na materiał wejściowy w interwale

n = liczebność interwałów czasu (12 interwałów)

Zostały ustalone różne wartości zapasu bezpieczeństwa dla każdego z 11 materiałów wejściowych. Kolejno dla każdego materiału w każdym interwale podzielono jego nadwyżki, braki (B_{mi}) przez zapas bezpieczeństwa (Z_{bm}). Wizualizacja w poniższej macierzy (rysunek 26).

		Interwały czasowe											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Materiał wejściowy	G1	B _{G1A} /Z _{bG1}	B _{G1B} /Z _{bG1}	B _{G1C} /Z _{bG1}	B _{G1D} /Z _{bG1}	B _{G1E} /Z _{bG1}	B _{G1F} /Z _{bG1}	B _{G1G} /Z _{bG1}	B _{G1H} /Z _{bG1}	B _{G1I} /Z _{bG1}	B _{G1J} /Z _{bG1}	B _{G1K} /Z _{bG1}	B _{G1L} /Z _{bG1}
	G2	B _{G2A} /Z _{bG2}	B _{G2B} /Z _{bG2}	B _{G2C} /Z _{bG2}	B _{G2D} /Z _{bG2}	B _{G2E} /Z _{bG2}	B _{G2F} /Z _{bG2}	B _{G2G} /Z _{bG2}	B _{G2H} /Z _{bG2}	B _{G2I} /Z _{bG2}	B _{G2J} /Z _{bG2}	B _{G2K} /Z _{bG2}	B _{G2L} /Z _{bG2}
	G3	B _{G3A} /Z _{bG3}	B _{G3B} /Z _{bG3}	B _{G3C} /Z _{bG3}	B _{G3D} /Z _{bG3}	B _{G3E} /Z _{bG3}	B _{G3F} /Z _{bG3}	B _{G3G} /Z _{bG3}	B _{G3H} /Z _{bG3}	B _{G3I} /Z _{bG3}	B _{G3J} /Z _{bG3}	B _{G3K} /Z _{bG3}	B _{G3L} /Z _{bG3}
	G4	B _{G4A} /Z _{bG4}	B _{G4B} /Z _{bG4}	B _{G4C} /Z _{bG4}	B _{G4D} /Z _{bG4}	B _{G4E} /Z _{bG4}	B _{G4F} /Z _{bG4}	B _{G4G} /Z _{bG4}	B _{G4H} /Z _{bG4}	B _{G4I} /Z _{bG4}	B _{G4J} /Z _{bG4}	B _{G4K} /Z _{bG4}	B _{G4L} /Z _{bG4}
	G5	B _{G5A} /Z _{bG5}	B _{G5B} /Z _{bG5}	B _{G5C} /Z _{bG5}	B _{G5D} /Z _{bG5}	B _{G5E} /Z _{bG5}	B _{G5F} /Z _{bG5}	B _{G5G} /Z _{bG5}	B _{G5H} /Z _{bG5}	B _{G5I} /Z _{bG5}	B _{G5J} /Z _{bG5}	B _{G5K} /Z _{bG5}	B _{G5L} /Z _{bG5}
	G6	B _{G6A} /Z _{bG6}	B _{G6B} /Z _{bG6}	B _{G6C} /Z _{bG6}	B _{G6D} /Z _{bG6}	B _{G6E} /Z _{bG6}	B _{G6F} /Z _{bG6}	B _{G6G} /Z _{bG6}	B _{G6H} /Z _{bG6}	B _{G6I} /Z _{bG6}	B _{G6J} /Z _{bG6}	B _{G6K} /Z _{bG6}	B _{G6L} /Z _{bG6}
	G7	B _{G7A} /Z _{bG7}	B _{G7B} /Z _{bG7}	B _{G7C} /Z _{bG7}	B _{G7D} /Z _{bG7}	B _{G7E} /Z _{bG7}	B _{G7F} /Z _{bG7}	B _{G7G} /Z _{bG7}	B _{G7H} /Z _{bG7}	B _{G7I} /Z _{bG7}	B _{G7J} /Z _{bG7}	B _{G7K} /Z _{bG7}	B _{G7L} /Z _{bG7}
	G8	B _{G8A} /Z _{bG8}	B _{G8B} /Z _{bG8}	B _{G8C} /Z _{bG8}	B _{G8D} /Z _{bG8}	B _{G8E} /Z _{bG8}	B _{G8F} /Z _{bG8}	B _{G8G} /Z _{bG8}	B _{G8H} /Z _{bG8}	B _{G8I} /Z _{bG8}	B _{G8J} /Z _{bG8}	B _{G8K} /Z _{bG8}	B _{G8L} /Z _{bG8}
	G9	B _{G9A} /Z _{bG9}	B _{G9B} /Z _{bG9}	B _{G9C} /Z _{bG9}	B _{G9D} /Z _{bG9}	B _{G9E} /Z _{bG9}	B _{G9F} /Z _{bG9}	B _{G9G} /Z _{bG9}	B _{G9H} /Z _{bG9}	B _{G9I} /Z _{bG9}	B _{G9J} /Z _{bG9}	B _{G9K} /Z _{bG9}	B _{G9L} /Z _{bG9}
	G10	B _{G10A} /Z _{bG10}	B _{G10B} /Z _{bG10}	B _{G10C} /Z _{bG10}	B _{G10D} /Z _{bG10}	B _{G10E} /Z _{bG10}	B _{G10F} /Z _{bG10}	B _{G10G} /Z _{bG10}	B _{G10H} /Z _{bG10}	B _{G10I} /Z _{bG10}	B _{G10J} /Z _{bG10}	B _{G10K} /Z _{bG10}	B _{G10L} /Z _{bG10}
	G11	B _{G11A} /Z _{bG11}	B _{G11B} /Z _{bG11}	B _{G11C} /Z _{bG11}	B _{G11D} /Z _{bG11}	B _{G11E} /Z _{bG11}	B _{G11F} /Z _{bG11}	B _{G11G} /Z _{bG11}	B _{G11H} /Z _{bG11}	B _{G11I} /Z _{bG11}	B _{G11J} /Z _{bG11}	B _{G11K} /Z _{bG11}	B _{G11L} /Z _{bG11}

Rys. 26 Macierz – wizualizacja

Źródło: opracowanie własne

Następnie tak jak w przypadku wskaźnika braków materiału przydzielono wartości 0 lub 1 według poniższych reguł:

$$\text{Jeżeli } \frac{B_{mi}}{Z_{bm}} \geq 1 \text{ wtedy } 1, \text{ jeżeli } \frac{B_{mi}}{Z_{bm}} < 1 \text{ wtedy } 0$$

W sytuacji referencyjnej bez dodatkowych zakłóceń macierz wygląda następująco (rysunek 27).

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$\frac{12}{12}=1$
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	$\frac{7}{12}=0,58$
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$\frac{11}{12}=0,92$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	$\frac{3}{12}=0,25$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$\frac{12}{12}=1$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$\frac{12}{12}=1$
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$\frac{10}{12}=0,83$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	$\frac{10}{12}=0,83$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$\frac{12}{12}=1$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$\frac{12}{12}=1$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$\frac{12}{12}=1$
$\frac{7}{11}=0,63$	$\frac{8}{11}=0,73$	$\frac{9}{11}=0,82$	$\frac{9}{11}=0,82$	$\frac{9}{11}=1$	$\frac{10}{11}=0,91$	$\frac{10}{11}=0,91$	$\frac{10}{11}=0,91$	$\frac{10}{11}=0,91$	$\frac{11}{11}=1$	$\frac{10}{11}=0,91$	$\frac{10}{11}=0,91$	→ wskaznik = średnia = 0,86

Rys. 27 Wskaźnik odniesienia materiału wejściowego do zapasu bezpieczeństwa w sytuacji braku dodatkowych zakłóceń

Źródło: opracowanie własne

Wartość wskaźnika równa jeden oznacza, że zapas bezpieczeństwa nie został naruszony. Wartość pomiędzy 0 a 1 oznacza, iż musiano skorzystać z zapasu bezpieczeństwa w celu realizacji produkcji.

II. Na poziomie półproduktu (produkcja seryjna):

- braki półproduktu. W ramach wpływu każdego zakłócenia z osobna, w każdym interwale, dla wszystkich 12 półproduktów (E_1 do E_8 , C_9 , C_{17} , C_{21} oraz B_{21}) obliczono nadwyżkę/braki półproduktu (N_{mi}). W tym celu skorzystano z następującego wzoru:

$$N_{mi} = Z_{mi-1} - Z_{pi} + D_{pi}$$

gdzie

m = półprodukt (od E_1 do E_8 , C_9 , C_{17} , C_{21} oraz B_{21})

i = interwał czasu (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L)

Z_m = zapas na magazynie (stan magazynowy z poprzedniego interwału, Z_{m0} to stan wejściowy na dzień 31.12.2024),

Z_p = zapotrzebowanie na półprodukt w danym interwale (produkcja seryjna),

D_p = dostawy półproduktu od partnera w danym interwale lub dotarcie półproduktu w ramach własnej produkcji.

Kolejno tak jak w przypadku ustalenia braków materiału wejściowego przydzielono wartości 0 lub 1 według poniższych reguł:

Jeżeli $N_{mi} \geq 0$ wtedy 1, jeżeli $N_{mi} < 0$ wtedy 0

Wartość 0 oznacza, że nie można by było kontynuować produkcji. Wartość 1 oznacza, iż nie brakowałoby półproduktu. Następnie zsumowano wyniki oraz podzielono przez ilość interwałów, półproduktów oraz wyciągnięto średnią

z interwałów czasowych. W sytuacji bez wpływu dodatkowych zakłóceń macierz wraz z wskaźnikiem wygląda następująco (rysunek 28).

		Interwały czasowe											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Półprodukt	B21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	C9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	C17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	C21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	E1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	E2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	E3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	E4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	E5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	E6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	E7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	E8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$

$\frac{12}{12}=1$
 $\frac{12}{12}=1$
 $\frac{12}{12}=1$
 $\frac{12}{12}=1$
 $\frac{12}{12}=1$
 $\frac{12}{12}=1$
 $\frac{12}{12}=1$
 $\frac{12}{12}=1$
 $\frac{12}{12}=1$
 $\frac{12}{12}=1$
 $\frac{12}{12}=1$
 $\frac{12}{12}=1$
 $\frac{12}{12}=1$
 $\frac{12}{12}=1$

↓

wskaźnik =
 średnia = 1

Rys. 28 Wskaźnik braku półproduktu – w sytuacji braku dodatkowych zakłóceń
 Źródło: opracowanie własne

- b. półprodukt w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa. Sposób obliczenia wskaźnika jest taki sam jak w przypadku materiału wejściowego w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa. Obliczanie wskaźnika ma miejsce osobno dla każdego półproduktu (8 różnych półproduktów, w których produkcji uczestniczy partner). Dodatkowo 4 półprodukty, w których produkcji nie uczestniczy partner zostały również wzięte pod uwagę. Zarówno procedura obliczenia jak i interpretacja wartości są takie same jak w przypadku wskaźnika materiału wejściowego w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa. Skorzystano z następującego wzoru:

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_m}{n} \cdot C$$

gdzie:

T_m = zapas bezpieczeństwa półproduktu

R_m = zużycie półproduktu w interwale,

n = liczebność interwałów czasu.

C = liczba interwałów na ile ma wystarczyć zapas bezpieczeństwa przy średnim zapotrzebowaniu (dla produkcji z udziałem partnera 6 interwałów, bez udziału 4 interwały).

Następnie podzielono N_{mi} przez T_m

Kolejno przydzielono wartości 0 lub 1 według poniższych reguł:

Jeżeli $\frac{N_{mi}}{T_m} \geq 1$ wtedy 1, jeżeli $\frac{N_{mi}}{T_m} < 1$ wtedy 0

Wyniki w przypadku sytuacji bez wpływu dodatkowych zakłóceń zostały przedstawione w poniższej macierzy (rysunek 29).

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

$\frac{8}{12}=0,67$	$\frac{11}{12}=0,92$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{11}{12}=0,92$	$\frac{11}{12}=0,92$	$\frac{11}{12}=0,92$	$\frac{11}{12}=0,92$	$\frac{12}{12}=1$	$\frac{11}{12}=0,92$
---------------------	----------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-------------------	----------------------

$\frac{12}{12}=1$
$\frac{12}{12}=1$
$\frac{12}{12}=1$
$\frac{12}{12}=1$
$\frac{10}{12}=0,83$
$\frac{12}{12}=1$
$\frac{7}{12}=0,58$
$\frac{12}{12}=1$
$\frac{11}{12}=0,92$
$\frac{11}{12}=0,92$
$\frac{12}{12}=1$
$\frac{11}{12}=0,92$

↓
wskaźnik =
średnia =
0,93

Rys. 29 Wskaźnik odniesienia półproduktu do zapasu bezpieczeństwa w sytuacji braku dodatkowych zakłóceń
Źródło: opracowanie własne

III. Na poziomie produktu gotowego (produkcja seryjna):

- a. DIFOT (Delivery In Full, On Time) – kompletne dostawy, na czas – mierzy wydajność łańcucha dostaw. Tym wskaźnikiem mierzy się kompletność dostaw w potwierdzonym terminie dostawy. W celu obliczenia wskaźnika wykorzystuje się następujący wzór (McLean, 2017):

$$\text{DIFOT} = \frac{D_t}{D_c} \cdot \frac{100\%}{1}$$

Gdzie:

D_t = ilość kompletnych dostaw dostarczonych na czas,

D_c = całkowita ilość dostaw.

Również wskaźnik DIFOT został obliczony w każdym interwale dla każdego seryjnego produktu gotowego z osobna (A_1 do A_{39}). Kolejno przydzielono wartości 0 lub 1 według poniższych reguł:

Jeżeli $\text{DIFOT}_{mi} = 1$ wtedy 1, jeżeli $\text{DIFOT}_{mi} < 1$ wtedy 0

Wyniki w przypadku sytuacji bez wpływu dodatkowych zakłóceń zostały przedstawione w poniższej macierzy (rysunek 30).

6 BADANIA SYMULACYJNE ŁAŃCUCHA DOSTAW

6.1 Opracowanie modelu cyfrowego

Opracowanie modelu cyfrowego w arkuszu Microsoft Excel rozpoczęto od importowania danych wejściowych. Utworzono następujące karty w arkuszu:

- „Produkcja jednorazowa”, w której zapisano materiały wejściowe oraz przyporządkowano im wcześniej obliczone średnie zapotrzebowanie w interwale,
- „Prognoza sprzedaży”, w której zostały zapisane przewidywane ilości zapotrzebowania na produkt gotowy, produkowany w ramach produkcji seryjnej (w sztukach w interwale),
- „Dostawy”, w której zostały zapisane potwierdzone terminy dostaw szklanego materiału wejściowego oraz półproduktu będącego na dzień 31.12.2024 u partnera,
- „W magazynie”, w której zapisano stan magazynowy materiału wejściowego, półproduktów oraz produktów gotowych na dzień 31.12.2024,
- „W produkcji”, w której zapisano ilość sztuk półproduktu, materiału wejściowego będącego na dzień 31.12.2024 w produkcji,
- „Struktura produktów seryjnych”, w której zapisano strukturę komponentów wraz z optymalną ilością sztuk w zleceniu produkcyjnym na każdym poziomie produkcji. Zapisano również procent dobrze wyprodukowanych szklanych elementów optycznych na danym poziomie realizacji produkcji. Również udział materiału (ile waży jedna sztuka) zapisano w tym arkuszu.
- „Stan wejściowy”, w której zestawiono informacje z kart w magazynie, w produkcji, dostawy oraz struktura produktów seryjnych.

Następnie utworzono 12 kart, które ponumerowano od „01” do „12”. Odpowiadają one 12 interwałom czasu i zostały ze sobą powiązane, innymi słowy wartości wyjściowe z pierwszego interwału są częścią danych wejściowych do drugiego, z drugiego do trzeciego i tak aż do dwunastego. Dodatkowo kartę arkusza o nazwie „stan wejściowy” powiązano z pierwszym interwałem.

Kolejno utworzono kartę arkusza o nazwie „Ustawienia modelu” w której zapisano zakłócenia modelu wraz z opisem, skalą i wartością parametru. Wartości parametru powiązano z kartami interwałów. Zmiana wartości parametru w tej karcie ma wpływ na funkcjonowanie modelu. Również zapasy bezpieczeństwa zapisano w tej karcie. Zmiana wartości zapasu bezpieczeństwa w tej karcie również będzie miała wpływ na funkcjonowanie modelu. Ostatnią

kartę którą utworzono była karta o nazwie „podsumowanie”. Celem tej karty arkusza jest zebranie w jednej tabeli wartości wskaźników.

W następnym etapie przeprowadzania badań zostały zdefiniowane scenariusze z zakłóceniami wraz z dopasowaniem wartości parametrów w ustawieniach modelu oraz liczbą wyników analizy. Scenariusze zostały przedstawione w poniższej tabeli 9.

Tabela 9 Scenariusze

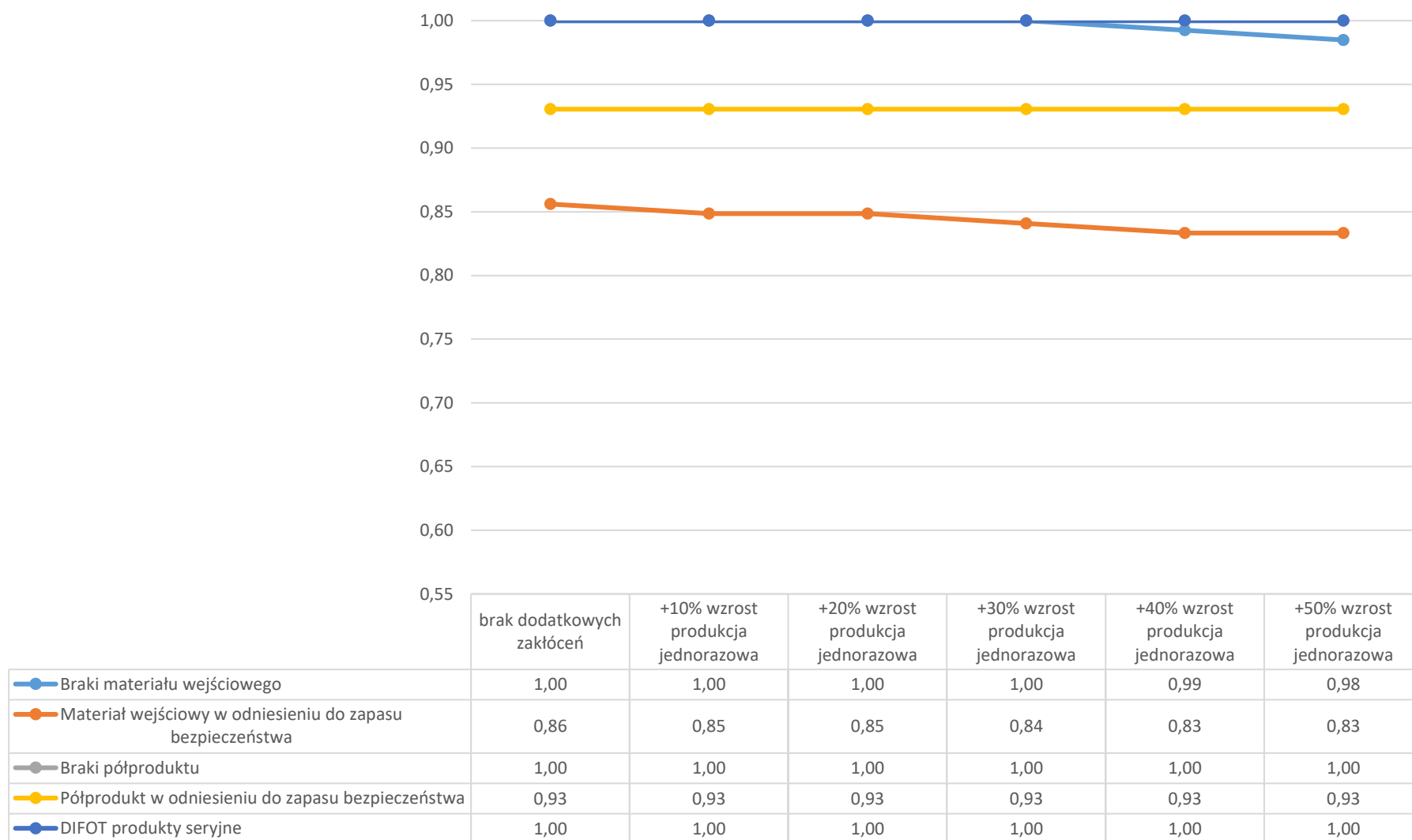
Numer scenariusza	Opis	Dopasowanie wartości	Ilość wyników
1	Wzrost zapotrzebowania na materiał wejściowy w produkcji jednorazowej – niedoszacowanie potrzeb materiałowych	Zmiana wartości parametru modelu z 1 o 0,1 aż do wartości 1,5	5
2	Dodatkowe straty materiałowe w produkcji	Zmiana wartości parametru modelu z 1 o 0,05 aż do wartości 0,8 w każdym interwale równocześnie	4
3	Brak dostaw materiału wejściowego w interwale bez możliwości zrekompensowania, dostarczenia w późniejszym terminie	Zmiana wartości parametru z 1 na 0 począwszy od pierwszego interwału skończywszy na ostatnim	12
4	Opóźnienie się dostaw materiału wejściowego	Zmiana wartości parametru z 1 o 1, aż do wartości 11 w każdym interwale równocześnie	11
5	Wydłużenie się czasu dostawy półproduktu od partnera	Zmiana wartości parametru z 2 o 1, aż do wartości 6 w każdym interwale równocześnie	4
6	Wydłużenie się czasu produkcji wyrobu gotowego od półproduktu do produktu gotowego	Zmiana wartości parametru z 2 o 1, aż do wartości 4 w każdym interwale równocześnie	2

7	Zwiększenie się zapotrzebowania na produkty gotowe (produkcja seryjna) – niedoszacowanie zapotrzebowania na produkty seryjne	Zmiana wartości parametru modelu z 1 o 0,1 aż do wartości 2 w każdym interwale równocześnie	11
---	--	---	----

Źródło: opracowanie własne

Kolejnym etapem badań było przeprowadzenie symulacji (analizy wrażliwości). W analizie tej badano wpływ pojedynczych zakłóceń na system logistyczny oraz łańcuch dostaw podmiotu badań. Wartości wskaźników w sytuacji bez wpływu dodatkowych zakłóceń przyjęto jako wartości referencyjne w każdym ze scenariuszy (podstawę do porównania). Brak ustalenia poziomów zapasu bezpieczeństwa w systemie informatycznym w relacji półproduktu do zapasu bezpieczeństwa oraz materiału wejściowego do zapasu bezpieczeństwa spowodowało, iż wartości referencyjne nie są równe 1. W przypadku pozostałych trzech wskaźników wartość referencyjna różna od 1 oznaczałaby niedoszacowanie potrzeb materiałowych – błędy operatywne. Kolejno przeprowadzono symulacje, które zostały przedstawione na poniższych rysunkach. Analizę rozpoczęto od nieprzewidzianego wzrostu zapotrzebowania na materiał wejściowy w celu realizacji produkcji jednorazowej.

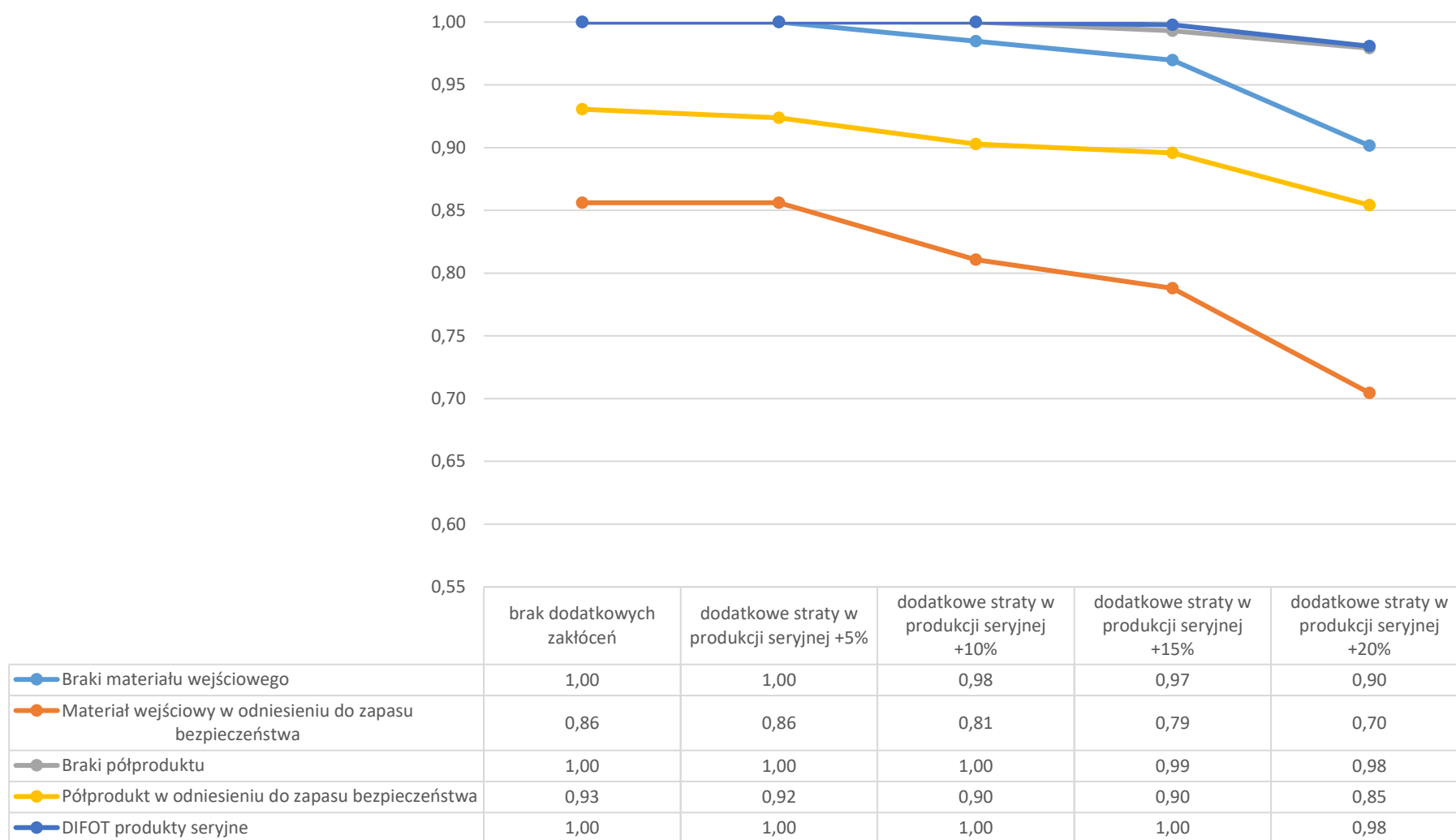
Wykres 11 Zakłócenie: wzrost zapotrzebowania na materiał wejściowy w produkcji jednorazowej



Źródło: opracowanie własne

W przypadku tego zakłócenia brana była pod uwagę produkcja nieseryjna (wykres 11). Powodem wzrostu zapotrzebowania na materiał wejściowy mogą być np. zwiększone straty materiałowe w procesie produkcyjnym i/lub większa ilość zamówionych produktów gotowych. Na podstawie przeprowadzonych symulacji należy stwierdzić, iż zarówno wskaźnik braków półproduktów, wskaźnik półproduktu w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa jak i wskaźnik DIFOT dla produktów seryjnych nie zmieniają swoich wartości względem wartości referencyjnej. W związku z tym widoczny jest brak oddziaływania wzrostu zapotrzebowania na materiał wejściowy przez produkcję nieseryjną na produkcję seryjną. W przypadku pozostałych dwóch wskaźników ich wartości ulegają zmianie w nieznacznym stopniu. W przypadku wzrostu zapotrzebowania o 40% oraz o 50% zabrakłoby tylko jednego materiału wejściowego czego efektem byłby brak możliwości rozpoczęcia produkcji produktu jednorazowego. W takim przypadku konieczne byłoby zwrócenie się do producenta w celu sprawdzenia możliwości dostarczenia materiału wejściowego w większej ilości lub sprawdzenie możliwości skorzystania z innego materiału wejściowego (np. o innej geometrii).

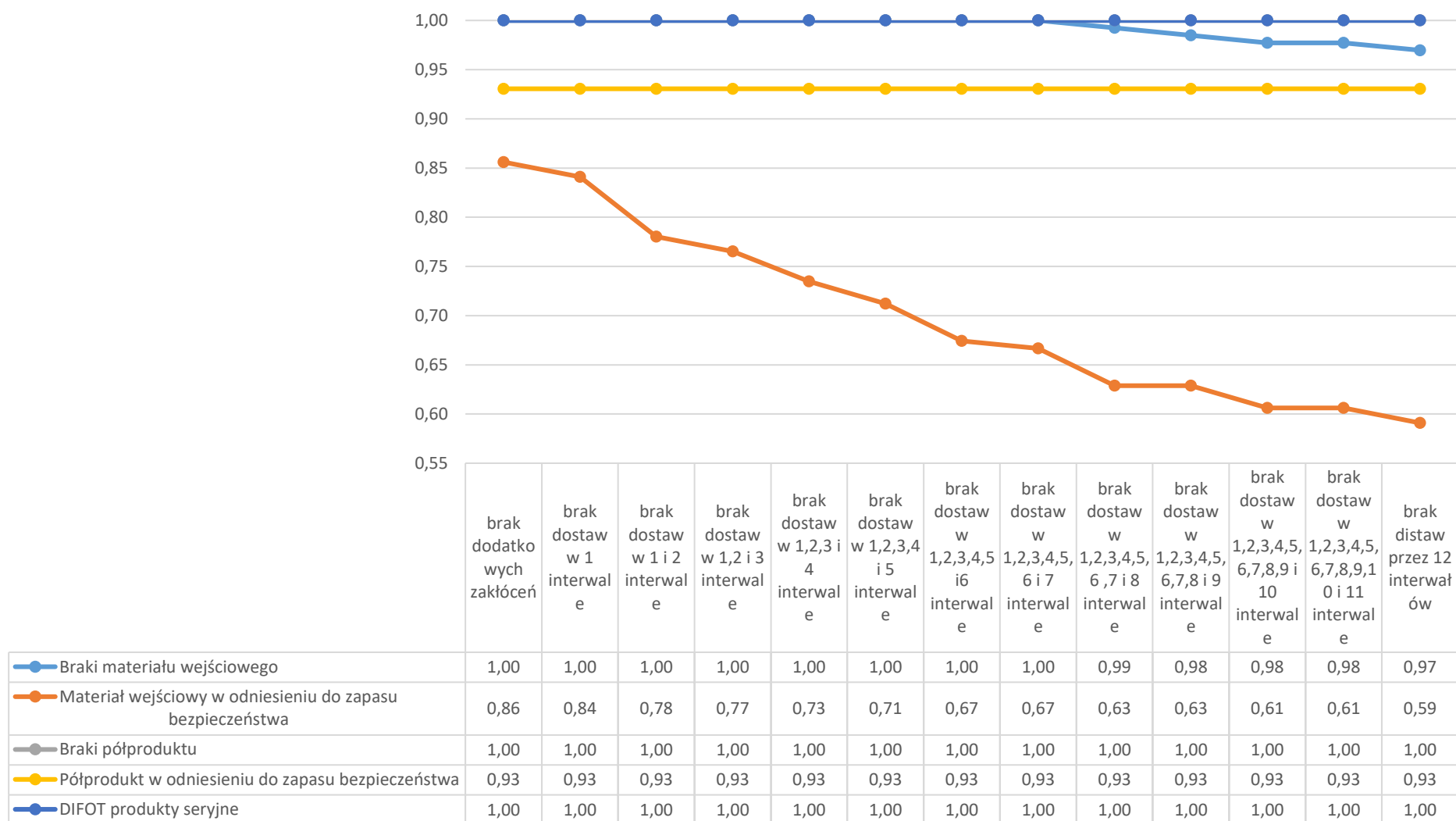
Wykres 12 Zakłócenie: dodatkowe straty w produkcji seryjnej



Źródło: opracowanie własne

Kolejnym analizowanym zakłóceniem były dodatkowe straty w produkcji seryjnej (wykres 12). To zakłócenie oddziałuje na wszystkie 5 wskaźników. Dodatkowe straty w produkcji seryjnej w wysokości 5% przez 12 interwałów czasu mają znikomy wpływ na wskaźniki. W przypadku dodatkowych strat w wysokości 10% miałyby miejsce braki produktu wejściowego. Braki te nie miałyby wpływu na przerwanie dostaw produktów seryjnych. W przypadku dodatkowych strat w produkcji seryjnej wynoszących 20% w całym badanym okresie miałyby miejsce przerwanie ciągłości dostaw 3 z 39 produktów seryjnych w 3 ostatnich interwałach czasowych. Oznacza to, iż technolog miałby aż 9 miesięcy czasu na znalezienie przyczyny dodatkowych strat i jej usunięcie. Największy spadek wartości odnotował wskaźnik materiału wejściowego w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa.

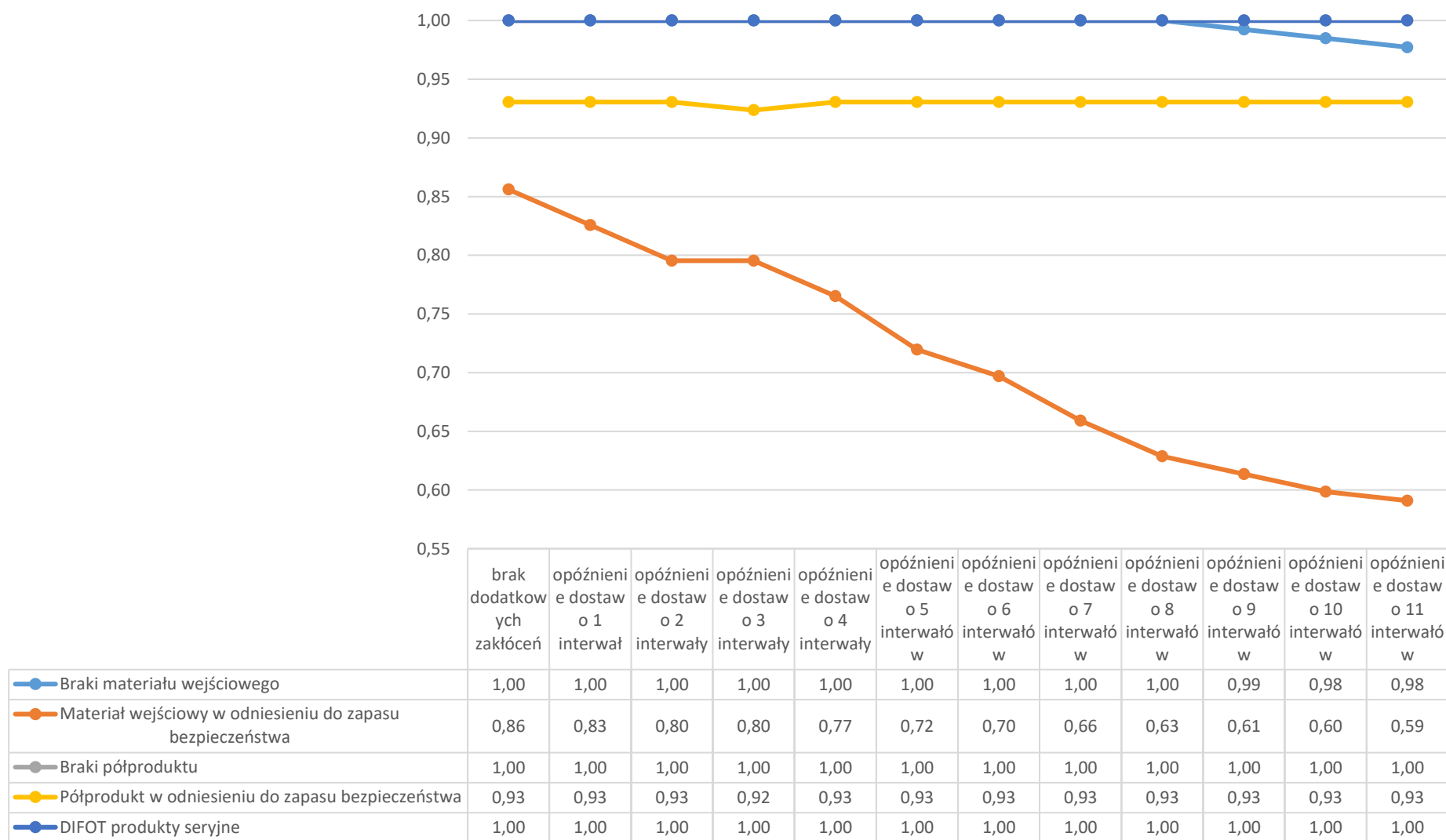
Wykres 13 Zakłócenie: brak dostaw materiału wejściowego



Źródło: opracowanie własne

Następnym analizowanym zakłóceniem był brak dostaw materiału wejściowego (wykres 13). W ramach tego zakłócenia nie miałyby miejsca dostarczenie materiału wejściowego w późniejszym terminie. Zakłócenie oddziałuje na 3 z 5 wskaźników. Zarówno wskaźnik braków półproduktu w produkcji seryjnej jak i DIFOT produktów seryjnych pomimo braku dostaw w całym symulowanym okresie nie uległyby zmianie. W przypadku produkcji jednorazowej dopiero od braku dostaw w 8 interwale zabrakłoby jednego materiału wejściowego – nie byłoby możliwe rozpoczęcie produkcji jednorazowej.

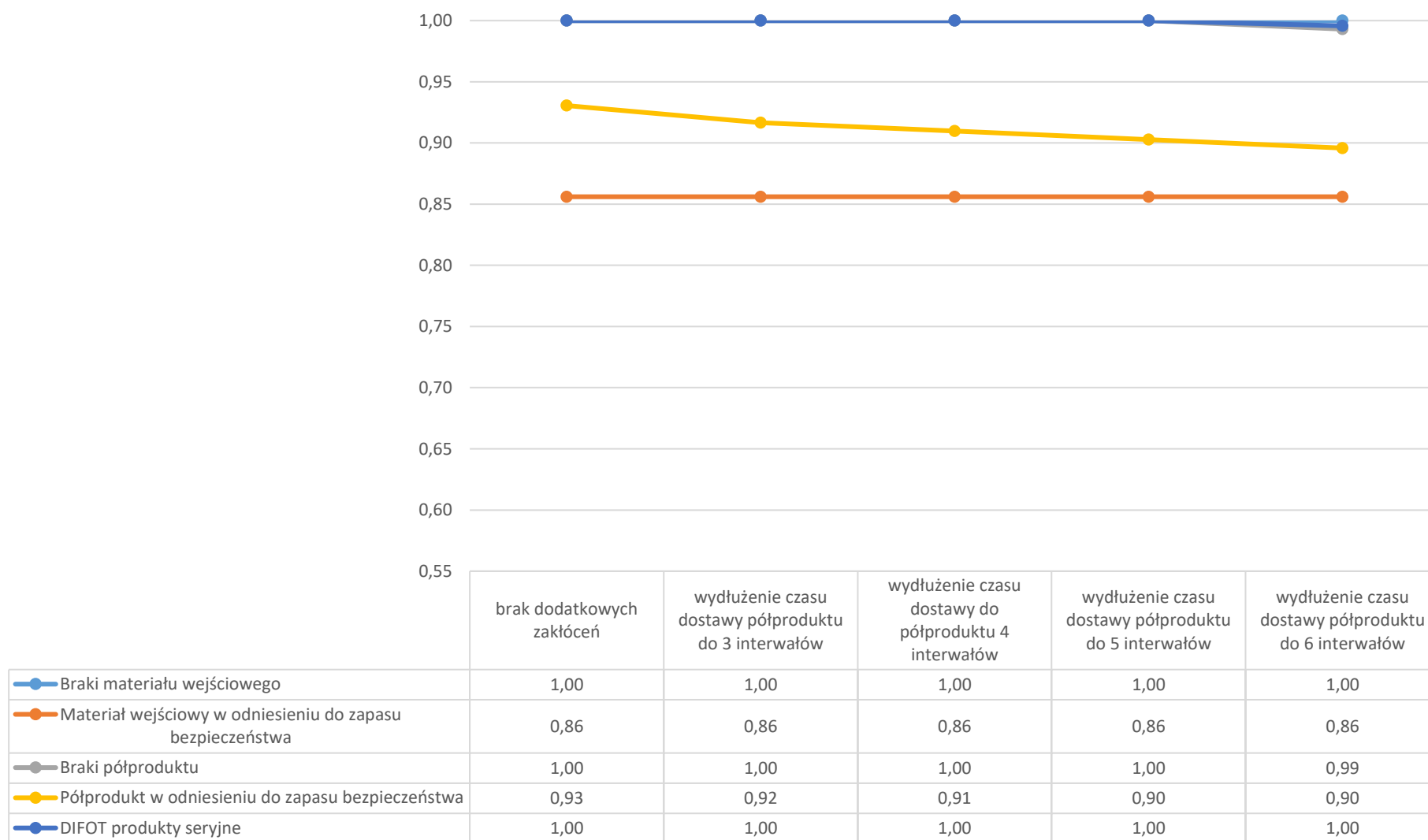
Wykres 14 Zakłócenie: opóźnienie dostaw materiału wejściowego



Źródło: opracowanie własne

W przypadku opóźnienia dostaw materiału wejściowego (wykres 14) wyniki są zbliżone do oddziaływania braku dostaw materiału wejściowego. Również w przypadku tego zakłócenia system logistyczny jest wysoce odporny.

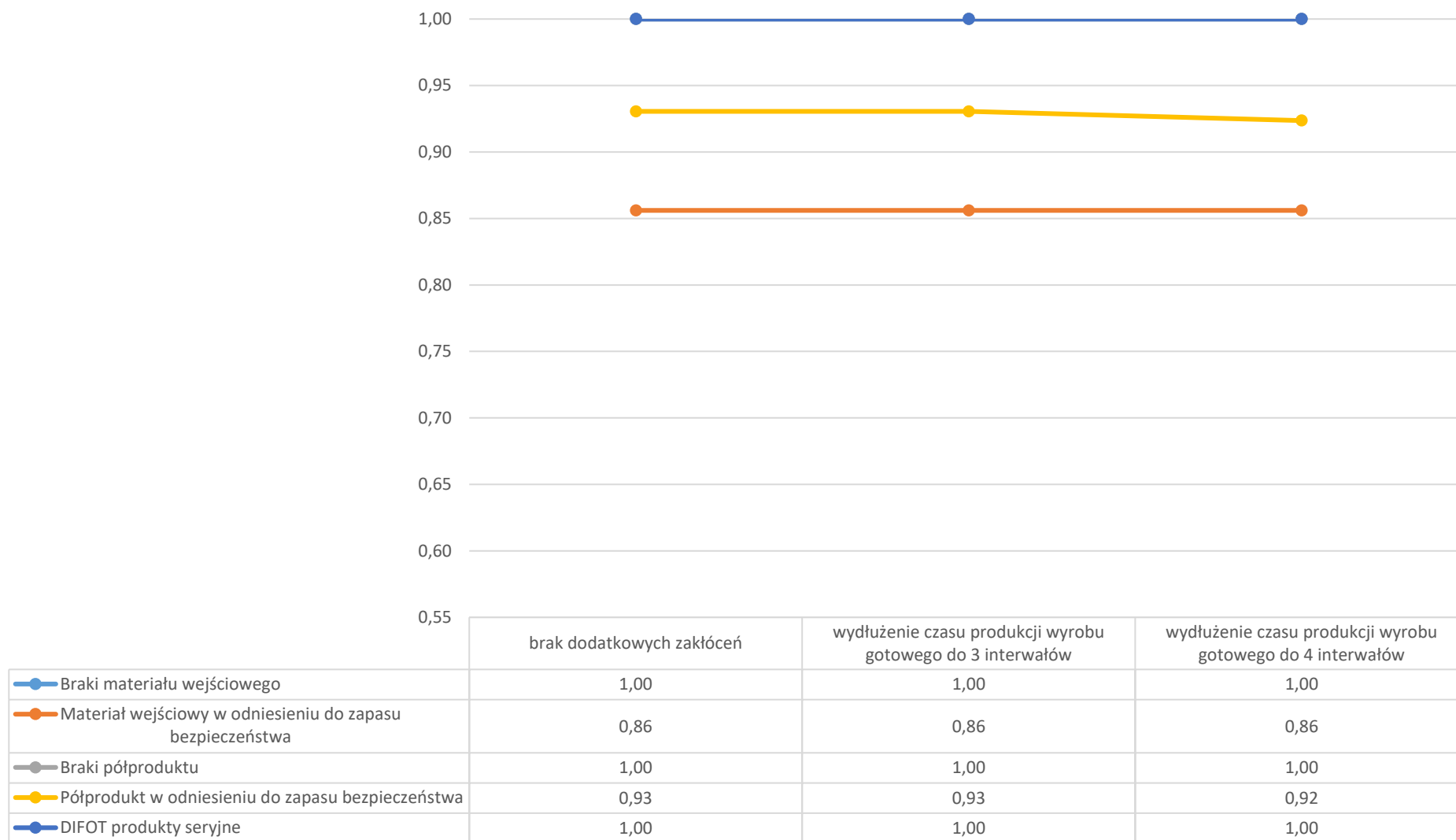
Wykres 15 Zakłócenie: wydłużenie czasu dostawy półproduktu



Źródło: opracowanie własne

W przypadku wydłużenia czasu dostawy półproduktu przez partnera (wykres 15) zakłócenie wpływa w bardzo ograniczonym, wręcz niezauważalnym stopniu dopiero w przypadku wydłużenia dostawy do 6 interwałów na braki półproduktu. Wskaźnik półproduktu w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa również ulega zmianie w nieznacznym stopniu.

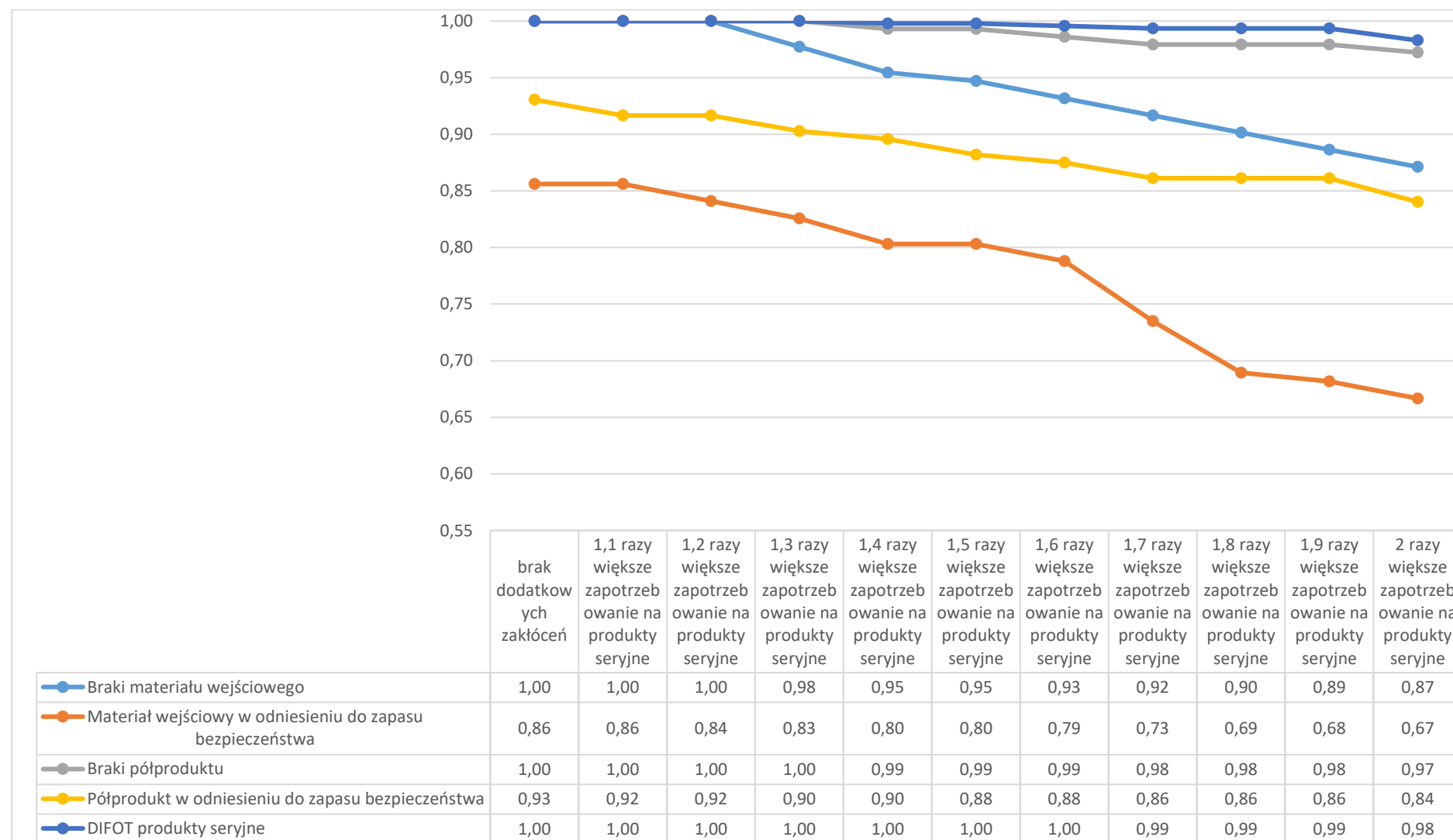
Wykres 16 Zakłócenie: wydłużenie czasu produkcji wyrobu gotowego



Źródło: opracowanie własne

Kolejnym analizowanym zakłóceniem było wydłużenie czasu produkcji wyrobu gotowego (wykres 16). W przypadku występowania tego zakłócenia jedynie wskaźnik półproduktu w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa zmniejszyłby się o 0,01 gdyby czas produkcji wyrobu gotowego wydłużył się do 4 interwałów. Należy stwierdzić, iż system logistyczny jest odporny na takie zakłócenie. Ostatnim analizowanym zakłóceniem było niedoszacowanie zapotrzebowania na produkty seryjne (wykres 17). W ramach badania wpływu tego zakłócenia zapotrzebowanie na produkty gotowe z produkcji seryjnej zwiększa się o 10% przez cały badany okres zaczynając od 110% kończąc na 200%. W odniesieniu do wartości referencyjnej stwierdzono oddziaływanie zakłócenia na wszystkie pięć wskaźników. W przypadku wskaźnika DIFOT w sytuacji o 100% większego zapotrzebowania zostałby przerwany łańcuch dostaw tylko jednego produktu gotowego (przez okres 3 miesiące nie można by było zrealizować pełnych dostaw). Należy jednak podkreślić, iż jest to mało prawdopodobne, by dział sprzedaży niedoszacował zapotrzebowanie aż o 100%. Już w przypadku zwiększenia zapotrzebowania o 30% w 12 interwałach względem prognozy działu sprzedaży wystąpiłyby braki materiału wejściowego, przez co nie byłoby możliwe rozpoczęcie produkcji jednorazowej wszystkich zamówionych produktów. Największe oddziaływanie zakłócenia miałoby miejsce na wskaźnik materiału wejściowego w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa.

Wykres 17 Zakłócenie: niedoszacowanie zapotrzebowania na produkty seryjne



Źródło: opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonej analizy wrażliwości wpływu pojedynczych zakłóceń na system logistyczny stwierdzono, iż posiada on bardzo wysoki poziom odporności. Zarówno poziom zapasów (w tym z uwzględnieniem produkcji w toku i materiału w obróbce u partnera) jak i planowane ilości dostaw materiału wejściowego są niewspółmierne z potrzebami (z uwzględnieniem negatywnego wpływu zakłóceń). Zakłócenia wpływają w bardzo ograniczonym stopniu na wskaźniki. Nawet w przypadku bardzo mało prawdopodobnych zakłóceń np. trwających cały badany okres, przerwanie dostaw w łańcuchu dostaw ma miejsce w pojedynczych przypadkach.

6.2 Opracowanie scenariuszy

W kolejnym etapie badań m.in. w celu oszacowania wpływu zakłóceń zdecydowano się na skorzystanie z metody ekspertów. W metodzie tej każdy z ekspertów niezależnie dokonał oceny. Ekspert posiada zazwyczaj duże doświadczenie w danym obszarze (Meyer, 2024). W ramach metody ekspertów opracowano najpierw ankietę (wzór ankiety w załączeniu). Badania przeprowadzono wśród 12 pracowników firmy (ekspertów – praktyków). Pracownicy należeli do grup zakupów, jakości, planowania i sterowania produkcją oraz controllingu produkcyjnego. W sumie zadano 3 pytania. W pierwszym pytaniu poproszono o zidentyfikowanie zakłóceń mogących mieć wpływ na przerwanie ciągłości dostaw. Poza ówczesnie zidentyfikowanymi zakłóceniami z analizy wrażliwości wymieniono niespełnienie wymagań jakościowych materiału wejściowego oraz otrzymanie niewłaściwego materiału. W drugim pytaniu poproszono o oszacowanie wpływu potencjalnych zakłóceń na system logistyczny, łańcuch dostaw przedsiębiorstwa, a w trzecim pytaniu poproszono o wymienienie potencjalnych rozwiązań mogących zwiększyć odporność systemu, ograniczyć wpływ zakłóceń na system logistyczny, łańcuch dostaw. Wyniki zebrano w poniższej tabeli 10.

Tabela 10 Zestawienie wyników analizy ryzyka

Zakłócenie	Środek zapobiegawczy	Przedsięwzięcie
Wzrost zapotrzebowania na materiał wejściowy w produkcji jednorazowej –	Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	Opracowanie prognozy sprzedaży produktów w ramach produkcji jednorazowej przez dział sprzedaży
	Ograniczenie skutków	Uwzględnienie wahań w planowaniu potrzeb materiałowych

niedoszacowanie potrzeb materiałowych	Zwiększenie wykrywalności	Opracowanie narzędzia controllingowego w ramach narzędzia analityki biznesowej lub w systemie SAP
Dodatkowe straty materiałowe w produkcji	Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	Opracowanie stabilniejszych technologii produkcyjnych
	Ograniczenie skutków	Dopracowanie procesu umożliwiającego wykorzystanie produktów wyprodukowanych niezgodnie z specyfikacją w ramach innych zleceń
	Zwiększenie wykrywalności	Zwiększenie częstotliwości raportowania, wdrożenie (opracowanie) narzędzia controllingowego, zwiększenie ilości pośrednich kontroli jakości
Brak dostaw materiału wejściowego w interwale bez możliwości zrekompensowania, dostarczenia w późniejszym terminie	Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	Zakup materiału w ramach kontraktu zakupowego
	Ograniczenie skutków	Kwalifikacja dodatkowego dostawcy, posiadanie zapasu bezpieczeństwa
	Zwiększenie wykrywalności	Stosowanie alertów w systemie SAP, regularnie przeprowadzanie oceny dostawców
Opóźnie się dostaw materiału wejściowego	Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	Zakup materiału w ramach kontraktu zakupowego
	Ograniczenie skutków	Kwalifikacja dodatkowego dostawcy, posiadanie zapasu bezpieczeństwa
	Zwiększenie wykrywalności	Stosowanie alertów w systemie SAP, regularnie przeprowadzanie oceny dostawców
Wydłużenie się czasu dostawy	Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	Brak pomysłów

półproduktu od partnera	Ograniczenie skutków	Posiadanie zapasu bezpieczeństwa, w razie potrzeby samodzielne wykonanie kroku produkcyjnego
	Zwiększenie wykrywalności	Stosowanie alertów w systemie SAP, regularnie przeprowadzanie oceny dostawców
Wydłużenie się czasu produkcji wyrobu gotowego od półproduktu do produktu gotowego	Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	Zmiana produkcji z warsztatowej na liniową
	Ograniczenie skutków	Posiadanie zapasu bezpieczeństwa
	Zwiększenie wykrywalności	Regularne korzystanie z narzędzia alertu w systemie SAP, przeprowadzanie regularnych analiz po zrealizowaniu zlecenia produkcyjnego (zestawienie planowany czas z rzeczywistym czasem)
Zwiększenie się zapotrzebowania na produkty gotowe (produkcja seryjna) – niedoszacowanie zapotrzebowania na produkty seryjne	Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	Regularny kontakt z klientem, otrzymywanie prognoz zakupowych od wszystkich klientów
	Ograniczenie skutków	Posiadanie zapasu bezpieczeństwa
	Zwiększenie wykrywalności	Regularne analizowanie zmian w prognozach zakupowych klientów
Niespełnienie wymagań jakościowych materiału wejściowego	Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	Brak pomysłów
	Ograniczenie skutków	Posiadanie zapasu bezpieczeństwa, zamówienie materiału z wyprzedzeniem
	Zwiększenie wykrywalności	Regularnie przeprowadzanie oceny dostawców
Otrzymanie niewłaściwego materiału	Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	Brak pomysłów
	Ograniczenie skutków	Posiadanie zapasu bezpieczeństwa, zamówienie materiału z wyprzedzeniem

	Zwiększenie wykrywalności	Regularnie przeprowadzanie oceny dostawców
--	---------------------------	--

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie otrzymanych odpowiedzi opracowano zbiory możliwych przedsięwzięć mające na celu w zrównoważony sposób zwiększenie odporności systemu logistycznego, łańcucha dostaw na zakłócenia. Rozwiązania zostały przedstawione w siódmym rozdziale.

Kolejno w oparciu o otrzymane szacunki ekspertów opracowano wartości 7 parametrów w trzech scenariuszach. Wartości parametrów przedstawiono w poniższej tabeli 11.

Tabela 11 Wartości parametrów w scenariuszach

Parametr	Bardzo prawdopodobny	Prawdopodobny	Najbardziej ekstremalny przypadek
Zapotrzebowanie materiałowe w produkcji jednorazowej	1,08	1,22	1,55
Straty materiałowe w produkcji	0,93	0,85	0,7
Kompletność dostaw materiału wejściowego	Brak w 1 interwale	Brak w 2 interwałach	Brak w 4 interwałach
Terminowość dostaw materiału wejściowego	Opóźnienie o 1 miesiąc w 1 interwale	Opóźnienie o 2 miesiące w 2 interwałach	Opóźnienie o 4 miesiące w 4 interwałach
Czas wykonywania kroku produkcyjnego przez partnera	3	4	6
Czas trwania produkcji (od półproduktu do produktu gotowego)	3	4	5
Zapotrzebowanie na produkty seryjne	1,12	1,23	1,37

Źródło: opracowanie własne

Z racji pokrycia się dwóch parametrów: kompletności dostaw materiału wejściowego z terminowości dostaw materiału wejściowego ustalono, iż w ramach symulacji zamówione ilości zostaną dostarczone w późniejszym terminie. Powyższe scenariusze posłużą do przeprowadzenia symulacji na modelu po jego optymalizacji.

6.3 Optymalizacja modelu badawczego

W ramach realizacji badań kolejnym etapem było dopasowanie ustawień modelu. To przedsięwzięcie stało się konieczne ze względu na ogromne, nieracjonalne ilości materiału w obiegu. Również ilości zamówionego materiału były podejrzanie wysokie – niewspółmierne z zapotrzebowaniem. Bez dopasowania wyżej wymienionych kwestii wyciągnięcie dodatkowych wniosków z badań nie byłoby możliwe. W celu optymalizacji modelu zdecydowano się na skorzystanie z nowoczesnego, innowacyjnego rozwiązania, którym jest sztuczna inteligencja. Nowoczesna sztuczna inteligencja ma za główną inspirację funkcjonowanie ludzkiego mózgu. Organ ten składa się z miliardów neuronów, które przewodzą elektryczne i chemiczne sygnały by rozprzestrzeniać informacje. Sztuczne sieci neuronowe składają się z jednostek tzw. węzłów i sztucznych neuronów, które są zorganizowane w warstwach i się z sobą komunikują. Sztuczne sieci starają się z wykorzystaniem matematycznych algorytmów naśladować kompleksową architekturę biologicznych sieci neuronowych, przekazując dalej zmodyfikowane informacje. Te sztuczne struktury są dostosowane do tego, by rozwiązywać problemy, rozpoznawać wzorce, móc się dopasowywać i uczyć z dużej ilości danych (Simon, 2023 i Basler 2021). W badaniach zdecydowano się na sztuczną inteligencję o nazwie Julius AI. Ta sztuczna inteligencja jest inteligentnym narzędziem, za pomocą którego można analizować jakkolwiek ustrukturyzowane dane (Bhaskar, 2024). Za pomocą Julius AI można stworzyć modele symulacyjne. Dzięki funkcji czatu z własnymi danymi można formułując pytania otrzymać na nie natychmiast odpowiedzi. Do głównych funkcji zalicza się:

- kreowanie diagramów i wizualizacji,
- umożliwienie wglądu w swoje dane – na podstawie otrzymanych odpowiedzi na zadane pytania można na ich podstawie podjąć decyzje,
- zaawansowane analizy – na podstawie modelowania i prognozowania można rozpoznać trendy,
- rozwiązywanie problemów – możliwe jest rozwiązanie problemów poprzez skanowanie i analizowanie,
- raporty – możliwe jest wygenerowanie analiz i zestawień.

Julius AI ma ponad 1,2 miliona użytkowników na całym świecie w tym m. in. takie instytucje jak Stanford, Harvard czy Boston Consulting Group (Poepperl, 2024). Za pomocą tego rozwiązania można przeanalizować dane w szybki, prosty sposób. Nie jest konieczne być ekspertem w analizie danych, czy statystyce by móc skorzystać z tego narzędzia (Bhaskar, 2024).

Użycie narzędzia rozpoczęto od wgrania cyfrowego modelu, który posłużył do przeprowadzenia analizy wrażliwości. Dopasowanie modelu cyfrowego rozpoczęto od ustalenia nowego planu dostaw w oparciu o minimalne ilości pojedynczego zamówienia przy:

- zachowaniu wejściowych parametrów modelu – wartości referencyjnych modelu z analizy wrażliwości, w tym z uwzględnieniu stałych miesięcznych potrzeb na materiał wejściowy w celu realizacji produkcji jednorazowej,
- uwzględnieniu prognozy sprzedaży produktów seryjnych,
- zachowaniu zapasów bezpieczeństwa na poziomie materiału wejściowego i półproduktu po realizacji kroku przez partnera,
- uwzględnieniu optymalnych ilości materiału w zleceniu produkcyjnym na każdym poziomie realizacji produkcji,
- uwzględnieniu średnich strat materiałowych na każdym poziomie realizacji produkcji,
- uwzględnieniu udziału materiału wejściowego (ile waży jedna sztuka),
- uwzględnieniu struktury (powiązań),
- założeniu, iż poza zapasem bezpieczeństwa nie ma materiału w obiegu (stan wejściowy),
- udzieleniu informacji, iż udział materiału jest w gramach, a zamówienia są w kilogramach (po wstępnej weryfikacji wyników),
- udzieleniu informacji, iż zapas bezpieczeństwa materiału wejściowego i półproduktu ma być utrzymany w każdym interwale, nie tylko w ostatnim (po wstępnej weryfikacji wyników).

Na tej podstawie sztuczna inteligencja opracowała plan dostaw.

Kolejno w oparciu o nowy plan dostaw materiału wejściowego zmieniając jedynie ustawienia parametrów modelu poproszono sztuczną inteligencję o opracowanie nowych poziomów zapasu bezpieczeństwa, by utrzymać ciągłość dostaw. Wszystkie komendy napisano w języku angielskim ze względu na powszechność stosowania tego języka jak i język przeglądarki internetowej.

Następnie dokonano weryfikacji wyników wygenerowanych przez sztuczną inteligencję wykonując obydwie optymalizacje „w sposób manualny” poczynając od opracowania planu dostaw materiału wejściowego. Zestawienie wyników (kolor pomarańczowy – sztuczna inteligencja, kolor niebieski – własne ustalenie) przedstawiono na poniższej tabeli 12.

Tabela 12 Zestawienie planu dostaw materiału wejściowego (w kilogramach)

Materiał wejściowy	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	Suma	Suma	Różnica
G1	0,0	25,0	13,6	5,7	27,3	0,0	13,6	11,4	13,6	0,0	13,6	6,8	13,6	0,0	13,6	0,0	13,6	0,0	27,3	4,5	13,6	4,5	54,5	0,0	218,1	57,9	160,2
G2	13,6	10,2	0,0	1,1	2,3	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	2,3	11,4	0,0	0,0	2,3	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	3,4	1,1	28,4	23,9	4,5
G3	0,0	9,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	1,1	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	18,2	0,0	4,5	0,0	40,9	10,2	30,7
G4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
G5	0,0	44,3	0,0	90,9	0,0	0,0	0,0	30,7	2,3	0,0	0,0	31,8	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	31,8	0,0	0,0	2,3	30,7	2,3	0,0	9,1	260,1	-251,1
G6	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	13,6	0,0	47,7	0,0	47,7
G7	0,0	0,0	0,0	2,3	1,1	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,1	2,3	1,1	0,0	4,5	1,1	1,1	0,0	15,9	5,7	10,2
G8	0,0	2,3	10,2	4,5	20,4	12,5	30,7	4,5	30,7	6,8	20,4	12,5	30,7	6,8	40,9	3,4	20,4	3,4	30,7	3,4	20,4	6,8	40,9	1,1	296,5	68,2	228,3
G9	0,0	0,0	9,1	0,0	0,0	0,0	9,1	0,0	0,0	0,0	9,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	0,0	9,1	0,0	45,4	0,0	45,4
G10	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	-14,8
G11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Źródło: opracowanie własne

Stwierdzono, iż różnica jest w wielu przypadkach diametralna. Dodatkowo zauważono, iż w przypadku trzech półproduktów poziom zapasu bezpieczeństwa w przypadku braku produkcji w toku byłby zbyt niski, czego skutkiem byłoby przerwanie ciągłości dostaw w produkcji seryjnej. W związku z tym zwiększono poziom zapasu bezpieczeństwa tych półproduktów o dwu i trzykrotność. Już na tym etapie można stwierdzić, iż zapas statyczny nie jest optymalnym rozwiązaniem – na co nie zwróciła uwagi sztuczna inteligencja. Po wprowadzeniu zmian konieczne było skorygowanie planu dostaw materiału wejściowego. Skorygowany plan przedstawia poniższa tabela 13.

Tabela 13 Plan dostaw materiału wejściowego (w kilogramach)

Materiał wejściowy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
G1	25,0	5,7	0,0	11,4	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	4,5	4,5	0,0
G2	10,2	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1
G3	4,5	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
G4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
G5	11,4	29,5	0,0	31,8	0,0	31,8	0,0	0,0	31,8	0,0	30,7	0,0
G6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
G7	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	1,1	0,0
G8	2,3	4,5	12,5	4,5	6,8	12,5	6,8	3,4	3,4	3,4	6,8	1,1
G9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
G10	4,5	0,0	1,1	1,1	0,0	4,5	1,1	1,1	0,0	1,1	0,0	0,0
G11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Źródło: opracowanie własne

Kolejno powinna mieć miejsce weryfikacja zaproponowanego poziomu zapasu bezpieczeństwa materiału wejściowego oraz półproduktu w przypadku scenariusza bardzo prawdopodobnego, jednakże w związku z zaproponowaniem przez sztuczną inteligencję wartości równych 0 zrezygnowano z tego zamiaru i postanowiono kontynuować symulacje na samodzielnie skorygowanym modelu cyfrowym bez użycia sztucznej inteligencji. Ze względu

na konieczność znacznego nakładu czasu pracy, zdecydowano się nie podejmować obszernych starań mających na celu weryfikację ustalenia wyników przez sztuczną inteligencję.

6.4 Ponowne przeprowadzenie symulacji

Przeprowadzenie symulacji na skorygowanym modelu rozpoczęto od scenariusza bardzo prawdopodobnego, kolejno prawdopodobnego, skończywszy na ekstremalnym. Poniższa tabela 14 przedstawia wyniki wskaźników w przypadku pozostawienia wstępnie ustalonych zapasów bezpieczeństwa materiału wejściowego (12 miesięcy średniego zapotrzebowania z ostatnich 5 lat) oraz półproduktu (6 miesięcy średniego zapotrzebowania z ostatnich 5 lat w przypadku udziału partnera oraz 4 miesięcy średniego zapotrzebowania z ostatnich 5 lat bez udziału partnera z trzema wyjątkami opisanymi w podrozdziale 6.3. Wyniki w tabeli są średnią z 12 interwałów czasu.

Tabela 14 Wyniki symulacji

Wskaźnik	Bardzo prawdopodobny	Prawdopodobny	Najbardziej ekstremalny przypadek
Braki materiału wejściowego	0,73	0,47	0,22
Materiał wejściowy w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa	0,42	0,31	0,20
Braki półproduktu	0,81	0,45	0,36
Półprodukt w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa	0,65	0,31	0,25
DIFOT	0,92	0,66	0,27

Źródło: opracowanie własne

Oddziaływanie zakłóceń na system logistyczny producenta oraz na łańcuch dostaw przy ustalonym planie dostaw oraz poziomie zapasu bezpieczeństwa materiału wejściowego jest znaczne. W każdym ze scenariuszy dochodzi do przerywania ciągłości dostaw. W celu weryfikacji otrzymanych wyników zdecydowano się porównać ze sobą braki półproduktów oraz materiału wejściowego w każdym ze scenariuszy. W poniższej tabeli 15 zestawiono ilości materiału wejściowego oraz jego braki po 12 interwałe, w sytuacji realizacji dostaw produktów

gotowych w 100% na czas (wskaźnik DIFOT = 1) oraz dostaw produktów w ramach produkcji jednorazowej również w 100%.

Tabela 15 Ilości/braki materiału wejściowego po 12 interwale czasu w gramach

Materiał wejściowy	Bez wpływu dodatkowych zakłóceń	Bardzo prawdopodobny	Prawdopodobny	Najbardziej ekstremalny przypadek
G1	4.479	-142.271	-211.034	-647.270
G2	31.052	16.338	12.110	-56.299
G3	29.421	-14.983	-31.477	-306.465
G4	14.652	-12.663	-16.536	-148.376
G5	4.066	1.573	-1.475	-12.077
G6	2.202	-339	-1.237	-6.166
G7	10.792	10.649	7.408	-10.101
G8	3.305	1.919	-5.749	-28.211
G9	13.751	12.748	8.442	-5.990
G10	769	720	646	-484
G11	23.173	22.993	19.204	9.312

Źródło: opracowanie własne

W zestawieniu widoczne jest pojawienie się braków materiału wejściowego już w scenariuszu prawdopodobnym. W przypadku najbardziej ekstremalnego przypadku braki materiału wejściowego miałyby miejsce w przypadku 10 z 11 materiałów wejściowych. Braki półproduktu na czas, zostały przedstawione w poniższej tabeli 16.

Tabela 16 Braki półproduktu na czas

Półprodukt	Bardzo prawdopodobny	Prawdopodobny	Najbardziej ekstremalny przypadek
E1	510	2.902	10.066
E2	96	3.866	24.983
E3	454	2.208	15.029
E4	0	470	12.804
E5	98	898	3.909
E6	204	504	1.104
E7	98	1.214	11.071
E8	0	1.226	10.084

C9	6	6	44
C17	51	558	727
B21	40	40	40
C21	0	0	444
Suma (sztuki)	1.557	13.892	90.226

Źródło: opracowanie własne

W przypadku braku zakłóceń, półproduktów by nie zabrakło.

Kolejno skorygowano zapasy bezpieczeństwa półproduktu od partnera z 6 średnich miesięcy zapotrzebowania na 12 oraz w przypadku własnej produkcji z 4 na 9 miesięcy. Planu dostaw materiału wejściowego nie zmieniono. Uprzednio „manualnie” dopasowane poziomy zapasów bezpieczeństwa trzech półproduktów zwiększono o dodatkowe 50% by nie miał miejsca brak oddziaływania (zmian) na 3 półprodukty. Wyniki z symulacji przedstawiono w poniższej tabeli 17.

Tabela 17 Wyniki symulacji w przypadku dopasowania zapasów bezpieczeństwa półproduktów

Wskaźnik	Bardzo prawdopodobny	Prawdopodobny	Najbardziej ekstremalny przypadek
Braki materiału wejściowego	0,78	0,48	0,22
Materiał wejściowy w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa	0,52	0,34	0,19
Braki półproduktu	0,94	0,72	0,40
Półprodukt w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa	0,65	0,57	0,32
DIFOT	0,98	0,88	0,29

Źródło: opracowanie własne

Zauważono poprawę wskaźników w każdym ze scenariuszy, przede wszystkim mierzących poziomy zapasu półproduktów oraz dostawy wyrobów gotowych na czas. W scenariuszu najbardziej ekstremalnym wyniki różnią się w najmniejszym stopniu, co oznacza, iż zapas bezpieczeństwa półproduktów w porównaniu z zakłóceniami daje mniejszy efekt (obniża ich oddziaływanie w małym stopniu).

Zestawiając ze sobą ilości, braki materiału wejściowego oraz jego braki po 12 interwale, w sytuacji realizacji dostaw produktów gotowych w 100% na czas (wskaźnik DIFOT = 1) oraz dostaw produktów w ramach produkcji jednorazowej również w 100% widoczna jest zmiana rezultatów z tabeli 15 względem rezultatów z tabeli 18.

Tabela 18 Ilości/braki materiału wejściowego po 12 interwale czasu w gramach - przy zwiększeniu zapasu bezpieczeństwa półproduktu

Materiał wejściowy	Bez wpływu dodatkowych zakłóceń	Bardzo prawdopodobny	Prawdopodobny	Najbardziej ekstremalny przypadek
G1	4.479	-142.271	-211.034	-647.270
G2	54.233	41.262	25.737	-48.028
G3	50.501	7.657	-37.677	-283.915
G4	14.652	-12.663	-16.536	-148.376
G5	4.066	1.573	-1.475	-12.077
G6	2.202	-339	-1.237	-6.166
G7	10.792	10.649	7.408	-10.101
G8	3.305	1.919	-5.749	-28.211
G9	14.931	10.214	5.670	-9.353
G10	769	720	646	-484
G11	23.173	22.993	19.204	9.311

Źródło: opracowanie własne

Powodem jest oddziaływanie poziomu zapasu bezpieczeństwa w modelu. Przy braku dodatkowego materiału w obiegu (poza zapasami bezpieczeństwa półproduktów i materiału wejściowego oraz ustalonym planie dostaw materiału wejściowego) każde zwiększenie poziomu zapasu bezpieczeństwa półproduktów powoduje zwiększenie ilości materiału w obiegu, co wpływa na zmniejszenie wrażliwości łańcucha dostaw na zakłócenia. Zwiększenie poziomu zapasu bezpieczeństwa półproduktów wpływa na wcześniejsze zapotrzebowanie na materiał wejściowy w przypadku przekroczenia poziomu zapasu bezpieczeństwa, nawet w sytuacji kiedy nie ma takiej potrzeby (brak popytu na produkt gotowy w następujących interwałach). W przypadku braków półproduktu, tak jak przypuszczano zmniejszyły się one w każdym ze scenariuszy (tabela 19). W przypadku scenariusza bardzo prawdopodobnego wystąpiłyby one tylko w przypadku jednego półproduktu, w przypadku prawdopodobnego w 4, a w przypadku najbardziej ekstremalnego w 12 z 13.

Tabela 19 Braki półproduktu na czas- przy zwiększeniu zapasu bezpieczeństwa półproduktu

Półprodukt	Bardzo prawdopodobny	Prawdopodobny	Najbardziej ekstremalny przypadek
E1	0	1.467	9.502
E2	0	0	19.661
E3	0	0	8.783
E4	0	0	10.799
E5	0	196	2.796
E6	0	0	456
E7	0	196	7.462
E8	0	0	6.886
C9	0	0	4
C17	0	0	157
B21	10	10	10
C21	0	0	0
Suma (sztuki)	10	1.869	66.516

Źródło: opracowanie własne

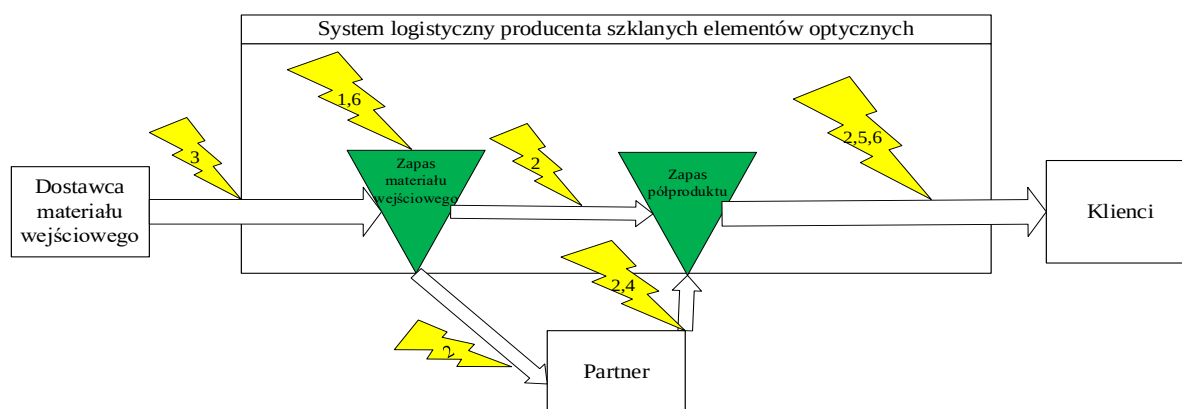
Wnioski z badań zostały obszernie opisane w kolejnym, siódmym rozdziale.

7. WNIOSKI

7.1 Wnioski z badań

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono zależność między odpornością na zakłócenia systemu logistycznego, a niezawodnością dostaw wyrobów gotowych. Na podstawie miar, wskaźników udało się zaobserwować następującą zależność: im większy wpływ zakłóceń, tym mniejsza ilość pełnych dostaw na czas.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, iż w modelu, będącym cyfrowym odzwierciedleniem systemu logistycznego producenta szklanych elementów optycznych zachodzi zależność między odpornością na zakłócenia tego systemu, a niezawodnością dostaw wyrobów gotowych. Zakłócenia są losowo występującymi zdarzeniami wpływającymi negatywnie na proces pozyskiwania gotowych wyrobów. W badaniach zdarzenia te występowały równocześnie w różnym stopniu. W celu zmniejszenia ich negatywnego wpływu na realizację dostaw należy ustalić zapasy bezpieczeństwa półproduktów oraz materiałów wejściowych jak i plan dostaw. Opracowany model cyfrowy jest złożony. Poniższy rysunek 31 ukazuje umiejscowienie zapasów bezpieczeństwa oraz oddziaływanie pojedynczych zakłóceń w łańcuchu dostaw.



Zakłócenia:

1. Wzrost zapotrzebowania na materiał wejściowy w produkcji jednorazowej
2. Dodatkowe straty materiałowe w produkcji
3. Brak dostaw materiału wejściowego spełniającego specyfikację w interwale, dostarczenie w późniejszym terminie
4. Wydłużenie się czasu dostawy półproduktu od partnera
5. Wydłużenie się czasu produkcji wyrobu gotowego od półproduktu do produktu gotowego
6. Zwiększenie się zapotrzebowania na produkty gotowe

Rys. 31 Umiejscowienie zakłóceń oraz funkcjonowanie modelu

Źródło: opracowanie własne

Skuteczność działań mających na celu zwiększenie odporności łańcucha dostaw będzie zależać od konkretnego zakłócenia. Przedsięwzięcia muszą być realizowane w sposób ukierunkowany. Zapas bezpieczeństwa materiału wejściowego będzie samodzielnie zwiększał odporność łańcucha dostaw w przypadku następujących zakłóceń:

- wzrost zapotrzebowania na materiał wejściowy w produkcji jednorazowej (numer 1 na rysunku),
- brak dostaw materiału wejściowego spełniającego specyfikację w interwale, dostarczenie w późniejszym terminie (numer 3 na rysunku).

Zapas bezpieczeństwa półproduktu będzie samodzielnie zwiększał odporność łańcucha dostaw w przypadku następujących zakłóceń:

- wydłużenie się czasu dostawy półproduktu od partnera (numer 4 na rysunku),
- wydłużenie się czasu produkcji wyrobu gotowego od półproduktu do produktu gotowego (numer 6 na rysunku).

Natomiast w przypadku dwóch pozostałych zakłóceń ich negatywny wpływ będzie zmniejszany zarówno przez zapas bezpieczeństwa materiału wejściowego jak i zapas bezpieczeństwa półproduktu:

- dodatkowe straty materiałowe w produkcji (numer 2 na rysunku),
- zwiększenie się zapotrzebowania na produkty gotowe (numer 6 na rysunku).

W związku z tym, w badanym systemie logistycznym na bezpieczeństwo dostaw (kompletność dostaw na czas) będzie miał wpływ zarówno zapas bezpieczeństwa półproduktu i materiału wejściowego jak i plan dostaw. Z racji niezasadnie wysokich stanów magazynowych słuszną decyzją było przeprowadzenie symulacji wyłącznie z uwzględnieniem ustalonego poziomu zapasu bezpieczeństwa.

W celu przeprowadzenia symulacji planowano skorzystać z narzędzia znajdującego coraz to większe zastosowanie, którym jest sztuczna inteligencja. Niestety zaproponowane przez sztuczną inteligencję wyniki nie były poprawne. Wpływ na niepowodzenie mógł być spowodowany poprzez:

- złożoność opracowanego modelu cyfrowego w programie Microsoft Excel (8 zakładki z danymi wejściowymi oraz 12 zakładek prezentujących każdy interwał czasu),
- więcej niż jedna tabela z danymi w niektórych zakładkach (problem ze znalezieniem poprawnych danych),
- pominięcie podania sztucznej inteligencji wszystkich założeń, które dla badacza są oczywiste,
- brak przeliczenia jednostek w ramach tabeli – tylko w formule,

Nie wyklucza się dodatkowych przyczyn. Korzystanie z pomocy sztucznej inteligencji w celu przeprowadzenia symulacji ma jedną zasadniczą wadę. Pomimo wytłumaczenia działań krok po kroku przez sztuczną inteligencję brakuje wizualizacji konsekwencji na pozostałe wskaźniki modelu – przez co nie mają miejsca korygujące przedsięwzięcia (np. dopasowania zapasu

bezpieczeństwa). Natomiast w przypadku przeprowadzenia badań z wykorzystaniem modelu cyfrowanego opracowanego w Microsoft Excel możliwe było „wychwycenie” ustawień, komponentów mogących zakłócić proces badawczy. Skorzystanie z narzędzia sztucznej inteligencji wymaga weryfikacji otrzymanych wyników przez co i tak konieczne jest przeprowadzenie symulacji w sposób „tradycyjny”.

Przeprowadzenie badań było możliwe dzięki nieograniczonemu dostępie do danych zapisanych w systemie SAP. W przypadku braku danych korzystano z założeń. W przypadku zdefiniowania scenariuszy przeprowadzono badania ankietowe wśród pracowników – ekspertów w swoim obszarze. Zauważono, iż respondentom prościej było odpowiedzieć na pytania z swojego zakresu za który odpowiadają niż z „sąsiadującego”. Zebrane dane posłużyły jako dane wejściowe. Dużo lepszym rozwiązaniem byłoby skorzystanie z danych archiwalnych. Niestety w tym przypadku takie dane nie były dostępne.

Badania przeprowadzone w segmencie CaF_2 u producenta szklanych elementów optycznych można powtórzyć w innych podmiotach zaliczanych do branży zaawansowanych technologii. Opracowana metoda, która została szczegółowo opisana w następnym podrozdziale umożliwia to.

7.2 Opis opracowanej metody

Otrzymanym efektem z przeprowadzonych badań jest opracowana metoda oceny zależności między odpornością na zakłócenia systemu logistycznego, a niezawodnością dostaw wyrobów gotowych w branży zaawansowanych technologii. Metoda składa się z pięciu następujących etapów:

I Analiza łańcucha dostaw w kontekście bezpieczeństwa dostaw

II Koncepcjonowanie modelu symulacyjnego

III Opracowanie modelu symulacyjnego

IV Przeprowadzenie symulacji

V Wyciągnięcie wniosków oraz opracowanie zaleceń

W ramach analizy łańcucha dostaw w branży zaawansowanych technologii należy wziąć pod uwagę następujące kwestie:

- struktura sieci dostaw:
 - identyfikacja wejść i wyjść grup materiałowych, które mają miejsce podczas produkcji,
 - dokonanie oceny (selekcji) krytycznych materiałów w kontekście wpływu na przerwanie ciągłości dostaw produktów gotowych. Podjęcie decyzji co do dalszego uwzględnienia w dalszych etapach. W tym celu należy wypełnić

następującą tabelę 20.

Tabela 20 Podjęcie decyzji co do dalszego uwzględnienia grup materiałowych

Materiał (grupa)	Rola w procesie produkcyjnym	Wstępna ocena ryzyka	Do dalszego uwzględnienia w metodzie
<i>Nazwa grupy np. szklany materiał optyczny</i>	<i>Np. główny materiał konieczny do wyprodukowania wyrobu gotowego lub środek pomocniczy, podstawowy surowiec</i>	<i>Dostępność materiału na rynku (wysoka, przeciętna, mała, bardzo mała), Ilość zakwalifikowanych źródeł (jedno, kulka) Czy konieczna jest kwalifikacja materiału w wypadku zmiany źródła pochodzenia? (tak, nie) Koszt jednostkowy w strukturze kosztów materiału gotowego (duży >30%, średni pomiędzy 10% a 30%, mały pomiędzy 5% a 10%, bardzo mały <5%) Czy można magazynować materiał? (tak, nie) Czy materiał ma datę ważności? (tak, nie) Czy są konieczne specjalne warunki w przypadku magazynowania? (tak, nie)</i>	<i>Tak – w przypadku zidentyfikowania potencjalnych zakłóceń związanych z grupą materiałową mogących mieć wpływ na przerwanie ciągłości dostaw wyrobu gotowego Nie – w przypadku braku występowania zakłóceń mogących mieć wpływ na przerwanie ciągłości dostaw wyrobu gotowego</i>

Źródło: opracowanie własne

- analiza łańcucha/sieci dostaw w kontekście dostępności danych:
 - zestawienie struktury komponentów (od materiału wejściowego po produkt gotowy),
 - średnie straty materiałowe na każdym etapie produkcji,
 - występowanie outsourcingu kroku produkcyjnego (minimalne ilości w zleceniu wraz z czasem trwania realizacji zlecenia),
 - udział materiału w produkcji, ile waży jedna sztuka (w przypadku

zakupu materiału w kilogramach),

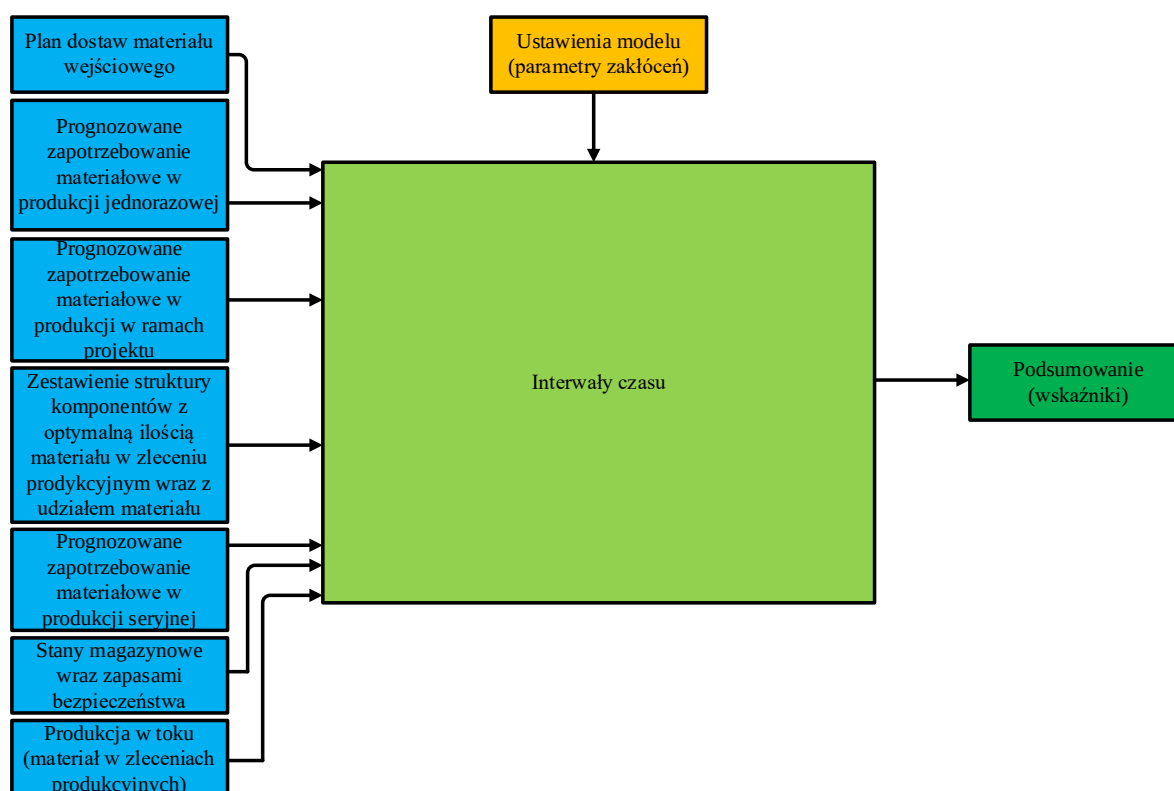
- optymalna ilość sztuk w pojedynczym zleceniu produkcyjnym,
- dostępność prognoz sprzedaży wyrobów gotowych,
- minimalne ilości w pojedynczym zamówieniu produktu gotowego,
- dokładność prognoz sprzedaży wyrobów gotowych,
- przewodnia strategia planowania produkcji,
- ustalone zapasy bezpieczeństwa,
- ograniczenia dot. czasu magazynowania,
- ograniczenia dot. miejsca w magazynie,
- występowanie kontraktów sprzedażowych,
- występowanie kontraktów zakupowych, planu zamówień,
- umowa o zarządzaniu zmianą,
- stany magazynowe

W przypadku braku danych konieczne jest skorzystanie z metod szacowania w kolejnym etapie. W ramach koncepcjonowania modelu symulacyjnego należy ustalić następujące dane:

- dane wejściowe, dane z analizy łańcucha/łańcuchów dostaw, dodatkowo:
 - stany magazynowe wszystkich analizowanych materiałów (mogą być również średnie stany magazynowe na podstawie danych z przeszłości),
 - produkcja w toku (może być również średni udział materiału w produkcji na podstawie danych z przeszłości),
 - ustalony zapas produktu gotowego u klienta,
- parametry zakłóceń:
 - zwiększone zapotrzebowanie materiałowe w produkcji jednorazowej (gdy ma miejsce),
 - zwiększone zapotrzebowanie materiałowe w ramach projektu (gdy ma miejsce),
 - zwiększone straty materiałowe w produkcji,
 - niekompletność dostaw materiału wejściowego,
 - opóźnienia dostaw materiału wejściowego,
 - wydłużenie czasu wykonywania kroku produkcyjnego przez partnera (gdy ma miejsce),
 - wydłużenie czasu trwania produkcji,
 - zwiększone zapotrzebowanie na produkty seryjne (gdy ma miejsce),
- dane wyjściowe:
 - wskaźnik DIFOT (Delivery In Full, On Time),

- wskaźnik braku materiału wejściowego,
- wskaźnik braku półproduktu,
- wskaźnik materiału wejściowego w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa,
- wskaźnik półproduktu w odniesieniu do zapasu bezpieczeństwa.

Na etapie opracowania modelu symulacyjnego ma miejsce zestawienie danych z wcześniejszego etapu z wykorzystaniem oprogramowania. Można skorzystać np. z Microsoft Excel. Na tym etapie powstaje model cyfrowy, konieczny do przeprowadzenia symulacji. Należy również wybrać interwał czasu np. miesiąc, kwartał czy dzień. Przykładowa struktura modelu została przedstawiona na poniższym rysunku 32.



Rys. 32 Struktura modelu cyfrowego

Źródło: opracowanie własne

Kolorem niebieskim zostały przedstawione karty arkusza z danymi wejściowymi. Kolorem pomarańczowym karta z ustawieniami parametrów zakłóceń. Kolorem jasnozielonym karty modelu, w których ma miejsce symulacja, natomiast kolorem ciemnozielonym karta z wynikami symulacji (obliczonymi wskaźnikami).

W kwestii zasad oddziaływania zakłóceń na model należy ustalić je we własnym zakresie. W opracowanym modelu symulacyjnym zasady były następujące (tabela 21).

Tabela 21 Zasady oddziaływania zakłóceń na model

Zakłócenie	Skala	Opis
Zwiększone potrzeby szklanego materiału wejściowego w produkcji jednorazowej	Od 1 do n	W przypadku wartości 1 potrzeby materiałowe odpowiadają założeniom (średnie zapotrzebowanie materiałowe z ostatnich lat). Im wyższa wartość, tym więcej materiału wejściowego byłoby potrzebne, by móc rozpocząć produkcję jednorazową.
Dodatkowe straty materiałowe w produkcji seryjnej	Od 0,01 do 1	W przypadku wartości 1 nie mają miejsca dodatkowe straty. Im mniejsza wartość tym większe dodatkowe straty w produkcji seryjnej.
Brak dostaw materiału wejściowego w interwale bez możliwości zrekompensowania, dostarczenia w późniejszym terminie	Od 0 do 1	W przypadku wartości równej 1 nie ma miejsca brak dostaw szklanego materiału wejściowego. W przypadku wartości równej 0 ma miejsce brak dostaw materiału. Nie ma miejsca dostarczenie materiału w późniejszym terminie.
Opóźnienie się dostaw materiału wejściowego	1,2,3,4,5, 6,7,8,9,10 lub 11	W przypadku wartości równej 1 w interwale nie ma miejsca opóźnienie się dostaw. W przypadku wartości większej niż 1 ma miejsce opóźnienie się dostawy.
Wydłużenie się czasu dostawy półproduktu od partnera	2, 3, 4,5 lub 6	Aktualnie czas realizacji kroku produkcyjnego przez partnera wynosi 2 interwały (2 miesiące). Gdyby wartość zmniejszyła się do 1 oznaczałoby to skrócenie czasu realizacji zamówienia przez partnera. W przypadku wartości powyżej 2 miałyby miejsce wydłużenie czasu realizacji kroku produkcyjnego.
Wydłużenie się czasu trwania realizacji zlecenia produkcyjnego w produkcji seryjnej	2, 3 lub 4	Średni czas realizacji zlecenia produkcyjnego w badanym segmencie wyniósł w zaokrągleniu 2 interwały (produkcja seryjna). Wartość 1 oznaczałaby skrócenie czasu trwania realizacji zlecenia produkcyjnego, wartość 2 brak

(od półproduktu do produktu gotowego)		dodatkowego wpływu zakłócenia. W przypadku wartości powyżej 2 ma miejsce wydłużenie czasu realizacji zleceń produkcyjnych.
Zwiększone zapotrzebowanie na produkty seryjne (niedoszacowanie potrzeb przez dział sprzedaży)	Od 1 do n	W przypadku wartości równej 1 prognoza działu sprzedaży odpowiadałaby w 100% zamówieniom klientów. W przypadku wartości poniżej 1, to klienci potrzebowaliby mniej sztuk produktu gotowego, aniżeli przewidziano w prognozie, miałyby miejsce przeszacowanie potrzeb. Natomiast wartość większa niż 1 oznacza niedoszacowanie zapotrzebowania na produkty seryjne.

Źródło: opracowanie własne

Każdy łańcuch dostaw jest inny (np. dodatkowe gwarancje odbioru czy brak możliwości magazynowania), przez co należy zawsze podejść indywidualnie w kwestii opracowywania modelu symulacyjnego.

W kolejnym etapie metody ma miejsce przeprowadzenie symulacji z wykorzystaniem cyfrowego modelu. W tym celu konieczne jest najpierw opracowanie scenariuszy zawierających zbiór zakłóceń oddziałujących na łańcuch dostaw. Najlepiej jest skorzystać z danych historycznych. Natomiast w przypadku ich braku konieczne jest skorzystanie z metody ekspertów. W tym celu można skorzystać z ankiety w załączniku. Zaleca się opracować kilka scenariuszy w celu umożliwienia porównania wyników w kolejnym etapie. Przykładowa tabela zawierająca parametry zakłóceń poniżej (tabela 22).

Tabela 22 Przykładowa tabela z parametrami zakłóceń

Parametr	Bardzo prawdopodobny	Prawdopodobny	Najbardziej ekstremalny przypadek
Zapotrzebowanie materiałowe w produkcji jednorazowej	1,1	1,2	1,3
Straty materiałowe w produkcji	0,95	0,9	0,85
Kompletność dostaw materiału wejściowego	Brak w 1 interwale	Brak w 2 interwałach	Brak w 3 interwałach

Terminowość dostaw materiału wejściowego	Opóźnienie o 1 miesiąc w 1 interwale	Opóźnienie o 2 miesiące w 2 interwałach	Opóźnienie o 3 miesiące w 3 interwałach
Zapotrzebowanie na produkty seryjne	1,05	1,1	1,2

Źródło: opracowanie własne

Następnie należy ustawić parametry modelu zgodnie z tabelą i przeprowadzić każdorazowo symulacje. Wyniki (wartości wskaźników) należy zapisać.

Ostatnim etapem metody jest wyciągnięcie wniosków oraz opracowanie zaleceń. W tym celu należy zestawić ze sobą wyniki symulacji na modelu. Głównym wskaźnikiem mierzącym zależność między odpornością na zakłócenia systemu logistycznego, a niezawodnością dostaw wyrobów jest wskaźnik DIFOT. Niemniej jednak wyniki pozostałych wskaźników mogą wykazać konieczność dopasowania poziomu zapasu bezpieczeństwa czy skorygowania planu dostaw. Na podstawie wyników symulacji możliwe również będzie potwierdzenie konieczności zmiany organizacji produkcji w przypadku braku możliwości zwiększenia poziomu zapasu bezpieczeństwa. Głównym praktycznym celem przeprowadzenia analizy jest oszacowanie braków dostaw produktów gotowych w zależności od wystąpienia poziomu zakłóceń. Na tej podstawie możliwe jest opracowanie zaleceń, propozycji przedsięwzięć mających na celu zwiększenie bezpieczeństwa dostaw produktów gotowych w branży zaawansowanych technologii.

7.3 Zalecenia dla badanego łańcucha dostaw

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych zauważono trzy obszary, które zaleca się niezwłocznie skorygować:

- jakość i zapisywanie danych – w trakcie opracowywania metody stwierdzono, iż brakuje prognoz sprzedaży dla produkcji jednorazowej. Prognozy sprzedaży dla produkcji seryjnej obejmowały jedynie 2025 rok. Brakowało również informacji na temat dokładności prognoz (zestawienia prognoz z rzeczywistymi zamówieniami). W systemie produkcyjnym w przypadku produkcji alternatywnej i standardowej nie można było w prosty sposób jej od siebie odróżnić (trzeba było dokładnie szukać wzmianki). Ten stan rzeczy nie jest do zaakceptowania i powinien ulec poprawie. Zapotrzebowanie materiałowe w ramach produkcji jednorazowej ma znaczny udział i nie może zostać pominięte.
- planowanie produkcji – w tym obszarze zaleca się zmianę strategii produkcji z PUSH na PULL (na etapie od materiału wejściowego do półproduktu od partnera).

- planowanie materiałowe – w tym obszarze zaleca się ustanowienie zapasów bezpieczeństwa w systemie oraz dogłębną zmianę planu dostaw. Stwierdzono, iż obecny bardzo wysoki stan magazynowy jest niezasadny. Należy w kontrolowany, przemyślany sposób zmniejszyć ilość materiału w obiegu. Podczas tego przedsięwzięcia należy mieć na uwadze zachowanie odporności systemu na zakłócenia na z góry ustalonym poziomie. W tym celu można skorzystać z opracowanego modelu symulacyjnego. Działania przyczyniłyby się również do zmniejszenia wartości zamrożonego kapitału jak i do zwolnienia miejsca w magazynie dla innych materiałów. Przedsięwzięcie to przeciwdziałałoby również występowaniu niektórych błędów w planowaniu.

Dodatkowo stwierdzono, iż w badanym systemie logistycznym, łańcuchu dostaw można przeprowadzić szereg zrównoważonych działań mających na celu zwiększenie bezpieczeństwa dostaw. W związku z tym na podstawie otrzymanych odpowiedzi z ankiety opracowano następujące propozycje:

- wdrożenie controllingu produkcyjnego wraz z opracowaniem narzędzi controllingowych,
- przeprowadzenie audytu technologicznego mającego na celu opracowanie stabilniejszych procesów produkcyjnych z mniejszymi stratami niż obecnie,
- rozważenie kwalifikacji nowego, kolejnego dostawcy na wypadek wystąpienia problemów u obecnego.

Dodatkowo należałoby rozważyć po dokładnym sprawdzeniu dopasowanie optymalnych ilości materiału w pojedynczym zleceniu produkcyjnym w całym ciągu produkcyjnym od półproduktu po wyrób gotowy. Korzyścią byłaby mniejsza ilość materiału w produkcji (mniejsza ilość produkcji w toku). Do sprawdzenia byłyby kwestie technologiczne, negatywny wpływ na zmniejszenie zdolności produkcyjnych i ekonomiczność produkcji.

Pomysł wprowadzenia dynamicznego zapasu bezpieczeństwa jest również godny uwagi. Zapas bezpieczeństwa jest konieczny w celu zmniejszenia wpływu zakłóceń w dostawach i zapotrzebowaniu produktów gotowych. Wielkość zapasu rzadko jest dopasowywana w przemyśle przez co korzystne jest wprowadzenie zautomatyzowanych aktualizacji. System jest w stanie sam obliczyć zapas bezpieczeństwa na podstawie zapotrzebowania i odchyleń zapotrzebowania z przeszłości wraz z ustalonym optymalnym poziomem dostaw. W obliczeniach zakłada się występowanie rozkładu normalnego oraz średni błąd prognozy równy 0. Jako wynik ustalony zostaje współczynnik bezpieczeństwa k . Współczynnik ten pomnożony przez zapas bezpieczeństwa ustala dynamiczny zapas bezpieczeństwa

(Schwalbach, 2021). Niestety realia branży (częsta zmiana specyfikacji produktów) jak i brak oceny dokładności prognoz ze względu na brak danych wymuszają wcześniejsze przeprowadzenie testów w kierunku możliwości wykorzystania rozwiązania, niemniej rozwiązanie jest godne uwagi.

Zauważono również, iż wprowadzenie powyższych zmian może w bardzo istotnym stopniu zmienić realia, przez co zasadne jest ponowne przeprowadzenie analizy w celu dokonania zaktualizowanej oceny systemu logistycznego, łańcucha dostaw. Wprowadzenie systematyki polegającej na przeprowadzaniu analizy minimum raz w roku przyczyniłoby się w znacznym stopniu do utrzymania satysfakcjonującego poziomu bezpieczeństwa dostaw produktów gotowych. W tym celu zaleca się stworzenie zespołu zajmującego się zarządzaniem łańcuchem dostaw. Podjęcie pracy przez zespół przyczyniłoby się do rozwoju logistyki w tym pogłębieniu współpracy z partnerami w tym obszarze jak i rozwoju tematyki bezpieczeństwa dostaw w podmiocie badań.

7.4 Zalecenia dalszych badań

Zaleca się kontynuowanie badań nad dalszym rozwojem metody w dwóch kierunkach:

1. opracowanie narzędzia cyfrowego dopasowanego do branży zaawansowanych technologii w celu upowszechnienia tematyki. Celem badań byłoby umożliwienie regularnego badania zależności między odpornością na zakłócenia systemu logistycznego, a niezawodnością dostaw wyrobów gotowych. Dzięki temu mogłaby mieć miejsce sprawna identyfikacja zakłóceń oraz uwidoczniono by konieczność opracowania przedsięwzięć zwiększających bezpieczeństwo dostaw. W przypadku innowacyjnych, zaawansowanych technologicznie produktów wykorzystywanych w obszarze militarnym upowszechnienie narzędzia wpłynęłoby w znaczącym stopniu na utrzymanie wysokiego poziomu bezpieczeństwa narodowego. Obecnie potrzebna jest wiedza ekspercka w celu przeprowadzenia oceny zależności między odpornością na zakłócenia systemu logistycznego, a niezawodnością dostaw wyrobów oraz znajomość reguł panujących w branży. Opracowanie cyfrowego narzędzia wspomagającego przeprowadzenie oceny zależności sprawiłoby, iż wymagania stawiane osobie przeprowadzającej analizę zmniejszyłyby się.
2. rozszerzenie metody o kwestie finansowe. Celem rozszerzenia metody o kwestie finansowe byłoby uzyskanie argumentu finansowego wspierającego potencjalne optymalizacje. W tym celu należałoby opracować oraz zintegrować w modelu cyfrowym następujące wskaźniki:

- wskaźnik rotacji materiału, który jest standardowym miernikiem oceny zasobów materiałowych w przedsiębiorstwie. Istotne jest, by procesy w obiekcie badań związane z przyjęciem/wydaniem materiału z magazynu były przejrzyste (m.in. brak wydań z magazynu w przypadku kontroli jakościowej lub specjalne oznaczenie).
- wskaźnik zamrożenia kapitału, który jest standardowym miernikiem wykorzystywanym w inżynierii finansowej. Celem wskaźnika byłoby przedstawienie kadrze zarządzającej pozytywnych efektów finansowych zmniejszenia niewspółmiernego poziomu materiału w obiegu. Sytuacja, w której podmiot badań ma niezasadne poziomy materiału w obiegu zwiększa koszty i zmniejsza konkurencyjność zarówno producenta jak i całego łańcucha dostaw.
- wskaźnik utraty przychodu byłby konieczny, by ukazać kadrze zarządzającej konieczność zwiększenia poziomu materiału w obiegu (zwiększenie poziomu bezpieczeństwa dostaw). Klienci (duże koncerny) dokonują oceny dostawców klasyfikując ich. Systemy klasyfikacji różnią się od siebie, ale jedna kwestia jest niezmienna. Dostawca o najwyższej randze (tzw. premium) ma największy udział w zleceniach klienta, a co za tym idzie uzyskanie takiego statusu powoduje na ogół zwiększenie ilości zamówień (wzrost przychodu), a utrata zmniejszenie ilości zamówień (zmniejszenie przychodu).

Zaproponowane powyżej modyfikacje, dodatkowe funkcje miałyby na celu upowszechnienie metody w celu zwiększenia bezpieczeństwa dostaw w firmach z branży zaawansowanych technologii.

PODSUMOWANIE

Celem głównym rozprawy doktorskiej było opracowanie metody opartej na modelu cyfrowym pozwalającej na zapewnienie optymalnego poziomu odporności łańcucha dostaw materiałów przedsiębiorstwa z branży zaawansowanych technologii na możliwe zagrożenia. Cel ten został w pełni zrealizowany (opracowano metodę opartą na modelu cyfrowym), a przeprowadzone badania symulacyjne na stworzonym modelu wykazały zależności między odpornością na zakłócenia łańcucha dostaw materiałów wejściowych, a niezawodnością dostaw gotowych wyrobów. Tym samym postawiona hipoteza badawcza została potwierdzona.

W pracy wykorzystano podejście inżynierskie, które jest typowe w naukach inżynieryjno-technicznych. Jest ono również wykorzystywane w praktyce w celu realizacji projektów inżynierskich w obszarze usług konsultingowych, specjalistycznych. Struktura pracy powstała w oparciu o to podejście i została zapisana w poniższej tabeli 23.

Tabela 23 Podejście inżynierskie w rozprawie

Etapy w podejściu inżynierskim	Cel	Rozdział, podrozdział w pracy
Zidentyfikowanie potrzeby	Dokonanie opisu potrzeb, czego brakuje, co nie funkcjonuje poprawnie	Rozdział 1
Analiza stanu istniejącego	Dokonanie zestawienia aktualnych funkcjonalności systemu, wizualizacji, obecnie wykorzystywanych rozwiązań	Rozdział 2, 3, 4 oraz podrozdziały 5.1, 5.2 oraz 5.3
Koncepcjonowanie	Opracowanie rozwiązania mającego zaspokoić potrzebę	Podrozdział 5.4
Wdrożenie oraz sprawdzenie funkcjonowania systemu po zmianie	Sprawdzenie czy zaproponowane rozwiązanie zaspokajają w pełni potrzebę	Podrozdziały 6.1 oraz 6.2
Opracowanie oraz wdrożenie korekt (opcjonalne)	W przypadku stwierdzenia braku realizacji celu przez wdrożone rozwiązania ma miejsce ponowne opracowanie nowych, dodatkowych rozwiązań oraz ich wdrożenie	Podrozdział 6.3

Ponowne sprawdzenie funkcjonowania systemu (opcjonalne)	Ma miejsce sprawdzenie, czy nowe, dodatkowe rozwiązania spełniają wymagania, zaspokajają zidentyfikowane potrzeby	Podrozdział 6.4
Opracowanie dalszych zaleceń	Ma miejsce opracowanie zaleceń w celu utrzymania pełnej funkcjonalności rozwiązania. W przypadku zidentyfikowania możliwości dalszych optymalizacji ma miejsce krótkie przedstawienie ich potencjału	Rozdział 7

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Precht M., Meier N., Tremel D. (2004). *EDV-Grundwissen. Eine Einführung in Theorie und Praxis der modernen EDV*. München: Addison-Wesley Verlag

Cele cząstkowe zostały również w pełni zrealizowane:

- zdefiniowano miary do oceny pojęć niezawodność dostaw oraz odporność łańcucha dostaw z uwzględnieniem ich niepewności,
- opracowano wskaźniki do zmierzenia niezawodności oraz odporności łańcucha dostaw z uwzględnieniem ich niepewności,
- stworzono modelu cyfrowy, będący cyfrowym odzwierciedleniem systemu logistycznego wraz z fragmentem łańcucha dostaw w celu przeprowadzenia symulacji z uwzględnieniem różnych rodzajów zakłóceń i ich kombinacji,
- dokonano analizy związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy różnymi kombinacjami zakłóceń w łańcuchach dostaw przemysłu zaawansowanych technologii, a niezawodnością dostaw wyrobów gotowych, w obszarach zaopatrzenia, produkcji oraz dystrybucji gotowych produktów,
- dokonano oceny oraz zaproponowano rozwiązania mające na celu zmniejszenie wrażliwości łańcucha dostaw badanego przedsiębiorstwa na zakłócenia dostaw materiałów.

W ramach pisania rozprawy osiągnięto następujące efekty:

- opracowano wskaźniki miary za pomocą których jest możliwe dokonanie oceny odporności łańcucha dostaw,
- stworzono model cyfrowy oraz przeprowadzono symulacje zakłóceń wraz z konsekwencjami dla sieci dostaw przedsiębiorstwa z branży zaawansowanych technologii,

- opracowano metodę pozwalającą dokonanie oceny poziomu odporności sieci dostaw na zakłócenia,
- zidentyfikowano obszary zabezpieczające utrzymanie bezpieczeństwa dostaw w przypadku wystąpienia zakłóceń.

Dodatkowo zaproponowano konkretne przedsięwzięcia mające na celu zmniejszenie wrażliwości łańcucha dostaw badanego przedsiębiorstwa na kombinacje zakłóceń dostaw produktów gotowych.

W rozprawie doktorskiej poza opracowaniem ankiety, eksporcie danych z systemu operacyjnego (systemu SAP) oraz obserwacji naukowej wykorzystano metody analityczne i diagnostyczne oraz techniki przetwarzania danych dotychczas niewykorzystywane w tym obszarze badawczym, a mianowicie:

- Analizę strukturalną w celu zwizualizowania systemu logistycznego oraz identyfikacji jego komponentów. W tym celu skorzystano z notacji IDEF0,
- Modelowanie abstrakcyjne (cyfrowe) w celu opracowania modelu symulacyjnego,
- Symulacja komputerowa w celu przeprowadzeniu symulacji na ówczesnie opracowanym modelu,
- Analizę scenariuszową, gdzie w oparciu o informacje uzyskane od pracowników podmiotu – ekspertów opracowano trzy warianty zakłóceń, które posłużyły do przeprowadzenia symulacji.

Opracowana metoda oceny zależności między odpornością na zakłócenia systemu logistycznego, a niezawodnością dostaw wyrobów w branży zaawansowanych technologii umożliwi zwiększenie odporności łańcuchów dostaw na zakłócenia (zwiększenie bezpieczeństwa dostaw). Razem z partnerami w ramach czynności w obszarze zarządzania łańcuchem dostaw z wykorzystaniem metody możliwe jest opracowanie ram umożliwiających sprawną rekonfigurację sieci dostaw, umożliwiając tym samym dostosowanie poziomu odporności sieci dostaw do wymaganego poziomu niezawodności dostaw do klientów. Z racji zajmowanego stanowiska pracy w podmiocie badań przez autora tej rozprawy doktorskiej metoda będzie wykorzystywana w praktyce.

SPIS TABEL

Tabela 1 Typy relacji z dostawcami.....	23
Tabela 2 Analiza SWOT obszaru zarządzania łańcuchem dostaw	34
Tabela 3 Koncerny branży zaawansowanych technologii	46
Tabela 4 Ocena ryzyka	80
Tabela 5 Produkcja seryjna i jednorazowa segmentu CaF_2	83
Tabela 6 Ilość sprzedanych sztuk produktu gotowego wyprodukowanego seryjnie i jednorazowo	84
Tabela 7 Potencjalne zakłócenia	89
Tabela 8 Wejściowe ustawienia parametrów modelu	90
Tabela 9 Scenariusze	99
Tabela 10 Zestawienie wyników analizy ryzyka	114
Tabela 11 Wartości parametrów w scenariuszach	117
Tabela 12 Zestawienie planu dostaw materiału wejściowego (w kilogramach).....	120
Tabela 13 Plan dostaw materiału wejściowego (w kilogramach)	120
Tabela 14 Wyniki symulacji	121
Tabela 15 Ilości/braki materiału wejściowego po 12 interwale czasu w gramach	122
Tabela 16 Braki półproduktu na czas	122
Tabela 17 Wyniki symulacji w przypadku dopasowania zapasów bezpieczeństwa półproduktów	123
Tabela 18 Ilości/braki materiału wejściowego po 12 interwale czasu w gramach - przy zwiększeniu zapasu bezpieczeństwa półproduktu.....	124
Tabela 19 Braki półproduktu na czas- przy zwiększeniu zapasu bezpieczeństwa półproduktu	125
Tabela 20 Podjęcie decyzji co do dalszego uwzględnienia grup materiałowych	129
Tabela 21 Zasady oddziaływania zakłóceń na model	132
Tabela 22 Przykładowa tabela z parametrami zakłóceń	133
Tabela 23 Podejście inżynierskie w rozprawie	138

SPIS WYKRESÓW

Wykres 1 Rozwój rocznego przychodu ze sprzedaży	37
Wykres 2 Kształtowanie się kosztów	38
Wykres 3 Skumulowany zysk	39
Wykres 4 Wielkość złóż metali ziem rzadkich w milionach ton w poszczególnych krajach ..	42
Wykres 5 Sprzedaż w latach 2018 do 2023	72
Wykres 6 Ilość sprzedanych szklanych elementów optycznych z materiału CaF_2 w latach 2018-2023	76
Wykres 7 Rozwój przychodu ze sprzedaży szklanych elementów optycznych z materiału CaF_2 w latach 2018-2023	77
Wykres 8 Ilość klientów i wariantów produktu gotowego z materiału CaF_2 w latach 2018 - 2023	77
Wykres 9 Podział klientów badanego segmentu ze względu na branże w 2023 roku	78
Wykres 10 Procentowy udział branż w przychodzie badanego segmentu w 2023 roku	78
Wykres 11 Zakłócenie: wzrost zapotrzebowania na materiał wejściowy w produkcji jednorazowej	101
Wykres 12 Zakłócenie: dodatkowe straty w produkcji seryjnej	103
Wykres 13 Zakłócenie: brak dostaw materiału wejściowego	105
Wykres 14 Zakłócenie: opóźnienie dostaw materiału wejściowego	107
Wykres 15 Zakłócenie: wydłużenie czasu dostawy półproduktu	109
Wykres 16 Zakłócenie: wydłużenie czasu produkcji wyrobu gotowego	111
Wykres 17 Zakłócenie: niedoszacowanie zapotrzebowania na produkty seryjne	113

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1 Wizualizacja systemu logistycznego	15
Rys. 2 Wizualizacja łańcucha logistycznego	18
Rys. 3 Rozwój koncepcji Zarządzania Łańcuchem Dostaw	20
Rys. 4 Cykl Deminga	29
Rys. 5 Konflikt celów w zarządzaniu łańcuchami dostaw	35
Rys. 6 Wizualizacja systemu produkcyjnego.....	45
Rys. 7 Kostka wraz z wejściami i wyjściem w notacji IDEF0	53
Rys. 8 Symbol bramki oraz komentarza	54
Rys. 9 Notacja IDEF0 poziom A0	54
Rys. 10 Podprocesy w systemie logistycznym.....	55
Rys. 11 Dekompozycja podprocesu pozyskania materiału wejściowego	56
Rys. 12 Dekompozycja podprocesu potwierdzenia terminu dostawy.....	58
Rys. 13 Dekompozycja podprocesu wyprodukowania produktu gotowego	60
Rys. 14 Dekompozycja podprocesu wysłania produktu gotowego do klienta.....	62
Rys. 15 Wizualizacja źródeł informacji modelu cyfrowego	65
Rys. 16 Wizualizacja sieci dostaw komponentów do produkcji oraz sieci dystrybucji wyrobów gotowych	71
Rys. 17 Proces produkcyjny.....	75
Rys. 18 Wejścia i wyjścia materiałowe w systemie logistycznym producenta szklanych elementów optycznych wraz z powłoką refleksyjną/ transmisyjną	79
Rys. 19 Łańcuch dostaw badanego segmentu	83
Rys. 20 Struktura zestawienia komponentów	86
Rys. 21 Strategia ATO	87
Rys. 22 Strategia MTO.....	87
Rys. 23 Macierz - wizualizacja częściowych wyników	91
Rys. 24 Macierz braku materiału wejściowego – w sytuacji braku dodatkowych zakłóceń ...	92
Rys. 25 Wskaźnik braku materiału wejściowego – w sytuacji braku dodatkowych zakłóceń	92
Rys. 26 Macierz – wizualizacja.....	93
Rys. 27 Wskaźnik odniesienia materiału wejściowego do zapasu bezpieczeństwa w sytuacji braku.....	94
Rys. 28 Wskaźnik braku półproduktu – w sytuacji braku dodatkowych zakłóceń.....	95
Rys. 29 Wskaźnik odniesienia półproduktu do zapasu bezpieczeństwa w sytuacji braku	96
Rys. 30 Wskaźnik DIFOT – w sytuacji braku dodatkowych zakłóceń.....	97

Rys. 31 Umieszczenie zakłóceń oraz funkcjonowanie modelu.....	126
Rys. 32 Struktura modelu cyfrowego.....	131

SPIS LITERATUREY

1. 2024 *Jahresabschluss der Rheinmetall AG* Rheinmetall AG ir.rheinmetall.com/de/investor/veroeffentlichungen/finanzberichte (26.11.2025)
2. *Airbus Annual Report 2024* AIRBUS SE airbus.com/sites/g/files/jlcbta136/files/2025-04/Airbus%20Annual%20Report%202024.pdf (26.11.2025)
3. Almeida T.F. (2024). *Environmental Protection or Domestic Protectionism? The EU Deforestation-Free Regulation and its Shift from Exporter to Importer of Foreign Capital*. W: Wessel R.A., Diz J.B.M., Társia J.P.T., Akdogan S.E. (red.) *EU External Relations Law and Sustainability. The EU, Third States and International Organizations*.
4. Apelt S., Becker M., Beckers A., Bergs T., Barth S. (2023). *Identification of Residual Development Efforts in Agile Ramp-up Production*. W: von Leipzig K., Sacks N., McClelland (red.) *Smart, Sustainable Manufacturing in an Ever-Changing World. Proceedings of International Conference on Competitive Manufacturing (COMA '22)*. Cham: Springer Nature Switzerland AG
5. Awedyk M. (2016). *Planowanie scenariuszowe w kontekście działań rewitalizacyjnych*. *Kwartalnik Naukowy Problemy Rozwoju Miast* (4/2016), 119-128
6. Balderjahn I., Specht G. (2020). *Einführung in die Betriebswirtschaftslehre*. 8 Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag für Wirtschaft·Steuern·Recht GmbH
7. Balsliemke F. (2004). *Logistiksysteme zur integrierten Distribution und Redistribution. Eine ökonomische Analyse am Beispiel der deutschen Möbelbranche*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag/GWV Fachverlage GmbH
8. Basler D. (2021). *Neuronale Netze mit c# programmieren. Mit praktischen Beispielen für Maschine Learning im Unternehmenseinsatz*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
9. Basu R. (2023). *Managing Global Supply Chains. Contemporary Global Challenges in Supply Chain Management*. New York: Routledge
10. Bauberger S. (2020). *Welche KI? Künstliche Intelligenz demokratisch gestalten*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
11. Bauer D. (2022). *The handbook on science. Lernende ergebnisorientierte Optimierung der Produktionssteuerung für komplexe Werkstattfertigung*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag

12. Begun S., Chowdary F. (2024). *Competitive Semiconductor Product Management. Navigating the Future of Semiconductor Technology in the AI Era*. New York: Apress Media LCC
13. Bhardwaj M.K., Jain V. K. (2007). *Glossary of Purchasing and Supply Chain Management*. New Delhi: Excel Books
14. Bhaskar P. (2024). *AI Tools in Teaching, Learning and Research*. Amaravati: Commissionerate of Collegiate Education, Government of Andhra Pradesh
15. Blakeley G. (2024). *Drapieżny Kapitalizm. Zbrodnie korporacji, subwencje spod stołu i kres wolności*. Katowice: Wydawnictwo Sonia Draga Sp. z o.o.
16. Boateng D. (2021). *Compendium of Supply Chain Management Terms*. Johannesburg: PanAvest International and Partners-South Africa
17. Borgeest K. (2023). *Elektronik in der Fahrzeugtechnik. Hardware, Software, Systeme und Projektmanagement. 5. Auflage*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden
18. Buchenau M.-W., Tyborski R. (2025). *Laserspezialist Trumpf steigt ins Rüstungsgeschäft ein*. Handelsblatt handelsblatt.com/unternehmen/industrie/familienunternehmen-laserspezialist-trumpf-steigt-ins-ruestungsgeschaefst-ein/100147651.html (05.12.2025)
19. Boucher T.O., Yalçın A. (2006). *Design of Industrial Information Systems*. Burlington: Elsevier Inc.
20. Brandl P. (2024). *Innovatives Beschaffungsmanagement in der Sozialwirtschaft. Ressourcenschonend –nachhaltig –bedarfsorientiert; Blaue Reihe Sozialmanagement*. Regensburg: Walhalla u. Praetoria Verlag GmbH & Co. KG
21. Breuer A. (2024). *Der sino-amerikanische „Chip War“. Seine Bedeutung für Chinas digitale Ambitionen und geopolitische Implikationen*. Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf
22. Brooks H. (2025). *Passive Income Ideas for Beginners: Make Money Online with Low Startup Costs Using AI, Digital Products, Affiliate Marketing & More*. Berlin: Epubli GmbH
23. Buede D.M., Miller W. (2024). *The Engineering Design of Systems. Models and Methods*. Hoboken: John Wiley & Sons
24. Bukowski L. (2023). *Cognitive Dependability Engineering. Managing Risks in Cyber-Physical-Social Systems under Deep Uncertainty*. Boca Raton: CRC Press
25. Bukowski L. (2019). *Reliable, Secure and Resilient Logistics Networks. Delivering Products in a Risky Environment*. Cham: Springer Nature Switzerland AG

26. Burkhart D., Bode C. (2024). *On supplier resilience: How supplier performance, disruption frequency, and disruption duration are interrelated*. Amsterdam: Elsevier Ltd
27. Burkhardt M. (2021). *Impacts of Natural Disasters on Supply Chain Performance*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing
28. Bygballe L.E., Dubois A., Jahre M. (2023). *The importance of resource interaction in strategies for managing supply chain disruption*. Amsterdam: Elsevier Ltd
29. Calder A. (2021). *ISO 22301:2019 and Business Continuity Management. Understand how to plan, implement and enhance a business continuity management system (BCMS)*. Ely: IT Governance Publishing Ltd
30. Chen Y., Zhang L., Lei X., Chen Y. (2023). *Research on the Influence of R&D Investment on High-Tech Product Trade in China* W: Yen J., Abedin M.Z., Ngah W.A.S.B.W. (red.) *Proceedings of the 2nd International Academic Conference on Blockchain, Information Technology and Smart Finance (ICBIS 2023). Volume 14*. Dordrecht: Atlantis Press International BV
31. Christopher M. (2023). *Logistics and Supply Chain Management*. London: Pearson Education
32. Crossley C. (2024). *Software Supply Chain Security. Securing the End-to-End Supply Chain for Software, Firmware, and Hardware*. Sebastopol: O'Reilly Media Inc.
33. Dickerson C.E., Mavris D.N. (2010). *Architecture and principles of systems engineering*. Boca Raton: CRC Press
34. Dietel A. (1997). *Lieferserviceorientierte Distributionslogistik. Fallstudienbasierte Untersuchung in der Bauzulieferindustrie*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden
35. Dindarian K. (2024). *Unvorhergesehenes als Chance sehen – Black Swan. Wie resiliente Unternehmen geopolitische und makroökonomische Risiken überleben und meistern*. Cham: Springer Nature Switzerland AG
36. Engelhardt B. (2025). *Globale IT-Konzerne: Giganten einer schnelllebigen Branche. M&A Aktivität in einem hochdynamischen Umfeld*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
37. Eßig M., Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik (2013). *Exzellente öffentliche Beschaffung. Ansatzpunkte für einen wirtschaftlichen und transparenten öffentlichen Einkauf*. Wiesbaden: Springer Gabler

38. *Explore SCOR DS. Association for Supply Chain Management*
www.ascm.org/corporate-solutions/standards-tools/scor-ds/ (15.11.2025)
39. Fagan M.L. (2024). *Supply Chain Management. A Public Sector Perspective*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited
40. Fend L., Hofmann J. (2024). *Digitalisierung in Industrie-, Handels- und Dienstleistungsunternehmen. Konzepte – Lösungen – Beispiele*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
41. Fikentscher W., Heinemann A. (2022). *Schuldrecht. Allgemeiner und Besonderer Teil*. Berlin: Walter de Gruyter GmbH
42. Frick D., Gadatsch A., Schäffer-Külz U. G. (2008). *Grundkurs SAP ERP. Geschäftsprozessorientierte Einführung mit durchgehendem Fallbeispiel. Mit 422 Abbildungen*. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag
43. Ge Z., Geng Y., Dong F., Liang J., Zhong C. (2023). *Towards carbon neutrality: Improving resource efficiency of the rare earth elements in China*. W: Wei W., Long Y., Li J. *Resource efficiency and environmental impact assessment*. Lausanne: Frontiers Media SA.
44. Gentle J.E. (2024). *Matrix Algebra. Theory, Computations and Applications in Statistics*. Cham: Springer Nature Switzerland AG
45. *Geschäftsbericht 2023/24 ZEISS GRUPPE ZEISS GRUPPE*
zeiss.com/geschaeftsbericht/home.html?vaURL=www.zeiss.de/geschaeftsbericht (27.11.2025)
46. *Geschäftsbericht 2024 BAYER AG* bayer.com/sites/default/files/2025-03/bayer-geschaeftsbericht-2024.pdf (26.11.2025)
47. *Gewinn- und Verlustenrechnung BASF SE*
bericht.basf.com/2024/de/konternabschluss/gewinn-und-verlustrechnung.html (26.11.2025)
48. Glasmeier A.K. (2017). *The High-Tech Potential. Economic Development in Rural America*. New York: Routledge
49. Goertz, S. (2024). *Der Krieg in der Ukraine und die Folgen für Deutschland und Europa. 2. Auflage*. Wiesbaden: Kommunal- und Schul-Verlag GmbH & Co. KG
50. Götzenbrugger R. (2023). *Innovation! Praxis Guide*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
51. Griemert R. (2024). *Fördertechnik. Auswahl und Berechnung von Elementen und Baugruppen. 15. Auflage*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

52. Hari J.K. (2025). *Make Money with Print on Demand: A Beginner Guide to Passive Income. Create and Sell Custom Products in Etsy Redbubble and more*. Berlin: Epubli GmbH
53. Harland C. (2024). *Supply Chain Management. Concepts, Challenges and Future Research Directions*. Cham: Springer Nature Switzerland AG
54. Hartmann U., Janke R., von Rosen C. (2023). *Jahrbuch Innere Führung 2022/23. Zeitenwende und Kriegsbilder*. Berlin: Carola Hartmann Miles-Verlag
55. Helmold M. (2022). *Resilientes Lieferanten-Management. Leitfaden, Werkzeuge und rechtliche Rahmenbedingungen*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co.
56. Herbig N., Schewe S. (2020). *Lean Administration. Methoden der Prozessvisualisierung und –optimierung, Tätigkeitsanalyse, Kennzahlen und Office Management*. Norderstedt: BoD – Books on Demand GmbH
57. Herdmann F. (2022). *Preparing for Crises: Enhancing Resilience*. W: Durst S., Henschel T. *Crisis Management for Small and Medium- Sized Enterprises (SMEs). Strategies for External Crises*. Cham: Springer Nature Switzerland AG
58. Hoischen F. (2023). *Technisches Zeichnen. Grundlagen. Normen. Beispiele. Darstellende Geometrie. Geometrische Produktspezifikation*. Berlin: Cornelsen Verlag
59. Holtschulte A. (2021). *Praxis-Leitfaden IoT und Industrie 4.0. Methoden, Tools und Use Cases für Logistik und Produktion*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
60. Huang N. (2025). *Taiwan-Kompetenz. Vom Halbleiter-Pionier zur AI-Supermacht*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
61. Hugos M.H. (2024). *Essentials of Supply Chain Management. Fifth Edition*. Hoboken: John Wiley & Sons
62. *Investor Relations* Mettler-Toledo International Inc. investor.mt.com/investor-home/default.aspx (27.11.2025)
63. Ivanov D. (2021). *Introduction to Supply Chain Resilience. Management, Modelling, Technology*. Cham: Springer Nature Switzerland AG
64. Janits E. (2024). *Schnelleinstieg SAP-Materialwirtschaft in SAP S/4HANA*. Gleichen: Espresso Tutorials GmbH
65. Janson M. (2025). *Wie abhängig ist die Welt von Seltenen Erden aus China?* [de.statista.com de.statista.com/infografik/33751/naturerliche-reserven-an-seltenen-erden/](https://de.statista.com/de.statista.com/infografik/33751/naturerliche-reserven-an-seltenen-erden/) (30.11.2025)

66. Jedynak P., Bąk S. (2021). *Risk Management in Crisis. Winners and Losers during the Covid-19 Pandemic*. New York: Routledge
67. Jamil N.S., Gerstl A. (2026). *De-risking China: The Evolution of European Strategic Thinking (2019-24)*. W: Lee K.C.L., Damm J., Kamaruddin N., Jamil N.S., Yang A.H. *Unpacking „De-risking” China in the Indo-Pacific Region. Origin, Evolution and Variations*. New York: Routledge
68. Kadłubek M. (2021). *Relevance of the completeness meter of transport services* W: Szymczyk K., El Emary I.M.M. (2021). *Advanced Trends in ICT for Innovative Business Management*. Boca Raton: CRC Press
69. *KLA Corporation Reports Fiscal 2024 Fourth Quarter Results and Full Year Results*
KLA Corporation ir.kla.com/news-events/press-releases/detail/478/kla-corporation-reports-fiscal-2024-fourth-quarter-results (27.11.2025)
70. Kling L.R., Nugent E.T. (2005). *Negotiated Acquisitions of Companies, Subsidiaries and Divisions*. New York: Law Journal Press
71. Koch J., Riedmüller F. (2025). *Marktforschung*. Berlin: Walter de Gruyter GmbH
72. Kopōtin I., Piirimäe K., Oll A. (2025). *Menschlicher Faktor und Militärtechnologie in der Kriegsführung*. W: Talves K. Spreen D. *Künstliche Intelligenz in der Militärtechnologie. Soziologische, kulturelle und ethische Perspektiven*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
73. Kracht T. (2022). *Es geht um unsere Werte. Zur Renaissance einer gesellschaftsfähigen Sicherheitspolitik*. W: Rutz M. *Freiheit oder Diktatur? Russlands Ukrainekrieg und wir*. Freiburg im Breisgau: Verlag Herder GmbH
74. Kreimeyer M., Stölzle M.G., Dausch V. (2025). *Product Life Cycle*. W: Márquez Garcia F.P. *Product Lifecycle Management*. London: IntechOpen
75. Krüger R. (2004). *Das Just-in-Time-Konzept für globale Logistikprozesse*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag/GWV Fachverlage GmbH
76. Kummer S., Wakolbinger T., Novoszel L., Geske A.M. (2022). *Supply Chain Resilience. Insights from Theory and Practice*. Cham: Springer Nature Switzerland AG
77. Kumar V., Bhagat H., Kumar V. (2021). *The Basics of Supply Chain Management*. London: Bluerose Publishers
78. Leeman J. (2020). *Supply Chain Management. Fast, flexible supply chains in manufacturing and retailing. 2nd Edition. Integrated chain management: 10 building blocks*. Norderstedt: BoD – Books on Demand

79. Lele A. (2021). *Quantum Technologies and Military Strategy*. Cham: Springer Nature Switzerland AG
80. Leong J. (2024). *Commercial Agreements. Principles and Practice*. Northampton: Edward Elgar Publishing Inc.
81. Levin A., Stathatou C., Lehmann V., Benning J.A. (2024). *Handbuch Automotive SPICE 4.0. Grundlagen und Know-how für die Praxis*. Heidelberg: dpunkt.verlag GmbH
82. Liang, Z., Chaovalitwongse W.A., Shi L. (2016). *Supply Chain Management and Logistics. Innovative Strategies and Practical Solutions*. Boca Raton: CRC Press
83. Liebetruth T. (2024). *Prozessmanagement in Einkauf und Logistik. Instrumente und Methoden für das Supply Chain Management*. Wiesbaden: Springer Fachmedien GmbH
84. *Lieferketten-Störung. Aufbau von Agilität und Resilienz in der gesamten Supply Chain*. Gartner KG www.gartner.de/de/supply-chain/insights/lieferketten-stoerung (09.05.2024)
85. Locker A., Grosse-Ruyken P.T. (2024). *Chefsache Finanzen in Einkauf und Supply Chain. Millionenwerte schaffen mit Digitalisierung, Resilienz und Nachhaltigkeit*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
86. Losarwarr S., Khaimar D.T., Lembhe Y. (2023). *E Supply Chains & Logistics*. Lucknow: Thakur Publication Pvt. Ltd.
87. Löffler-Mang M., Naumann H., Schröder G. (2020). *Handbuch Bauelemente der Optik. Grundlagen, Werkstoffe, Geräte, Messtechnik*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
88. Maiti C.K. (2023). *Fabless Semiconductor Manufacturing. In the Era of Internet of Things*. Singapore: Jenny Stanford Publishing Pte. Ltd.
89. Manglik. R. (2022). *Relationship Management in Business*. Lucknow: EduGorilla Publication
90. Manglik R. (2024). *Logistics and Supply Chain Management*. Lucknow: EduGorilla Publication
91. Markus D. (2023). *Der kleine Logistiker. Lerne die Welt der Spedition und Logistik kennen*. Norderstedt: Books on Demand GmbH
92. Maśloch P. (2005). *Logistyka i jej rozwój na przestrzeni lat – od koncepcji cesarza Leontosa VI do wsparcia logistycznego operacji „Pustynna Burza”*. Zeszyty Naukowe. Logistyka i Transport / Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu. Vol. 1. No. 1. 35-45.

93. McLean T. (2017). *On time, in full. Achieving perfect delivery with lean thinking in purchasing, supply chain, and production planning*. Boca Raton: Taylor & Francis Group
94. Meyer A. (2024). *Softwareentwicklung*. Berlin: Walter de Gruyter GmbH
95. Miller C. (2023). *Der Chip Krieg. Wie die USA und China um die technologische Vorherrschaft auf der Welt kämpfen*. Hamburg: Rowohlt Verlag
96. Modelowanie. PWN www.encyklopedia.pwn.pl/haslo/modelowanie;3942524.html (26.05.2024)
97. Mrabet M. (2022). *A Vision for a Quality Management System of Resilience (QMSR)*. W: Aloulou W.J. (red). *Handbook of Research on Entrepreneurship and Organizational Resilience During Unprecedented Times*. Hershey: IGI Global
98. Munim Z.H., Vladi O., Hossain N.U.I. (2023). *Data Analytics in Supply Chain Resilience and Sustainability Management: The State of the Art and a Way Forward* W: Hossain N. U. I. (red.) *Data Analytics for Supply Chain Networks* Cham: Springer Nature Switzerland AG
99. Muchna C., Brandenburg H., Fottner J., Gutermuth J. (2018). *Grundlagen der Logistik. Begriffe, Strukturen und Prozesse*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
100. Müller D. (2024). *Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure*. Berlin: Springer-Verlag GmbH
101. *Navigating Contract Change Management in Dynamic Business Environments*. Krishnapriya Agarwal www.spotdraft.com/blog/contract-change-management (27.09.2024)
102. Nicoletti B. (2023). *Supply Network 5.0. How to Improve Human Automation in the Supply Chain*. Cham: Springer Nature Switzerland AG
103. O'Brien J. (2022). *Supplier Relationship Management. Unlocking the Value in your Supply Base*. London: Kogan Page Limited
104. OECD (2023). *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023: Enabling Transitions in Times of Disruption*. Paris: OECD Publishing
105. Ortmann L. i inni. (2005). *Verfahren zur Herstellung eines grossvolumigen CaF₂-Einkristalles mit geringer Streuung und verbesserter Laserstabilität, sowie ein solcher Kristall und dessen Verwendung* (Patent europejski nr EP 1 566 469 A2). Europejski Urząd Patentowy
106. Ozgun C.D., Ray R.V. (2022). *Supply Chain Management. Securing a Superior Global Edge*. Thousand Oaks: SAGE Publications

107. Pang Y., Zhang S., Jiang A.X. (2021). *Outsourcing: Overview and Trends*. W: Franco M. *Outsourcing and Offshoring*. London: IntechOpen
108. Parthier L., Stäblein J. (2005). *Herstellung von großvolumigen CaF₂-Einkristallen für die Verwendung als optische Bauelemente mit einer optischen Achse parallel zur (100) oder (110)-Kristallachse* (Niemiecki dokument ujawniający o numerze DE 10 2004 008 752 A1). Deutsches Patent- und Markenamt
109. Patiño-Galván I. (2023). *Innovation and Entrepreneurship Ecosystems. An Evolutionary Vision in the Creation of Local Ecosystems*. Cham: Springer Nature Switzerland AG
110. Peng M.W., Kathuria N. (2021). *Post-Covid Debates in Global Strategy*. W: Fang T., Hassler J. *Globalization, Political Economy, Business and society in Pandemic Times*. Bingley: Emerald Publishing Limited
111. Petrenko S. (2021). *Developing an Enterprise Continuity Program*. Gistrup: River Publishers
112. Pfohl H.-C. (2023). *Logistics Management. Conception and Functions*. Berlin: Springer-Verlag GmbH
113. Pfohl H.-C. (2024). *Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 10. Auflage* Berlin: Springer-Verlag GmbH
114. Poepperl E. (2024). *Erfolgsfaktor KI & SEO. Künstliche Intelligenz und Suchmaschinenoptimierung auch für dein Unternehmen*. Norderstedt: Books on Demand GmbH
115. Pollmeier I., Schade S. (2022). *Logistik 4.0. Eine Analyse aus betriebswirtschaftlicher Sicht*. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH
116. Posluschny P. (2025). *Qualitätsmanagement für Führungskräfte. Instrumente, Methoden, qualitätssichernde Maßnahmen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
117. Precht M., Meier N., Tremel D. (2004). *EDV-Grundwissen. Eine Einführung in Theorie und Praxis der modernen EDV*. München: Addison-Wesley Verlag
118. Pryke S. (2020). *Successful Construction Supply Chain Management. Concepts and Case Studies*. Hoboken: John Wiley & Sons
119. Rahman T., Paul S.K., Agarwal R., Sarker R. (2023). *Overview of Supply Chain Risk and Disruption Management Tools, Techniques, and Approaches*. W: Paul S.K., Agarwal R., Sarker R.A., Rahman T. (red.). *Supply Chain Risk and Disruption*

- Management. Latest Tools, Techniques and Management Approaches.* Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd.
120. Racine J. (2022). *Das schwedische Öffentlichkeitsprinzip und dessen Anwendung im auswärtigen Handeln. Eine seit 1766 existierende Institution zur Sicherung der Transparenz im Verhältnis zur zunehmend internationalisierten Verwaltungstätigkeit.* Zürich: EIZ Publishing
 121. Reis L., Russo N., Pardal P., Carvalho L. (2025). *Organizational Resilience and the Importance of Information Systems and Information and Communication Technologies.* W: Carvalho L.C., Reis L., Neves de Almeida Baptista Figueiredo A.M., Russo N. *Leveraging Technology for Organizational Adaptability.* Hershey: IGI Global
 122. Roubini N. (2022). *Megathreats. 10 Bedrohungen unserer Zukunft und wie wir sie überleben.* München: Ariston Verlag
 123. Rowbotham M. (2025). *Managing International Trade Risk. Customs, Revenue and VAT Compliance.* Boca Raton: Taylor & Francis Group
 124. Rouse W.B., Sage A.P. (2009). *Handbook of systems engineering and management. Second Edition.* Hoboken: John Wiley & Sons
 125. Russell R.S., Taylor B.W. (2023). *Operations and Supply Chain Management. Eleventh Edition.* Hoboken: John Wiley & Sons
 126. Saleh B.E.A., Teich M.C. (2020). *Optik und Photonik.* Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
 127. Sanders N.R. (2020). *Supply Chain Management. A Global Perspective.* Hoboken: John Wiley & Sons
 128. Schild J., Schmidt D.H. (2024). *EU and US Foreign Economic Policy Responses to China. The End of Naivety.* New York: Routledge
 129. Schlimok C., von Lehsten B. (2024). *Durch Markenführung und Innovation zu mehr Nachhaltigkeit im Unternehmen. Wie Sie Nachhaltigkeit bei gleichzeitigem wirtschaftlichen Erfolg erreichen.* Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
 130. Schloss B., Botta C. (2025). *Das Methodensystem für Projekte. Finden Sie die passende Methode für Ihr Projektmanagement.* München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
 131. Schmitt R., Dietrich E. (2023). *Handbuch Messtechnik in der industriellen Produktion. Valide Messergebnisse planen, erhalten, auswerten und verteilen.* München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
 132. Schneider L., Sucky E. (2020). *Stand der empirischen Forschung im Supply Chain Management – Eine systematische Literaturanalyse.* W: Werner J., Biethahn N., Kolke

- R., Sucky E. Honekamp W. (red.) *Mobility in a Globalised World* 2019. Bamberg: University of Bamberg Press
- 133.Scholz S. (2022). *Bewertungsmetrik leistungsbestimmender Faktoren von Supply-Chains in Industriebetrieben*. Aachen: Apprimus Verlag
- 134.Schwalbach L. (2021). *Grundlagen des Einkaufs. Operatives und strategisches Lieferanten- und Einkaufsmanagement*. Norderstedt: BoD Verlag
- 135.Seelbach H. (1997). *Logistik in der Betriebswirtschaftslehre* W: Koch H. *Entwicklung und Bedeutung der betriebswirtschaftlichen Theorie. Zum 100. Geburtstag von Erich Gutenberg*. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH
- 136.Shaffner J.M. (2025). *Führen mit Kaizen Mindset. Wie Führungskräfte durch kontinuierliche Verbesserung Unternehmen transformieren*. Berlin: Epubli GmbH
- 137.Shandilya S.K., Datta A., Kartik Y., Nagar A. (2024). *Digital Resilience: Navigating Disruption and Safeguarding Data Privacy*. Cham: Springer Nature Switzerland AG
- 138.Sienkiewicz P. (red.) (2010). *Metody badań nad bezpieczeństwem i obronnością*. Warszawa: Akademia Obrony Narodowej
- 139.Simon W. (2023). *Künstliche Intelligenz, das wichtigste, was du wissen musst*. Norderstedt: Books on Demand
- 140.Stark A. (2020). *Supply Chain Management*. Waltham Abbey: ED-Tech Press
- 141.Sucky E. (2022). *Supply Chain Management*. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH
- 142.Sucky E., Pflaum A. (2022). *Digitalisierung der Supply Chain*. W: Roth S. Corsten H. *Handbuch Digitalisierung*. München: Verlag Franz Vahlen GmbH
- 143.Surridge M., Gillespie A., Mills I. (2026). *Business Management*. London: Hodder Education
- 144.Symulacja Komputerowa. PWN www.encyklopedia.pwn.pl/haslo/symulacja-komputerowa;3982026.html (26.05.2024)
- 145.Tamalia R.D., Ferrell O.C., Hopkins K. (2020). *Marketing Channels and Supply Chain Networks in North America. A Historical Analysis*. Cham: Springer Nature Switzerland AG
- 146.Tiemann M. (2021). *Unternehmenskooperationen in disruptiven Zeiten. Erfolgsfaktoren für strategische Allianzen und Innovationsführerschaft*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag für Wirtschaft·Steuern·Recht GmbH
- 147.Timm E. (1976). *Das Investitionsrisiko im investitionstheoretischen Ansatz*. Berlin: Duncker & Humblot GmbH

148. *USA und Australien wollen seltene Erden fördern.* tageeschau.de
tagesschau.de/wirtschaft/weltwirtschaft/seltene-erden-usa-australien-china-100.html
(30.11.2025)
149. Vanini U., Rieg R. (2021). *Risikomanagement. Grundlagen – Instrumente – Unternehmenspraxis.* Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag für Wirtschaft·Steuern·Recht GmbH
150. Venkataraman R.R., Demirag O.C. (2022). *Supply Chain Management. Securing a Superior Global Edge.* Thousand Oaks: SAGE Publications
151. Vinodh S. (2023). *Lean Manufacturing. Fundamentals, Tools, Approaches, and Industry 4.0 Integration.* Boca Raton: Taylor & Francis Group
152. Vogl W. (2025). *Die Bewertung der Erfolgswahrscheinlichkeit von Software-Innovationen.* Norderstedt: Books on Demand GmbH
153. *Volkswagen Group mit solidem Jahresergebnis 2024 und robustem Ausblick*
Volkswagen Group volkswagen-group.com/de/pressemitteilungen/volkswagen-group-mit-solidem-jahresergebnis-2024-und-robustem-ausblick-19043 (27.11.2025)
154. Vollmar O. (2022). *Entwicklungsmanagement von Mikro und Makro Layoutstrategien für verkettete Transport- und Fördersysteme in Abhängigkeit von Durchsatz und Randparametern von Fertigungseinheiten.* München: Utzverlag GmbH
155. Vyas N., Dasgupta D., Sošić G. (2024). *Supply Chain Network Design. How to Create Resilient, Agile and Sustainable Supply Chains.* New York: Kogan Page Limited
156. Wang Q., Li J.J. (2022). *Managing and Repairing Supply Chains upon Disruptions.* W: Choi T.Y., Li J.J., Rogers D.S., Schoenherr T., Wagner S.M. *The Oxford Handbook of Supply Chain Management.* Oxford: Oxford University Press
157. *Was wir machen* Robert Bosch GmbH bosch.de/unternehmen/bosch-gruppe-weltweit/#was-wir-machen (26.11.2025)
158. Weber C. (2023). *BWL und VWL einfach erklärt. Alles was Sie über BWL und VWL wissen sollten, um schneller Karriere zu machen und ein Unternehmen erfolgreich zu gründen und zu führen!* Frankfurt am Main: AIM-Verlagshaus
159. Wellbrock W., Ludin D., Schöttle R., Klußmann P., Müller E. (2025). *Risikomanagement in der Beschaffung – Aktuelle Trends und Risiken.* W: Wellbrock W., Ludin D. *Management von Risiko, Nachhaltigkeit und KI in der Beschaffung.* Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
160. *What is a resilient supply chain?* SAP SE www.sap.com/products/scm/integrated-business-planing/what-is-a-resilient-supply-chain.html (23.05.2024)

161. Wirtz B.W. (2024). *Multichannel Marketing. Strategy – Design – Digital Technology*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
162. Woehe J.M., Kurz E. (2021). *Krise in Digitalprojekten erfolgreich managen. Ein Leitfaden zur Krisenprävention, Projektsanierung und –neuausrichtung*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
163. Wozu dient CaF₂. SYRON PTE. LTD https://syronoptics.com/de/blogs/technical-article/what-is-the-use-of-caf2?srsId=AfmBOop1LpYqt3JJr9s3v7m_LosDRwAhBxvwmOP52Zyuz1D9eR0AAYIq (10.09.2024)
164. Wyciślak S., Radin M.A. (2024). *The Fundamentals of Systems Thinking, Management & Effective Leadership*. Singapur: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
165. Yang J. (2022). *Vom Null-Abfall zum geschlossenen Materialkreislauf. Der Weg zur Kreislaufwirtschaft*. Singapur: Springer Nature Singapore
166. Zander B. (2024). *Entwicklung einer adaptiven digitalen Logistikkette für eine intelligente Fabrik im Bauwesen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
167. Zheng H., Shu Y. (2024). *Impact of High-Tech Product Import on Export Quality Level*. W: Jiang Y., Li G., Li W. X. *Proceedings of the 8th International Conference on Financial Innovation and Economic Development (ICFIED 2023). Volume 237*. Dordrecht: Atlantis Press International BV

ZAŁĄCZNIK 1 – ANKIETA WERSJA POLSKOJĘZYCZNA

Ankieta: Ocena ryzyka wystąpienia zakłócenia w gospodarce materiałowej z ustaleniem środków zaradczych.

0. Zespół:
1. Staż pracy w przedsiębiorstwie:
2. Doświadczenie zawodowe na obecnym stanowisku:
3. Proszę zidentyfikować zakłócenia z obszaru gospodarki materiałowej, które mogą mieć negatywny wpływ na system logistyczny i w efekcie doprowadzić do przerwania ciągłości dostaw produktów gotowych w segmencie CaF₂.

Numer porządkowy	Zakłócenie
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

4. Proszę dokonać oceny wpływu zakłócenia w przydku wystąpienia 3 scenariuszy (bardzo prawdopodobny, prawdopodobny oraz ekstremalny).

Zakłócenie	Opis	Bardzo prawdopodobny	Prawdopodobny	Ekstremalny
Wzrost zapotrzebowania na materiał wejściowy w produkcji jednorazowej – niedoszacowanie potrzeb materiałowych	O + n% dodatkowo do średniego zapotrzebowania z ostatnich lat			
Dodatkowe straty materiałowe w produkcji	O + n% do ustalonych w systemie strat			
Brak dostaw materiału wejściowego w interwale bez możliwości zrekompensowania, dostarczenia w późniejszym terminie	Przez n-miesięcy (całe miesiące)			
Opóźnie się dostaw materiału wejściowego	O + n- miesięcy przez n- miesięcy	O Przez	O Przez	O Przez
Wydłużenie się czasu dostawy półproduktu od partnera	O + n- miesięcy (całe miesiące) obecnie czas dostawy wynosi 2 miesiące			
Wydłużenie się czasu produkcji wyrobu gotowego od półproduktu do produktu gotowego	O + n- miesięcy (całe miesiące) obecnie cykl produkcyjny wynosi 2 miesiące			
Zwiększenie się zapotrzebowania na produkty gotowe (produkcja seryjna) – niedoszacowanie zapotrzebowania na produkty seryjne	O + n% w porównaniu z prognozowanymi ilościami w skali roku			

5. Proszę wybrać grupę środków zapobiegawczych oraz zapisać przedsięwzięcia, które mogą przyczynić się do zwiększenia rezyliencji łańcucha dostaw.

Zakłócenie	Środek zapobiegawczy	Przedsięwzięcie
Wzrost zapotrzebowania na materiał wejściowy w produkcji jednorazowej – niedoszacowanie potrzeb materiałowych	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Dodatkowe straty materiałowe w produkcji	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Brak dostaw materiału wejściowego w interwale bez możliwości zrekompensowania, dostarczenia w późniejszym terminie	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Opóźnie się dostaw materiału wejściowego	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Wydłużenie się czasu dostawy półproduktu od partnera	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Wydłużenie się czasu produkcji wyrobu gotowego od półproduktu do produktu gotowego	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Zwiększenie się zapotrzebowania na produkty gotowe (produkcja seryjna) – niedoszacowanie zapotrzebowania na produkty seryjne	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Zakłócenie numer 1 z pytania numer 3	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	

	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Zakłócenie numer 2 z pytania numer 3	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Zakłócenie numer 3 z pytania numer 3	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Zakłócenie numer 4 z pytania numer 3	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Zakłócenie numer 5 z pytania numer 3	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Zakłócenie numer 6 z pytania numer 3	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Zakłócenie numer 7 z pytania numer 3	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	
Zakłócenie numer 8 z pytania numer 3	☐ Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia	
	☐ Ograniczenie skutków	
	☐ Zwiększenie wykrywalności	

ZALĄCZNIK 2 – ANKIETA WERSJA NIEMIECKOJEZYCZNA

Befragung: Risikoeinschätzung des Auftritts eines Störfalls in der Materialwirtschaft mit Ermittlung von Gegenmaßnahmen.

0. Arbeitsgruppe:
1. Dauer der Betriebszugehörigkeit:
2. Dauer von relevanten Berufserfahrung:
3. Bitte identifizieren Sie die Störungen im Bereich der Materialwirtschaft, die Ihrer Meinung nach einen negativen Einfluss auf das Logistiksystem haben können und im Endeffekt die Verletzung der Liefertreue in den CaF₂ - Geschäftszweig verursachen könnten?

Ordnungsnummer	Störung
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

4. Bitte bewerten den Einfluss der Störung in Fall von 3 Szenarien (Sehr wahrscheinlich, wahrscheinlich und beim Randszenario).

Störung	Beschreibung	Sehr wahrscheinlich	Wahrscheinlich	Randszenario – Extremster Störfungsfall
Erhöhung des Materialbedarfs für die Einmal-Fertigung – unterschätzung des Materialbedarfs	Um + n% zum Durchschnittsbedarf aus vergangenen Jahren			
Zusätzliche Ausschüsse in der Fertigung	Um + n% zum gepflegten Planausschüssen			
Ausfall der Rohmaterialanlieferung (ohne Nachlieferung)	Über n-Monate (ganze Monate)			
Verspätung der Rohmaterialanlieferung	Um + n- Monate über n-Monate	Um über	Um über	Um über
Verlängerung der Halbzeugfertigung bei den Partner	Um + n- Monate (ganze Monate) aktuell beträgt die Lieferzeit 2 Monate			
Verlängerung der Durchlaufzeit (ab Halbzeugfertigung)	Um + n- Monate (ganze Monate) aktuell beträgt die Durchlaufzeit 2 Monate			
Erhöhung der Kundenbedarfe auf Fertigteile (Serienfertigung) – unterschätzung der Bedarfe in den Vertrieb- Forecast	Um + n% im Vergleich zum Forecastmengen pauschal pro Jahr			

5. Bitte wählen Sie die vorbeugende Maßnahmengruppen und schreiben Sie die Maßnahmen auf, die dazu führen könnten die Resilienz der Beschaffungskette zu erhöhen.

Störung	Maßnahmengruppe	Maßnahme
Erhöhung des Materialbedarfs für die Einmal-Fertigung: unterschätzung des Materialbedarfs	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	
Zusätzliche Ausschüsse in der Fertigungsplanung	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	
Ausfall der Rohmaterialanlieferung ohne Nachlieferung	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	
Verspätung der Rohmaterialanlieferung	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	
Verlängerung der Halbzeugbearbeitung bei den Partner	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	
Verlängerung der Durchlaufzeit (ab Halbzeug)	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	
Erhöhung der Kundenbedarfe auf Fertigteile (Serienfertigung) – unterschätzung der Bedarfe in den Vertrieb-Forecast	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	
Störung Nummer 1 aus Frage Nummer 3	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	
Störung Nummer 2 aus Frage Nummer 3	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	

Störung Nummer 3 aus Frage Nummer 3	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	
Störung Nummer 4 aus Frage Nummer 3	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	
Störung Nummer 5 aus Frage Nummer 3	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	
Störung Nummer 6 aus Frage Nummer 3	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	
Störung Nummer 7 aus Frage Nummer 3	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	
Störung Nummer 8 aus Frage Nummer 3	☐ Minderung der Wahrscheinlichkeit	
	☐ Minderung des Ausmaßes	
	☐ Erhöhung der Detektion	