

Akademia WSB

Dąbrowa Górnicza, Cieszyń, Olkusz, Żywiec, Kraków

Wydział Nauk Stosowanych

mgr inż. Wojciech Rupik

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

**Autoreferat pracy doktorskiej napisanej pod kierunkiem:
prof. dr hab. inż. Lech Bukowski**

Dąbrowa Górnicza 2026

Spis treści

1. Przesłanki wyboru tematu pracy.....	3
2. Cele pracy i hipotezy badawcze	4
3. Struktura pracy i przebieg badań	5
4. Wyniki badań w kontekście hipotez badawczych.....	7
5. Wnioski z badań.....	7
6. Wartość dodana pracy.....	9
7. Kierunki dalszych badań.....	17
8. Spis publikacji	19

1. Przesłanki wyboru tematu pracy

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. Wydarzenia takie jak 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 jak i ograniczenie jego ilości na rynku. 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 na zakłócenia czy zapewnienie alternatywnych, niezależnych od siebie źródeł pozyskiwania towarów były mało „popularne”. W świecie globalizacji, w którym łańcuchy dostaw coraz częściej nie mają ograniczeń geograficznych, nieoczekiwane zakłócenia mogą występować coraz częściej. Prowadzą one często do zachwiania stabilności procesów produkcyjnych. Obecnie poszukuje się rozwiązań, które zmniejszą wpływ zakłóceń, zapobiegną występowaniu przerw w ciągłości dostaw wyrobów gotowych.

W ramach przygotowania do pisania rozprawy przeanalizowano ponad 60 pozycji literaturowych dotyczących tematyki odporności łańcucha dostaw na zakłócenia (bezpieczeństwa dostaw) opublikowanych w latach 2021 – 2024. 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 literatury 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) tym bardziej mogą oddziaływać 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. Tematyka bezpieczeństwa dostaw w branży zaawansowanych technologii zyskuje na znaczeniu w obecnie „burzliwych” czasach.

2. Cele pracy i hipotezy badawcze

Celem głównym (naukowo-badawczym) rozprawy było opracowanie metody oceny zależności między odpornością na zakłócenia systemu logistycznego, a niezawodnością dostaw wyrobów w branży zaawansowanych technologii. Celem aplikacyjnym było wykorzystanie opracowanej metody w praktyce pozwalające na wzmocnienie odporności systemów logistycznych na możliwe zakłócenia.

Do celów częściowych zaliczono:

- 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,
- ocena oraz zaproponowanie rozwiązań mających na celu zmniejszenie wrażliwości łańcucha dostaw badanego przedsiębiorstwa na zakłócenia dostaw materiałów.

Hipoteza brzmiała 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.

3. Struktura pracy i przebieg badań

Praca składa się z następujących rozdziałów oraz podrozdziałów:

STRESZCZENIE

ABSTRACT

1 WPROWADZENIE

1.1 Uzasadnienie podjęcia tematu wraz z opisem luki badawczej

1.2 Cel i zakres pracy badawczej

1.3 Etapy oraz wykorzystane metody i techniki

1.4 Hipotezy badawcze

2 ZARZĄDZANIE ŁAŃCUCHEM DOSTAW W ŚWIELE AKTUALNYCH BADAŃ

2.1 Rozwój logistyki na przestrzeni lat

2.2 Dotychczasowe podejście do zarządzania łańcuchem dostaw

2.3 Aktualnie dostępne rozwiązania w obszarze bezpieczeństwa dostaw

2.4 Rola zarządzania łańcuchem dostaw w kształtowaniu odporności organizacji na zakłócenia

3 BRANŻA ZAAWANSOWANYCH TECHNOLOGII

3.1 Charakterystyka branży

3.2 Specyfika sieci dostaw w branży zaawansowanych technologii

3.3 Strategiczne postrzeganie branży

3.4 Rola branży w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa narodowego

4 PRZYGOTOWANIE DO BADAŃ SYMULACYJNYCH

4.1 Sytuacja wyjściowa do badań symulacyjnych

4.2 Analiza systemu logistycznego podmiotu badań

4.3 Zestawienie źródeł danych do modelu cyfrowego

4.4 Plan badań symulacyjnych

5 PRZEDSIĘBIORSTWO Z BRANŻY ZAAWANSOWANYCH TECHNOLOGII

5.1 Opis przedsiębiorstwa z branży zaawansowanych technologii

5.2 Wybrany segment rynku branży zaawansowanych technologii

5.3 Analiza stanu istniejącego wybranego segmentu rynku w badanym przedsiębiorstwie

5.4 Zdefiniowanie danych wejściowych i wyjściowych oraz parametrów modelu

6 BADANIA SYMULACYJNE ŁAŃCUCHA DOSTAW

6.1 Opracowanie modelu cyfrowego

6.2 Opracowanie scenariuszy

6.3 Optymalizacja modelu badawczego

6.4 Ponowne przeprowadzenie symulacji

7. WNIOSKI

7.1 Wnioski z badań

7.2 Opis opracowanej metody

7.3 Zalecenia dla badanego łańcucha dostaw

7.4 Zalecenia dalszych badań

PODSUMOWANIE

SPIS TABEL

SPIS WYKRESÓW

SPIS RYSUNKÓW

SPIS LITERATURY

ZAŁĄCZNIK 1 – ANKIETA WERSJA POLSKOJĘZyczna

ZAŁĄCZNIK 2 – ANKIETA WERSJA NIEMIECKOJĘZyczna

Postępowanie badawcze składało 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 łańcuchach 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.

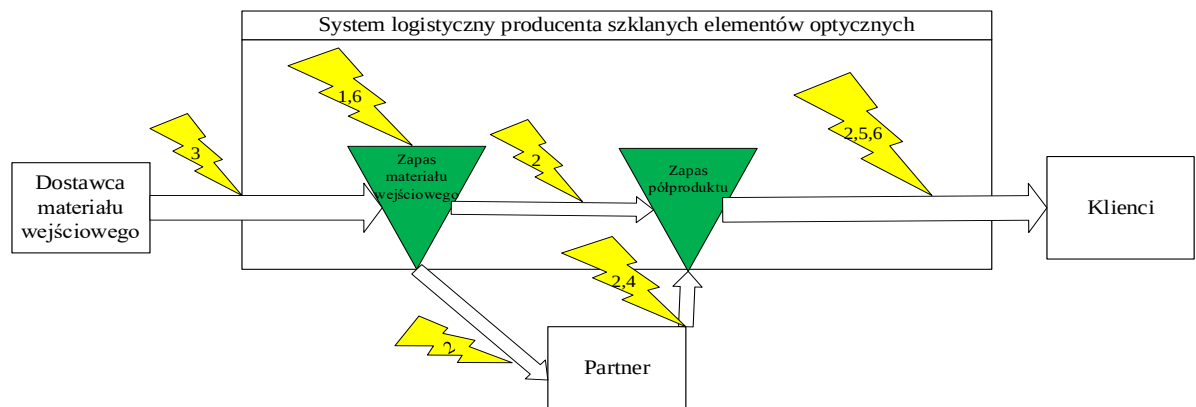
XII Wnioski końcowe oraz propozycje optymalizacji.

4. Wyniki badań w kontekście hipotez badawczych

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono zależność między odpornością na zakłócenia systemu logistycznego, a niezawodnością dostaw wyrobów gotowych. Na podstawie wskaźnika udało się zaobserwować następującą zależność w przypadku wystąpienia zakłóceń: im większy poziom odporności łańcucha dostaw, tym większa ilość kompletnych dostaw na czas.

5. Wnioski z badań

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 1 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. 1 Umieszczenie zakłóceń oraz funkcjonowanie modelu

Źródło: opracowanie własne

Skuteczność działań mających na celu zwiększenie odporności łańcucha dostaw będzie zależeć 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.

6. Wartość dodana pracy

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 poniższą tabelę 1.

Tabela 1 Podjęcie decyzji co do dalszego uwzględnienia grup materiałowych

Material (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</i>	<i>Dostępność materiału na rynku (wysoka, przeciętna, mała, bardzo mała),</i> <i>Ilość zakwalifikowanych źródeł (jedno, kulka)</i> <i>Czy konieczna jest kwalifikacja materiału w wypadku zmiany źródła pochodzenia? (tak, nie)</i> <i>Koszt jednostkowy w strukturze kosztów materiału gotowego (duży >30%, średni pomiędzy 10% a 30%, mały pomiędzy 5% a 10%, bardzo mały <5%)</i> <i>Czy można magazynować materiał? (tak, nie)</i> <i>Czy materiał ma datę ważności? (tak, nie)</i> <i>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</i> <i>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),

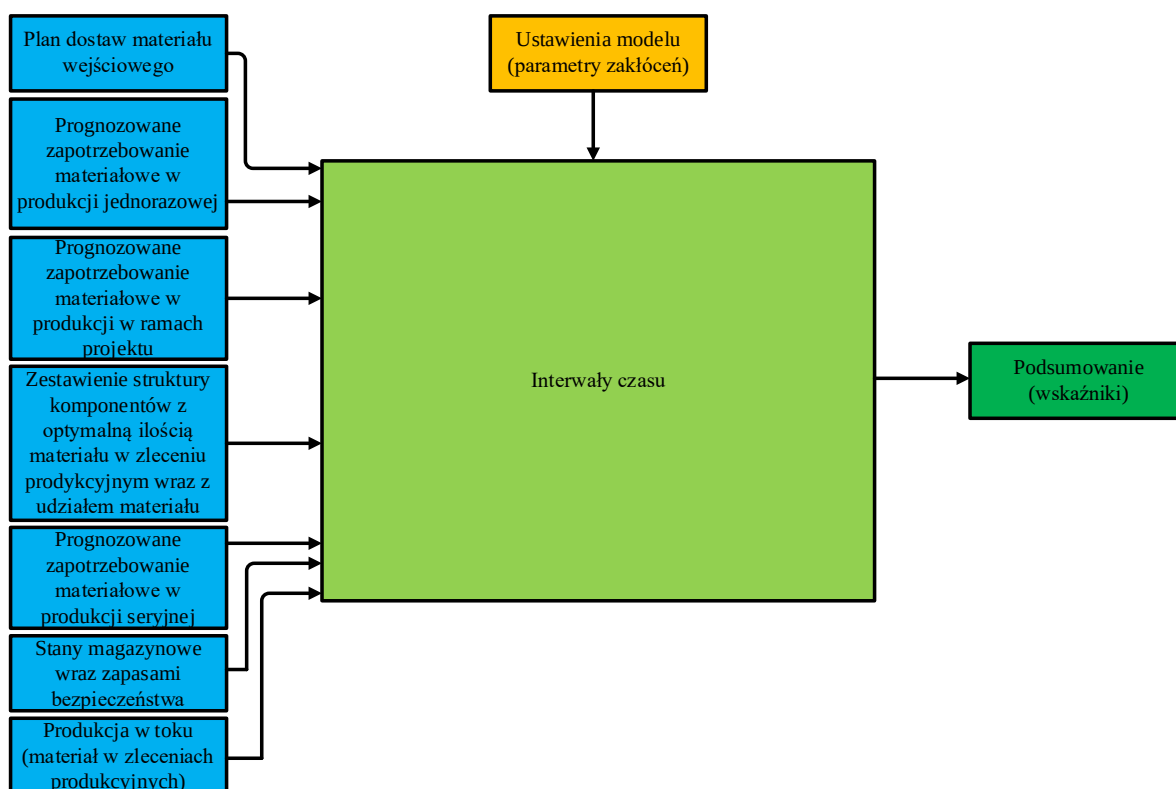
- optymalna ilość sztuk w pojedynczym zleceniu produkcyjnym,
- dostępność prognoz sprzedaży wyrobów gotowych,
- minimalne ilości w pojedynczym zamówieniu produktu gotowego,
- dokładność prognoz sprzedaży wyrobów gotowych,
- przewodnia strategia planowania produkcji,
- ustalone zapasy bezpieczeństwa,
- 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 2.



Rys. 2 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 2).

Tabela 2 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 ma miejsce wydłużenie czasu realizacji kroku produkcyjnego.

Zakłócenie	Skala	Opis
Wydłużenie się czasu trwania realizacji zlecenia produkcyjnego w produkcji seryjnej (od półproduktu do produktu gotowego)	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 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 została przedstawiona poniżej (tabela 3).

Tabela 3 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

Zródło: opracowanie własne

Następnie należy ustawić parametry modelu zgodnie z tabelą i przeprowadzić każdorazowo symulację. 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 zależności 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.

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych zauważono trzy obszary, które zaleca się niezwłocznie skorygować w badanym łańcuchu dostaw:

- 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.

Ponadto 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 odchyłeń zapotrzebowania z przeszłości wraz z ustalonym optymalnym poziomem dostaw. 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. Kierunki 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 uwidoczniłoby 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.

8. Spis publikacji

Rupik W. (2025) *Bezpieczeństwo systemu sterylizacji wyrobów medycznych podczas remontu centralnej sterylizatorni*. W: Sułkowski Ł., Dzieńdziora J. *Debiuty młodych naukowców w ujęciu interdyscyplinarnym*. Dąbrowa Górnicza: Wydawnictwo Naukowe Akademii WSB