

Ocena ryzyka materiałów krytycznych w łańcuchu dostaw przedsiębiorstwa produkcyjnego z wykorzystaniem wybranych wskaźników efektywności logistycznej

Marcin Rogoza

marcin.rogaza@wroclaw.merito.pl

ORCID: 0009-0007-7175-153X

Ewa Kwiatek

ewa.kwiatek@wroclaw.merito.pl

ORCID: 0009-0000-1898-7083

Streszczenie

Współczesne przedsiębiorstwa produkcyjne funkcjonują w warunkach rosnącej niepewności gospodarczej oraz zwiększonej podatności łańcuchów dostaw na zakłócenia wynikające z globalizacji, wydłużania sieci dostaw oraz wzrastających wymagań jakościowych i środowiskowych. W tych warunkach szczególnego znaczenia nabiera identyfikacja materiałów krytycznych, których niedostępność może prowadzić do zaburzenia ciągłości procesów produkcyjnych oraz pogorszenia efektywności logistycznej przedsiębiorstwa.

Celem artykułu jest ocena ryzyka materiałów krytycznych występujących w łańcuchu dostaw przedsiębiorstwa produkcyjnego z wykorzystaniem wybranych wskaźników efektywności logistycznej. Badania przeprowadzono metodą studium przypadku w przedsiębiorstwie branży stolarki otworowej. W badaniu wykorzystano analizę procesów logistycznych, analizę dokumentacji przedsiębiorstwa, klasyfikację materiałów z wykorzystaniem macierzy Kraljica oraz ocenę wpływu materiałów krytycznych na wybrane wskaźniki KPI.

W wyniku przeprowadzonych badań zidentyfikowano cztery grupy materiałów o podwyższonym znaczeniu dla funkcjonowania przedsiębiorstwa, spośród których najwyższy poziom ryzyka wykazały szyby zespolone oraz profile PVC importowane z Chin. Analiza wykazała, że głównymi źródłami ryzyka są wysoka koncentracja dostawców, wydłużone terminy realizacji zamówień, zależność od międzynarodowych sieci transportowych oraz ograniczone możliwości substytucji materiałów. Stwierdzono również istotny wpływ materiałów krytycznych na poziom terminowości dostaw, długość cyklu produkcyjnego, liczbę przestojów oraz poziom obsługi klienta.

Uzyskane wyniki potwierdzają przydatność macierzy Kraljica oraz wskaźników efektywności logistycznej jako narzędzi wspierających identyfikację i ocenę ryzyka materiałowego. Badanie wskazuje, że skuteczne zarządzanie materiałami krytycznymi może stanowić istotny element budowania odporności i konkurencyjności przedsiębiorstw produkcyjnych funkcjonujących w warunkach dynamicznych zmian otoczenia gospodarczego.

Słowa kluczowe: materiały krytyczne, zarządzanie ryzykiem, łańcuch dostaw, macierz Kraljica, KPI, efektywność logistyczna, przedsiębiorstwo produkcyjne, odporność łańcucha dostaw.

Wprowadzenie

Współczesne łańcuchy dostaw funkcjonują w warunkach rosnącej zmienności otoczenia gospodarczego, niepewności geopolitycznej oraz nasilających się zakłóceń wpływających na dostępność surowców i komponentów. Globalizacja procesów zaopatrzeniowych, rozwój międzynarodowych sieci produkcyjnych oraz rosnąca specjalizacja dostawców przyczyniły się do zwiększenia efektywności przedsiębiorstw, jednocześnie jednak zwiększając ich podatność na różnego rodzaju ryzyka operacyjne. Szczęólnego znaczenia nabiera problem identyfikacji i zarządzania materiałami krytycznymi, których niedobór lub brak dostępności może prowadzić do zakłócenia ciągłości procesów produkcyjnych, wzrostu kosztów operacyjnych oraz pogorszenia poziomu obsługi klienta.

W literaturze przedmiotu materiały krytyczne definiowane są jako zasoby o strategicznym znaczeniu dla funkcjonowania organizacji, charakteryzujące się wysokim wpływem na realizację procesów biznesowych przy jednoczesnym podwyższonym poziomie ryzyka związanego z ich pozyskaniem. Ryzyko to może wynikać między innymi z ograniczonej liczby dostawców, długiego czasu realizacji zamówień, zależności od dostaw międzynarodowych, wymagań jakościowych czy też uwarunkowań prawnych i środowiskowych. W konsekwencji skuteczne zarządzanie materiałami krytycznymi staje się jednym z ważniejszych elementów budowania odporności i konkurencyjności współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych.

Znaczenie tego zagadnienia wzrosło szczególnie w ostatnich latach w związku z doświadczeniami pandemii COVID-19, zakłóceniami w globalnym transporcie morskim, niestabilnością rynków surowcowych oraz zmianami regulacyjnymi związanymi z polityką zrównoważonego rozwoju i gospodarki o obiegu zamkniętym. W rezultacie przedsiębiorstwa coraz częściej poszukują narzędzi umożliwiających nie tylko identyfikację materiałów o znaczeniu strategicznym, lecz również ocenę ich wpływu na efektywność funkcjonowania całego łańcucha dostaw.

Jednym z najczęściej stosowanych sposobów oceny skuteczności procesów logistycznych jest wykorzystanie kluczowych wskaźników efektywności (Key Performance Indicators, KPI). Pozwalają one na monitorowanie poziomu realizacji celów operacyjnych, ocenę jakości procesów zaopatrzenia, produkcji i dystrybucji, a także identyfikację obszarów wymagających doskonalenia. Analiza wskaźników efektywności logistycznej może stanowić istotne źródło informacji wspierające proces oceny ryzyka materiałów krytycznych oraz podejmowanie decyzji dotyczących zarządzania zapasami, współpracy z dostawcami i organizacji procesów produkcyjnych.

Celem niniejszego artykułu jest ocena ryzyka materiałów krytycznych występujących w łańcuchu dostaw przedsiębiorstwa produkcyjnego z wykorzystaniem wybranych wskaźników efektywności logistycznej. Badanie przeprowadzono w formie studium przypadku przedsiębiorstwa działającego w branży stolarki otworowej, specjalizującego się w produkcji okien dachowych i fasadowych. Ze względu na konieczność ochrony informacji organizacyjnych i handlowych nazwa przedsiębiorstwa została zanonimizowana, a w dalszej części opracowania podmiot określany jest jako „Przedsiębiorstwo Alfa”.

W ramach realizacji celu badawczego dokonano identyfikacji materiałów o znaczeniu krytycznym dla ciągłości procesów produkcyjnych, przeanalizowano źródła ryzyka związane z ich pozyskiwaniem oraz oceniono potencjalny wpływ tych materiałów na wybrane wskaźniki efektywności logistycznej. Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do opracowania działań doskonalących w zakresie zarządzania zaopatrzeniem, ograniczania ryzyka dostaw oraz zwiększania odporności łańcucha dostaw przedsiębiorstw produkcyjnych.

1. Przegląd literatury i podstawy teoretyczne

1.1. Zarządzanie ryzykiem w łańcuchach dostaw

Współczesne łańcuchy dostaw stanowią złożone systemy obejmujące wiele podmiotów uczestniczących w procesach zaopatrzenia, produkcji, magazynowania, transportu i dystrybucji. Rosnąca globalizacja działalności gospodarczej, rozwój międzynarodowych sieci kooperacyjnych oraz specjalizacja dostawców sprawiają, że przedsiębiorstwa coraz częściej narażone są na różnorodne zagrożenia zakłócające ciągłość przepływu materiałów i informacji. W konsekwencji zarządzanie ryzykiem stało się jednym z ważniejszych obszarów współczesnego zarządzania łańcuchem dostaw (Christopher, 2016).

Ryzyko w łańcuchu dostaw definiowane jest jako możliwość wystąpienia zdarzeń prowadzących do zakłócenia przepływu materiałów, informacji lub środków finansowych pomiędzy uczestnikami łańcucha dostaw. Do najczęściej identyfikowanych źródeł ryzyka należą problemy jakościowe dostawców, opóźnienia transportowe, ograniczona dostępność surowców, awarie infrastruktury, konflikty geopolityczne, katastrofy naturalne oraz zmiany regulacyjne (Tang, 2006).

Według Christophera (2016) skuteczne zarządzanie ryzykiem powinno obejmować identyfikację zagrożeń, ocenę ich prawdopodobieństwa oraz potencjalnych skutków, a następnie wdrażanie działań ograniczających negatywny wpływ zakłóceń na funkcjonowanie przedsiębiorstwa. Szczególne znaczenie przypisuje się budowaniu odporności łańcucha dostaw (Supply Chain Resilience), rozumianej jako zdolność organizacji do przygotowania się na wystąpienie zakłóceń, reagowania na nie oraz szybkiego powrotu do stanu równowagi operacyjnej. Poniżej w tabeli 1 przedstawiono sześć wybranych definicji SCRes.

Tabela 1. Definicje odporności łańcucha dostaw (Supply Chain Resilience)

Autorzy	Definicja odporności łańcucha dostaw
Rice i Caniato (2003)	Odporność sieci dostaw oznacza zdolność do reagowania na nieoczekiwane zakłócenia oraz przywrócenia normalnego funkcjonowania procesów zaopatrzeniowych i logistycznych po wystąpieniu zdarzenia zakłócającego.
Christopher i Peck (2004)	Odporność jest zdolnością systemu do powrotu do pierwotnego stanu funkcjonowania lub osiągnięcia nowego, bardziej pożądanego poziomu działania po wystąpieniu zakłócenia.
Ponomarov i Holcomb (2009)	Odporność łańcucha dostaw oznacza zdolność adaptacyjną umożliwiającą przygotowanie się na nieoczekiwane zdarzenia, reagowanie na zakłócenia oraz odzyskiwanie sprawności przy zachowaniu ciągłości operacji, odpowiedniego poziomu kontroli oraz integralności struktury i funkcji łańcucha dostaw.
Ponis i Koronis (2012)	Jest to zdolność do proaktywnego planowania i projektowania sieci łańcucha dostaw w celu przewidywania nieoczekiwanych zdarzeń zakłócających, adaptacyjnego reagowania na zakłócenia przy zachowaniu kontroli nad strukturą i funkcjami systemu oraz osiągania stanu funkcjonowania bardziej odpornego niż przed wystąpieniem zakłócenia, co może prowadzić do uzyskania przewagi konkurencyjnej.
Hohenstein, Feisel, Hartmann i Giunipero (2015)	Odporność łańcucha dostaw oznacza zdolność do przygotowania się na nieoczekiwane zdarzenia ryzyka, szybkiego reagowania i odzyskiwania sprawności po zakłóceniach w celu powrotu do stanu wyjściowego lub osiągnięcia nowego, bardziej efektywnego poziomu funkcjonowania, zwiększającego poziom obsługi klienta, udział w rynku i wyniki finansowe.
Datta (2017)	Odporność łańcucha dostaw jest dynamicznym procesem zarządzania działaniami organizacji w taki sposób, aby minimalizować wpływ zagrożeń, szybko i skutecznie reagować na zakłócenia oraz odzyskiwać stabilność operacyjną. Umożliwia to dostosowanie procesów do zmieniających się warunków otoczenia szybciej niż konkurenci i osiągnięcie długoterminowych korzyści organizacyjnych.

W literaturze podkreśla się, że jednym z najważniejszych elementów zarządzania ryzykiem jest identyfikacja zasobów o strategicznym znaczeniu dla funkcjonowania organizacji. W praktyce są to najczęściej materiały krytyczne, których niedostępność może prowadzić do zatrzymania procesów produkcyjnych lub znaczącego pogorszenia wyników przedsiębiorstwa (Ivanov, 2021).

1.2. Materiały krytyczne i macierz Kraljica

Materiały krytyczne stanowią grupę zasobów charakteryzujących się wysokim wpływem na działalność przedsiębiorstwa przy jednoczesnym podwyższonym poziomie ryzyka zaopatrzeniowego. Ich znaczenie wynika nie tylko z wartości ekonomicznej, ale przede wszystkim z wpływu na ciągłość procesów operacyjnych i zdolność realizacji zamówień klientów.

Jednym z najbardziej rozpowszechnionych narzędzi wspomagających klasyfikację materiałów jest macierz Kraljica zaproponowana przez Kraljica (1983). Koncepcja ta zakłada ocenę materiałów w dwóch wymiarach: wpływu na wyniki przedsiębiorstwa oraz poziomu ryzyka dostaw. W rezultacie możliwe jest przyporządkowanie materiałów do jednej z czterech kategorii:

1. Materiały strategiczne – wysoki wpływ na działalność przedsiębiorstwa oraz wysokie ryzyko dostaw.
2. Materiały dźwigniowe – wysoki wpływ przy niskim ryzyku dostaw.
3. Materiały wąskiego gardła – niski wpływ ekonomiczny, lecz wysokie ryzyko dostaw.
4. Materiały rutynowe – niski wpływ i niskie ryzyko.

Zastosowanie macierzy Kraljica umożliwia dobór odpowiednich strategii zakupowych oraz określenie poziomu zabezpieczenia zapasów dla poszczególnych grup materiałowych. W przypadku materiałów strategicznych rekomendowane jest rozwijanie partnerskich relacji z dostawcami, dywersyfikacja źródeł zaopatrzenia oraz stosowanie zaawansowanych metod monitorowania ryzyka.

W przedsiębiorstwach produkcyjnych szczególnie istotne są materiały o długim czasie dostawy, wysokich wymaganiach jakościowych lub pozyskiwane od ograniczonej liczby dostawców. Ich właściwa identyfikacja stanowi jeden z podstawowych warunków zapewnienia stabilności procesów logistycznych i produkcyjnych.

1.3. Kluczowe wskaźniki efektywności logistycznej jako narzędzie oceny ryzyka

Ocena skuteczności funkcjonowania procesów logistycznych wymaga stosowania mierzalnych wskaźników umożliwiających monitorowanie realizacji celów operacyjnych. W tym celu przedsiębiorstwa wykorzystują kluczowe wskaźniki efektywności określane jako KPI (Key Performance Indicators). Wskaźniki KPI pozwalają na ocenę efektywności procesów zaopatrzenia, produkcji, magazynowania oraz dystrybucji. Ich wykorzystanie umożliwia identyfikację obszarów generujących straty, opóźnienia oraz dodatkowe koszty funkcjonowania przedsiębiorstwa (Bowersox, Closs, Cooper, & Bowersox, 2020).

W obszarze zaopatrzenia szczególne znaczenie mają wskaźniki jakości dostaw, poziomu reklamacji, terminowości dostaw oraz liczby odrzuconych partii materiałów. W procesach produkcyjnych często stosuje się wskaźniki czasu cyklu produkcyjnego, poziomu braków oraz liczby przestojów wynikających z niedostępności materiałów. Z kolei w obszarze dystrybucji analizowane są między innymi terminowość dostaw, poziom błędów kompletacyjnych oraz satysfakcja klientów.

Coraz częściej wskaźniki KPI wykorzystywane są również jako narzędzie wspierające ocenę ryzyka logistycznego. Pogorszenie wartości określonych wskaźników może bowiem wskazywać na występowanie problemów związanych z dostępnością materiałów, jakością dostaw lub niewydolnością procesów logistycznych. Dzięki temu przedsiębiorstwa mogą szybciej identyfikować potencjalne zagrożenia i podejmować działania zapobiegawcze.

W literaturze podkreśla się, że skuteczny system pomiaru efektywności powinien integrować dane pochodzące z różnych obszarów działalności przedsiębiorstwa, umożliwiając kompleksową ocenę wpływu ryzyka materiałowego na funkcjonowanie całego łańcucha dostaw (Vegter, van Hillegersberg, & Olthaar, 2023; Sompong, 2026).

Przeprowadzony przegląd literatury wskazuje, że identyfikacja materiałów krytycznych oraz monitorowanie ich wpływu na kluczowe wskaźniki efektywności logistycznej stanowią istotny element współczesnego zarządzania łańcuchem dostaw. Jednocześnie nadal istnieje potrzeba badań empirycznych ukazujących zależności pomiędzy ryzykiem materiałowym a efektywnością procesów logistycznych w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Luka ta stanowi przesłankę do przeprowadzenia badań przedstawionych w dalszej części artykułu.

2. Ryzyko w świetle badań własnych

2.1. Metodyka badań

Problem badawczy koncentruje się na identyfikacji materiałów krytycznych występujących w łańcuchu dostaw przedsiębiorstwa produkcyjnego oraz ocenie wpływu ryzyka związanego z ich pozyskiwaniem na efektywność procesów logistycznych.

Głównym celem badania była ocena ryzyka materiałów krytycznych występujących w łańcuchu dostaw przedsiębiorstwa produkcyjnego oraz określenie wpływu tego ryzyka na wybrane wskaźniki efektywności logistycznej. Szczególną uwagę poświęcono materiałom, których niedostępność może prowadzić do zakłóceń ciągłości produkcji, wzrostu kosztów operacyjnych oraz obniżenia poziomu obsługi klienta.

Przedmiotem badań był łańcuch dostaw przedsiębiorstwa produkcyjnego działającego w branży stolarki otworowej, specjalizującego się w produkcji okien dachowych i fasadowych. Badaniem objęto procesy zaopatrzenia, produkcji oraz dystrybucji, ze szczególnym uwzględnieniem materiałów o znaczeniu strategicznym dla funkcjonowania przedsiębiorstwa.

Pytanie badawcze sformułowano w następujący sposób:

W jaki sposób ryzyko związane z materiałami krytycznymi wpływa na efektywność funkcjonowania łańcucha dostaw przedsiębiorstwa produkcyjnego?

Problemy szczegółowe obejmowały następujące zagadnienia:

1. Które materiały wykorzystywane w przedsiębiorstwie można zakwalifikować jako materiały krytyczne?
2. Jakie są główne źródła ryzyka związane z pozyskiwaniem materiałów krytycznych?
3. Które materiały charakteryzują się najwyższym poziomem ryzyka dostaw?
4. W jaki sposób ryzyko materiałowe wpływa na wybrane wskaźniki efektywności logistycznej?
5. Jakie działania mogą ograniczyć poziom ryzyka występującego w badanym przedsiębiorstwie?

Na podstawie analizy literatury przedmiotu sformułowano następujące hipotezy badawcze:

H1: Materiały charakteryzujące się wysokim ryzykiem dostaw mają istotny wpływ na efektywność funkcjonowania łańcucha dostaw przedsiębiorstwa.

H2: Najwyższy poziom ryzyka występuje w przypadku materiałów pozyskiwanych od pojedynczych dostawców oraz materiałów importowanych z rynków odległych geograficznie.

H3: Materiały krytyczne wpływają na pogorszenie wybranych wskaźników efektywności logistycznej, w szczególności terminowości dostaw, czasu realizacji zamówień oraz liczby przestojów produkcyjnych.

H4: Zastosowanie narzędzi wspierających zarządzanie logistyczne, takich jak ERP, APS, TMS i Kanban, ogranicza negatywne skutki ryzyka materiałowego.

W badaniu zastosowano metodę studium przypadku (case study), powszechnie wykorzystywaną w badaniach dotyczących zarządzania oraz logistyki. Metoda ta umożliwia

szczegółową analizę złożonych procesów zachodzących w rzeczywistych warunkach funkcjonowania przedsiębiorstwa.

W ramach badań wykorzystano następujące techniki:

1. Analizę dokumentacji przedsiębiorstwa.
2. Analizę procesów logistycznych.
3. Analizę materiałów źródłowych dotyczących dostawców i procesów zaopatrzenia.
4. Analizę wskaźników efektywności logistycznej.
5. Ocenę ryzyka materiałów krytycznych.
6. Klasyfikację materiałów z wykorzystaniem macierzy Kraljica.

Źródłem danych były informacje dotyczące organizacji procesów logistycznych, charakterystyki dostawców, czasu realizacji dostaw, poziomu ryzyka dostaw oraz wskaźników stosowanych do oceny efektywności procesów logistycznych.

2.2. Procedura identyfikacji materiałów krytycznych

Proces identyfikacji materiałów krytycznych rozpoczęto od szczegółowej analizy materiałów i komponentów wykorzystywanych w procesie produkcyjnym badanego przedsiębiorstwa. Następnie przeprowadzono ocenę poszczególnych grup materiałowych pod kątem ich znaczenia dla funkcjonowania łańcucha dostaw oraz potencjalnego wpływu na ciągłość procesów produkcyjnych.

W ocenie uwzględniono kilka kluczowych kryteriów. Analizowano przede wszystkim znaczenie danego materiału dla utrzymania ciągłości produkcji, dostępność alternatywnych dostawców, długość cyklu realizacji dostaw oraz poziom wymagań jakościowych stawianych dostarczonym komponentom. Dodatkowo oceniono możliwość zastąpienia danego materiału innym rozwiązaniem technologicznym oraz poziom ryzyka wynikający z uwarunkowań geopolitycznych i transportowych, które mogą wpływać na terminowość i niezawodność dostaw.

Przeprowadzona analiza pozwoliła na wyodrębnienie grupy materiałów charakteryzujących się podwyższonym znaczeniem dla funkcjonowania przedsiębiorstwa oraz wysoką podatnością na zakłócenia dostaw. Do materiałów krytycznych zakwalifikowano profile PVC importowane z Chin, profile PVC pozyskiwane od dostawcy krajowego, szyby zespolone, lamele sosnowe posiadające certyfikat FSC oraz materiały izolacyjne. Materiały te odgrywają kluczową rolę w realizacji procesów produkcyjnych, a ich ograniczona dostępność mogłaby prowadzić do zakłóceń produkcji, wydłużenia czasu realizacji zamówień oraz pogorszenia efektywności funkcjonowania całego łańcucha dostaw.

Po zidentyfikowaniu materiałów krytycznych przeprowadzono ocenę poziomu ryzyka związanego z ich pozyskiwaniem i wykorzystaniem w procesie produkcyjnym. Celem analizy było określenie, które z materiałów mogą w największym stopniu wpływać na ciągłość funkcjonowania przedsiębiorstwa oraz generować potencjalne zagrożenia dla efektywności łańcucha dostaw.

Ocena została oparta na podejściu wykorzystującym dwa podstawowe wymiary ryzyka. Pierwszym z nich był wpływ danego materiału na działalność przedsiębiorstwa, rozumiany jako znaczenie materiału dla realizacji procesów produkcyjnych oraz konsekwencje jego niedostępności. Drugim wymiarem było prawdopodobieństwo wystąpienia zakłóceń dostaw, uwzględniające między innymi liczbę dostępnych dostawców, długość cyklu dostawy, stopień uzależnienia od dostaw zagranicznych oraz podatność na zakłócenia logistyczne i geopolityczne.

W celu zapewnienia porównywalności wyników dla każdego analizowanego materiału zastosowano pięciostopniową skalę oceny, gdzie wartość 1 oznaczała poziom bardzo niski, natomiast wartość 5 poziom bardzo wysoki. Takie podejście umożliwiło ilościowe oszacowanie poziomu ryzyka oraz porównanie poszczególnych grup materiałowych.

Poziom ryzyka dla każdego materiału został wyznaczony jako iloczyn oceny wpływu materiału na działalność przedsiębiorstwa oraz prawdopodobieństwa wystąpienia zakłóceń dostaw. Przyjęte rozwiązanie pozwala na jednoczesne uwzględnienie znaczenia materiału dla procesów produkcyjnych oraz możliwości wystąpienia zdarzeń zakłócających jego dostępność.

Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do dalszej klasyfikacji materiałów z wykorzystaniem macierzy Kraljica. Zastosowanie tego narzędzia umożliwiło przyporządkowanie materiałów do odpowiednich kategorii strategicznych oraz identyfikację obszarów wymagających szczególnej uwagi w procesie zarządzania ryzykiem dostaw. Dzięki temu możliwe było wskazanie materiałów o najwyższym znaczeniu dla funkcjonowania przedsiębiorstwa oraz opracowanie rekomendacji dotyczących ograniczania ryzyka występującego w łańcuchu dostaw.

Ocena ryzyka została przeprowadzona przy wykorzystaniu dwóch wymiarów:

1. wpływu materiału na działalność przedsiębiorstwa,
2. prawdopodobieństwa wystąpienia zakłóceń dostaw.

Dla każdego materiału przyjęto pięciostopniową skalę oceny:

- 1 – bardzo niski poziom
- 2 – niski poziom
- 3 – średni poziom
- 4 – wysoki poziom
- 5 – bardzo wysoki poziom

Poziom ryzyka obliczono według zależności:

Poziom ryzyka = Wpływ × Prawdopodobieństwo

Uzyskane wyniki posłużyły do klasyfikacji materiałów według macierzy Kraljica.

2.3. Wskaźniki efektywności logistycznej wykorzystane w badaniu

Do oceny wpływu materiałów krytycznych na funkcjonowanie przedsiębiorstwa wykorzystano następujące wskaźniki efektywności logistycznej:

Obszar zaopatrzenia

1. Wskaźnik zgodności jakościowej dostaw.
2. Wskaźnik odrzuconych dostaw.
3. Liczba reklamacji materiałowych.

Obszar produkcji

1. Czas cyklu produkcyjnego.
2. Liczba przestoju wynikających z braku materiałów.
3. Czas przebrojenia.
4. Liczba reklamacji wewnętrznych.

Obszar dystrybucji

1. Terminowość dostaw.
2. Dokładność kompletacji zamówień.
3. Średni czas realizacji zamówienia.
4. Wskaźnik satysfakcji klienta.

Obszar organizacyjny

1. Wskaźnik rotacji pracowników.
2. Skuteczność działań korygujących realizowanych metodą 5 Why.

Analiza została przeprowadzona w trzech etapach.

W pierwszym etapie dokonano identyfikacji materiałów krytycznych oraz oceny ich znaczenia dla przedsiębiorstwa. W drugim etapie przeprowadzono analizę ryzyka z wykorzystaniem macierzy Kraljica oraz punktowej oceny wpływu i prawdopodobieństwa zakłóceń. W trzecim etapie określono wpływ poszczególnych materiałów na wybrane wskaźniki efektywności logistycznej, co umożliwiło wskazanie obszarów wymagających działań doskonalących.

Przyjęta procedura badawcza pozwoliła na kompleksową ocenę zależności pomiędzy ryzykiem materiałowym a efektywnością funkcjonowania łańcucha dostaw przedsiębiorstwa produkcyjnego.

3. Charakterystyka badanego przedsiębiorstwa i identyfikacja materiałów krytycznych

3.1. Charakterystyka badanego przedsiębiorstwa

Badaniem objęto przedsiębiorstwo produkcyjne działające w branży stolarki otworowej, specjalizujące się w produkcji okien dachowych oraz fasadowych. Przedsiębiorstwo funkcjonuje na rynku europejskim od ponad trzydziestu lat, zatrudnia około 120 pracowników oraz prowadzi działalność produkcyjną i handlową na rynku krajowym oraz zagranicznym. Odbiorcami produktów są zarówno klienci indywidualni, jak również hurtownie budowlane, sklepy specjalistyczne oraz partnerzy zagraniczni. Znacząca część sprzedaży realizowana jest na rynkach Europy Zachodniej, w szczególności w Niemczech, Austrii, Belgii, Holandii i Francji.

Lokalizacja przedsiębiorstwa w pobliżu głównych szlaków transportowych umożliwia sprawną realizację dostaw krajowych i międzynarodowych. Procesy logistyczne wspierane są przez zintegrowane systemy klasy ERP, WMS, APS oraz CRM, umożliwiające zarządzanie przepływem materiałów, planowaniem produkcji oraz obsługą klientów.

Struktura organizacyjna przedsiębiorstwa obejmuje trzy podstawowe obszary funkcjonalne:

1. Zaopatrzenie i magazynowanie.
2. Produkcję.
3. Dystrybucję i obsługę klienta.

Proces produkcyjny realizowany jest w układzie przepływowym, w którym materiały dostarczane są do magazynu surowców, następnie kierowane do poszczególnych etapów produkcyjnych, a gotowe wyroby trafiają do strefy kompletacji i wysyłki.

Łańcuch dostaw przedsiębiorstwa ma charakter międzynarodowy i obejmuje zarówno dostawców krajowych, jak i zagranicznych. W strukturze zaopatrzenia występują dostawcy z Polski oraz Azji, co zwiększa złożoność procesów logistycznych i poziom ryzyka dostaw.

Analiza dokumentacji przedsiębiorstwa wykazała, że funkcjonowanie procesów produkcyjnych uzależnione jest od terminowego pozyskiwania kilku grup materiałowych o strategicznym znaczeniu. Poszczególne materiały różnią się pod względem czasu realizacji zamówień, liczby dostępnych dostawców, wymagań jakościowych oraz możliwości zastąpienia ich innymi rozwiązaniami. Szczególnie istotne znaczenie mają dostawy realizowane w modelu Just in Time oraz komponenty importowane spoza Europy, których czas realizacji może przekraczać trzy miesiące.

Na podstawie analizy procesów zaopatrzeniowych zidentyfikowano następujące grupy materiałów wykorzystywane w procesie produkcji:

1. Profile PVC.
2. Szyby zespolone.
3. Okucia i elementy montażowe.
4. Uszczelki i materiały izolacyjne.
5. Lamelle sosnowe.
6. Lakier i impregnaty.
7. Materiały pomocnicze.

W celu wyodrębnienia materiałów krytycznych przeprowadzono ocenę znaczenia poszczególnych grup materiałowych dla ciągłości procesów produkcyjnych.

3.2. Kryteria identyfikacji materiałów krytycznych

W literaturze przedmiotu wskazuje się, że materiał krytyczny powinien spełniać przynajmniej jeden z następujących warunków:

1. Posiadać wysoki wpływ na ciągłość procesów produkcyjnych.
2. Być pozyskiwany od ograniczonej liczby dostawców.
3. Charakteryzować się długim czasem dostawy.
4. Wymagać specjalistycznych procedur jakościowych.

5. Być trudny do zastąpienia innym materiałem.
6. Generować wysokie koszty w przypadku braku dostępności.

Uwzględniając powyższe kryteria dokonano oceny poszczególnych grup materiałowych.

Przeprowadzona analiza pozwoliła na wyodrębnienie czterech grup materiałów o najwyższym znaczeniu strategicznym.

1. Profile PVC sprowadzane z Chin stanowią jeden z najistotniejszych materiałów wykorzystywanych w przedsiębiorstwie. Ich znaczenie wynika z dużego udziału w strukturze produkcji oraz długiego czasu realizacji dostaw wynoszącego około 100 dni.

Dodatkowym źródłem ryzyka jest konieczność wykorzystania transportu intermodalnego oraz zależność od międzynarodowych szlaków logistycznych. W przypadku wystąpienia zakłóceń transportowych lub geopolitycznych przedsiębiorstwo może utracić możliwość zachowania ciągłości produkcji.

2. Szyby zespolone zostały zakwalifikowane jako materiał o najwyższym poziomie krytyczności. Wynika to przede wszystkim z faktu współpracy z jednym dostawcą spełniającym wymagania jakościowe przedsiębiorstwa.

Produkcja realizowana jest w oparciu o dostawy Just in Time, co oznacza ograniczony poziom zapasów bezpieczeństwa. Każde opóźnienie dostawy może prowadzić do zatrzymania procesów produkcyjnych oraz niewywiązania się z terminów realizacji zamówień.

3. Lamle sosnowe posiadające certyfikat FSC. Znaczenie tego materiału wynika z wysokich wymagań jakościowych oraz obowiązujących regulacji środowiskowych. Materiał wymaga kontroli parametrów technicznych, takich jak wilgotność oraz twardość drewna. Dodatkowym czynnikiem ryzyka jest konieczność zapewnienia zgodności z wymaganiami dotyczącymi identyfikowalności pochodzenia surowca oraz wdrażanymi regulacjami związanymi z przeciwdziałaniem wylesianiu.

4. Materiały izolacyjne mają bezpośredni wpływ na jakość i właściwości użytkowe gotowego produktu. Ograniczona liczba dostawców spełniających wymagania technologiczne oraz jakościowe powoduje, że zakłócenia dostaw mogą wpływać na zdolność realizacji zamówień.

3.3. Wstępna ocena poziomu krytyczności materiałów

W celu usystematyzowania wyników przeprowadzono wstępną klasyfikację materiałów przedstawioną w tabeli 2.

Tabela 2. Wstępna klasyfikacja materiałów według poziomu krytyczności

Materiał	Znaczenie dla produkcji	Ryzyko dostaw	Poziom krytyczności
Szyby zespolone	bardzo wysokie	bardzo wysokie	bardzo wysoki
Profile PVC z Chin	bardzo wysokie	bardzo wysokie	bardzo wysoki
Lamele FSC	wysokie	wysokie	wysoki
Materiały izolacyjne	wysokie	średnie	średni
Profile PVC krajowe	wysokie	niskie	średni
Okucia i elementy montażowe	średnie	niskie	niski
Lakiery i impregnaty	średnie	niskie	niski

Przeprowadzona identyfikacja wskazuje, że największe zagrożenie dla ciągłości funkcjonowania przedsiębiorstwa Alfa stanowią szyby zespolone oraz profile PVC importowane z Chin. Materiały te charakteryzują się jednocześnie wysokim wpływem na proces produkcyjny oraz wysokim poziomem ryzyka dostaw.

Uzyskane wyniki stanowią podstawę do dalszej, pogłębionej oceny ryzyka z wykorzystaniem macierzy Kraljica oraz analizy wpływu poszczególnych materiałów na wskaźniki efektywności logistycznej przedstawionej w kolejnym rozdziale.

4. Ocena ryzyka materiałów krytycznych z wykorzystaniem macierzy Kraljica i wskaźników KPI

4.1. Założenia oceny ryzyka

Ocena ryzyka materiałów krytycznych została przeprowadzona z wykorzystaniem dwóch podstawowych kryteriów:

1. Wpływu materiału na funkcjonowanie przedsiębiorstwa.
2. Prawdopodobieństwa wystąpienia zakłóceń dostaw.

Dla każdego materiału przyjęto pięciostopniową skalę oceny, gdzie wartość 1 oznacza poziom bardzo niski, natomiast wartość 5 poziom bardzo wysoki.

Poziom ryzyka obliczono zgodnie z zależnością:

$$R = W \times P$$

gdzie:

R – poziom ryzyka,

W – wpływ materiału na działalność przedsiębiorstwa,

P – prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia.

Ocenę przeprowadzono na podstawie analizy charakterystyki dostawców, czasu realizacji zamówień, poziomu koncentracji dostawców, wymagań jakościowych oraz znaczenia materiału dla ciągłości procesów produkcyjnych. Tabela 3 przedstawia wyniki przeprowadzonej oceny.

Tabela 3. Ocena ryzyka materiałów krytycznych

Materiał	Wpływ działalność	na Prawdopodobieństwo zakłóceń	Poziom ryzyka
Szyby zespolone	5	5	25
Profile PVC z Chin	5	5	25
Lamele FSC	4	4	16
Materiały izolacyjne	4	3	12
Profile PVC krajowe	4	2	8
Lakiery i impregnaty	3	2	6
Okucia i elementy montażowe	3	2	6

Najwyższy poziom ryzyka odnotowano dla szyb zespolonych oraz profili PVC importowanych z Chin. W obu przypadkach uzyskano maksymalną wartość wskaźnika ryzyka wynoszącą 25 punktów.

W przypadku szyb zespolonych głównym źródłem zagrożenia jest współpraca z jednym dostawcą spełniającym wymagania jakościowe przedsiębiorstwa. Dodatkowo przedsiębiorstwo funkcjonuje w modelu dostaw Just in Time, co ogranicza możliwość tworzenia zapasów bezpieczeństwa.

W przypadku profili PVC importowanych z Chin istotnym czynnikiem ryzyka jest długi czas realizacji zamówienia wynoszący około 100 dni oraz zależność od globalnych szlaków transportowych.

4.3. Klasyfikacja materiałów według macierzy Kraljica

Na podstawie uzyskanych wyników dokonano klasyfikacji materiałów zgodnie z koncepcją Kraljica, zamieszczone w tabeli nr 4.

Tabela 4. Klasyfikacja materiałów według macierzy Kraljica

Kategoria	Materiały
Strategiczne	Szyby zespolone, profile PVC z Chin
Wąskie gardła	Lamele FSC
Dźwigniowe	Profile PVC krajowe, materiały izolacyjne
Rutynowe	Okucia, lakiery, impregnaty

Materiały strategiczne stanowią grupę o najwyższym znaczeniu dla funkcjonowania przedsiębiorstwa. Ich brak może skutkować zatrzymaniem produkcji oraz utratą zdolności realizacji zamówień klientów.

Materiały zakwalifikowane do grupy wąskich gardeł nie generują tak wysokiego udziału kosztowego jak materiały strategiczne, jednak ich ograniczona dostępność może powodować zakłócenia procesów produkcyjnych.

Materiały dźwigniowe charakteryzują się wysokim znaczeniem ekonomicznym przy relatywnie niskim ryzyku dostaw, natomiast materiały rutynowe nie stanowią istotnego zagrożenia dla funkcjonowania przedsiębiorstwa.

Kolejnym etapem badań była analiza wpływu materiałów krytycznych na wybrane wskaźniki efektywności logistycznej. Największy wpływ na funkcjonowanie procesów zaopatrzeniowych wykazują szyby zespolone oraz profile PVC z Chin.

Zakłócenia dostaw tych materiałów mogą powodować:

1. wzrost liczby odrzuconych dostaw,
2. zwiększenie liczby reklamacji materiałowych,
3. obniżenie wskaźnika zgodności jakościowej dostaw,
4. wzrost kosztów zakupowych wynikających z konieczności stosowania dostaw awaryjnych.

W obszarze produkcyjnym ryzyko materiałowe wpływa przede wszystkim na:

1. wzrost liczby przestojów produkcyjnych,
2. wydłużenie czasu cyklu produkcyjnego,
3. zwiększenie liczby zmian harmonogramów produkcyjnych,
4. obniżenie wykorzystania zdolności produkcyjnych.

Największą podatność na występowanie przestojów wykazano w przypadku szyb zespolonych, które stanowią komponent niezbędny do zakończenia procesu produkcji.

Zakłócenia występujące na wcześniejszych etapach łańcucha dostaw wpływają również na proces dystrybucji.

Skutkami niedostępności materiałów krytycznych mogą być:

1. opóźnienia realizacji zamówień,
2. obniżenie terminowości dostaw,
3. spadek poziomu satysfakcji klientów,
4. zwiększenie liczby reklamacji związanych z nieterminową realizacją zamówień.

Przeprowadzona analiza wskazuje również na pośredni wpływ ryzyka materiałowego na funkcjonowanie organizacji.

Częste zakłócenia dostaw mogą powodować:

1. wzrost obciążenia pracowników,
2. zwiększenie liczby działań korygujących,
3. pogorszenie komunikacji pomiędzy działami,
4. wzrost rotacji pracowników.

4.4. Rekomendowane działania ograniczające ryzyko

W odniesieniu do materiałów strategicznych zaproponowano następujące działania:

Szyby zespolone

1. pozyskanie alternatywnego dostawcy,
2. wprowadzenie minimalnego zapasu bezpieczeństwa,
3. zwiększenie częstotliwości monitorowania terminowości dostaw.

Profile PVC z Chin

1. częściowa dywersyfikacja źródeł zaopatrzenia,
2. zwiększenie poziomu zapasu strategicznego,
3. wdrożenie systemu monitorowania ryzyka transportowego.

Lamele FSC

1. rozwój współpracy z dodatkowymi dostawcami krajowymi,
2. zwiększenie kontroli jakości dostaw,
3. cyfrowa identyfikacja partii drewna zgodnie z wymaganiami EUDR.

Na podstawie przeprowadzonych analiz dokonano weryfikacji przyjętych hipotez.

H1: Materiały charakteryzujące się wysokim ryzykiem dostaw mają istotny wpływ na efektywność funkcjonowania łańcucha dostaw przedsiębiorstwa.

Hipoteza została potwierdzona.

H2: Najwyższy poziom ryzyka występuje w przypadku materiałów pozyskiwanych od pojedynczych dostawców oraz materiałów importowanych z rynków odległych geograficznie.

Hipoteza została potwierdzona.

H3: Materiały krytyczne wpływają na pogorszenie wybranych wskaźników efektywności logistycznej.

Hipoteza została potwierdzona.

H4: Zastosowanie systemów ERP, APS, TMS oraz narzędzi Lean Management ogranicza negatywne skutki ryzyka materiałowego.

Przeprowadzona analiza wskazuje na zasadność przyjętej hipotezy, jednak jej pełna weryfikacja wymagałaby przeprowadzenia badań porównawczych przed i po wdrożeniu wskazanych rozwiązań.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że skuteczne zarządzanie materiałami krytycznymi stanowi jeden z kluczowych czynników warunkujących efektywność i odporność współczesnych łańcuchów dostaw przedsiębiorstw produkcyjnych.

5. Interpretacja wyników badań i implikacje dla praktyki zarządzania

Przeprowadzona analiza materiałów krytycznych wykazała, że poziom ryzyka występującego w łańcuchu dostaw przedsiębiorstwa Alfa jest zróżnicowany i zależy zarówno od charakterystyki materiału, jak i od struktury sieci dostawców. Uzyskane wyniki potwierdzają tezę prezentowaną w literaturze przedmiotu, zgodnie z którą największe zagrożenia dla ciągłości funkcjonowania przedsiębiorstwa wynikają z wysokiej koncentracji dostawców oraz wydłużonych i podatnych na zakłócenia procesów zaopatrzeniowych.

Najwyższy poziom ryzyka zidentyfikowano w przypadku szyb zespolonych oraz profili PVC importowanych z Chin. Wyniki te są zgodne z założeniami modelu Kraljica (1983), według którego materiały strategiczne charakteryzują się jednocześnie wysokim wpływem na działalność przedsiębiorstwa oraz wysokim poziomem ryzyka dostaw. W badanym przedsiębiorstwie oba te warunki zostały spełnione. Szyby zespolone dostarczane są przez pojedynczego dostawcę, natomiast profile PVC pochodzące z importu obciążone są dodatkowymi zagrożeniami wynikającymi z globalnych procesów transportowych oraz sytuacji geopolitycznej.

Wyniki badań wskazują również na istotne znaczenie czasu realizacji dostaw jako czynnika wpływającego na poziom ryzyka logistycznego. Materiały pozyskiwane lokalnie, nawet jeśli posiadają wysokie znaczenie produkcyjne, generują niższy poziom ryzyka niż materiały importowane z odległych lokalizacji. Potwierdza to obserwacje Christophera (2016), który wskazuje, że skracanie długości łańcuchów dostaw oraz zwiększanie elastyczności zaopatrzenia stanowią jedne z najważniejszych elementów budowania odporności organizacji.

Przeprowadzona analiza wykazała również silne powiązania pomiędzy ryzykiem materiałowym a efektywnością procesów logistycznych. W szczególności zauważalny jest wpływ materiałów krytycznych na wskaźniki terminowości dostaw, liczby przestojów produkcyjnych, długości cyklu produkcyjnego oraz poziomu obsługi klienta. Oznacza to, że skuteczne zarządzanie materiałami krytycznymi nie powinno być traktowane wyłącznie jako element procesu zakupowego, lecz jako integralny komponent zarządzania całym łańcuchem dostaw.

Istotnym wnioskiem płynącym z badań jest również znaczenie nowoczesnych systemów informatycznych wspierających procesy logistyczne. Wykorzystywane w przedsiębiorstwie systemy ERP, APS oraz TMS umożliwiają bieżące monitorowanie przepływu materiałów, identyfikowanie potencjalnych zagrożeń oraz szybsze podejmowanie decyzji operacyjnych. Uzyskane wyniki potwierdzają obserwacje prezentowane przez Ivanova (2021), który podkreśla znaczenie cyfryzacji procesów logistycznych w budowaniu odporności współczesnych łańcuchów dostaw.

Z punktu widzenia praktyki gospodarczej szczególnie wartościowe wydają się rekomendacje dotyczące dywersyfikacji źródeł zaopatrzenia. Analiza wykazała, że uzależnienie od pojedynczych

dostawców znacząco zwiększa podatność przedsiębiorstwa na zakłócenia. Dotyczy to przede wszystkim szyb zespolonych oraz wybranych materiałów certyfikowanych. Rozwój alternatywnych źródeł dostaw oraz budowa strategicznych relacji partnerskich mogą stanowić skuteczne narzędzie ograniczania ryzyka.

Wyniki badań wskazują ponadto, że klasyfikacja materiałów z wykorzystaniem macierzy Kraljica może stanowić użyteczne narzędzie wspierające podejmowanie decyzji logistycznych. Pozwala ona nie tylko identyfikować materiały o największym znaczeniu dla przedsiębiorstwa, lecz również dobrać odpowiednie strategie zarządzania zapasami, relacjami z dostawcami oraz poziomem zabezpieczenia procesów produkcyjnych.

Przeprowadzone badania posiadają jednak pewne ograniczenia. Analiza została wykonana w oparciu o studium pojedynczego przedsiębiorstwa, co ogranicza możliwość pełnej generalizacji wyników na całą branżę. Ponadto ocena ryzyka została przeprowadzona z wykorzystaniem danych jakościowych i eksperckich, bez zastosowania zaawansowanych metod statystycznych. W przyszłości zasadne wydaje się rozszerzenie badań o analizę porównawczą większej liczby przedsiębiorstw reprezentujących sektor stolarki otworowej oraz wykorzystanie metod ilościowych umożliwiających bardziej precyzyjne modelowanie zależności pomiędzy ryzykiem materiałowym a efektywnością logistyczną.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że identyfikacja materiałów krytycznych oraz systematyczna ocena ich wpływu na kluczowe wskaźniki efektywności logistycznej mogą stanowić skuteczne narzędzie wspierające zarządzanie ryzykiem i zwiększanie odporności współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych.

Wnioski i rekomendacje

Przeprowadzone badania potwierdziły, że materiały krytyczne odgrywają kluczową rolę w zapewnieniu ciągłości funkcjonowania łańcucha dostaw przedsiębiorstwa produkcyjnego. Ich znaczenie wynika nie tylko z bezpośredniego wpływu na proces produkcyjny, ale również z oddziaływania na efektywność procesów logistycznych, poziom obsługi klienta oraz zdolność organizacji do reagowania na zakłócenia występujące w otoczeniu gospodarczym.

Analiza przeprowadzona w przedsiębiorstwie Alfa pozwoliła na identyfikację materiałów charakteryzujących się najwyższym poziomem ryzyka dostaw. Do grupy tej zaliczono przede wszystkim szyby zespolone oraz profile PVC importowane z Chin. W pierwszym przypadku źródłem ryzyka była zależność od pojedynczego dostawcy oraz funkcjonowanie systemu dostaw Just in Time. W drugim przypadku istotne znaczenie miał wydłużony czas realizacji zamówień, wykorzystanie międzynarodowych kanałów transportowych oraz podatność na zakłócenia o charakterze globalnym.

Przeprowadzona klasyfikacja materiałów z wykorzystaniem macierzy Kraljica wykazała, że materiały strategiczne stanowią najważniejszy obszar wymagający działań zabezpieczających. Jednocześnie analiza potwierdziła przydatność tej metody w procesie identyfikacji zagrożeń występujących w obszarze zaopatrzenia i zarządzania dostawcami. Zastosowanie macierzy umożliwia nie tylko ocenę poziomu ryzyka, ale również dobór odpowiednich strategii zakupowych oraz metod zarządzania relacjami z dostawcami.

Wyniki badań wskazują również na wyraźny związek pomiędzy ryzykiem materiałowym a poziomem wybranych wskaźników efektywności logistycznej. Największą podatność na oddziaływanie materiałów krytycznych wykazały wskaźniki terminowości dostaw, czasu realizacji zamówień, liczby przestojów produkcyjnych oraz poziomu satysfakcji klientów. Oznacza to, że skuteczne zarządzanie materiałami krytycznymi może przyczynić się nie tylko do ograniczenia ryzyka operacyjnego, ale również do poprawy ogólnej efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa.

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących rekomendacji praktycznych:

1. W odniesieniu do materiałów strategicznych należy dążyć do dywersyfikacji źródeł zaopatrzenia oraz ograniczania zależności od pojedynczych dostawców.

2. W przypadku materiałów importowanych wskazane jest utrzymywanie zapasów strategicznych uwzględniających długość cyklu dostawy oraz poziom niepewności występującej w globalnych sieciach transportowych.
3. Należy rozwijać systematyczne monitorowanie ryzyka dostaw poprzez wykorzystanie wskaźników efektywności logistycznej oraz systemów wspomagających zarządzanie, takich jak ERP, APS i TMS.
4. Wskazane jest wdrażanie procedur umożliwiających szybką identyfikację potencjalnych zakłóceń oraz ocenę ich wpływu na realizację procesów produkcyjnych i logistycznych.
5. Istotnym kierunkiem doskonalenia pozostaje rozwój współpracy partnerskiej z kluczowymi dostawcami, umożliwiający wymianę informacji, wspólne planowanie oraz zwiększenie odporności całego łańcucha dostaw.

Przeprowadzone badania posiadają również wartość poznawczą. Uzyskane wyniki potwierdzają znaczenie zarządzania materiałami krytycznymi jako jednego z podstawowych elementów budowania odporności współczesnych łańcuchów dostaw. Wskazują także na możliwość wykorzystania wskaźników efektywności logistycznej jako narzędzia wspomagającego identyfikację oraz ocenę ryzyka materiałowego.

Ograniczeniem przeprowadzonych badań jest analiza pojedynczego przedsiębiorstwa reprezentującego branżę stolarki otworowej. W przyszłości zasadne wydaje się rozszerzenie badań na większą grupę przedsiębiorstw produkcyjnych oraz zastosowanie metod ilościowych umożliwiających statystyczną ocenę zależności pomiędzy poziomem ryzyka materiałowego a efektywnością procesów logistycznych. Interesującym kierunkiem dalszych badań może być również analiza wpływu transformacji cyfrowej, sztucznej inteligencji oraz narzędzi predykcyjnych na skuteczność zarządzania materiałami krytycznymi w przedsiębiorstwach produkcyjnych.

Podsumowując, należy stwierdzić, że skuteczna identyfikacja materiałów krytycznych oraz systematyczna ocena ich wpływu na funkcjonowanie organizacji stanowią istotny element budowania przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstw produkcyjnych. W warunkach rosnącej niepewności otoczenia gospodarczego zdolność do ograniczania ryzyka dostaw staje się jednym z kluczowych czynników determinujących długoterminową efektywność i stabilność łańcuchów dostaw.

Bibliografia do tego rozdziału (APA 7)

- Bowersox, D. J., Closs, D. J., Cooper, M. B., & Bowersox, J. C. (2020). Supply chain logistics management (5th ed.). McGraw Hill. <https://www.mheducation.com/unitas/highered/sample-chapters/9780078096648.pdf>
- Christopher, M. (2016). Logistics and supply chain management (5th ed.). Pearson. [https://books.google.pl/books?hl=pl&lr=&id=IRXQEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Christopher,+M.+\(2016\).+Logistics+%26+supply+chain+management+\(5th+ed.\).+Pearson.&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.pl/books?hl=pl&lr=&id=IRXQEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Christopher,+M.+(2016).+Logistics+%26+supply+chain+management+(5th+ed.).+Pearson.&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1–14.
- Datta, P. (2017). Supply network resilience: A systematic literature review and future research. *The International Journal of Logistics Management*, 28(4), 1387–1424.
- Hohenstein, N. O., Feisel, E., Hartmann, E., & Giunipero, L. (2015). Research on the phenomenon of supply chain resilience: A systematic review and paths for further investigation. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 45(1/2), 90–117. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-05-2013-0128>
- Ivanov, D. (2021). Supply chain viability and the COVID-19 pandemic: A conceptual and formal generalisation of four major adaptation strategies. *International Journal of Production Research*, 59(12), 35353552. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1890852>
- Kraljic, P. (1983). Purchasing must become supply management. *Harvard Business Review*, 61(5), 109.
- Marinagi, C., Reklitis, P., Trivellas, P., & Sakas, D. (2023). *The impact of Industry 4.0 technologies on key performance indicators for a resilient supply chain 4.0. Sustainability*, 15(6), 5185. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/6/5185>, [za:] Rice, B.J.; Caniato, F. Building (2003) a Secure and Resilient Supply Network. *Supply Chain Manag. Rev.* [za:] Christopher, M.; Peck, H. (2004) Building the Resilient Supply Chain. *Int. J. Logist. Manag.*, [za:] Datta, P. (2017) Supply network resilience: A systematic literature review and future research. *Int. J. Logist. Manag.*, [za:] Hohenstein, N.-O.; Feisel, E.; Hartmann, E. (2015), Research on the phenomenon of supply chain resilience: A systematic review and paths for further investigation. *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, [za:] Ponomarov, S.Y.; Holcomb, M.C. (2009) Understanding the concept of supply chain resilience. *Int. J. Logist. Manag.*, [za:] Ponis, S.T.; Koronis, E. (2012), Supply Chain Resilience: Definition of Concept and its Formative Elements. *J. Appl. Bus. Res.*
- Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management*, 20(1), 124–143.
- Ponis, S. T., & Koronis, E. (2012). Supply chain resilience: Definition of concept and its formative elements. *Journal of Applied Business Research*, 28(5), 921–930.
- Rice, J. B., & Caniato, F. (2003). Building a secure and resilient supply network. *Supply Chain Management Review*, 7(5), 22–30.
- Sompong, W. (2026). Key performance indicators for sustainable supply chain management in SMEs: A bibliometric analysis. *Logistics*, 10(2), Article 41. <https://doi.org/10.3390/logistics10020041>
- Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 451–488. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.12.006>
- Vegter, D., van Hillegersberg, J., & Olthaar, M. (2023). Performance measurement system for circular supply chain management. *Sustainable Production and Consumption*, 36, 171–183.

Spis tabel

Tabela 1. Definicje odporności łańcucha dostaw (Supply Chain Resilience)	3
Tabela 2. Wstępna klasyfikacja materiałów według poziomu krytyczności.....	9
Tabela 3. Ocena ryzyka materiałów krytycznych	10
Tabela 4. Klasyfikacja materiałów według macierzy Kraljica	11