

Rafał Adamski✉

Polfrost Internationale Spedition Sp. z o.o. w Warszawie

Logistyczne i organizacyjne uwarunkowania bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji

Logistical and organizational determinants of safety in the intermodal transport of explosives and ammunition

Synopsis. Bezpieczeństwo transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji stanowi jeden z kluczowych elementów systemu bezpieczeństwa państwa, wpływający zarówno na sprawność funkcjonowania łańcuchów dostaw sektora obronnego, jak i na utrzymanie zdolności operacyjnych sił zbrojnych. Wzrost znaczenia mobilności wojskowej, rozwój międzynarodowych korytarzy transportowych oraz zmieniające się środowisko zagrożeń powodują, że zapewnienie bezpiecznego przewozu materiałów klasy 1 według ADR, RID i IMDG Code nabiera wymiaru strategicznego. Celem badań była identyfikacja, systematyzacja i ocena logistycznych oraz organizacyjnych determinant bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji oraz określenie ich znaczenia dla odporności systemu bezpieczeństwa państwa i zdolności operacyjnych. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem analizy krytycznej literatury krajowej i zagranicznej, analizy dokumentów normatywnych, analizy systemowej oraz jakościowej analizy porównawczej rozwiązań organizacyjnych stosowanych w transporcie materiałów niebezpiecznych. Ocenę determinant przeprowadzono według kryteriów wpływu na poziom ryzyka, ciągłości procesów logistycznych, bezpieczeństwa infrastruktury i skuteczności współdziałania uczestników transportu.

Wyniki wskazują, że bezpieczeństwo przewozu materiałów wybuchowych ma charakter systemowy i zależy od wzajemnych relacji pomiędzy organizacją procesu logistycznego, jakością infrastruktury, kompetencjami personelu, zarządzaniem ryzykiem i integracją procedur obowiązujących w poszczególnych gałęziach transportu. Zidentyfikowano również rosnące znaczenie cyfrowych systemów monitorowania, wymiany informacji oraz ochrony przed zagrożeniami hybrydowymi i cybernetycznymi. Uzyskane wyniki umożliwiły sformułowanie rekomendacji dotyczących doskonalenia organizacji transportu intermodalnego materiałów

✉Rafał Adamski – Polfrost Internationale Spedition Sp. z o.o. w Warszawie; e-mail: rafal.adamski@polfrost.com.pl

wybuchowych i amunicji oraz wzmacniania odporności systemów logistycznych odpowiedzialnych za funkcjonowanie infrastruktury krytycznej i zabezpieczenie potrzeb obronnych państwa.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo transportu, transport intermodalny, materiały wybuchowe, amunicja, logistyka wojskowa, zarządzanie ryzykiem

Abstract. The safety of the intermodal transport of explosives and ammunition constitutes one of the key components of a state's security system, affecting both the efficiency of defence supply chains and the operational readiness of the armed forces. The growing importance of military mobility, the expansion of international transport corridors, and the evolving security environment have elevated the safe transport of Class 1 dangerous goods under the ADR, RID, and IMDG Code regulations to a matter of strategic importance. The objective of this study was to identify, classify, and evaluate the logistical and organizational determinants of the safety of intermodal transport of explosives and ammunition, as well as to determine their significance for the resilience of the national security system and operational capabilities. The research was conducted using a critical review of national and international literature, an analysis of legal and regulatory documents, systems analysis, and a qualitative comparative analysis of organizational solutions applied in the transport of dangerous goods. The identified determinants were assessed according to their impact on risk levels, the continuity of logistics processes, infrastructure safety, and the effectiveness of cooperation among transport stakeholders. The findings demonstrate that the safety of transporting explosives is systemic in nature and depends on the interactions between logistics process organization, infrastructure quality, personnel competence, risk management practices, and the integration of safety procedures across different modes of transport. The study also highlights the increasing importance of digital monitoring systems, information exchange platforms, and protection against hybrid and cyber threats. Based on the research findings, a set of practical recommendations was formulated to improve the organization of intermodal transport of explosives and ammunition and to strengthen the resilience of logistics systems responsible for the operation of critical infrastructure and the fulfilment of national defence requirements.

Keywords: transport safety, intermodal transport, explosives, ammunition, military logistics, risk management

Kody JEL: R41, L91, H56

Wprowadzenie

Bezpieczeństwo transportu materiałów wybuchowych i amunicji jest od wielu lat jednym z najistotniejszych zagadnień logistyki bezpieczeństwa oraz nauk o bezpieczeństwie. W ostatnich latach problem ten nabrał jednak nowego znaczenia w związku ze zmianą środowiska bezpieczeństwa w Europie, intensyfikacją działań na rzecz mobilności wojskowej NATO i Unii Europejskiej, wzrostem znaczenia infrastruktury krytycznej oraz koniecznością zapewnienia ciągłości dostaw dla przemysłu obronnego.

Transport materiałów klasy 1 nie jest obecnie rozpatrywany wyłącznie jako proces logistyczny, lecz jako element systemu bezpieczeństwa państwa, którego sprawność wpływa na zdolność reagowania w sytuacjach kryzysowych i konfliktach zbrojnych [Komisja Europejska 2022; NATO 2023].

Transport intermodalny odgrywa w tym systemie szczególną rolę. Łączy zalety transportu drogowego, kolejowego i morskiego, umożliwiając efektywne przemieszczanie ładunków przy ograniczeniu liczby operacji manipulacyjnych. Jednocześnie wieloetapowy charakter procesu powoduje wzrost złożoności organizacyjnej oraz zwiększa liczbę potencjalnych punktów krytycznych, w których mogą wystąpić zagrożenia dla bezpieczeństwa ludzi, infrastruktury i środowiska. Każda zmiana gałęzi transportu oznacza konieczność zachowania ciągłości procedur bezpieczeństwa, właściwego przepływu informacji oraz skutecznej koordynacji działań pomiędzy uczestnikami procesu logistycznego.

W literaturze przedmiotu podkreśla się, że bezpieczeństwo przewozu materiałów niebezpiecznych stanowi rezultat oddziaływania wielu współzależnych czynników technicznych, organizacyjnych, prawnych i ludzkich, których znaczenie ujawnia się na każdym etapie łańcucha dostaw [Chmieliński 2020]. W odniesieniu do materiałów wybuchowych i amunicji zależności te nabierają szczególnego znaczenia ze względu na możliwość wystąpienia zdarzeń o charakterze katastroficznym oraz potencjalne konsekwencje dla bezpieczeństwa publicznego i funkcjonowania infrastruktury krytycznej. Jednocześnie rozwój cyfrowych systemów zarządzania transportem, technologii telematycznych oraz narzędzi monitorowania w czasie rzeczywistym powoduje, że klasyczne podejście do bezpieczeństwa przewozów jest stopniowo zastępowane koncepcją zintegrowanego zarządzania ryzykiem obejmującą cały cykl życia procesu logistycznego [UNECE 2025].

Współczesne podejście do bezpieczeństwa transportu obejmuje również bezpieczeństwo całych łańcuchów dostaw. W tym kontekście transport stanowi jeden z kluczowych elementów wpływających na ciągłość i niezawodność dostaw. Jak podkreśla Szymańska [2017], stabilność łańcuchów dostaw zależy od efektywnej organizacji procesów logistycznych oraz zdolności do reagowania na zakłócenia. Bezpieczeństwo w tym ujęciu obejmuje zarówno aspekty fizyczne (np. ochrona ładunków), jak i organizacyjne (np. zarządzanie informacją).

Dotychczasowe badania koncentrowały się przede wszystkim na wymaganiach wynikających z przepisów ADR, RID oraz IMDG Code, analizie zagrożeń technicznych albo organizacji przewozów z wykorzystaniem poszczególnych gałęzi transportu. Jak wskazuje Mindur [2018], rozwój transportu intermodalnego stanowi odpowiedź na rosnące potrzeby rynku oraz konieczność zwiększenia efektywności i bezpieczeństwa systemów transportowych.

Zdecydowanie rzadziej podejmowano próby kompleksowej identyfikacji oraz oceny determinant bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych z uwzględnieniem ich wzajemnych relacji oraz wpływu na odporność systemu bezpieczeństwa państwa. W literaturze nadal widoczna jest luka badawcza dotycząca systemowego ujęcia logistycznych i organizacyjnych uwarunkowań bezpieczeństwa przewozów realizowanych w złożonych łańcuchach intermodalnych, obejmujących jednocześnie transport drogowy, kolejowy i morski. Uwzględniając wskazaną lukę badawczą, za cel

badan przyjęto identyfikację, systematyzację i ocenę logistycznych oraz organizacyjnych determinant bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji oraz określenie ich znaczenia dla odporności systemu bezpieczeństwa państwa i zdolności operacyjnych. Przyjęto założenie, że bezpieczeństwo transportu intermodalnego ma charakter systemowy i wynika z poziomu integracji rozwiązań logistycznych, organizacyjnych oraz zarządzania ryzykiem, a nie z pojedynczych środków ochrony.

Strukturę artykułu podporządkowano realizacji celu badawczego. Po przedstawieniu dotychczasowego stanu wiedzy omówiono metodykę badań, następnie zaprezentowano wyniki identyfikacji i oceny determinant bezpieczeństwa, poddano je dyskusji w odniesieniu do aktualnych ustaleń literatury oraz sformułowano rekomendacje dla praktyki zarządzania bezpieczeństwem transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji.

Przegląd literatury

Problematyka bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji stanowi przedmiot badań prowadzonych równolegle w obszarze nauk o bezpieczeństwie, logistyki, inżynierii transportu oraz zarządzania ryzykiem. W ostatnich latach obserwuje się wyraźną zmianę podejścia badawczego – od analiz koncentrujących się głównie na zgodności z wymaganiami regulacyjnymi do badań traktujących bezpieczeństwo jako właściwość złożonych systemów społeczno-technicznych, których funkcjonowanie zależy od wzajemnych relacji pomiędzy infrastrukturą, organizacją, technologią oraz czynnikiem ludzkim. Tendencja ta jest widoczna zarówno w literaturze naukowej, jak i publikacjach NATO dotyczących odporności infrastruktury krytycznej i mobilności wojskowej, co jest bezpośrednio związane z dynamicznymi zmianami środowiska bezpieczeństwa międzynarodowego [Komisja Europejska 2022; NATO 2023].

Jednym z dominujących kierunków badań pozostaje analiza regulacji prawnych dotyczących przewozu materiałów niebezpiecznych. Podstawę funkcjonowania systemu bezpieczeństwa tworzą umowy ADR i RID oraz Międzynarodowy Kodeks Ładunków Niebezpiecznych – IMDG Code, które ustanawiają jednolite wymagania dotyczące klasyfikacji materiałów, pakowania, oznakowania, dokumentacji przewozowej i organizacji transportu [ADR 2025; IMDG 2024; RID 2025]. Autorzy zajmujący się problematyką transportu podkreślają jednak, że zgodność z wymaganiami formalnoprawnymi nie jest wystarczającym warunkiem zapewnienia wysokiego poziomu bezpieczeństwa. O jego skuteczności decyduje sposób implementacji przepisów w praktyce organizacyjnej oraz poziom współpracy pomiędzy uczestnikami procesu logistycznego [Załęski i in. 2018].

W przypadku materiałów wybuchowych i amunicji transport intermodalny ma szczególnie złożony charakter pod względem organizacji i bezpieczeństwa. Specyfika tych przewozów wynika zarówno z właściwości fizykochemicznych materiałów klasy 1, jak i z wysokiego poziomu ryzyka wystąpienia zdarzeń o charakterze katastroficznym. Proces transportowy obejmuje bowiem nie tylko sam przewóz, lecz również magazynowanie, przeładunek, czasowe składowanie, kontrolę dokumentacji oraz nadzór nad bezpieczeństwem na każdym etapie łańcucha logistycznego [Szymańska 2017].

W klasycznych opracowaniach dotyczących transportu materiałów wybuchowych i amunicji dominowały zagadnienia związane z modelowaniem ryzyka, wyznaczaniem bezpiecznych tras przewozu oraz minimalizacją skutków awarii. Rozwijane modele opierały się przede wszystkim na analizie prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych oraz ocenie ich potencjalnych konsekwencji dla ludzi, środowiska i infrastruktury. Współczesne systemy logistyczne wykorzystują rozwiązania telematyczne umożliwiające bieżące śledzenie jednostek transportowych, kontrolę parametrów środowiskowych oraz szybką reakcję w przypadku wystąpienia zagrożenia. Szczegółne znaczenie mają również procedury awaryjne określające sposób postępowania w sytuacjach kryzysowych, takich jak pożar, uszkodzenie kontenera, wyciek substancji niebezpiecznych lub zagrożenie terrorystyczne [Adamski 2025].

Współczesne badania pokazują jednak, że takie podejście jest niewystarczające, ponieważ nie uwzględnia dynamicznego charakteru zagrożeń, współzależności pomiędzy uczestnikami procesu transportowego ani wpływu zakłóceń organizacyjnych na funkcjonowanie całego systemu logistycznego. Znaczący nurt badań dotyczy organizacji transportu intermodalnego jako systemu integrującego różne gałęzie transportu. Efektywność transportu intermodalnego wynika z właściwego powiązania infrastruktury liniowej i punktowej, standaryzacji jednostek ładunkowych oraz koordynacji procesów logistycznych. Podobne stanowisko prezentuje Mindur [2018], podkreślając, że rozwój transportu intermodalnego wymaga nie tylko inwestycji infrastrukturalnych, lecz również integracji organizacyjnej oraz harmonizacji procedur bezpieczeństwa. W odniesieniu do materiałów wybuchowych znaczenie tych czynników dodatkowo wzrasta, ponieważ każda operacja przeładunkowa zwiększa poziom ryzyka operacyjnego.

W literaturze dotyczącej bezpieczeństwa transportu coraz częściej eksponowane jest podejście systemowe. Zgodnie z nim poziom bezpieczeństwa nie jest sumą właściwości poszczególnych elementów procesu transportowego, lecz rezultatem ich wzajemnych relacji oraz zdolności całego systemu do przeciwdziałania zakłóceniom [Wiśniewski 2015].

Podejście to pozostaje zbieżne z koncepcją odporności systemów logistycznych, rozwijaną w badaniach prowadzonych przez Komisję Europejską oraz NATO, w ramach której podkreśla się znaczenie elastyczności organizacyjnej, ciągłości działania i zdolności do szybkiej odbudowy procesów logistycznych po wystąpieniu incydentów [Komisja Europejska 2022; NATO 2023].

Coraz częściej wykorzystywane są modele wielokryterialne, programowanie dwupoziomowe, metody optymalizacji odporności oraz algorytmy wspomagające podejmowanie decyzji logistycznych. Badania te wykazują, że bezpieczeństwo transportu materiałów niebezpiecznych zależy nie tylko od wyboru środka transportu, lecz przede wszystkim od jakości integracji całego łańcucha logistycznego, obejmującego planowanie tras, organizację przeładunków, zarządzanie terminalami oraz bieżący monitoring przewozów. Jednocześnie coraz większego znaczenia nabierają badania nad odpornością (resilience) systemów logistycznych.

W literaturze podkreśla się, że współczesne systemy transportowe powinny być projektowane z myślą nie tylko o minimalizacji ryzyka, ale również o zdolności do utrzymania ciągłości działania w warunkach zakłóceń oraz szybkiego odtwarzania sprawności operacyjnej po wystąpieniu incydentów. Coraz większą uwagę poświęca

się również zarządzaniu ryzykiem jako podstawowemu instrumentowi zapewniania bezpieczeństwa przewozów materiałów niebezpiecznych. Europejska Komisja Gospodarcza ONZ (UNECE) wskazuje, że skuteczny system zarządzania ryzykiem powinien obejmować identyfikację zagrożeń, ocenę ich prawdopodobieństwa i skutków, monitorowanie ryzyka oraz wdrażanie działań ograniczających jego poziom [UNECE 2025]. W praktyce transportowej wykorzystywane są metody jakościowe i ilościowe, takie jak FMEA, bow-tie analysis, analiza scenariuszowa czy analiza krytycznych punktów procesu logistycznego. Rozwiązania te znajdują zastosowanie zwłaszcza w przewozach materiałów klasy 1, gdzie nawet pojedyncze błędy organizacyjne mogą prowadzić do zdarzeń o charakterze katastroficznym.

Istotnym nurtem współczesnych badań jest również integracja zagadnień safety i security. O ile wcześniejsze opracowania koncentrowały się głównie na zagrożeniach wynikających z awarii technicznych lub błędów eksploatacyjnych, o tyle najnowsze badania wskazują na konieczność uwzględnienia zagrożeń intencjonalnych, takich jak sabotaż, terroryzm czy cyberataki. Podkreśla się szczególnie potrzebę prowadzenia zintegrowanej oceny ryzyka, obejmującej jednocześnie bezpieczeństwo operacyjne oraz ochronę przed celowym oddziaływaniem na system transportowy.

Analiza literatury wskazuje również, że mimo znacznego dorobku badawczego dominują opracowania koncentrujące się na wybranych aspektach bezpieczeństwa – najczęściej regulacyjnych, technicznych lub infrastrukturalnych. Znacznie rzadziej podejmowane są badania integrujące logistyczne i organizacyjne determinanty bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych oraz oceniające ich znaczenie z perspektywy odporności systemu bezpieczeństwa państwa.

Coraz częściej analizowany jest także wpływ transformacji cyfrowej na bezpieczeństwo transportu materiałów niebezpiecznych. Rozwój systemów telematycznych, internetu rzeczy (IoT), sztucznej inteligencji, cyfrowych bliźniaków oraz technologii blockchain umożliwia monitorowanie przesyłek w czasie rzeczywistym, prognozowanie zagrożeń oraz wspomaganie decyzji logistycznych. Jednocześnie cyfryzacja zwiększa podatność systemów transportowych na zagrożenia cybernetyczne, co powoduje konieczność integrowania klasycznych metod zarządzania ryzykiem z rozwiązaniami z zakresu cyberbezpieczeństwa.

W badaniach dotyczących transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji szczególne miejsce zajmuje problem organizacji operacji przeładunkowych. Bezpieczeństwo transportu materiałów wybuchowych zależy również od jakości infrastruktury logistycznej oraz poziomu technicznego wykorzystywanych środków transportu. Terminale intermodalne, centra logistyczne oraz porty przeładunkowe powinny spełniać wymagania dotyczące ochrony fizycznej, kontroli dostępu, monitoringu oraz zabezpieczeń przeciwpożarowych [Chmieliński 2019]. Najnowsze opracowania wskazują, że terminale intermodalne są krytycznymi elementami całego procesu transportowego, ponieważ właśnie w nich kumulują się zagrożenia wynikające z jednoczesnego oddziaływania czynników technicznych, organizacyjnych oraz ludzkich. W konsekwencji coraz większą uwagę poświęca się projektowaniu procedur minimalizujących liczbę operacji manipulacyjnych, zwiększających automatyzację przeładunku oraz poprawiających interoperacyjność pomiędzy różnymi gałęziami transportu.

Analiza dorobku naukowego wskazuje jednak na utrzymywanie się kilku istotnych luk badawczych. Po pierwsze, zdecydowana większość publikacji dotyczy transportu drogowego lub kolejowego analizowanego oddzielnie, natomiast stosunkowo niewiele opracowań odnosi się do bezpieczeństwa całych intermodalnych łańcuchów transportowych. Po drugie, badania koncentrują się głównie na modelach ilościowej oceny ryzyka, znacznie rzadziej uwzględniając organizacyjne determinanty bezpieczeństwa, współpracę międzyinstytucjonalną oraz wpływ kompetencji personelu. Po trzecie, w literaturze nadal niewystarczająco rozwinięte są badania dotyczące transportu materiałów wybuchowych i amunicji jako szczególnej kategorii materiałów klasy 1, której znaczenie wzrosło w związku z rozwojem mobilności wojskowej oraz zmianami środowiska bezpieczeństwa w Europie.

Zidentyfikowane luki badawcze uzasadniają potrzebę przeprowadzenia badań przedstawionych w niniejszym artykule. Ich celem jest nie tylko identyfikacja logistycznych i organizacyjnych determinant bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji, lecz również ich systematyzacja i ocena z perspektywy odporności systemu bezpieczeństwa państwa. Przyjęte podejście rozszerza dotychczasowy stan wiedzy poprzez integrację zagadnień dotyczących logistyki, zarządzania ryzykiem, odporności systemów transportowych oraz bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej w ramach jednego modelu analitycznego.

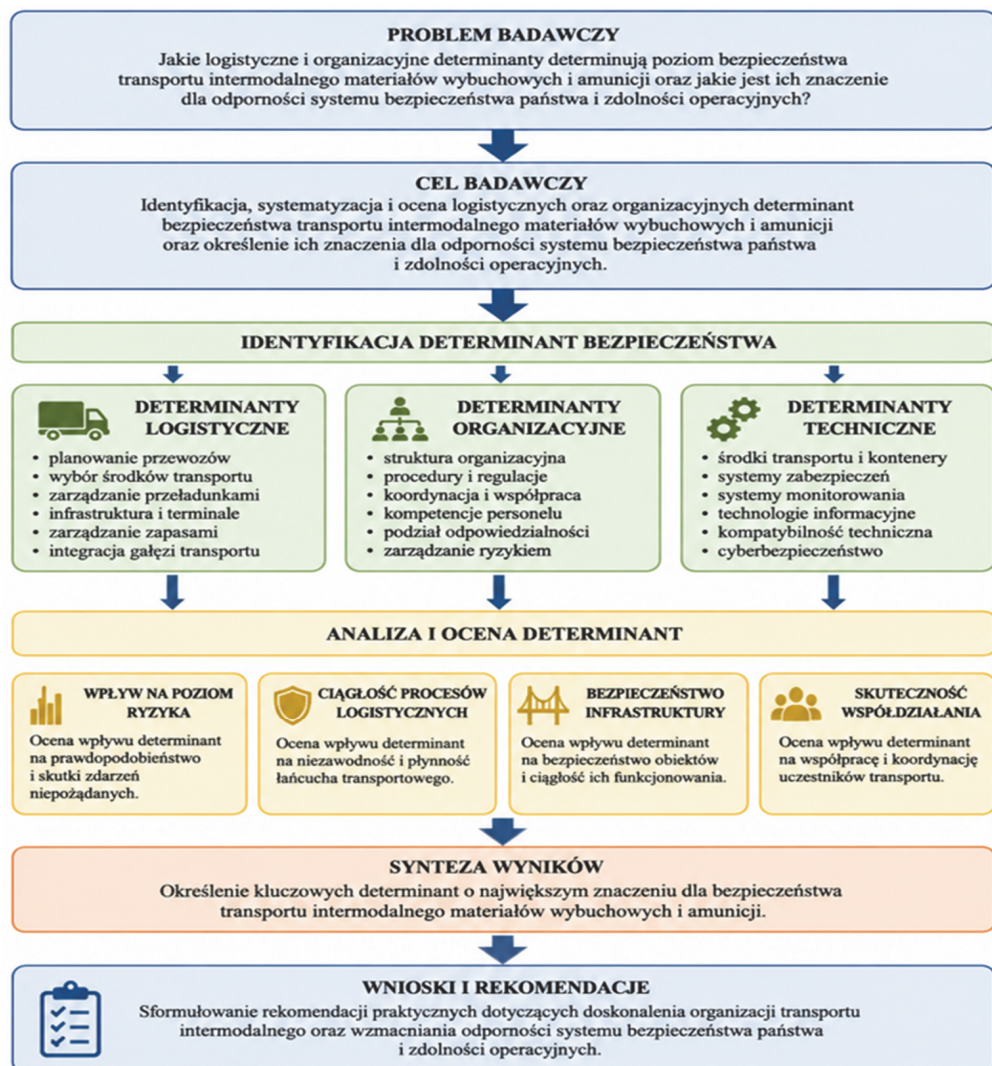
Metodyka badań

Realizacja przyjętego celu badawczego wymagała opracowania uporządkowanej procedury postępowania badawczego, obejmującej kolejne etapy identyfikacji, analizy oraz oceny determinant bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji. Schemat postępowania badawczego przedstawiono na rysunku 1.

Proces badawczy rozpoczął się od sformułowania problemu badawczego dotyczącego identyfikacji czynników wpływających na bezpieczeństwo transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji. Na kolejnym etapie dokonano identyfikacji podstawowych grup determinant bezpieczeństwa, obejmujących determinanty logistyczne, organizacyjne oraz techniczne. Następnie przeprowadzono ich analizę i ocenę z wykorzystaniem przyjętych kryteriów badawczych, obejmujących wpływ determinant na poziom ryzyka transportowego, ciągłość procesów logistycznych oraz odporność systemu bezpieczeństwa transportowego. Wyniki przeprowadzonej analizy stanowiły podstawę do sformułowania wniosków oraz rekomendacji dotyczących doskonalenia organizacji transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji.

Przedmiotem badań były logistyczne i organizacyjne determinanty bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji realizowanego z wykorzystaniem transportu drogowego, kolejowego i morskigo.

Zakres badań obejmował identyfikację czynników wpływających na bezpieczeństwo przewozu materiałów klasy 1 zgodnie z wymaganiami umów ADR i RID oraz Międzynarodowego Kodeksu IMDG, a także ocenę ich znaczenia dla zapewnienia ciągłości procesów logistycznych oraz odporności systemu bezpieczeństwa państwa.



Rysunek 1. Schemat zastosowanego postępowania badawczego

Figure 1. Schematic diagram of the research procedure used

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Analizie poddano zarówno uwarunkowania wynikające z obowiązujących regulacji prawnych, jak i rozwiązania organizacyjne oraz logistyczne stosowane podczas planowania, realizacji i nadzorowania transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji. Uwzględniono również współczesne zagrożenia wpływające na bezpieczeństwo przewozów, w tym zagrożenia techniczne, organizacyjne, terrorystyczne i cybernetyczne.

Punktem wyjścia był następujący problem badawczy: jakie logistyczne i organizacyjne determinanty w największym stopniu wpływają na bezpieczeństwo transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji oraz odporność systemu bezpieczeństwa państwa?

W celu rozwiązania problemu sformułowano trzy pytania badawcze:

1. Które determinanty logistyczne mają największy wpływ na poziom bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji?
2. Jakie determinanty organizacyjne decydują o skuteczności funkcjonowania systemu bezpieczeństwa transportu materiałów klasy 1?
3. W jaki sposób integracja rozwiązań logistycznych i organizacyjnych wpływa na odporność systemu bezpieczeństwa państwa?

Badania miały charakter jakościowy i zostały przeprowadzone z wykorzystaniem komplementarnych metod badawczych właściwych dla nauk o bezpieczeństwie oraz logistyki. Podstawową metodą była krytyczna analiza literatury przedmiotu, obejmująca krajowe i zagraniczne publikacje naukowe dotyczące bezpieczeństwa transportu, logistyki wojskowej, zarządzania ryzykiem oraz odporności systemów logistycznych [Komisja Europejska 2022].

Drugą metodę stanowiła analiza dokumentów normatywnych, obejmująca obowiązujące akty prawne i regulacje międzynarodowe dotyczące przewozu materiałów niebezpiecznych, w szczególności [ADR 2025], [RID 2025], IMDG Code [IMDG 2024], ustawę o przewozie towarów niebezpiecznych [Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r.] oraz wytyczne UNECE [2025]. Zastosowano również analizę systemową, umożliwiającą identyfikację relacji zachodzących pomiędzy elementami systemu transportowego oraz ocenę ich wpływu na bezpieczeństwo całego procesu logistycznego. Podejście systemowe pozwala analizować transport jako zbiór wzajemnie powiązanych elementów organizacyjnych, technicznych i informacyjnych [Wiśniewski 2015]. Uzupełnieniem badań była analiza porównawcza, wykorzystana do oceny wymagań obowiązujących w transporcie drogowym, kolejowym i morskim oraz identyfikacji wspólnych i odmiennych determinant bezpieczeństwa.

Materiał badawczy obejmował:

- publikacje naukowe z lat 2018–2026,
- międzynarodowe regulacje ADR, RID oraz IMDG Code,
- dokumenty Komisji Europejskiej dotyczące programu Military Mobility,
- wytyczne UNECE dotyczące zarządzania ryzykiem w transporcie towarów niebezpiecznych,
- opracowania dotyczące ochrony infrastruktury krytycznej oraz logistyki wojskowej.

Dobór materiału badawczego miał charakter celowy i wieloetapowy, zgodnie z założeniami jakościowych badań analitycznych prowadzonych w naukach o bezpieczeństwie (tab. 1). Przyjęto założenie, że wiarygodność wyników wymaga wykorzystania zróżnicowanych źródeł informacji, reprezentujących zarówno dorobek naukowy, jak i obowiązujące regulacje prawne oraz dokumenty strategiczne odnoszące się do funkcjonowania współczesnych systemów transportowych.

Proces doboru materiału badawczego obejmował trzy zasadnicze etapy. Na pierwszym etapie dokonano identyfikacji literatury naukowej dotyczącej bezpieczeństwa transportu materiałów niebezpiecznych, logistyki intermodalnej, zarządzania ryzykiem,

odporności systemów logistycznych oraz mobilności wojskowej. Szczególną uwagę poświęcono publikacjom wydanym w latach 2018–2026, co pozwoliło uwzględnić najnowszy stan wiedzy oraz zmiany wynikające z aktualnej sytuacji geopolitycznej i rozwoju europejskiej polityki bezpieczeństwa. Starsze opracowania wykorzystano wyłącznie wówczas, gdy miały charakter fundamentalny dla rozwoju teorii transportu intermodalnego, logistyki lub zarządzania bezpieczeństwem.

Tabela 1. Procedura doboru źródeł danych i informacji

Table 1. Procedure for selecting data and information sources

Kategoria źródeł	Zakres analizy	Kryteria doboru	Cel wykorzystania
Monografie naukowe	logistyka, bezpieczeństwo, zarządzanie ryzykiem	recenzowane, wysoka cytowalność	identyfikacja podstaw teoretycznych
Artykuły naukowe	2018–2026	czasopisma recenzowane (np. <i>Safety Science</i> , <i>Transportation Research Part E</i> , <i>Journal of Transportation Security</i>)	identyfikacja aktualnego stanu badań i luki badawczej
Dokumenty prawne	ADR, RID, IMDG Code, ustawy	aktualnie obowiązujące	analiza wymagań formalnoprawnych
Dokumenty strategiczne	NATO, Komisja Europejska, UNECE	oficjalne dokumenty	ocena kierunków rozwoju systemów bezpieczeństwa
Normy międzynarodowe	ISO 31000, ISO 28000	aktualne wydania	analiza zarządzania ryzykiem i bezpieczeństwem łańcucha dostaw

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Na drugim etapie analizie poddano akty normatywne oraz dokumenty regulacyjne, które stanowią podstawę organizacji przewozu materiałów wybuchowych i amunicji. Obejmowały one przede wszystkim Umowę europejską dotyczącą międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych [ADR 2025], Regulamin międzynarodowego przewozu kolejami towarów niebezpiecznych [RID 2025], Międzynarodowy Kodeks Ładunków Niebezpiecznych [IMDG Code 2024], ustawę o przewozie towarów niebezpiecznych [Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r.] oraz wybrane akty wykonawcze regulujące funkcjonowanie transportu intermodalnego i ochronę infrastruktury krytycznej. Włączenie dokumentów normatywnych umożliwiło odniesienie wyników badań do aktualnych wymagań prawnych obowiązujących w transporcie drogowym, kolejowym i morskim.

Trzeci etap obejmował analizę dokumentów strategicznych i raportów organizacji międzynarodowych, których działalność wyznacza kierunki rozwoju bezpieczeństwa transportu oraz odporności infrastruktury logistycznej. Wykorzystano dokumenty Komisji Europejskiej dotyczące rozwoju Transeuropejskiej Sieci Transportowej (TEN-T), programu Military Mobility, ochrony infrastruktury krytycznej oraz budowania odporności systemów transportowych. Uwzględniono również opracowania NATO dotyczące mobilności wojskowej, logistyki oraz odporności infrastruktury transportowej,

wytyczne UNECE odnoszące się do przewozu towarów niebezpiecznych, a także normy międzynarodowe z zakresu zarządzania ryzykiem i bezpieczeństwa łańcuchów dostaw, w szczególności ISO 31000 [ISO 2018] oraz ISO 28000 [ISO 2022]. Dobór publikacji naukowych prowadzono z zastosowaniem następujących kryteriów kwalifikacyjnych:

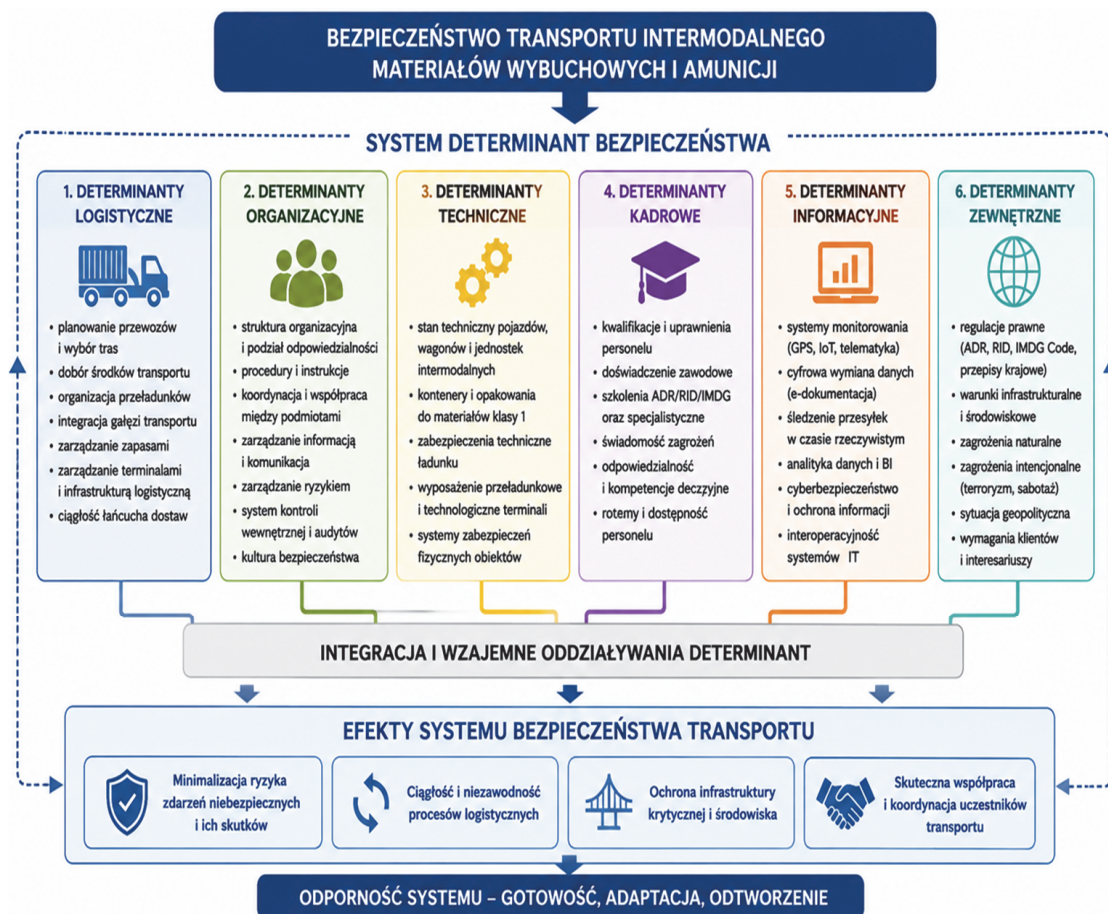
- zgodność tematyczna z problematyką bezpieczeństwa transportu intermodalnego, logistyki materiałów wybuchowych i amunicji oraz zarządzania ryzykiem;
- aktualność publikacji, ze szczególnym uwzględnieniem opracowań opublikowanych w ostatnich 5–7 latach;
- recenzowany charakter źródła, obejmujący monografie naukowe, artykuły indeksowane w uznanych bazach bibliograficznych oraz oficjalne raporty instytucji międzynarodowych;
- możliwość wykorzystania publikacji do identyfikacji, porównania i oceny determinant bezpieczeństwa transportu materiałów klasy I.

Świadomie zrezygnowano z wykorzystania publikacji o charakterze popularyzatorskim, materiałów prasowych, opracowań pozbawionych procedury recenzyjnej oraz źródeł niespełniających kryteriów wiarygodności naukowej. Pozwoliło to ograniczyć ryzyko wykorzystania informacji o niezweryfikowanej jakości oraz zwiększyć rzetelność prowadzonych analiz. Zastosowanie zróżnicowanych kategorii źródeł umożliwiło przeprowadzenie triangulacji materiału badawczego, polegającej na wzajemnym porównaniu ustaleń wynikających z literatury naukowej, obowiązujących regulacji prawnych i dokumentów strategicznych. Takie podejście zwiększyło wiarygodność uzyskanych wyników oraz pozwoliło ograniczyć wpływ ograniczeń charakterystycznych dla pojedynczych źródeł informacji. Umożliwiło to kompleksową identyfikację logistycznych i organizacyjnych determinant bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji, uwzględniającą zarówno perspektywę naukową, jak i praktykę funkcjonowania współczesnych systemów transportowych. Przyjęta procedura doboru źródeł zapewniła spójność materiału badawczego z celem pracy oraz umożliwiła przeprowadzenie analizy zgodnej z wymaganiami badań jakościowych stosowanych w naukach o bezpieczeństwie i logistyce. Dzięki temu sformułowane wnioski oparto na zweryfikowanym, aktualnym i wieloaspektowym materiale źródłowym, co zwiększa ich wartość poznawczą i aplikacyjną.

Wyniki badań

W centrum modelu znajduje się bezpieczeństwo procesu transportowego, na które oddziałuje pięć wzajemnie powiązanych grup determinant: logistyczne, organizacyjne, technologiczne, kadrowe i informacyjne (rys. 2). Do determinant logistycznych zaliczono planowanie tras, organizację przeładunków oraz integrację gałęzi transportu. Determinanty organizacyjne obejmują procedury, koordynację działań i podział odpowiedzialności pomiędzy uczestnikami procesu transportowego. Determinanty technologiczne odnoszą się do infrastruktury, kontenerów i terminali przeładunkowych, natomiast determinanty kadrowe obejmują szkolenia ADR/RID/IMDG oraz doświadczenie personelu. Ostatnią grupę stanowią determinanty informacyjne związane z monitoringiem GPS, technologiami IoT i wymianą danych.

Przeprowadzona analiza umożliwiła identyfikację oraz systematyzację determinant bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji. Uzyskane wyniki wskazują, że bezpieczeństwo przewozów materiałów klasy 1 jest rezultatem współoddziaływania czynników logistycznych, organizacyjnych, technicznych oraz informacyjnych. Żaden z analizowanych elementów nie zapewnia samodzielnie wysokiego poziomu bezpieczeństwa. Dopiero ich wzajemna integracja tworzy spójny system ograniczający ryzyko wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych.



Rysunek 2. System logistycznych i organizacyjnych determinant bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji

Figure 2. System of logistical and organizational determinants of the security of intermodal transport of explosives and ammunition

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Analiza wykazała, że największy wpływ na bezpieczeństwo transportu mają determinanty logistyczne związane z organizacją całego łańcucha dostaw. Szczególnie istotne znaczenie mają: właściwe planowanie tras przewozu, ograniczenie liczby operacji przeładunkowych, dobór odpowiednich środków transportu oraz zapewnienie ciągłości monitorowania jednostek transportowych. Każda dodatkowa operacja przeładunkowa zwiększa liczbę potencjalnych punktów krytycznych procesu i prawdopodobieństwo wystąpienia błędów organizacyjnych lub uszkodzeń jednostki ładunkowej, co pozostaje zgodne z ustaleniami m.in. UNECE [2025].

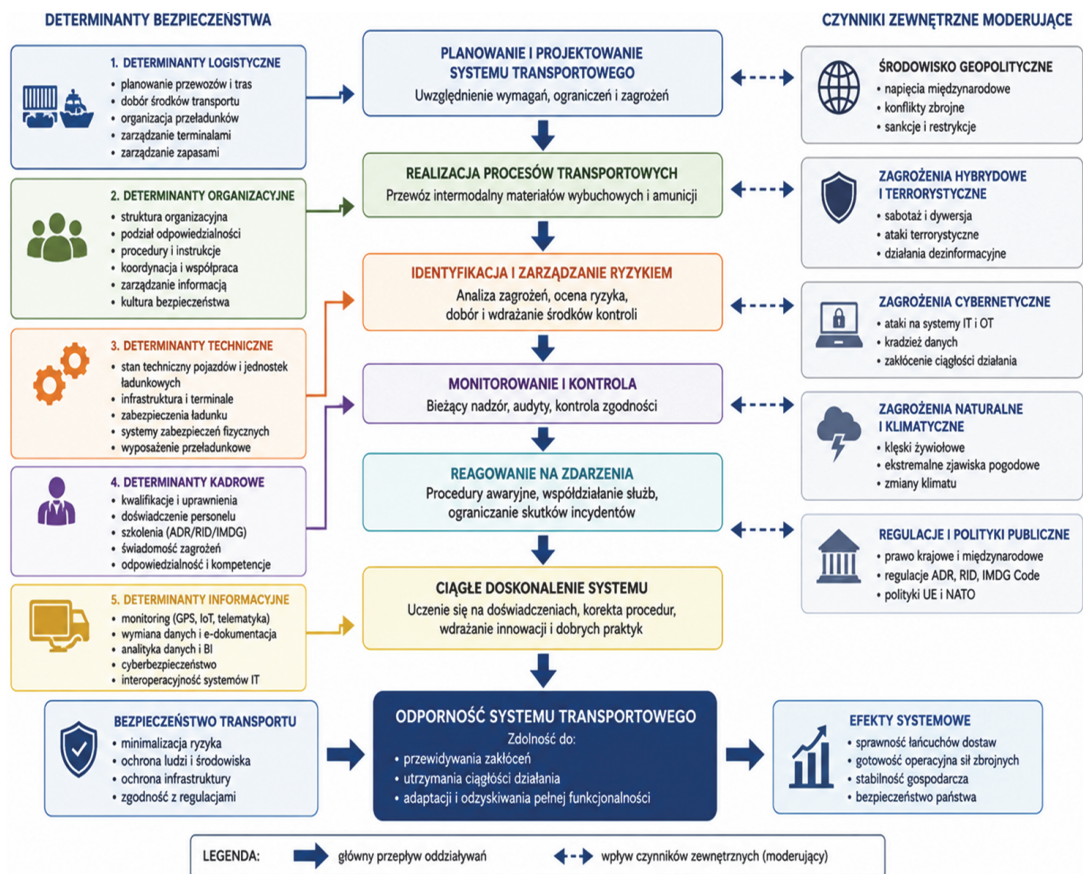
Drugą grupę determinant stanowią uwarunkowania organizacyjne. Badania wykazały, że skuteczność systemu bezpieczeństwa zależy przede wszystkim od jednoznacznego podziału odpowiedzialności pomiędzy uczestnikami procesu transportowego, jakości procedur operacyjnych oraz sprawności wymiany informacji. Szczególnie istotnym elementem pozostaje koordynacja działań pomiędzy przewoźnikami, operatorami terminali, administracją publiczną, służbami bezpieczeństwa i podmiotami wojskowymi. Brak interoperacyjności procedur zwiększa podatność systemu na zakłócenia oraz wydłuża czas reakcji na sytuacje kryzysowe. Istotnym wynikiem badań było również potwierdzenie rosnącego znaczenia czynnika ludzkiego.

Z analizy wynika, że znaczna część zdarzeń niebezpiecznych, do których dochodzi w trakcie transportu materiałów niebezpiecznych, ma źródło nie w awariach technicznych, lecz w błędach organizacyjnych, niewłaściwej interpretacji przepisów, niepełnym przygotowaniu personelu lub nieskutecznej komunikacji pomiędzy uczestnikami procesu transportowego [Załęski i in. 2018]. Oznacza to, że rozwój kompetencji personelu powinien być traktowany jako jeden z podstawowych elementów systemu zarządzania bezpieczeństwem.

Przeprowadzona analiza wykazała, że poszczególne grupy determinant nie oddziałują na bezpieczeństwo transportu w sposób niezależny. Tworzą one układ wzajemnych zależności, w którym skuteczność procesów logistycznych jest uwarunkowana jakością organizacji, efektywnością zarządzania ryzykiem oraz zdolnością systemu do adaptacji w warunkach zakłóceń. Na rysunku 3 przedstawiono model zależności pomiędzy głównymi determinantami bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji.

Model zakłada, że determinanty logistyczne stanowią podstawę organizacji procesu transportowego, wpływając na planowanie przewozów, wybór środków transportu oraz organizację operacji przeładunkowych. Efektywność rozwiązań logistycznych jest następnie wzmacniana przez determinanty organizacyjne, obejmujące procedury, koordynację działań i podział odpowiedzialności pomiędzy uczestnikami procesu transportowego. Połączenie obu grup determinant tworzy podstawę skutecznego zarządzania ryzykiem, którego celem jest ograniczanie prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych oraz minimalizacja ich potencjalnych skutków. Skuteczne zarządzanie ryzykiem przekłada się bezpośrednio na wzrost poziomu bezpieczeństwa procesu transportowego, rozumianego jako zdolność systemu do realizacji przewozów materiałów wybuchowych i amunicji zgodnie z obowiązującymi wymaganiami bezpieczeństwa, ochrony oraz niezawodności.

Model uwzględnia również wpływ czynników wspomagających, takich jak kompetencje personelu, rozwój systemów cyfrowych, monitoring transportu oraz rozwiązania z zakresu cyberbezpieczeństwa. Czynniki te oddziałują na wszystkie etapy procesu, zwiększając zdolność systemu do zapobiegania zagrożeniom, wczesnego wykrywania nieprawidłowości i skutecznego reagowania na sytuacje kryzysowe.



Rysunek 3. Oddziaływanie determinant bezpieczeństwa na odporność systemu transportowego

Figure 3. Impact of security determinants on the resilience of the transportation system

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Końcowym efektem współdziałania wszystkich determinant jest wzrost odporności systemu transportowego, rozumianej jako zdolność do utrzymania ciągłości realizacji przewozów, ograniczania skutków zakłóceń oraz szybkiego odtwarzania pełnej sprawności operacyjnej po wystąpieniu incydentów. W ujęciu strategicznym odporność transportu intermodalnego materiałów wybuchowych stanowi jeden z istotnych elementów budowania odporności państwa oraz zapewnienia ciągłości funkcjonowania systemu bezpieczeństwa i obronności. Analiza wykazała ponadto wyraźny wzrost znaczenia technologii cyfrowych.

Systemy telematyczne, monitoring GPS, rozwiązania internetu rzeczy oraz elektro-niczna wymiana danych zwiększają przejrzystość procesu transportowego, umożliwiając wcześniejsze wykrywanie nieprawidłowości i wspierają podejmowanie decyzji w sytuacjach zagrożenia. Jednocześnie postępująca cyfryzacja powoduje wzrost podatności systemów logistycznych na zagrożenia cybernetyczne, co wymaga rozszerzenia klasycz-

nych procedur bezpieczeństwa o mechanizmy cyberochrony. Na podstawie przeprowadzonej analizy uporządkowano determinanty bezpieczeństwa według ich znaczenia dla funkcjonowania systemu transportowego (tab. 2).

Tabela 2. Zidentyfikowane determinanty bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji

Table 2. Identified determinants of security in the intermodal transport of explosives and ammunition

Determinanty	Przykładowe elementy	Znaczenie
Logistyczne	planowanie tras, ograniczenie przeładunków, dobór środków transportu, monitoring przesyłek	bardzo wysokie
Organizacyjne	procedury, podział odpowiedzialności, koordynacja instytucji, zarządzanie informacją	bardzo wysokie
Techniczne	infrastruktura terminali, środki transportu, zabezpieczenie kontenerów, urządzenia przeładunkowe	wysokie
Kadrowe	kwalifikacje personelu, szkolenia ADR/RID/IMDG, doświadczenie operatorów	bardzo wysokie
Informacyjne	cyfrowe systemy zarządzania, telematyka, cyberbezpieczeństwo	wysokie

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Uzyskane wyniki wskazują, że determinanty logistyczne i organizacyjne wzajemnie się uzupełniają, tworząc system bezpieczeństwa o charakterze sieciowym. O poziomie bezpieczeństwa decyduje nie pojedynczy środek ochrony, lecz zdolność całego systemu do skutecznej koordynacji działań, wymiany informacji oraz adaptacji do zmieniających się zagrożeń. Wyniki te stanowią podstawę do dalszej dyskusji dotyczącej kierunków doskonalenia bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji.

Dyskusja

Przeprowadzona analiza wykazała, że bezpieczeństwo transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji jest determinowane przez wzajemnie powiązane czynniki logistyczne, organizacyjne, techniczne i informacyjne. Uzyskane wyniki są zgodne z dominującym nurtem współczesnych badań nad bezpieczeństwem systemów transportowych, zakładającym, że poziom bezpieczeństwa nie jest rezultatem pojedynczych zabezpieczeń technicznych, lecz efektem funkcjonowania złożonego systemu organizacyjnego obejmującego ludzi, infrastrukturę, technologie i procedury zarządzania ryzykiem [Hollnagel 2018; Komisja Europejska 2022].

Pierwszym istotnym rezultatem badań było wskazanie, że największy wpływ na poziom bezpieczeństwa mają determinanty logistyczne związane z planowaniem procesu transportowego, ograniczaniem liczby operacji przeładunkowych oraz właściwym doбором środków transportu.

Wnioski te pozostają zgodne z wynikami badań publikowanych na łamach czasopiśma *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, w których podkreśla się, że efektywność zarządzania ryzykiem w łańcuchach dostaw materiałów niebezpiecznych zależy przede wszystkim od jakości planowania logistycznego oraz zdolności do ograniczania liczby punktów krytycznych procesu transportowego

[Tang 2021; Zhao i in. 2023]. Wskazuje się również, że ograniczenie operacji manipulacyjnych stanowi jeden z podstawowych warunków zwiększania bezpieczeństwa transportu intermodalnego.

Uzyskane wyniki potwierdziły również, że bezpieczeństwo transportu materiałów klasy 1 nie może być rozpatrywane wyłącznie przez pryzmat zgodności z wymaganiami regulacyjnymi. Analiza wykazała, że o skuteczności systemu decyduje stopień integracji procesów logistycznych realizowanych przez różnych uczestników łańcucha dostaw. Wnioski te korespondują z dokumentami Komisji Europejskiej dotyczącymi rozwoju sieci TEN-T oraz programu Military Mobility, w których podkreśla się konieczność budowy interoperacyjnych systemów logistycznych zapewniających jednolite standardy bezpieczeństwa oraz sprawnej wymiany informacji pomiędzy administracją publiczną, operatorami logistycznymi i użytkownikami infrastruktury [Komisja Europejska 2022].

Drugim ważnym rezultatem badań było wykazanie, że determinanty organizacyjne mają znaczenie porównywalne z czynnikami technicznymi. Wyniki wskazują, że jednoznaczny podział odpowiedzialności, standaryzacja procedur oraz skuteczna koordynacja międzyinstytucjonalna wpływają bezpośrednio na odporność systemu transportowego. Zbieżne wnioski przedstawiono w badaniach publikowanych w *Journal of Transportation Security*, gdzie podkreślono, że skuteczność ochrony transportu materiałów wybuchowych i amunicji zależy przede wszystkim od zdolności organizacji do koordynowania działań wielu podmiotów funkcjonujących w środowisku podwyższonego ryzyka. Autorzy zwracają uwagę, że nawet zaawansowane rozwiązania techniczne nie zapewniają oczekiwanego poziomu bezpieczeństwa, jeżeli nie towarzyszą im spójne procedury organizacyjne i efektywny przepływ informacji.

Na szczególną uwagę zasługuje rola czynnika ludzkiego. Przeprowadzona analiza wykazała, że błędy proceduralne, niewystarczające przygotowanie personelu oraz nieefektywna komunikacja należą do najważniejszych źródeł zagrożeń w transporcie materiałów wybuchowych. Wyniki te są zgodne z koncepcją Safety-II rozwijaną przez Hollnagela [2018] i głoszącą, że bezpieczeństwo systemów wysokiego ryzyka zależy przede wszystkim od zdolności organizacji do skutecznej adaptacji do zmieniających się warunków funkcjonowania. W podobnym kierunku zmierzają publikacje czasopisma *Safety Science*, wskazujące, że współczesne zarządzanie bezpieczeństwem powinno koncentrować się nie tylko na analizie przyczyn awarii, lecz również na wzmacnianiu odporności organizacyjnej, kompetencji personelu oraz zdolności systemu do utrzymania sprawności działania mimo występowania zakłóceń.

Uzyskane wyniki potwierdziły również rosnące znaczenie odporności (resilience) systemów logistycznych. W literaturze międzynarodowej odporność definiowana jest jako zdolność systemu do przygotowania się na zakłócenia, utrzymania ciągłości działania oraz szybkiego odtworzenia pełnej funkcjonalności po wystąpieniu incydentu [Linkov i Trump 2019]. W przeprowadzonych badaniach wykazano, że odporność transportu materiałów wybuchowych zależy od integracji procedur bezpieczeństwa, elastyczności organizacyjnej oraz skuteczności współpracy pomiędzy uczestnikami procesu transportowego.

Wnioski te pozostają zgodne z kierunkami rozwoju polityki bezpieczeństwa logistycznego Unii Europejskiej oraz NATO, w których odporność infrastruktury transportowej uznawana jest za jeden z podstawowych filarów bezpieczeństwa zbiorowego [Komisja Europejska 2022; NATO 2023]. Istotnym wynikiem badań było również

wskazanie rosnącej roli technologii cyfrowych w zapewnianiu bezpieczeństwa transportu intermodalnego. Wykorzystanie systemów telematycznych, monitorowania GPS, internetu rzeczy oraz elektronicznej wymiany danych zwiększa możliwości bieżącego nadzorowania przesyłek oraz skraca czas reakcji na sytuacje awaryjne.

Jednocześnie analiza wykazała, że postępująca cyfryzacja powoduje pojawienie się nowych kategorii zagrożeń związanych z cyberbezpieczeństwem. Wyniki te odpowiadają ustaleniom badań publikowanych w *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, wskazującym, że cyfrowa transformacja logistyki wymaga równoczesnego rozwoju systemów cyberochrony oraz procedur zapewniających integralność danych wykorzystywanych w procesach transportowych.

Przeprowadzone badania potwierdziły także potrzebę odejścia od tradycyjnego, sektorowego postrzegania bezpieczeństwa transportu materiałów wybuchowych i amunicji. Współczesne zagrożenia mają charakter wielowymiarowy i obejmują jednocześnie ryzyko techniczne, organizacyjne, terrorystyczne, cybernetyczne oraz geopolityczne. Analogiczne stanowisko przedstawiono w dokumentach NATO dotyczących odporności infrastruktury krytycznej oraz mobilności wojskowej, gdzie podkreśla się konieczność budowy zintegrowanych systemów bezpieczeństwa obejmujących zarówno sektor cywilny, jak i wojskowy [NATO 2023]. Oznacza to, że skuteczne zarządzanie bezpieczeństwem transportu materiałów wybuchowych wymaga rozwijania interoperacyjnych mechanizmów współpracy pomiędzy administracją państwową, operatorami logistycznymi, przedsiębiorstwami transportowymi oraz instytucjami odpowiedzialnymi za bezpieczeństwo narodowe. Wyniki niniejszych badań rozwijają dotychczasowy stan wiedzy poprzez kompleksowe ujęcie logistycznych i organizacyjnych determinant bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji.

W przeciwieństwie do wielu wcześniejszych opracowań koncentrujących się na wymaganiach regulacyjnych lub wybranych aspektach technicznych przeprowadzona analiza wskazuje na konieczność traktowania bezpieczeństwa jako właściwości całego systemu logistycznego, wynikającej z integracji infrastruktury, procedur, technologii oraz kompetencji uczestników procesu transportowego. Takie podejście wpisuje się we współczesne koncepcje resilient transport systems oraz integrated risk management, które coraz częściej stanowią podstawę projektowania systemów bezpieczeństwa w europejskich i natowskich łańcuchach logistycznych.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania potwierdziły, że bezpieczeństwo transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji ma charakter systemowy i wynika z wzajemnego oddziaływania determinant logistycznych, organizacyjnych, technicznych oraz informacyjnych. Osiągnięcie wysokiego poziomu bezpieczeństwa nie zależy od pojedynczych środków ochrony, lecz od skuteczności funkcjonowania całego systemu transportowego.

Największy wpływ na poziom bezpieczeństwa mają determinanty logistyczne związane z planowaniem procesu transportowego, ograniczaniem liczby operacji przeładunkowych oraz zapewnieniem ciągłości monitorowania jednostek transportowych.

Równorzędne znaczenie mają determinanty organizacyjne obejmujące podział odpowiedzialności, standaryzację procedur, jakość komunikacji i koordynację działań pomiędzy uczestnikami procesu transportowego.

Badania wykazały również rosnące znaczenie odporności systemów logistycznych oraz zdolności do funkcjonowania w warunkach zakłóceń wywołanych zagrożeniami technicznymi, terrorystycznymi, cybernetycznymi i hybrydowymi. W tym kontekście bezpieczeństwo transportu materiałów wybuchowych należy postrzegać jako integralny element odporności państwa oraz zdolności operacyjnych systemu obronnego. Uzyskane wyniki umożliwiły wypełnienie zidentyfikowanej luki badawczej poprzez opracowanie systemowej klasyfikacji logistycznych i organizacyjnych determinant bezpieczeństwa transportu intermodalnego materiałów wybuchowych i amunicji oraz określenie ich znaczenia dla funkcjonowania współczesnych łańcuchów dostaw. Stanowi to podstawę do dalszych badań empirycznych obejmujących ilościową ocenę wpływu poszczególnych determinant na poziom ryzyka transportowego oraz budowę modeli wspomagających zarządzanie bezpieczeństwem przewozów materiałów wybuchowych i amunicji.

Reasumując, należy stwierdzić, że badania miały charakter jakościowy i opierały się na analizie literatury oraz dokumentów normatywnych. Nie prowadzono badań ankietowych ani analiz statystycznych rzeczywistych zdarzeń transportowych. Uzyskane wyniki mają charakter analityczny i stanowią podstawę do dalszych badań empirycznych dotyczących oceny skuteczności rozwiązań organizacyjnych stosowanych w transporcie intermodalnym materiałów wybuchowych i amunicji.

Bibliografia

- Adamski R., 2025: Predykcja zagrożeń w transporcie intermodalnym towarów niebezpiecznych klasy 1, *Rocznik Bezpieczeństwa Morskiego* 19, 1043–1054.
- ADR, 2025: Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR), ONZ, Genewa, <https://unece.org/adr-2025-files> [dostęp: 18.02.2026].
- Chmieliński M., 2019: Bezpieczeństwo w portach morskich o podstawowym znaczeniu dla gospodarki narodowej podczas przeładunku materiałów wybuchowych, Wydawnictwo BP, Gdynia.
- Chmieliński M., 2020: Determinanty bezpieczeństwa przewozu materiałów wybuchowych i przedmiotów z materiałami wybuchowymi w portowym terminalu kontenerowym, Wydawnictwo Akademii Marynarki Wojennej, Gdynia.
- Hollnagel E., 2018: *Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management*, CRC Press, Londyn.
- IMDG, 2024: *International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code*, IMO, Londyn, <https://doi.org/10.62454/KO200E>
- ISO, 2018: *ISO 31000:2018 Risk Management – Guidelines*.
- ISO, 2022: *ISO 28000:2022 Security and Resilience – Security Management Systems – Requirements*.
- Komisja Europejska, 2022: Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej, zmieniające rozporządzenie (UE) 2021/1153 i rozporządzenie (UE) nr 913/2010 oraz uchy-

- lające rozporządzenie (UE) nr 1315/2013, https://orka.sejm.gov.pl/SUE9.nsf/Pliki-zal/COM%282022%29_384_2_PL_ACT_part1_v2.pdf [dostęp: 18.02.2026].
- Linkov I., Trump B.D., 2019: *The Science and Practice of Resilience*, Springer, Cham.
- Mindur L., 2018: Metody wspierania rozwoju transportu intermodalnego w wybranych krajach Europy w latach 1990–2016, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport* 120, 287–296.
- NATO, 2023: *NATO Logistics Handbook*, North Atlantic Treaty Organization, Bruksela.
- RID, 2025: *Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail (RID)*, United Nations, Genewa.
- Szymańska E.J., 2017: Łańcuchy dostaw na wybranych rynkach mięsa w Polsce, *Problemy Transportu i Logistyki* 3(39), 119–128.
- Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych, *Dz.U.* 2024, poz. 643.
- Wiśniewski B., 2015: *Bezpieczeństwo infrastruktury krytycznej transportu w warunkach zagrożeń*, Wydawnictwo CNBOP, Józefów.
- Załęski K., Kozuba J., Rajchel J., 2018: *Bezpieczeństwo w transporcie lotniczym: wybrane problemy*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.