

dr hab. inż. Sławomir AUGUSTYN, prof. WAT

Wojskowa Akademia Techniczna

Wydział Bezpieczeństwa, Logistyki i Zarządzania

slawomir.augustyn@wat.edu.pl

ORCID: 0000-0001-7711-5736

por. mgr inż. Przemysław SUDUŁ

18 Brygada Artylerii – Nowa Dęba

sudulprzemek@gmail.com

ORCID 0009-0007-6062-5431

mgr Krzysztof SOLECKI

Centrum Produkcji Pneumatyki CPP „PREMA” – Kielce

ksolecki@op.pl

ORCID 0009-0004-1754-4351

BEZPIECZEŃSTWO TRANSPORTÓW MATERIAŁÓW NIEBEZPIECZNYCH W LOGISTYCE WOJSKOWEJ W KONTEKŚCIE ZARZĄDZANIA DANymi I ZASTOSOWAŃ SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

SAFETY OF HAZARDOUS MATERIALS TRANSPORT IN MILITARY LOGISTICS IN THE CONTEXT OF DATA MANAGEMENT AND THE APPLICTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Streszczenie

Bezpieczeństwo transportów materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej stanowi element systemu bezpieczeństwa państwa, ponieważ obejmuje zagadnienia operacyjne, organizacyjne, prawne i informacyjne oraz wiąże się z ryzykiem o potencjalnie szerokich skutkach społecznych i środowiskowych. Celem artykułu jest analiza uwarunkowań bezpieczeństwa tych przewozów w ujęciu systemowym, ze szczególnym uwzględnieniem zarządzania danymi oraz zastosowań sztucznej inteligencji jako narzędzi wspierających ocenę ryzyka i proces decyzyjny. Rozważania osadzono w ramach regulacyjnych, wynikających z dyrektywy 2008/68/WE i reżimów ADR/RID/ADN, implementowanych w Polsce ustawą z dnia 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych, oraz w podejściu do zarządzania ryzykiem zgodnym z ISO 31000. Wykazano, że dane lokalizacyjne, planistyczne i zdarzeniowe należy traktować jako zasób bezpieczeństwa: ich kompletność, spójność, aktualność i integralność determinują skuteczność monitoringu oraz jakość decyzji w warunkach podwyższonego ryzyka. Zastosowanie metod sztucznej inteligencji umożliwia automatyczną analizę dużych zbiorów danych, wykrywanie anomalii i wsparcie predykcji zagrożeń, jednak nie eliminuje nadrzędnej roli człowieka w interpreta-

cji informacji i ponoszeniu odpowiedzialności za decyzje bezpieczeństwa. Studium przypadku oparte na macierzy ryzyka wskazuje, że najwyższe poziomy ryzyka w scenariuszu wojskowym wynikają często z przerw i niespójności danych oraz opóźnień i błędów decyzyjnych, a nie wyłącznie z awarii technicznych. Wnioski podkreślają konieczność rozwijania spójnego, rozliczalnego modelu bezpieczeństwa, w którym AI pełni funkcję wsparcia analitycznego, zintegrowanego z procedurami, obiegiem informacji i kompetencjami personelu.

Słowa kluczowe: transport materiałów niebezpiecznych; logistyka wojskowa; ADR/RID/ADN; zarządzanie danymi; sztuczna inteligencja.

Abstract

The safety of transporting dangerous goods in military logistics is an integral component of the state security system, as it encompasses operational, organizational, legal, and informational aspects and involves risks with potentially far-reaching social and environmental consequences. The aim of this article is to analyze the determinants of the safety of such transports from a systemic perspective, with particular emphasis on data management and the application of artificial intelligence as tools supporting risk assessment and decision-making processes. The analysis is embedded in the regulatory framework arising from Directive 2008/68/EC and the ADR/RID/ADN regimes, implemented in Poland by the Act of 19 August 2011 on the transport of dangerous goods, as well as in the risk management approach consistent with ISO 31000. The study demonstrates that location, planning, and event data should be treated as a safety resource, as their completeness, consistency, timeliness, and integrity determine the effectiveness of transport monitoring and the quality of safety-related decisions under conditions of elevated risk. The application of artificial intelligence methods enables the automated analysis of large data sets, anomaly detection, and support for threat prediction; however, it does not eliminate the human's primary role in interpreting information and bearing responsibility for safety decisions. A case study based on a risk matrix indicates that the highest levels of risk in a military scenario often result from data interruptions and inconsistencies, as well as from delays and decision-making errors, rather than solely from technical failures. The conclusions highlight the necessity of developing a coherent and accountable safety model in which artificial intelligence performs an analytical support function, integrated with procedures, information flows, and personnel competencies.

Keywords: transport of dangerous goods; military logistics; ADR/RID/ADN; data management; artificial intelligence.

1. Wprowadzenie

Bezpieczeństwo transportów materiałów niebezpiecznych stanowi jedno z kluczowych wyzwań współczesnej logistyki wojskowej, ponieważ łączy w sobie aspekty operacyjne, organizacyjne, prawne oraz społeczne. Przewóz tego rodzaju ładunków wiąże się z podwyższonym zagrożeniem dla życia i zdrowia ludzi, bezpieczeństwa

infrastruktury oraz środowiska, a ewentualne incydenty mogą powodować skutki wykraczające poza bezpośredni obszar działań logistycznych. W warunkach wojskowych transport materiałów niebezpiecznych należy zatem postrzegać jako element systemu bezpieczeństwa państwa, wpływający na zdolności operacyjne sił zbrojnych w czasie pokoju, kryzysu i wojny¹.

Z perspektywy nauk o bezpieczeństwie logistyka wojskowa nie ogranicza się do przemieszczania zasobów materialnych, lecz obejmuje również zarządzanie informacją oraz podejmowanie decyzji w warunkach niepewności i podwyższonego ryzyka. Jakość informacji logistycznej, jej aktualność i wiarygodność determinują trafność oceny zagrożeń oraz skuteczność działań zabezpieczających, a w przypadku transportów materiałów niebezpiecznych błędy informacyjne mogą prowadzić do eskalacji zagrożeń nawet przy formalnej zgodności z obowiązującymi procedurami².

Realizacja transportów materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej odbywa się w środowisku silnie sformalizowanym, opartym na normach, procedurach oraz standardach bezpieczeństwa. Ramy te porządkują proces transportowy i umożliwiają jego standaryzację, jednak poziom bezpieczeństwa osiąganego w praktyce zależy od ich integracji z systemem dowodzenia, obiegiem informacji oraz zdolnością organizacji do reagowania na sytuacje nieprzewidziane, wynikające ze zmienności środowiska operacyjnego³.

Postępująca cyfryzacja procesów logistycznych powoduje jednocześnie gwałtowny wzrost liczby danych generowanych na etapie planowania, realizacji i nadzoru nad transportem. Dane lokalizacyjne, planistyczne oraz zdarzeniowe tworzą podstawę budowy świadomości sytuacyjnej i oceny ryzyka, jednak ich użyteczność zależy od jakości, spójności oraz dostępności w procesie decyzyjnym. W tym kontekście rośnie znaczenie systemów monitoringu, technologii lokalizacyjnych GNSS oraz systemów informacji przestrzennej GIS, które umożliwiają bieżący nadzór nad przebiegiem transportów oraz osadzanie informacji w kontekście przestrzennym. Same technologie nie stanowią jednak gwarancji bezpieczeństwa, jeśli nie są właściwie zintegrowane z procesami analitycznymi i decyzyjnymi⁴.

W ostatnich latach coraz częściej wskazuje się na potencjał narzędzi sztucznej inteligencji jako elementu wspierającego analizę danych logistycznych, wykrywanie anomalii oraz ocenę ryzyka w systemach bezpieczeństwa. Jednocześnie w literaturze przedmiotu brakuje pogłębionych analiz systemowych, które łączyłyby uwarunkowania normatywne, zarządzanie danymi, zastosowanie sztucznej inteligencji

1 M. Pawlisiak, *Wirtualizacja w teorii i praktyce logistyki wojskowej w XXI wieku. Aspekty bezpieczeństwa logistycznego*, BEL Studio Sp. z o. o., Warszawa, 2024.

2 Ibidem.

3 R. Shilpa, V. Chavan, D. Bandil, *Report on Design and Functional Evaluation of GIS Portals*, National Institute of Advanced Studies, Bangalore, 2015, s.1-30, 137-141, 199-205.

4 M. Pawlisiak, op. cit.

oraz rolę czynnika ludzkiego w kontekście transportów materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej⁵.

Celem niniejszego artykułu jest analiza bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej z perspektywy podejścia systemowego, ze szczególnym uwzględnieniem zarządzania danymi oraz zastosowań sztucznej inteligencji jako narzędzia wspomagania decyzji. Sformułowano następujące pytania badawcze:

- W jaki sposób zarządzanie danymi wpływa na poziom bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych?
- Jaką rolę mogą odgrywać narzędzia sztucznej inteligencji w ograniczaniu zagrożeń i wspieraniu decyzji logistycznych?
- Jakie znaczenie ma czynnik ludzki i odpowiedzialność decyzyjna w systemach bezpieczeństwa opartych na danych?

Odpowiedzi na te pytania pozwolą wskazać kierunki rozwoju spójnego i rozliczalnego podejścia do bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej.

2. Bezpieczeństwo transportów materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej – uwarunkowania normatywne

Pojęcie bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych odnosi się do stanu oraz procesu zapewniania ochrony ludzi, infrastruktury, środowiska oraz ciągłości realizacji zadań transportowych przed skutkami zagrożeń wynikających z właściwości przewożonych substancji, organizacji procesu przewozu oraz warunków jego realizacji. W praktyce skuteczność tego bezpieczeństwa zależy od spójności regulacji prawnych, organizacji procesu oraz decyzji podejmowanych przez uczestników transportu, kształtowanych zarówno na etapie planowania, jak i realizacji przewozu⁶.

W odpowiedzi na transgraniczny charakter zagrożeń związanych z przewozem materiałów niebezpiecznych oraz rosnącą skalę międzynarodowego obrotu towarowego, kwestie bezpieczeństwa transportu zostały objęte regulacją na poziomie Unii Europejskiej. Celem unijnych działań regulacyjnych było ujednoczenie zasad przewozu materiałów stwarzających szczególne zagrożenie, a także ograniczenie ryzyka wynikającego z rozbieżności krajowych systemów prawnych. W tym kontekście bezpieczeństwo transportów materiałów niebezpiecznych zostało potraktowane

5 S. Augustyn, Air Transport Supported by Global Navigation Satellite System (GNSS) in the Social Security Aspect – SARS-COV-2, COVID-19 PANDAMIC, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, 2022, s.122; M. Rao, V. Ramamurthy, B. Raj, *Standards, Spatial Framework and Technologies for National GIS*, National Institute of Advanced Studies, Bangalore 2015, s. 5-53.

6 P. Jarocka, A. Łyziński, *Bezpieczeństwo w przewozie towarów niebezpiecznych*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-humaniistycznego w Siedlcach” 2015, nr 104, s. 287-291; M. Pawlisiak, op. cit.

jako zagadnienie wymagające wspólnych, ponadnarodowych ram normatywnych, zapewniających spójność i przewidywalność zasad realizacji przewozów na obszarze całej Unii Europejskiej⁷.

Podstawowym aktem prawnym Unii Europejskiej regulującym transport lądowy materiałów niebezpiecznych jest dyrektywa 2008/68/WE Parlamentu Europejskiego i Rady. Dyrektywa ta nie tworzy odrębnego systemu norm bezpieczeństwa, lecz odwołuje się bezpośrednio do uznanych konwencji międzynarodowych, uznając je za podstawę jednolitego podejścia do bezpieczeństwa transportu materiałów niebezpiecznych w państwach członkowskich⁸.

W ramach dyrektywy 2008/68/WE przyjęto założenie, że skuteczne zarządzanie bezpieczeństwem transportów materiałów niebezpiecznych wymaga oparcia się na wyspecjalizowanych i sektorowych systemach regulacyjnych. Z tego względu dyrektywa integruje trzy podstawowe reżimy: ADR, RID oraz ADN⁹.

Umowa ADR stanowi podstawowy i najpowszechniej stosowany reżim regulacyjny w zakresie transportu materiałów niebezpiecznych drogami publicznymi. ADR reguluje zarówno aspekty formalnoprawne przewozu, jak i wymagania techniczne oraz organizacyjne, których celem jest ograniczenie ryzyka zdarzeń niebezpiecznych na wszystkich etapach procesu transportowego. W ujęciu systemowym ADR należy traktować nie jako zbiór przepisów technicznych, lecz jako ramy organizujące odpowiedzialność i proces decyzyjny w zakresie bezpieczeństwa transportu. W warunkach wojskowych spełnienie tych wymagań jest dodatkowo integrowane z reżimem dowodzenia, ochroną informacji oraz procedurami nadzoru operacyjnego (np. konwojowania), co wpływa na sposób organizacji transportu i obieg danych o jego przebiegu¹⁰.

Reżim RID odnosi się do przewozu materiałów niebezpiecznych w transporcie kolejowym, który charakteryzuje się inną skalą zagrożeń oraz odmienną dynamiką operacyjną niż transport drogowy. Kolej umożliwia jednorazowy przewóz znacznych ilości substancji niebezpiecznych, co w przypadku zdarzeń niepożądanych może prowadzić do poważnych konsekwencji o charakterze systemowym. Z tego względu regulacje RID koncentrują się w dużej mierze na standaryzacji technicznej wagonów, cystern kolejowych oraz urządzeń zabezpieczających, a także na zasadach organizacji ruchu kolejowego z udziałem transportów niebezpiecznych. System RID uwzględnia również relacje pomiędzy przewoźnikami, zarządcami infrastruktury oraz podmiotami odpowiedzialnymi za nadzór, co podkreśla znaczenie koordynacji organizacyj-

7 D. Krupnik, A. Palczewska, *Bezpieczeństwo Transportu Materiałów niebezpiecznych na wybranych przykładach*, Gospodarka Materiałowa i Logistyka, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A. 2018, nr 12, s. 579-626.

8 Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/68/WE z dnia 24 Września 2008 r. w sprawie transportu lądowego towarów niebezpiecznych (Dz.U. 2008 Nr 260, poz. 13).

9 https://unece.org/transport/dangerous-goods?utm_source=chatgpt.com (dostęp: 15.02.2025).

10 Oświadczenie rządowe z dnia 6 marca 2025r. w sprawie wejścia w życie zmian do załączników A i B do umowy dotyczącej międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR), sporządzonej w Genewie dnia 30 września 1957 r. (Dz.U. 2025 poz. 642)

nej w zapewnieniu bezpieczeństwa. W porównaniu do ADR, RID w większym stopniu akcentuje stabilność warunków transportu oraz techniczne środki kontroli, przy jednoczesnym ograniczeniu elastyczności operacyjnej¹¹.

Umowa ADN reguluje przewóz materiałów niebezpiecznych śródlądowymi drogami wodnymi, uwzględniając specyfikę transportu realizowanego w środowisku naturalnym, szczególnie wrażliwym na skutki awarii. W przypadku żeglugi śródlądowej zagrożenia wynikają nie tylko z właściwości przewożonych substancji, lecz również z warunków hydrologicznych, technicznych oraz środowiskowych, które mogą wpływać na bezpieczeństwo jednostek pływających. ADN określa wymagania dotyczące konstrukcji i wyposażenia statków, kwalifikacji załóg, procedur eksploatacyjnych oraz reagowania na zdarzenia niebezpieczne. Regulacje te mają na celu minimalizację ryzyka skażenia wód śródlądowych oraz ograniczenie skutków ewentualnych incydentów dla ekosystemów i obszarów zamieszkałych. Włączenie ADN do systemu regulacyjnego Unii Europejskiej podkreśla kompleksowe podejście do bezpieczeństwa transportu materiałów niebezpiecznych, obejmujące różne gałęzie transportu w ramach jednolitych ram normatywnych¹².

Implementacja regulacji unijnych w polskim porządku prawnym została przeprowadzona w sposób systemowy poprzez ustanowienie krajowych ram prawnych umożliwiających stosowanie reżimów ADR, RID i ADN w praktyce transportowej. Kluczowym elementem tego procesu było dostosowanie przepisów krajowych do wymogów dyrektywy 2008/68/WE, co pozwoliło na zapewnienie jednolitych zasad bezpieczeństwa przewozu materiałów niebezpiecznych na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej. Centralnym aktem prawnym w tym zakresie jest Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych, która stanowi podstawowe ogniwo łączące międzynarodowe i unijne reżimy regulacyjne z krajowym systemem transportowym, nadając im moc obowiązującą oraz określając zasady ich stosowania w warunkach polskich¹³.

Zakres regulacji ustawy z 2011 r. obejmuje zarówno zasady realizacji przewozu materiałów niebezpiecznych, jak i precyzyjne określenie obowiązków uczestników procesu transportowego, w tym nadawców, przewoźników, odbiorców oraz podmiotów realizujących czynności związane z załadunkiem, rozładunkiem i pakowaniem. Ustawa wprowadza również mechanizmy nadzoru, kontroli oraz odpowiedzialności za naruszenie przepisów bezpieczeństwa, osadzając transport materiałów niebezpiecznych w strukturze odpowiedzialności organizacyjnej i decyzyjnej. W odniesieniu do logistyki wojskowej przepisy te stosowane są z uwzględnieniem specyfiki

11 Oświadczenie rządowe z dnia 5 marca 2025 r. w sprawie wejścia w życie zmian do Regulaminu międzynarodowego przewozu kolejami towarów niebezpiecznych (RID), stanowiącego załącznik C do Konwencji o międzynarodowym przewozie kolejami (COTIF) sporządzonej w Bernie dnia 9 maja 1980 r. (Dz.U. 2025 poz. 593)

12 Oświadczenie rządowe z dnia 17 maja 2025 r. w sprawie wejścia w życie zmian do Przepisów załączonych do Umowy europejskiej dotyczącej międzynarodowego przewozu śródlądowego drogami wodnymi towarów niebezpiecznych (ADN), zawartej w Genewie dnia 26 maja 2000r. (Dz.U. 2025, poz. 975).

13 <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/przewoz-towarow-niebezpiecznych> (dostęp: 08.02.2025).

zadań Sił Zbrojnych, w szczególności w zakresie przewozu paliw, środków bojowych oraz innych substancji stwarzających zagrożenie, co wymaga integracji wymogów prawnych z systemem dowodzenia, ochroną informacji oraz gotowością do działania w warunkach podwyższonego ryzyka¹⁴.

Uzupełnieniem krajowych regulacji prawnych w obszarze wojskowych przewozów materiałów niebezpiecznych są doktryny logistyczne oraz wewnętrzne akty normatywne Sił Zbrojnych, które precyzują zasady planowania, realizacji i zabezpieczenia transportów. Dokumenty te pełnią funkcję ogniwa łączącego formalne regulacje prawne z praktyką operacyjną, dostosowując ogólne wymogi bezpieczeństwa do realiów wojskowego środowiska logistycznego. Jednocześnie należy podkreślić, że wielopoziomowy i dynamicznie zmieniający się charakter regulacji prawnych powoduje konieczność ich stałej interpretacji i aktualizacji w procesie decyzyjnym. W tym kontekście systemy wspomaganie oparte na przetwarzaniu danych, w tym rozwiązania wykorzystujące sztuczną inteligencję, mogą wspierać decydentów w porządkowaniu informacji i ograniczaniu ryzyka błędów interpretacyjnych, nie przejmując jednak odpowiedzialności za decyzje bezpieczeństwa¹⁵.

3. Dane logistyczne jako czynnik ryzyka i bezpieczeństwa w transporcie materiałów niebezpiecznych

Zarządzanie danymi w logistyce wojskowej stanowi integralny element bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych. Dane logistyczne pełnią funkcję operacyjną i decyzyjną, a ich jakość, dostępność i spójność warunkują skuteczność monitoringu, ocenę ryzyka oraz zdolność reagowania w środowisku wysokiego zagrożenia. Niedoskonałości informacyjne, takie jak opóźnienia, niespójność lub brak danych, mogą prowadzić do błędnych decyzji nawet przy formalnej poprawności procedur transportowych¹⁶.

W ujęciu systemowym dane logistyczne należy traktować jako zasób bezpieczeństwa porównywalny z infrastrukturą techniczną i personelem. Informacje dotyczące lokalizacji transportu, charakterystyki ładunku, harmonogramów oraz zdarzeń operacyjnych tworzą podstawę budowy świadomości sytuacyjnej, a zakłócenia w ich przepływie stanowią jedno z głównych źródeł ryzyka systemowego w logistyce wojskowej¹⁷.

Skuteczne zarządzanie danymi wymaga ciągłej aktualizacji, walidacji oraz integracji informacji z procesami decyzyjnymi. Dane logistyczne nie mogą pełnić wyłącz-

14 Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych (Dz.U. 2011 Nr 227, poz. 1367).

15 Doktryna logistyczna Sił Zbrojnych D-4 (B) wersja 2, Centrum doktryn i szkolenia Sił zbrojnych, Bydgoszcz, 2019. Rozdział 6.

16 M. Pawlisiak, op. cit.

17 D. Krupnik, A. Pałczewska, *Bezpieczeństwo Transportu Materiałów niebezpiecznych na wybranych przykładach*, Gospodarka Materiałowa i Logistyka, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., 2018, nr 12, s. 579-626.

nie funkcji archiwalnej; powinny aktywnie wspierać działania prewencyjne oraz reagowanie na sytuacje kryzysowe w trakcie realizacji transportu. W logistyce wojskowej oznacza to konieczność utrzymania ciągłości informacyjnej nawet w warunkach zakłóceń środowiskowych, cybernetycznych lub organizacyjnych. Zarządzanie danymi należy zatem postrzegać jako proces ciągły, dynamiczny i sprzężony z systemem dowodzenia, a nie jednorazowe działanie planistyczne¹⁸.

Dla potrzeb systemu bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych wyróżnia się trzy zasadnicze kategorie danych: lokalizacyjne, planistyczne oraz zdarzeniowe. Ich łączne i skoordynowane wykorzystanie umożliwi kompleksową ocenę zagrożeń oraz bieżący nadzór nad realizacją transportu. Rozróżnienie tych kategorii ma znaczenie praktyczne, ponieważ każda z nich generuje odmienne ryzyka bezpieczeństwa i wymaga zastosowania odmiennych mechanizmów kontroli oraz analizy. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe kategorie danych logistycznych w systemie bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych.

Tab. 1. Kategorie danych logistycznych w systemie bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych

Kategoria danych	Przykłady	Znaczenie dla bezpieczeństwa
Dane lokalizacyjne	Pozycja GNSS, prędkość, kierunek ruchu	Nadzór w czasie zbliżonym do rzeczywistego, wykrywanie odchyłeń
Dane planistyczne	Trasa, harmonogram, klasa ADR/RID/ADN, zabezpieczenia	Ocena ryzyka przed realizacją transportu
Dane zdarzeniowe	Alarmy, postoje, naruszenia procedur	Wczesne wykrywanie zagrożeń i incydentów

Źródło: Opracowanie własne.

Dane lokalizacyjne, pozyskiwane z systemów GNSS, stanowią fundament monitoringu przemieszczeń. Ich znaczenie dla bezpieczeństwa ujawnia się w pełni dopiero po integracji z danymi planistycznymi, które określają dopuszczalne warunki realizacji transportu, oraz z danymi zdarzeniowymi, sygnalizującymi odchylenia od normy. W warunkach wojskowych szczególne zagrożenie stanowią przerwy w dostępności danych lokalizacyjnych, zakłócenia sygnałów satelitarnych oraz opóźnienia transmisji, które mogą prowadzić do utraty świadomości sytuacyjnej decydentów. Brak integracji danych skutkuje fragmentaryzacją obrazu sytuacji i ograniczeniem zdolności reagowania systemu bezpieczeństwa¹⁹.

¹⁸ <https://unece.org/adr-2025-files> (dostęp: 02.02.2025).

¹⁹ S. Augustyn, Air Transport Supported by Global Navigation Satellite System (GNSS) in the Social Security Aspect – SARS-COV-2, COVID-19 PANDAMIC, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, 2022, s. 122.

Zapewnienie odpowiedniej jakości danych stanowi warunek konieczny skutecznego zarządzania bezpieczeństwem transportów materiałów niebezpiecznych. Jakość danych obejmuje ich kompletność, aktualność, spójność oraz wiarygodność. Dane niepełne, opóźnione lub niespójne prowadzą do błędnej oceny sytuacji oraz decyzji obarczonych podwyższonym poziomem zagrożeń. Zjawisko to można określić mianem ryzyka informacyjnego, które stanowi odrębną kategorię ryzyka systemowego w logistyce wojskowej²⁰.

Na potrzeby analizy bezpieczeństwa przyjęto uproszczone ujęcie ryzyka informacyjnego jako funkcji prawdopodobieństwa wystąpienia błędu danych oraz jego skutku dla bezpieczeństwa transportu²¹:

$$R_i = P_i \times S_i \quad (1)$$

gdzie:

R_i – ryzyko informacyjne,

P_i – prawdopodobieństwo wystąpienia błędu danych,

S_i – skutek błędu dla bezpieczeństwa transportu.

Model ten ma charakter analityczny i porównawczy, a jego celem jest uwzględnienie jakości danych w procesie oceny ryzyka, a nie precyzyjna predykcja zdarzeń niepożądanych. Umożliwia on porównywanie wariantów organizacyjnych systemu monitoringu pod kątem ich wpływu na bezpieczeństwo transportów materiałów niebezpiecznych. Wartości P_i i S_i powinny być w praktyce szacowane w sposób uporządkowany (np. na podstawie danych historycznych, rejestrów zdarzeń, audytów jakości danych oraz oceny eksperckiej), przy czym kluczowe znaczenie ma zachowanie spójnych kryteriów oceny pomiędzy porównywanymi wariantami.

Zarządzanie danymi w systemie bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych obejmuje również bezpieczeństwo informacji. Integralność danych, ich dostępność dla uprawnionych użytkowników oraz możliwość odtworzenia przebiegu zdarzeń i decyzji stanowią podstawowe warunki zaufania do systemu monitoringu. Brak przejrzystości przepływu informacji oraz niejednoznaczny podział odpowiedzialności decyzyjnej zwiększają podatność systemu logistycznego na błędy o charakterze organizacyjnym i decyzyjnym²².

W logistyce wojskowej możliwość odtworzenia przebiegu zdarzeń i decyzji umożliwia analizę incydentów, ocenę skuteczności procedur oraz doskonalenie przygotowania personelu. Dane logistyczne wspierają zatem nie tylko bieżące decyzje operacyjne, lecz również proces uczenia się systemu bezpieczeństwa. Rosnąca liczba

20 E. Szwarz, M. Kopczeński, *Informatyczne wsparcie bezpieczeństwa w transporcie*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2017, nr 61, s. 37-51.

21 ISO 31000:2018, Risk management – Guidelines, ISO, Genewa, 2018.

22 <https://www.oecd.org/en/topics/resource-efficiency-and-circular-economy.html> (dostęp: 08.02.2025).

i złożoność danych generowanych w procesach logistycznych powoduje jednak, że ich manualna analiza staje się coraz mniej efektywna, co uzasadnia zastosowanie narzędzi analitycznych, opartych na automatycznym przetwarzaniu informacji. Tak ukształtowany system zarządzania danymi stanowi bezpośrednie zaplecze dla zastosowania metod sztucznej inteligencji, których rola w zwiększaniu bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych zostanie omówiona w kolejnym rozdziale.

4. Rola sztucznej inteligencji w zwiększaniu bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych

Sztuczna inteligencja stanowi zbiór metod i narzędzi informatycznych umożliwiających systemom technicznym wykonywanie zadań wymagających zdolności poznawczych, takich jak analiza danych, rozpoznawanie wzorców, uczenie się na podstawie doświadczeń oraz formułowanie prognoz. W literaturze przedmiotu pojęcie to odnosi się nie do pojedynczej technologii, lecz do szerokiej klasy rozwiązań obejmujących algorytmy uczenia maszynowego, systemy eksperckie, metody analizy predykcyjnej oraz automatycznego wnioskowania. W kontekście logistyki wojskowej sztuczna inteligencja funkcjonuje jako narzędzie analityczne osadzone w systemach informacyjnych, którego celem jest zwiększenie zdolności systemu do identyfikacji zagrożeń i oceny ryzyka w warunkach wysokiej złożoności oraz niepewności operacyjnej²³.

Z perspektywy bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych sztuczną inteligencję należy postrzegać jako warstwę analityczną wspierającą przetwarzanie danych logistycznych, działającą ponad klasycznymi systemami monitoringu i ewidencji. Jej rola polega na identyfikacji wzorców i odchyleń mogących wskazywać na wzrost poziomu ryzyka, przy czym systemy oparte na AI nie zastępują procesu decyzyjnego, lecz dostarczają informacji o znaczeniu operacyjnym²⁴.

Funkcjonalnie sztuczna inteligencja może pełnić w systemie bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych trzy zasadnicze role: analityczną, predykcyjną oraz wspierającą planowanie. Funkcja analityczna obejmuje bieżące przetwarzanie danych i identyfikację odchyleń od zakładanych parametrów realizacji transportu. Funkcja predykcyjna polega na estymacji prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń niepożądanych w określonych warunkach operacyjnych. Z kolei funkcja planistyczna umożliwi porównywanie wariantów organizacyjnych transportu pod kątem poziomu ryzyka, co sprzyja wyborowi rozwiązań zwiększających bezpieczeństwo realizacji przewozu²⁵.

²³ ISO/IEC 23894:2023 Information technology – Artificial Intelligence – Guidance on risk management, Genewa, 2023.

²⁴ E. Szwarc, M. Kopczewski, op. cit., s. 37-51; <https://www.oecd.org/en/topics/policy-issues/artificial-intelligence.html> (dostęp: 09.02.2025).

²⁵ Brynjolfsson E., Mitchell T., What Can Machine Learning Do? Workforce implications, SIENCE, AAAS New York, 2017 s. 1530-1535; Association mondiale de la Route, Safety in Tunnels Transport of Dangerous Goods Through Road Tunnels, OECD, 2001, France, s. 1-90.

Wpływ sztucznej inteligencji na bezpieczeństwo transportów materiałów niebezpiecznych przejawia się przede wszystkim w skróceniu czasu identyfikacji zagrożeń oraz rozszerzeniu zakresu analizowanych czynników ryzyka. Umożliwia to przejście od podejścia reaktywnego do proaktywnego, przy jednoczesnym zachowaniu nadrzędnej roli człowieka w ocenie sytuacji i podejmowaniu decyzji²⁶.

Praktyczne zastosowania sztucznej inteligencji w obszarze transportu materiałów niebezpiecznych obejmują m.in. systemy predykcji zdarzeń drogowych, inteligentne systemy monitoringu konwojów oraz narzędzia wspomagające planowanie tras z uwzględnieniem poziomu zagrożeń, takich jak charakterystyka infrastruktury, natężenie ruchu czy warunki środowiskowe. Przykładem są rozwiązania rozwijane w ramach projektów NATO, w których algorytmy analityczne wykorzystywane są do oceny bezpieczeństwa przewozu paliw i amunicji, wspierania decyzji dotyczących organizacji konwojów oraz wczesnego wykrywania sytuacji odbiegających od założeń planistycznych w środowiskach o podwyższonym poziomie ryzyka operacyjnego. Warunkiem ich użyteczności jest jednak walidacja modeli na danych reprezentatywnych dla środowiska operacyjnego oraz uwzględnienie ograniczeń wynikających z jakości danych, zakłóceń transmisji i zmienności warunków realizacji transportu. Doświadczenia te wskazują, że skuteczność sztucznej inteligencji wynika z jej zdolności do przetwarzania informacji w skali i tempie niedostępnym dla tradycyjnych metod analitycznych²⁷.

Tab. 2. Syntetyczne zestawienie ról sztucznej inteligencji i człowieka w systemie bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych

Obszar systemu	Funkcja AI	Rola człowieka
Monitoring transportu	Analiza danych, wykrywanie anomalii	Ocena sytuacji
Ocena ryzyka	Estymacja prawdopodobieństwa	Określenie skutków i decyzja
Reagowanie	Generowanie rekomendacji	Uruchamianie procedur

Źródło: Opracowanie własne.

Zastosowanie sztucznej inteligencji w systemach bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych prowadzi do zmiany sposobu postrzegania ryzyka oraz charakteru działań zabezpieczających. Dzięki zdolności do ciągłej analizy danych, identyfikacji wzorców oraz prognozowania potencjalnych zagrożeń rozwiązania oparte na sztucznej inteligencji umożliwiają przejście od podejścia opartego wyłącz-

26 ISO 31000:2018, Risk management – Guidelines, ISO, Genewa, 2018.

27 European Commission, Ethics Guidelines for Trustworthy Artificial Intelligence, Brussels 2019, s. 17–25; <https://www.securitymagazine.pl/a/jest-nowa-strategia-nato-dotyczaca-ai> (dostęp: 10.02.2025).

nie na reagowaniu do podejścia proaktywnego, ukierunkowanego na wcześniejsze rozpoznanie sytuacji niebezpiecznych. Jednocześnie należy podkreślić, że systemy te nie zastępują procesu decyzyjnego, lecz stanowią jego wsparcie analityczne. W tym ujęciu sztuczna inteligencja nie stanowi odrębnego elementu systemu bezpieczeństwa, lecz narzędzie wzmacniające jego zdolności analityczne i predykcyjne, którego skuteczność zależy od sposobu integracji z procesami decyzyjnymi oraz organizacyjnymi²⁸.

5. Człowiek w systemie bezpieczeństwa: decyzja, odpowiedzialność i rozliczalność

Bezpieczeństwo transportów materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej pozostaje zjawiskiem antropocentrycznym, w którym człowiek odgrywa kluczową rolę w interpretacji informacji, ocenie ryzyka oraz podejmowaniu decyzji operacyjnych. Skuteczność systemów technicznych i analitycznych jest uzależniona od kompetencji decydentów oraz ich zdolności do krytycznej oceny danych²⁹.

Z perspektywy systemowej człowiek jest jednocześnie gwarantem bezpieczeństwa i potencjalnym źródłem ryzyka systemowego. Błędy decyzyjne, niewłaściwa interpretacja danych oraz zaniedbania proceduralne stanowią jedną z głównych przyczyn incydentów, co uzasadnia konieczność świadomego projektowania procesów decyzyjnych i mechanizmów rozliczalności³⁰.

W kontekście transportów materiałów niebezpiecznych szczególnego znaczenia nabiera relacja pomiędzy informacją a decyzją, ponieważ dane generowane przez systemy monitoringu, planowania i analizy ryzyka nie posiadają autonomicznej wartości bezpieczeństwa. Ich znaczenie ujawnia się dopiero w procesie interpretacji dokonywanej przez decydenta. Nadmiar informacji, ich niespójność lub fragmentaryczność mogą prowadzić do przeciążenia informacyjnego, które obniża zdolności analityczne oraz sprzyja podejmowaniu decyzji intuicyjnych, a nie opartych na racjonalnej ocenie ryzyka. Zjawisko to jest dobrze opisane w badaniach nad bezpieczeństwem informacyjnym organizacji, gdzie wskazuje się, że przeciążenie informacyjne zwiększa podatność na błędy decyzyjne w systemach wysokiego ryzyka³¹.

Istotnym elementem systemu bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych jest rozliczalność procesu decyzyjnego, rozumiana jako możliwość odtworzenia przebiegu decyzji wraz z analizą danych wejściowych, zastosowanych procesów

28 J. Konopko, K. Koy, *Sztuczna inteligencja w monitorowaniu bezpieczeństwa przewozu materiałów niebezpiecznych*, Zeszyty Studenckie, „Nasze Studia” 2025, nr 15, s. 46-55.

29 A. Gembalska-Kwiecień, *Czynnik ludzki w zarządzaniu bezpieczeństwem pracy w przedsiębiorstwie: wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2017, s. 9-26; ISO 31000:2018, Risk management – Guidelines, ISO, Geneva, 2018.

30 D. Krupnik, A. Palczewska, op. cit.; A. Gembalska-Kwiecień, *Czynnik ludzki w zarządzaniu bezpieczeństwem pracy w przedsiębiorstwie: wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2017, s. 9-26.

31 European Commission, *Ethics Guidelines for Trustworthy Artificial Intelligence*, Brussels 2019, s. 17–25; A. Gembalska-Kwiecień, op. cit., s. 9-26.

dur oraz podjętych działań operacyjnych. Rozliczalność ta pełni funkcję nie tylko kontrolną, lecz również uczącą, umożliwiając identyfikację błędów, ocenę skuteczności procedur oraz doskonalenie przygotowania personelu. W logistyce wojskowej, gdzie skutki decyzji mogą wykraczać poza wymiar organizacyjny i obejmować bezpieczeństwo publiczne oraz środowiskowe, brak przejrzystości decyzyjnej zwiększa ryzyko systemowe i ogranicza zdolność organizacji do uczenia się na podstawie doświadczeń operacyjnych³².

Standardowe procedury operacyjne stanowią formalne ramy działania decydentów w systemie bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych, jednak nie eliminują konieczności samodzielnej oceny sytuacyjnej przez człowieka. Procedury te projektowane są na podstawie scenariuszy typowych i przewidywalnych, podczas gdy rzeczywiste warunki operacyjne charakteryzują się zmiennością, niepewnością i presją czasu. W sytuacjach niestandardowych to doświadczenie, wiedza ekspercka oraz przygotowanie szkoleniowe decydenta przesądza o skuteczności reakcji, co potwierdzają badania nad bezpieczeństwem systemów socjotechnicznych³³.

Z perspektywy długookresowej rola człowieka w systemie bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych nie ulega marginalizacji wraz z rozwojem technologii, lecz podlega redefinicji. Rozwój systemów informacyjnych i narzędzi analitycznych zwiększa zakres informacji dostępnych dla decydenta, jednocześnie podnosząc wymagania w zakresie kompetencji analitycznych, odpowiedzialności oraz świadomości skutków podejmowanych decyzji. Człowiek staje się w tym ujęciu ogniwem integrującym dane, technologie i procedury w spójny proces decyzyjny, odpowiadając za ocenę ryzyka oraz konsekwencji działań w obszarze bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych.

6. Studium przypadku: monitoring transportu materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej

Celem niniejszego studium przypadku jest przedstawienie praktycznego zastosowania systemowego i normatywnego podejścia do bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej, ze szczególnym uwzględnieniem roli danych, wsparcia analitycznego oraz czynnika ludzkiego w procesie decyzyjnym. Studium ma charakter scenariuszowy i nie odnosi się do konkretnego zdarzenia rzeczywistego, co pozwala na zachowanie poufności informacji oraz skon-

32 https://kkceurope.com/en/consulting-and-analysis/?utm_source=google&utm_medium=cpc&gads_source=1&gad_campaignid=23050763700&gclid=0AAAAA0NEFMTR_IELCPFQVTXEFU3w8JZgr&gclid=CjwKCAIAzOXMBhASEiwAe145aUjd8d6oyubUtmYVkeINISALYuv7a195hTcvt1UE2IFo-o35NGBOFBoCID0QAvD_BwE (dostęp: 12.02.2025); Association mondiale de la Route, Safety in Tunnels Transport of Dangerous Goods Through Road Tunnels, OECD, 2001, France, s. 60-72.

33 E. Szwarc, M. Kopczewski, op. cit., s. 37-51.

centrowanie analizy na mechanizmach funkcjonowania systemu bezpieczeństwa. Przyjęta forma umożliwia ocenę logiki działania systemu bez ujawniania danych wrażliwych. Zastosowanie podejścia scenariuszowego pozwala na analizę zależności pomiędzy elementami systemu bezpieczeństwa w sposób uporządkowany i porównywalny, co jest szczególnie istotne w badaniach nad złożonymi systemami logistycznymi o charakterze wojskowym. Studium przypadku pełni funkcję ilustracyjną i weryfikacyjną wobec tez sformułowanych w poprzednich rozdziałach, a nie rolę badania empirycznego w sensie statystycznym.

Rozpatrywany scenariusz dotyczy transportu drogowego materiałów niebezpiecznych, realizowanego na potrzeby logistyki wojskowej na terytorium państwa. Przewóz odbywa się zgodnie z wymaganiami ADR oraz wewnętrznymi procedurami wojskowymi, przy zachowaniu podwyższonych standardów ochrony informacji i nadzoru operacyjnego. Transport realizowany jest w warunkach operacyjnie rutynowych, jednak z uwzględnieniem potencjalnych zagrożeń wynikających z charakteru przewożonego ładunku oraz uwarunkowań organizacyjnych i informacyjnych. Takie ujęcie odzwierciedla rzeczywiste warunki funkcjonowania wojskowych systemów logistycznych, w których nawet zadania rutynowe realizowane są w środowisku podwyższonej odpowiedzialności i ograniczonej tolerancji na błędy. Decyzje operacyjne w scenariuszu podejmowane są przez uprawniony element systemu dowodzenia lub komórkę logistyczną odpowiedzialną za nadzór nad realizacją transportu.

System bezpieczeństwa obejmuje monitorowanie lokalizacji pojazdu, kontrolę zgodności przebiegu trasy z planem, nadzór nad czasem realizacji transportu oraz rejestrowanie zdarzeń operacyjnych. Dane te są integrowane w centralnym systemie informacyjnym, który wspiera ocenę ryzyka oraz umożliwia reagowanie na odchylenia od zaplanowanego przebiegu transportu. Integracja danych w jednym środowisku informacyjnym umożliwia przejście od fragmentarycznego nadzoru do spójnej oceny bezpieczeństwa transportu jako procesu ciągłego.

W analizowanym scenariuszu wykorzystywane są dane lokalizacyjne, planistyczne oraz zdarzeniowe, zgodnie z podejściem przedstawionym w rozdziale trzecim. Dane lokalizacyjne umożliwiają bieżący nadzór nad pozycją i ruchem pojazdu, dane planistyczne określają dopuszczalne warunki realizacji transportu, natomiast dane zdarzeniowe rejestrują sytuacje odbiegające od normy. Ich integracja pozwala na budowę aktualnej świadomości sytuacyjnej oraz identyfikację potencjalnych zagrożeń na wczesnym etapie realizacji zadania transportowego³⁴.

Szczególne znaczenie ma jakość i ciągłość danych. Przerwy w monitoringu, opóźnienia w transmisji informacji lub niespójności pomiędzy danymi planistycznymi a lokalizacyjnymi prowadzą do wzrostu ryzyka informacyjnego, które może skutko-

³⁴ E. Szwarz, M. Kopczeński, op. cit., s. 37-51.

wać błędną oceną sytuacji i niewłaściwymi decyzjami bezpieczeństwa. Ryzyko informacyjne w tym ujęciu staje się samodzielnym źródłem zagrożeń systemowych, niezależnym od stanu technicznego środków transportu³⁵.

Ocena ryzyka w systemie bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych wymaga przyjęcia jednoznacznych i jawnych kryteriów, umożliwiających porównywalność analiz oraz przejrzystość procesu decyzyjnego. W niniejszym studium przypadku zastosowano podejście normatywne zgodne z ISO 31000, w którym ryzyko rozumiane jest jako kombinacja prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niepożądanego oraz skali jego skutków. Norma ISO 31000 została wykorzystana jako uniwersalne narzędzie strukturyzujące proces oceny ryzyka, umożliwiające jego adaptację do specyfiki środowiska wojskowego, bez narzucania sztywnych rozwiązań operacyjnych.

Przyjęto pięciostopniową skalę prawdopodobieństwa (P), odzwierciedlającą częstość występowania danego zdarzenia na podstawie danych historycznych, obserwacji operacyjnych oraz wiedzy eksperckiej, oraz pięciostopniową skalę skutków (S), opisującą potencjalne konsekwencje zdarzenia dla bezpieczeństwa ludzi, infrastruktury, środowiska oraz ciągłości realizacji zadań logistycznych. Wartości przypisane w macierzy ryzyka mają w studium charakter scenariuszowy i porównawczy (ekspertki), służą przede wszystkim identyfikacji obszarów wrażliwych systemu monitoringu, a nie odtworzeniu statystycznej częstości zdarzeń w ujęciu empirycznym.

Na podstawie przyjętych skal możliwe jest określenie poziomu ryzyka jako uproszczonego iloczynu wartości P i S. Uzyskana wartość ryzyka pełni funkcję porównawczą i decyzyjną, umożliwiając hierarchizację działań bezpieczeństwa oraz identyfikację obszarów wymagających interwencji decydenta. Dla potrzeb interpretacji wyników zastosowano czterostopniową klasyfikację poziomu ryzyka: niskie (akceptowalne), średnie (wymagające monitoringu), wysokie (wymagające interwencji) oraz krytyczne (niedopuszczalne).

Tab. 3. Skala prawdopodobieństwa (P) oraz skutków (S)

Prawdopodobieństwo (P)	
Wartość	Opis
1	Bardzo niskie (incydent sporadyczny)
2	Niskie (możliwe, lecz mało prawdopodobne)
3	Średnie (występuje okresowo)
4	Wysokie (występuje często)
5	Bardzo wysokie (niemal pewne)

35 R. Kopczeński, G. Nowacki, *Wykorzystanie inteligentnych systemów transportowych do monitorowania pojazdów przewożących towary niebezpieczne*, *Autobusy: technika, eksploatacja*, „Systemy Transportowe” 2019, t. 20, s. 64-73.

Skutek (S)	
Wartość	Opis
1	Nieznacznym (brak wpływu na bezpieczeństwo)
2	Umiarkowany (lokalne zakłócenia)
3	Istotny (czasowe zagrożenia bezpieczeństwa)
4	Poważny (zagrożenie ludzi/infrastruktury)
5	Krytyczny (poważne konsekwencje operacyjne i społeczne)

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 4. Rozszerzona macierz ryzyka w systemie monitoringu transportu materiałów niebezpiecznych (scenariusz wojskowy)

Zdarzenie niepożądane	P	S	R=P x S	Interpretacja systemowa	Rekomendowane działanie
Krótkotrwała utrata sygnału GNSS	2	2	4	Niskie ryzyko informacyjne	Monitoring ciągłości danych
Długotrwała utrata danych lokalizacyjnych	3	4	12	Utrata świadomości sytuacyjnej	Interwencja decydena
Nieplanowany postój pojazdu	3	3	9	Ryzyko operacyjne umiarkowane	Analiza kontekstu
Odchylenie od zaplanowanej trasy	3	4	12	Ryzyko bezpieczeństwa podwyższone	Natychmiastowa analiza
Niespójność danych planistycznych i lokalizacyjnych	2	4	8	Ryzyko błędów decyzyjnych	Weryfikacja danych
Brak danych zdarzeniowych	2	5	10	Ryzyko systemowe wysokie	Eskalacja proceduralna
Opóźnienie reakcji decyzyjnej	2	5	10	Ryzyko organizacyjne	Analiza procedur
Błędna interpretacja danych	2	4	8	Ryzyko czynnika ludzkiego	Szkolenie

Źródło: opracowanie własne na podstawie ISO 31000:2018.

Tab. 5. Klasyfikacja poziomu ryzyka (R)

Wartość R	Poziom ryzyka	Znaczenie organizacyjne
1-5	Niski	Akceptowane, monitoring
6-10	Średni	Wymaga analizy i nadzoru
11-15	Wysoki	Wymagania interwencji decydenta
16-25	Krytyczny	Niedopuszczalne, działania natychmiastowe

Źródło: Opracowanie własne na podstawie ISO 31000:2018

Analiza macierzy ryzyka wskazuje, że najwyższe poziomy ryzyka w analizowanym scenariuszu nie są wyłącznie konsekwencją awarii technicznych, lecz często wynikają z problemów informacyjnych i decyzyjnych. Potwierdza to systemowy charakter bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych oraz znaczenie jakości danych i kompetencji decydentów. Oznacza to, że doskonalenie systemów bezpieczeństwa powinno koncentrować się nie tylko na modernizacji środków technicznych, lecz również na usprawnieniu obiegu informacji i wsparciu procesu decyzyjnego. Wyniki macierzy należy interpretować jako narzędzie priorytetyzacji działań (gdzie wzmacniać monitoring, procedury i kompetencje), a nie jako miarę absolutną ryzyka oderwaną od kontekstu organizacyjnego i środowiskowego.

W analizowanym scenariuszu system analityczny, wspierany narzędziami sztucznej inteligencji, przetwarza dane i identyfikuje zdarzenia odbiegające od normy. System ten nie podejmuje decyzji automatycznie, lecz generuje sygnały ostrzegawcze i rekomendacje, które stanowią podstawę do oceny sytuacji przez decydenta. Człowiek analizuje kontekst operacyjny, uwzględnia dostępne informacje dodatkowe oraz podejmuje decyzję o dalszych działaniach, zachowując pełną odpowiedzialność za ich konsekwencje. Takie rozwiązanie zwiększa odporność systemu bezpieczeństwa na błędy automatyczne oraz ogranicza ryzyko niekontrolowanej eskalacji decyzji³⁶.

Przedstawione studium przypadku potwierdza, że bezpieczeństwo transportów materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej jest wynikiem współdziałania danych, narzędzi analitycznych oraz czynnika ludzkiego. Rozszerzona macierz ryzyka umożliwia identyfikację kluczowych zagrożeń oraz hierarchizację działań bezpieczeństwa, jednak nie zastępuje odpowiedzialnego procesu decyzyjnego. Sztuczna inteligencja wzmacnia system bezpieczeństwa poprzez wsparcie analizy ryzyka i wczesne wykrywanie zagrożeń, natomiast odpowiedzialność za decyzje bezpieczeństwa pozostaje po stronie człowieka. Studium przypadku potwierdza zasadność podejścia systemowego, w którym technologia, dane i decyzje tworzą wzajemnie

³⁶ European Commission, *Ethics Guidelines for Trustworthy Artificial Intelligence*, Brussels 2019, s. 17–25.

zależny układ warunkujący poziom bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych.

7. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przeprowadzona analiza potwierdza, że bezpieczeństwo transportów materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej powinno być projektowane i oceniane w ujęciu systemowym, integrującym regulacje prawne, zarządzanie danymi, narzędzia analityczne oraz czynnik ludzki. Osiągany poziom bezpieczeństwa nie jest determinowany przez pojedyncze rozwiązania techniczne, lecz przez spójność, dojrzałość oraz zdolność adaptacyjną całego systemu decyzyjnego, funkcjonującego w warunkach podwyższonego ryzyka.

Cel artykułu został osiągnięty poprzez wieloaspektową analizę bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej, ze szczególnym uwzględnieniem roli zarządzania danymi oraz zastosowań sztucznej inteligencji. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że sposób gromadzenia, przetwarzania i wykorzystywania danych logistycznych w istotnym stopniu determinuje poziom bezpieczeństwa realizowanych transportów. Dane lokalizacyjne, planistyczne i zdarzeniowe, traktowane jako zasób bezpieczeństwa, umożliwiają budowę świadomości sytuacyjnej, wczesną identyfikację zagrożeń oraz ograniczanie ryzyka informacyjnego, które w warunkach wojskowych stanowi istotne źródło zagrożeń systemowych.

Analiza wykazała również, że narzędzia sztucznej inteligencji mogą odgrywać istotną rolę w ograniczaniu zagrożeń oraz wspieraniu decyzji logistycznych, zwłaszcza w obszarze analizy dużych wolumenów danych, wykrywania anomalii oraz predykcji potencjalnych zdarzeń niepożądanych. Zastosowanie metod sztucznej inteligencji sprzyja przejściu od podejścia reaktywnego do podejścia predykcyjnego w zarządzaniu bezpieczeństwem transportów materiałów niebezpiecznych. Jednocześnie podkreślić należy, że skuteczność tych rozwiązań nie wynika z autonomii systemów analitycznych, lecz z ich właściwej integracji z procesami decyzyjnymi i organizacyjnymi.

Rozważania potwierdziły także kluczowe znaczenie czynnika ludzkiego oraz odpowiedzialności decyzyjnej w systemach bezpieczeństwa opartych na danych. Pomimo rosnącego stopnia automatyzacji i cyfryzacji procesów logistycznych, człowiek pozostaje centralnym podmiotem odpowiedzialnym za interpretację informacji, ocenę ryzyka oraz podejmowanie decyzji o charakterze bezpieczeństwa. Nadmierne zaufanie do wyników generowanych przez systemy analityczne oraz brak przejrzystości procesu decyzyjnego mogą prowadzić do osłabienia kontroli nad ryzykiem

oraz rozmycia odpowiedzialności, co w przypadku transportów materiałów niebezpiecznych stanowi zjawisko szczególnie niepożądane.

W tym kontekście sztuczną inteligencję należy postrzegać nie jako autonomiczny gwarant bezpieczeństwa, lecz jako narzędzie wzmacniające zdolności analityczne systemu bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych. Jej efektywność pozostaje pochodną jakości i kompletności danych, dojrzałości organizacyjnej systemu logistycznego oraz kompetencji decydentów odpowiedzialnych za wykorzystanie wyników analiz. Szczególnego znaczenia nabiera przy tym zapewnienie rozliczalności procesu decyzyjnego, rozumianej jako możliwość odtworzenia przebiegu decyzji bezpieczeństwa, co warunkuje zarówno kontrolę działań, jak i zdolność organizacji do uczenia się na podstawie doświadczeń operacyjnych.

Na podstawie przeprowadzonych analiz sformułowano następujące wnioski i rekomendacje o charakterze systemowym:

1. Bezpieczeństwo transportów materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej wymaga podejścia systemowego, integrującego regulacje prawne, zarządzanie danymi, narzędzia analityczne oraz czynnik ludzki w jeden spójny mechanizm bezpieczeństwa.
2. Zarządzanie danymi logistycznymi powinno być traktowane jako kluczowy element architektury bezpieczeństwa, ze szczególnym uwzględnieniem jakości, ciągłości, spójności i integralności informacji.
3. Zastosowanie sztucznej inteligencji powinno mieć charakter wspomagania procesu decyzyjnego, a nie jego automatyzacji, zwłaszcza w obszarach obciążonych wysokim poziomem ryzyka operacyjnego.
4. Niezbędne jest zapewnienie przejrzystości i rozliczalności procesów decyzyjnych, w tym możliwości audytu i odtworzenia przebiegu decyzji podejmowanych na podstawie danych.
5. Istotnym kierunkiem doskonalenia systemu bezpieczeństwa pozostaje rozwój kompetencji personelu logistycznego, ukierunkowany na interpretację danych, krytyczną ocenę rekomendacji systemów analitycznych oraz podejmowanie decyzji w warunkach niepewności.

Zastosowanie powyższych wniosków i rekomendacji może przyczynić się do zwiększenia poziomu bezpieczeństwa transportów materiałów niebezpiecznych w logistyce wojskowej oraz lepszego przygotowania systemu logistycznego na wyzwania wynikające z postępującej cyfryzacji procesów, rosnącej złożoności środowiska operacyjnego oraz dynamicznie zmieniających się uwarunkowań bezpieczeństwa.

Bibliografia

Literatura

Gembalska-Kwiecień A., *Czynnik ludzki w zarządzaniu bezpieczeństwem pracy w przedsiębiorstwie: wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2017.

Association mondiale de la Route, *Safety in Tunnels Transport of Dangerous Goods Through Road Tunnels*, OECD, France, 2001.

Brynjolfsson E., Mitchell T., *What Can Machine Learning Do? Workforce implications*, SIENCE, AAAS New York, 2017.

Krupnik D., Palczewska A., *Bezpieczeństwo Transportu Materiałów niebezpiecznych na wybranych przykładach*, Gospodarka Materiałowa i Logistyka, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., Warszawa 2018.

Szwarc E., Kopczeński M., *Informatyczne wsparcie bezpieczeństwa w transporcie*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2017, nr 61.

European Commission, *Ethics Guidelines for Trustworthy Artificial Intelligence*, Brussels 2019.

Konopko J., Koy K., *Sztuczna inteligencja w monitorowaniu bezpieczeństwa przewozu materiałów niebezpiecznych*, Zeszyty Studenckie „Nasze Studia” 2025.

Pawliś M., *Wirtualizacja w teorii i praktyce logistyki wojskowej w XXI wieku. Aspekty bezpieczeństwa logistycznego*, BEL Studio Sp. z o. o., Warszawa 2024.

Rao M., Ramamurthy V., Raj B., *Standards, Spatial Framework and Technologies for National GIS*, National Institute of Advanced Studies, Bangalore, 2015.

Jarocka P., Łyziński A., *Bezpieczeństwo w przewozie towarów niebezpiecznych*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach”, 2015, nr 104.

Kopczeński R., Nowacki G., *Wykorzystanie inteligentnych systemów transportowych do monitorowania pojazdów przewożących towary niebezpieczne*, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Warszawa 2019.

Shilpa R., Chavan V., Bandil D., *Report on Design and Functional Evaluation of GIS Portals*, National Institute of Advanced Studies, Bangalore, 2015.

Augustyn S., *Air Transport Supported by Global Navigation Satellite System (GNSS) in the Social Security Aspect – SARS-COV-2, COVID-19 PANDAMIC*, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, 2022,

Augustyn S., *Global Navigation Satellite System (GNSS) for Efficiency of Air Transport in the Cybersecurity Domain*, Polska Akademia Nauk, Warszawa 2023.

Źródła prawa i norm

ADR 2025 – Umowa o międzynarodowym przewozie drogowym towarów niebezpiecznych, UNECE, 2025, Genewa, t. 1-2.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/68/WE z dnia 24 Września 2008 r. w sprawie transportu lądowego towarów niebezpiecznych (Dz.U. 2008 Nr 260, poz. 13).

ISO 31000:2018, Risk management – Guidelines, ISO, Genewa 2018.

ISO/IEC 23894:2023 Information technology – Artificial intelligence – Guidance on risk management, Genewa 2023.

Oświadczenie rządowe z dnia 17 maja 2025 r. w sprawie wejścia w życie zmian do Przepisów załączonych do Umowy europejskiej dotyczącej międzynarodowego przewozu śródlądowego drogami wodnymi towarów niebezpiecznych (ADN), zawartej w Genewie dnia 26 maja 2000r. (Dz.U. 2025, poz. 975).

Oświadczenie rządowe z dnia 5 marca 2025 r. w sprawie wejścia w życie zmian do Regulaminu międzynarodowego przewozu kolejami towarów niebezpiecznych (RID), stanowiącego załącznik C do Konwencji o międzynarodowym przewozie kolejami (COTIF) sporządzonej w Bernie dnia 9 maja 1980 r. (Dz.U. 2025, poz. 593).

Oświadczenie rządowe z dnia 6 marca 2025r. w sprawie wejścia w życie zmian do załączników

A i B do umowy dotyczącej międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR), sporządzonej w Genewie dnia 30 września 1957 r. (Dz.U. 2025, poz. 642).

Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych (Dz.U. 2011 Nr 227, poz. 1367).

Źródło internetu

https://otif.org/en/?page_id=1105&utm_source=chatgpt.com

https://unece.org/transport/dangerous-goods?utm_source=chatgpt.com

<https://unece.org/adr-2025-files>

<https://www.oecd.org/en/topics/resource-efficiency-and-circular-economy.html>

<https://www.gov.pl/web/infrastruktura/przewoz-towarow-niebezpiecznych>

<https://www.securitymagazine.pl/pl/a/jest-nowa-strategia-nato-dotyczaca-ai>

https://kkceurope.com/en/consulting-and-analysis/?utm_source=google&utm_medium=cpc&gadsource=1&gad_campaignid=23050763700&gbraid=0AAAAAoNEfMTR_IELCPFQVTXEFU3w8JZgr&gclid=CjwKCAiAzOXMBhASEiwAe14SaUjd8d6oyubUtmYVkel-NiSALYuv7a195hTcvt1UE2lFoo35NGBOFB0CID0QAvD_BwE