ISSN 2450-8055
eISSN 2543-8867

ZESZYTY NAUKOWE
Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ekonomika i Organizacja Logistyki

Scientific Journal of Warsaw University of Life Sciences

Economics and Organization of Logistics

11 (1) 2026

ZESZYTY NAUKOWE
Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ekonomika i Organizacja Logistyki

Scientific Journal of Warsaw University of Life Sciences

Economics and Organization of Logistics

11 (1) 2026

SCIENTIFIC BOARD

Bogdan Klepacki, Warsaw University of Life Sciences – SGGW (Chairman); **Theodore R. Alter,** Pennsylvania State University, USA; **Spyros Binioris**, Technological Educational Institute of Athens, Greece; **Georgij Cherevko,** Lviv State Agrarian University, Ukraine; **James W. Dunn**, Pennsylvania State University, USA; **Wojciech Florkowski,** University of Georgia, USA; **Piotr Gradziuk,** Institute of Rural and Agricultural Development, Polish Academy of Sciences (PAN); **Elena Horska,** Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia; **Marianna Jacyna,** Warsaw University of Technology; **Qi Jun Jiang,** Shanghai Ocean University, China; **Stanisław Krzyżaniak,** Institute of Logistics and Warehousing in Poznań; **Radim Lenort,** Technical University of Ostrava, Czech Republic; **Xenie Lukoszová**, VŠB – Technical University of Ostrava, Czech Republic; **Iwo Nowak,** Stanisław Staszic University of Applied Sciences in Piła; **Olena Slavkowa,** Sumy State University, Ukraine; **Bojan Rosi,** University of Maribor, Slovenia; **Elżbieta J. Szymańska,** Warsaw University of Life Sciences – SGGW; **Maria Tsirintani,** Technological Educational Institute of Athens, Greece.

EDITORIAL BOARD

Elżbieta J. Szymańska (Editor-in-Chief)

Thematic Editors: **Marta Zięba** (language editor; efficiency in logistics); **Joanna Domagała** (warehouse management); **Teresa Gądek-Hawlena** (safety in transport and logistics); **Konrad Michalski** (logistic systems and IT systems in logistics); **Luiza Ochnio** (statistical methods in logistics); **Tomasz Rokicki** (transport and spedition); **Monika Roman** (optimization of logistics processes); **Sławomir Stec** (energy and innovation in logistics), **Elżbieta J. Szymańska** (supply chains and costs in logistics); **Marcin Wysokiński** (hazardous materials and OHS in logistics); **Aleksandra Bilik** (editorial secretary).

web page: eiol.sggw.edu.pl

Cover design – Elżbieta J. Szymańska
Editor – Agnieszka Orysiak
Technical editor – Violetta Kaska

ISSN 2450-8055 eISSN 2543-8867

Warsaw University of Life Sciences Press
Nowoursynowska St. 161, 02-787 Warsaw
tel. 22 593 55 23 (-27 – sale)
e-mail: wydawnictwo@sggw.edu.pl
www.wydawnictwo.sggw.edu.pl

Contents
Spis treści

Aleksandra Bilik
Determinants of the duration of maritime cargo transport through the Red Sea in 2023–2024
Uwarunkowania czasu realizacji transportu morskiego ładunków przez Morze Czerwone w latach 2023–2024 5

Grzegorz Dzieniszewski, Wiktoria Sasiela, Wiesław Piekarski, Dariusz Piekarski, Natalia Toboła, Zbigniew Kowalczyk
Ocena oddziaływania środków transportu i maszyn roboczych na środowisko przyrodnicze
Assessment of the environmental impact of transport vehicles and work machinery 33

Teresa Gądek-Hawlena, Weronika Jac
The impact of selected safety systems in trucks on preventing road accidents, according to the opinions of polish truck drivers
Wpływ wybranych systemów bezpieczeństwa w samochodach ciężarowych na zapobieganie wypadkom drogowym w opinii polskich kierowców ciężarówek 57

Michał Kruszyński, Agnieszka Bekisz, Katarzyna Dostaw
Zielona logistyka w gospodarstwach rolnych wdrażających działania prośrodowiskowe
Green logistics in agricultural holdings implementing pro-environmental measures 75

Mateusz Motyka
Cyfryzacja i automatyzacja w logistyce – systematyczny przegląd literatury na temat determinant jakości i efektywności operacyjnej
Digitalization and automation in logistics – determinants of service quality and operational efficiency. A systematic literature review 89

Natalia Sobieska
Centralizacja zakupów w przedsiębiorstwach usługowych B2B
Centralization of purchasing in B2B service companies 107

Agnieszka Wilczyńska-Strawa
Ocena obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych z perspektywy pasażerów
Assessment of ground handling at Polish airports from the perspective of passengers 119

Economics and Organization of Logistics
11 (1), 2026, 5–32

DOI: 10.22630/EIOL.2026.11.1.1

Received: 16.11.2025
Accepted: 11.12.2025

Aleksandra Bilik✉
Warsaw University of Life Sciences – SGGW

Determinants of the duration of maritime cargo transport through the Red Sea in 2023–2024

Uwarunkowania czasu realizacji transportu morskiego ładunków przez Morze Czerwone w latach 2023–2024

Abstract. The aim of the study was to identify factors influencing the duration of maritime cargo transport through the Red Sea in the years 2023–2024. The research was based on empirical data obtained from a logistics company and industry sources. The study employed comparative and statistical analysis methods, including linear regression. Particular attention was given to the impact of the geopolitical situation in the region and the characteristics of the transported cargo on the duration of transport, including physical properties, time and place of loading and unloading. The results showed that the key factor determining the length of transport was the increased level of threats to transport in the region, resulting in delivery times being extended by over 20 days compared with regular schedules. Additionally, it was demonstrated that the mass and volume of cargo did not have a significant impact on transport duration. The analysis results confirmed the dominant role of external factors in shaping the efficiency of maritime supply chains under crisis conditions.

Keywords: maritime transport, Red Sea, geopolitical crisis, transport time, supply chain

Synopsis. Celem pracy była identyfikacja czynników wpływających na czas realizacji transportu morskiego ładunków przez Morze Czerwone w latach 2023–2024. W badaniach wykorzystano dane empiryczne pochodzące z przedsiębiorstwa logistycznego oraz źródła branżowe. Do realizacji badań zastosowano metodę analizy porównawczej i statystycznej, w tym regresję liniową. Szczególną uwagę poświęcono wpływowi sytuacji geopolitycznej w regionie oraz właściwości przewożonych ładunków na czas trwania transportu, w tym cech fizycznych, czasu i miejsca załadunku oraz rozładunku. Uzyskane wyniki wykazały, że kluczowym czynnikiem determinującym długość trwania transportu było zwiększenie poziomu zagrożeń dla transportu w regionie, skutkujące wydłużeniem czasu dostaw o ponad 20 dni w stosunku do regularnego. Dodatkowo dowiedziono, że masa i objętość

✉**Aleksandra Bilik** – Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Department of Logistics; e-mail: aleksandra_ bilik@sggw.edu.pl; https://orcid.org/0009-0009-8596-3044

CC BY-NC

ładunku nie miały istotnego wpływu na czas przewozu. Wyniki analiz potwierdziły dominującą rolę czynników zewnętrznych w kształtowaniu efektywności morskich łańcuchów dostaw w warunkach kryzysu.

Słowa kluczowe: transport morski, Morze Czerwone, kryzys geopolityczny, czas transportu, łańcuch dostaw

JEL codes: R41, F51, L92

Introduction

Marine transport plays a key role in international trade by ensuring the efficient movement of cargo on a large scale and enabling the development of economies located along major communication routes. The Red Sea basin is of fundamental importance for global trade within maritime transport, as it contains the most significant routes linking Europe, Africa, and Asia. The functioning of these routes is hindered by recurring disruptions to maritime transport in the Red Sea, which affect the prices of raw materials and the operation of global supply chains. In geopolitical terms, the Red Sea region is an area marked by a complex political situation, which in turn influences the development of maritime transport and creates numerous challenges for it. The movement of cargo within the Red Sea is shaped by the interplay of multiple factors, including economic, political, social, and environmental ones.

In the context of 2023–2024, increasing importance was observed in various conditions affecting the duration of maritime cargo transport in this area. The significance of this topic stems not only from the role of maritime transport as a fundamental instrument of economic globalization, but also from its direct impact on the stability and development of national economies. Maritime transport through the Red Sea is crucial for maintaining the continuity of supplies of energy resources, industrial components, and consumer goods that underpin the functioning of many economic sectors. Disruptions in this region may lead to sharp increases in enterprises' operating costs, reduced availability of goods, rising inflation, and disturbances in the trade balances of many countries. In the face of a dynamically changing global geopolitical situation, the analysis of factors affecting the efficiency of maritime transport through the Red Sea becomes an essential component of strategic planning at both the operational and governmental levels.

This study identifies the significance of the Red Sea as a global transport route. It provides a description of maritime transport and the geographical location of this basin, as well as the infrastructural conditions of the region. It also presents the role of the Red Sea in international trade. The subsequent section focuses on identifying the conditions affecting maritime transport of goods from Asia to Europe in the years 2023–2024. Attention is given to transport disruptions arising from various geopolitical crises, the security threats within the Red Sea region, and the consequences of the crisis for the global economy and the economic development of the region's states. The conclusion of the study concerns the analysis of the relationships between the characteristics of transported cargo and the situation in the Red Sea.

Characteristics of maritime transport worldwide

Maritime transport in the movement of cargo and passengers has played a significant role in historical moments shaping the contemporary world. In antiquity, it enabled the development of many countries such as Egypt, Greece, the Roman Empire, and Byzantium. Owing to it, at the turn of the 15th and 16th centuries, European sailors made major geographical discoveries. Bartolomeu Dias circumnavigated the Cape of Good Hope in 1488, Christopher Columbus in 1492 discovered and later conquered America, Vasco da Gama in 1498 became the first to reach India from Europe by sea, and Ferdinand Magellan undertook the first circumnavigation of the globe in the years 1519–1522 [Zielińska 2017].

International maritime transport is one of the pillars supporting the development of the world economy and the processes of globalization occurring within it. Handling more than 80% of global trade volume, it is of fundamental importance for the growth of international commerce. Moreover, it conditions the efficiency and flexibility of supply chains and networks worldwide [Grzelakowski 2012]. Maritime transport, as part of the global transport system, is continuously evolving in response to changes occurring in the world economy [Bombińska 2017].

According to Salmonowicz, maritime transport is the most sustainable, fuel-efficient, and environmentally friendly branch of transport. The most important aspects to consider in the development of maritime transport include [Salmonowicz 2008]:

- high concern for safety and environmental protection, especially in vulnerable coastal areas,
- the environment of animals and plants growing near seaports and land-based infrastructure,
- ensuring protection against terrorist and other threats without reducing efficiency.

Ongoing technological developments are causing changes in maritime transport in terms of its capacity and reliability. The functional capabilities of vessels have increased over the years, significantly improving economies of scale, which have always been a major advantage of this mode of transport. Additionally, the construction of larger and more energy-efficient vessels and the introduction of automation have made it possible to operate ships with smaller crews while simultaneously raising safety standards. The only constraints for ships are the handling and storage capacities of ports, harbors, and the canals that serve them. Another aspect concerning changes in maritime transport is vessel speed, which has improved slightly due to the widespread use of container ships, which are faster than conventional vessels [Rodrigue 2017].

The functioning of maritime routes depends significantly on geopolitical factors, which determine both route selection and the costs of global trade. Control over strategic points such as the Strait of Hormuz, the Bab al-Mandab Strait, or the Panama and Suez Canals serves as a tool of political pressure [Nowicki 2024]. The geopolitical situation in the South China Sea and in Turkey's Bosporus and Dardanelles Straits also points to major disruptions rooted in political tensions.

In the case of the South China Sea, the strategic importance stems not only from oil and natural gas deposits but above all from the numerous trade routes running through the region. According to data from the United Nations Conference on Trade and Development, 80% of the total value of global trade is conducted via maritime transport, with

one-third of this volume passing through the South China Sea route [UNCTAD 2024]. Runde et al. [2024] report that nearly 95% of China's trade is carried out by sea, and more than 64% of these routes pass through the South China Sea. Through these waters, China exports goods worth approximately 900 billion dollars annually [Zuziak 2018].

Other global trade routes are also threatened by geopolitical instability. Around one-fifth of global oil production flows through the narrow Strait of Hormuz into the Arabian Sea, and tensions between Iran and Western economies have already led to trade restrictions. For example, in April 2024, Iran's Revolutionary Guard seized the MSC Aires, a 150,000-ton container ship [Carlomagno et al. 2025].

Another major source of disruption to global maritime routes is climate change, which became especially visible in 2023 in the Panama Canal. A significant drop in water levels caused a paralysis of maritime traffic along this corridor, resulting in delays and financial losses for the most dependent countries, including Chile, Ecuador, Peru, and the United States. In 2023, severe droughts in the Panama Canal region, which accounts for 2.5% of global maritime trade, forced operators to adjust transit capacity and reduce cargo tonnage by nearly one-third [Chambers 2023].

Geographical location and infrastructural conditions of the Red Sea

The Red Sea is an inland, intercontinental basin located between Africa and the Arabian Peninsula, approximately 2,000 km in length with a maximum width of 355 km, yielding a total surface area of more than 458,000 km² [Stewart & Rasul 2019, p. 2]. It has an elongated, spindle-shaped form and was created because of tectonic rifting of the Earth's crust. Although it is more than ten times smaller than the world's largest sea, the Philippine Sea, it has played a crucial role in global trade for decades due to its strategic location. According to the PWN Encyclopedia [Encyklopedia PWN 2024], the Red Sea – Erythraios Pontos in Greek, or the Erythraean Sea – forms a branch of the Indian Ocean, constituting a direct connection between Asia and Europe, as well as between the Indian Ocean and the Mediterranean Sea, which provides the shortest and fastest route for vessels. To the south, it connects through the Bab al-Mandab Strait and the Gulf of Aden with the Indian Ocean, and to the north through the Gulf of Suez and the Suez Canal with the Mediterranean Sea (Figure 1). Seven countries have access to it: Saudi Arabia, Egypt, Eritrea, Israel, Yemen, Jordan, and Sudan.



Figure 1. Political map of the Red Sea region

Rysunek 1. Polityczna mapa regionu Morza Czerwonego

Source: [Depositphotos 2017]

Źródło: [Depositphotos 2017]

The geographical location of the Red Sea correlates with the maritime infrastructure

established there. The implemented solutions include primarily port infrastructure and, in the case of crude oil transport, pipeline infrastructure. The passage through the Suez Canal leading from the Mediterranean Sea is complemented by the Port of Suez, which also serves as the starting point for journeys from the Indian Ocean through the Red Sea to Europe. The port was created during the construction of the canal between 1859 and 1869. It includes, among other elements, a highly important fuel depot, and it also serves as an anchorage port before or after transiting the Suez Canal. This area is an important logistical point on Egypt's transport map [Marciniak 2023].

The Bab al-Mandab Strait, forming the southern entrance to the Red Sea from the Gulf of Aden, is a critical point guarding the gateway to Europe and the Persian Gulf for crude oil and Asian manufacturers. Shared by Yemen, Eritrea, and Djibouti, the strait is about 30 km wide and divided into two channels by Perim Island. It is the reason why the Gulf of Aden has strategic importance. The gulf has traditionally faced a high level of piracy, smuggling, and illegal arms trafficking. According to the authors, international cooperation initiatives and regional regulations have not improved security despite the continued military presence of major world powers in the region, including China (in Djibouti) and the United States [Haralambides 2024].

The role of the Red Sea in the international trade

The Red Sea is a major trade and shipping route through which crude oil from the Persian Gulf is transported to Europe, meeting more than 60% of Europe's energy needs [Farid 2022, p. 8]. Al-Ahmar lies at the strategic center of the world, serving as an important shipping route also for military forces between their home countries and bases in various parts of the world. It is additionally surrounded by regional powers with their own armed forces and mutual antagonisms. As a result, the Red Sea constitutes a key area for both regional and international conflicts. There is a close relationship between the Red Sea and the Persian Gulf, which share historical, economic, and strategic ties. Events occurring within or around the Red Sea basin have long-term effects on the Gulf region, and vice versa [Farid 2022, p. 8].

The importance of the Red Sea for global trade and the risks associated with it were most visible during the six-day blockage of the Suez Canal in March 2021 by the container vessel Ever Given. This incident trapped more than 100 ships on both sides and disrupted trade flow worth an estimated USD 9.6 billion per day [Yee & Goodman 2021]. Considering that around 12% of global trade passes through the Suez Canal, the traffic disruption affected not only the global shipping industry but also countless businesses and supply chains, from manufacturers to domestic carriers, retailers, and supermarkets. The escalation of armed activity in December 2023 in key maritime regions, particularly the impact of Houthi attacks, highlighted the fragility and importance of these strategic maritime routes.

Data analysis results from 2019, published in Communications in Transportation Research, showed that nearly 23% of maritime-traded goods between non-neighboring countries pass through the Red Sea, specifically through the Bab al-Mandab Strait and the Suez Canal. Other estimates place the share of maritime cargo passing through this area as high as 30%. This percentage is significant compared with other maritime "bottlenecks" placing the Red Sea straits just behind those in the European

and Asian markets [Buchholz 2024]. The passage through Al-Bahr is also an important bottleneck for oil supplies, like the Strait of Hormuz or Malacca. In addition, according to Chatham House, before the pandemic and the Ukraine crisis, the Bab al-Mandab Strait recorded the transit of nearly 20% of global rice supplies and almost 15% of global wheat exports. This is important from the perspective of global fertilizer supply chains [Buchholz 2024].

The Houthi movement in Yemen, equipped with ballistic missiles, cruise missiles, naval mines, and drones, continued to escalate maritime attacks and block commercial transit through the Bab al-Mandab Strait in connection with the conflict between Israel and Hamas. As a result, for the first time several commercial vessels found themselves directly in the center of the conflict. Many logistics companies, such as AP Moller-Maersk – responsible for 15% of global container transport – and Hapag-Lloyd, announced that they would not transport goods through the Bab al-Mandab Strait.

The Red Sea has also gained importance in the geopolitics and economies of Saudi Arabia, the United Arab Emirates, and other Gulf Cooperation Council (GCC) states. Following the Arab Uprising and the decline in crude oil prices in the past decade, combined with the need to accelerate economic diversification, these countries began implementing ambitious visions aimed at comprehensive restructuring of their economies and redefining their role in global value chains [Narbone & Widdershoven 2021, p. 5]. The regional leader in the Red Sea area, Egypt, is seeking to restore its central role by intensifying maritime development projects and industrial zone expansion in the Suez Canal region and along the Red Sea coast. Countries outside the Persian Gulf, such as Jordan and Israel, also have strong interests in maintaining unimpeded passage through these strategic waters [Narbone & Widdershoven 2021, p. 6]. Other international actors are likewise far from passive.

China's largest state-owned shipping company, Orient Overseas Container Line (OOCL), announced during the December 2023 attacks that it was halting all transport to and from Israeli seaports. According to The Maritime Executive [2023], unlike its Western competitors, OOCL did not report suspending voyages through the Red Sea.

The impact of the Red Sea crisis extends beyond shipping companies and trade routes. Egypt, whose economy heavily depends on revenue from Suez Canal tolls, recorded a 40% decrease in income in 2021 due to vessel rerouting. Broader economic effects are also being felt across other industries, particularly those dependent on stable and efficient maritime routes.

The ongoing crisis in the Red Sea underscores the vulnerability of global trade routes to geopolitical tensions. As shipping companies adjust to the new reality, the cost structure of international trade is likely to change. Higher transport costs, increased insurance premiums, and longer transit times may become the norm, especially if conflicts in the Middle East persist. Companies will need to develop more flexible and resilient supply chains to cope with these disruptions. This may involve diversifying trade routes, increasing inventories of critical goods, or investing in new technologies that help reduce time and costs of transport. In the long term, firms will need to reassess their supply chain strategies, explore more diversified routes, and invest in green technologies to mitigate rising costs. The current disruptions highlight the susceptibility of global trade to geo-

political tensions, and shipping companies will have to adapt to a new reality of higher operational costs and increased uncertainty [Govindan 2024].

The Red Sea crisis holds significant implications for international trade and poses a major challenge for the global maritime economy. The immediate costs associated with increased transport expenses and insurance premiums have become evident, but the long-term economic consequences may prove even more profound. As global trade becomes increasingly dependent on secure and stable routes, this crisis underscores the need for international cooperation to protect key maritime arteries and ensure the uninterrupted flow of international trade. The attacks themselves are unlikely to stop soon. In addition to the conflict between Israel and Hamas, which is unlikely to end quickly, the Houthis recognize that their attacks draw international attention and divert the Yemeni population's focus from the lack of basic services, reinforcing their existing strategy.

The Red Sea region is becoming an area of global importance for security, in which economic and security issues bind together both the coastal states and international actors. As a result of these developments, geopolitical instability, rivalry, and tensions are increasing, potentially making the Red Sea a site of future confrontations. It should also be noted that this basin is exposed to environmental problems, such as rising water temperatures, which lead to coral reef decline. Although these issues do not directly affect trade, environmental pressure may in the future influence maritime transport policies and the approach of international organizations toward the protection of the marine environment.

Materials and methods

The main objective of the article was to identify the determinants of maritime cargo transport time through the Red Sea in the years 2023–2024. To fulfill this objective, aspects related to the characteristics of maritime freight transport were considered, with a focus on data concerning the transported cargo, including loading and unloading ports, as well as the duration of transport. An additional element involved the inclusion of geopolitical aspects occurring in the region during the examined period, with consideration of their impact on the decisions made by entities operating in the maritime transport sector. Two hypotheses were formulated within the study and subsequently verified during the research process:

H1: The geopolitical crisis in the Red Sea resulted in an extension of cargo transport time between ports in Asia and ports in Europe by more than 20 days compared with standard transport times.

H2: The mass and volume of cargo transported along routes between Europe and Asia in the years 2023–2024 did not have a significant impact on transport time.

The data sources used in the article include both theoretical materials and empirical data, which enabled a broad examination of the research problem. The theoretical basis consisted of subject literature, including scientific publications, monographs, and articles, which made it possible to understand the key concepts related to maritime logistics, including the characteristics of maritime transport worldwide and the significance of the Red Sea for international trade. The use of mass statistical data from publicly avail-

able databases, such as those of the United Nations Conference on Trade and Development, PortWatch, Lloyd's List, the International Transport Forum, and the World Bank, provided insights into trends and changes in shipping routes within the studied basin. An important source of data also included selected data on maritime transport originating from an international logistics company headquartered in Denmark. The company specializes in providing transport and logistics services in over 80 countries worldwide and employs more than 74,000 people. It carries out road, air, and sea freight operations and offers warehousing services as well as comprehensive supply chain management. The average annual number of cargo units transported by the company via sea routes amounts to 2.5 million TEU. In addition, industry studies published by organizations and institutions analyzing the maritime transport market were used, as they provide information on the condition and development directions of this sector.

Several complementary research methods were applied in the data analysis. The monographic method enabled a detailed characterization of conditions in the Red Sea, taking into account its specificity, significance within the global supply chain, and the impact of geopolitical factors on its functioning. Comparative analysis made it possible to contrast various cargo characteristics, considering their weight, volume, loading and unloading ports, and the duration of the entire transport process. An important element of the research was the statistical analysis of transport data, which allowed for a quantitative assessment of key factors influencing the duration of shipments. Additionally, a regression method was employed to identify relationships between variables affecting transit time, which served as the dependent variable. The independent variables included the physical characteristics of cargo in maritime transport, geopolitical threats, and the resulting delays in supply chains. These variables were selected based on their significant influence on carrier decisions and the possibility of quantitatively analyzing their effects. By combining these methods, a comprehensive picture of the mechanisms shaping maritime cargo transport time through the Red Sea in the years 2023–2024 was obtained.

Research results

Security threats to transport in the Red Sea

In 2023, the Houthi movement based in Yemen intensified its attacks on commercial vessels, significantly complicating transport operations through the Red Sea. According to data from the International Transport Forum (ITF), from mid-November until March 18, 2024, a total of 45 attacks were carried out against ships transiting the Gulf of Aden toward Al-Bahr. The ITF database includes only assaults directed specifically at commercial vessels. Consequently, it does not cover aggression against fishing vessels, warships, or attacks that were not aimed at a particular target. It also excludes interactions between the Houthi movement and commercial ships that cannot be classified as attacks – meaning situations in which no violence (or attempted violence) intended to harm a commercial vessel occurred [ITF 2024].

Data published by the ITF showed that more than 60% of the attacks were conducted using missiles, and nearly 20% involved modern forms of assault in the form of drones

(Figure 2). Only one vessel was hijacked, and this occurred at the onset of the aggression in 2023. Regarding the types of vessels exposed to danger, the distribution was relatively even: between 24% and 33% of the aggression involved the most common ship types in maritime transport-tankers, container ships, and bulk carriers (Figure 3). During the examined period, only two attacks targeted car carriers.

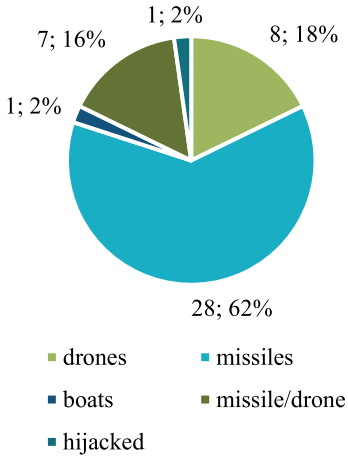


Figure 2. Number of attacks by type
Rysunek 2. Liczba ataków według ich rodzaju
Source: author's elaboration based on [ITF 2024]
Źródło: opracowanie własne na podstawie [ITF 2024]

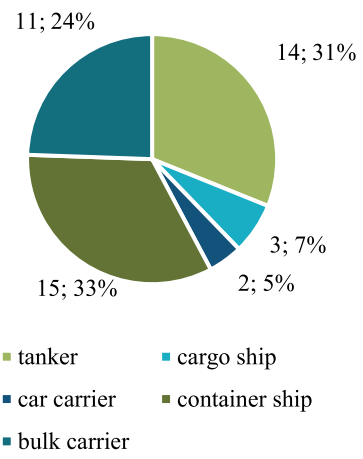


Figure 3. Number of attacks by vessel type
Rysunek 3. Liczba ataków według rodzaju statku
Source: author's elaboration based on [ITF 2024]
Źródło: opracowanie własne na podstawie [ITF 2024]

According to analysts from the Washington Institute, Houthi maritime operations in the Red Sea – particularly along its southern coast near the Bab al-Mandab Strait – demonstrate a clear evolution divided into five phases. Each of these phases is characterized by a gradual expansion of attack targets, which affects the course of global trade routes and navigational safety [Raydan & Nadimi 2024].

The number of vessels transiting the Bab al-Mandab Strait has decreased by more than 50% year-on-year. The crisis has also affected Suez Canal transits, which, according to data from Lloyd's List Intelligence, fell from approximately 2,068 in November 2023 to about 877 in October 2024. A similar trend was observed along the route through the Bab al-Mandab Strait, where the number of weekly transits significantly declined. In times of peace, this figure ranged on average between 500 and 550 transits per week, whereas from week 46 of 2024 to week 11 of 2025, it amounted to only 160–240 transits [Lloyd's List 2024]. The total number of attacks between March and November 2024 rose from 45 to 106, indicating a sustained security threat to vessels transporting goods through the Red Sea.

Considering the difficult situation in the Al-Bahr region, many shipping companies, such as Maersk, opted for the longer route around the Cape of Good Hope, which

increased operational costs and freight rates. At the same time, some companies, such as CMA CGM, continued limited operations through the Red Sea under military escort. The increased rates provided financial benefits to certain market participants, while others – seeking cost savings – relocated their operations closer to the Persian Gulf, for example to Jebel Ali in Dubai.

The Houthi maritime campaign poses a serious challenge to global trade and navigation safety. Their strategy, based on gradually expanding targets and the use of drones and other technologies, indicates the group's growing operational capabilities. An effective response requires both military and diplomatic measures from the international community and regional alliances.

In its 2025 maritime transport report, Xeneta outlined several scenarios: no return of container ships to the Red Sea, and either a partial or full return. These scenarios could result in outcomes ranging from a 3% increase to an 11% decrease in demand for cargo transport this year [Sand & Stausbøll 2025]. According to Emily Stausbøll, a senior analyst at Xeneta, "a large-scale return to the Red Sea seems unlikely for now, but a partial return may be possible at some point in 2025."

The Baltic and International Maritime Council (BIMCO), one of the largest international shipping organizations representing vessel owners, assumed that ships will continue sailing around the Cape of Good Hope throughout 2025, with conditions possibly permitting a return to regular routes only in 2026. However, if ships resume regular routes as early as 2025, demand for maritime transport is forecast to decline by 5–6% in that year, followed by growth of 3.5–4.5% in 2026 [BIMCO 2025].

Organization of maritime transport in 2023–2024

The maritime transport industry has recently undergone significant changes resulting from global economic conditions, geopolitical tensions, and the transformation of trade routes. In the years 2023–2024, the sector was marked by exceptional volatility caused by the aftereffects of the pandemic, port congestion, labor shortages, and unstable international situation. All these factors created challenging conditions for companies dependent on maritime transport, particularly for those shipping goods through the Red Sea or via the alternative route around Africa.

The data presented in Table 1 and Figure 4 originate from the E2open Ocean Shipping Index Q4 2024 report and focus on changes in the duration of maritime transport of export cargo across three main port regions: global, European, and Asian. The compilation also includes five key ports in each of these areas, which had the greatest impact on shaping the average values.

In all three regions, a significant increase in the average transport time was observed. The largest growth concerned Asian ports – from 40.6 to 57.8 days – which may indicate overloaded infrastructure, persistent port congestion, and the effects of geopolitical tensions in the Asian region. European ports recorded a smaller yet still noticeable increase in transport time in the fourth quarter of 2024 – by 11.8 days compared with the previous year. According to the analyzed data, the average extension of maritime transport time on the Asia–Europe–Asia routes amounted to 14.5 days.

Table 1. Ranking of ports with the greatest impact on the extension of export time (in days)
Tabela 1. Ranking portów mających największy wpływ na wydłużenie czasu eksportu (w dniach)

Place	Region of ports	Load port	2023 Q4	2024 Q4	Difference	Change
1	Global	Muhammad Bin Qasim, Pakistan	43	65	22	+51%
2		Hazira Port, India	42	58	16	+38%
3		Ennore, India	41	57	16	+39%
4		Aliağa, Türkiye	32	44	12	+38%
5		Jebel Ali, UAE	38	52	14	+37%
1	European	Koper, Slovenia	46	60	14	+30%
2		Bremerhaven, Germany	39	51	12	+31%
3		Gdańsk, Poland	44	57	13	+30%
4		Rotterdam, Netherlands	42	51	9	+21%
5		Gothenburg, Sweden	50	61	11	+22%
1	Asian	Mundra, India	36	53	17	+47%
2		Muhammad Bin Qasim, Pakistan	42	63	21	+50%
3		Vung Tau, Vietnam	41	58	17	+41%
4		Nhava Sheva, India	39	53	14	+36%
5		Xiamen Gaoqi Int'l Apt, China	45	62	17	+38%

Source: author's elaboration based on [E2open 2025]
Źródło: opracowanie własne na podstawie [E2open 2025]

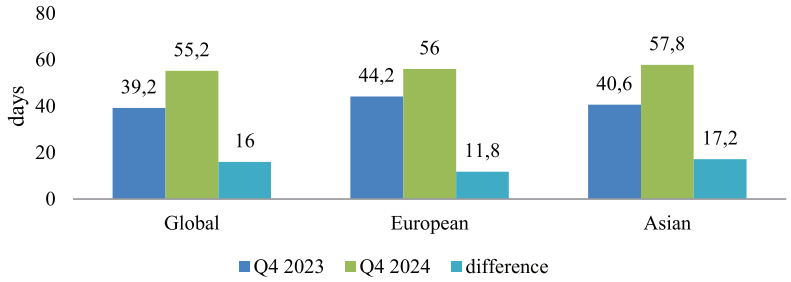


Figure 4. Average transport time (in days)
Rysunek 4. Średni czas transportu (w dniach)
Source: author's elaboration based on [E2open 2025]
Źródło: opracowanie własne na podstawie [E2open 2025]

The presented data indicate growing difficulties in maritime transport along the Asia–Europe–Asia axis, resulting from both infrastructural constraints and geopolitical instability. From a supply chain management perspective, it is necessary to account for these factors in operational and strategic planning, as well as to consider alternative routes and intermodal solutions in order to minimize the risk of delays.

In the years 2023–2024, significant changes occurred in the global configuration of maritime routes, which is clearly reflected in the data concerning the volume of transported cargo through key transit points: the Bab al-Mandab Strait, the Suez Canal, and the Cape of Good Hope (Figure 5). The data used in the analysis originate from the Port Watch platform, a joint initiative of the International Monetary Fund (IMF) and the University of Oxford. This platform monitors global maritime trade flows in real time, providing detailed information on transport volumes, delays, and route changes based on AIS systems and port data [Port Watch 2025]. The most significant decline in transport volumes was recorded on the route through the Red Sea, comprising the Bab al-Mandab Strait in the south and the Suez Canal in the north.

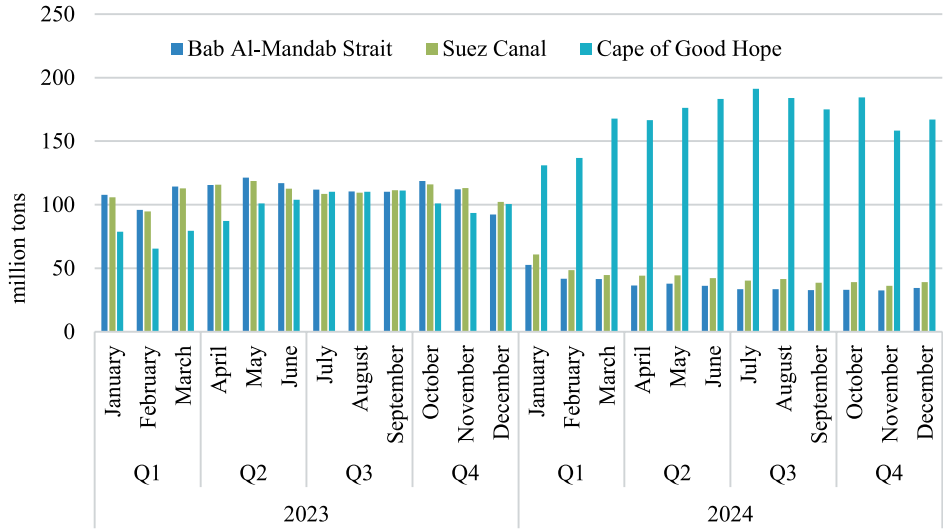


Figure 5. Number of cargoes handled at a given point in 2023–2024
Rysunek 5. Liczba ładunków obsłużonych w danym punkcie w latach 2023–2024

Source: author's elaboration based on [Port Watch 2025]
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Port Watch 2025]

Over the course of a year, the average monthly volume of shipments through the Bab al-Mandab Strait decreased from 102.1 million tons in 2023 to 37.2 million tons in 2024, representing a decline of nearly 64% (Table 2). A similar trend occurred in the case of the Suez Canal, where the cargo volume decreased from 101.6 million tons to 43.3 million tons, i.e., by 57.4%. These declines are also reflected in the average annual transport values. For Bab al-Mandab, the decrease amounted to 66.4%, and for the Suez Canal 60.7% (Table 3). Such a substantial reduction in traffic indicates serious disruptions to navigation in this region caused by security threats in the Red Sea and Bab al-Mandab area, including armed activities, piracy, and geopolitical conflicts.

During the same period, there was a sharp increase in traffic on the alternative route around the Cape of Good Hope. In 2024, the average monthly cargo volume nearly doubled from 87.8 million tons in 2023 to 168.5 million tons the following year, representing

Table 2. Average monthly transport volumes (in tons)
Tabela 2. Średnie miesięczne wartości przewozowe (w tonach)

Period	Route via the Red Sea		Alternative route
	Bab Al-Mandab Strait	Suez Canal	Cape of Good Hope
2023–2024 (24 months)	73,891,139	76,685,732	131,820,900
2023 (12 months)	102,100,977	101,623,409	87,832,644
2024 (12 months)	37,172,887	43,279,437	168,489,768
average monthly change	**–63.6%**	**–57.4%**	191.8%

Source: author's elaboration based on [Port Watch 2025]
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Port Watch 2025]

Table 3. Average yearly transport volumes (in tons)
Tabela 3. Średnie roczne wartości przewozowe (w tonach)

Year	Route via the Red Sea		Alternative route
	Bab Al-Mandab Strait	Suez Canal	Cape of Good Hope
2023	1,327,312,700	1,321,104,317	1,141,824,376
2024	446,074,647	519,353,246	2,021,877,216
average yearly change	**–66.4%**	**–60.7%**	**+77.1%**

Source: author's elaboration based on [Port Watch 2025]
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Port Watch 2025]

an increase of more than 190%. Annual transport volumes likewise rose from 1.14 to 2.02 billion tons, an increase of 77%. These figures indicate a massive redirection of commercial traffic from the previously dominant Red Sea route to the southern route, despite its longer sailing time and higher operational costs.

In summary, the analyzed period saw a radical shift in shipowners' preferences regarding maritime routes. The drastic decline in the volume of cargo transported through the Red Sea and the Suez Canal was offset by a record surge in traffic around Africa. This means that, in the face of security threats in the Middle East region, the route around the Cape of Good Hope assumed the role of the main maritime artery between Asia and Europe.

Characteristics of data on transported cargo

The study was conducted based on selected maritime transport data obtained from an international logistics company headquartered in Denmark. The company specializes in providing transport and logistics services in more than 80 countries worldwide. Its average annual volume of seaborne cargo amounts to 2.5 million TEU units.

The analyzed data concerned cargo transported by sea along the Asia–Europe–Asia route in the period from January 1, 2023 to December 31, 2024, with the reservation that these were not the company's complete datasets, but only those for which permission was

granted for general research purposes. The company's full cargo volume is considerably larger; nevertheless, the obtained data enabled the study to be conducted and the research objectives to be achieved. The total number of selected cargo records amounted to 5,750, of which 80% represented goods exported from Europe, while the remaining portion concerned shipments originating from Asia.

The transport parameters included several aspects relevant to the study. Each cargo item was assigned a unique identification number, and each contained specific information on:

- cargo type (FCL or LCL)
- country of loading
- country of unloading
- estimated loading date
- actual loading date
- estimated unloading date
- actual unloading date
- mass
- volume.

The distribution of the mass and volume of the analyzed goods, divided by loading countries from Europe to Asia, is presented in Figures 6 and 7. The total mass of cargo amounted to approximately 20,505 tons, with France (19.7%), the United Kingdom (16%), and Germany (15%) accounting for the highest shares among the 14 European countries included in the dataset, while Slovenia, Finland, and Portugal each accounted for less than 1%. In terms of volume, the structure differed. Out of the total volume of 34,800 m³, Germany accounted for the largest share (25%), followed by France (16.1%) and Belgium (15.4%), while the smallest shares were the same as in the weight distribution.

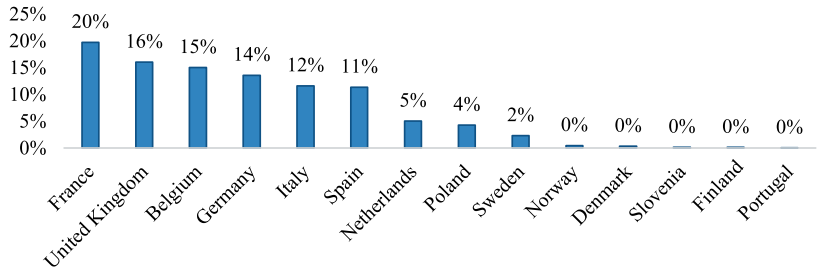


Figure 6. Structure of cargo mass by country on the Europe–Asia route
Rysunek 6. Struktura masy towarów według kraju na trasie Europa–Azja
Source: author's elaboration based on company data
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

The characteristics of data for cargo transported from Asia to Europe were prepared in an analogous manner. Nine countries were taken into account, from whose ports a total of nearly 4,426 tons of goods were shipped. The most significant in terms of cargo mass were ports located in Singapore (47.8%) and China (40%), while the smallest share was

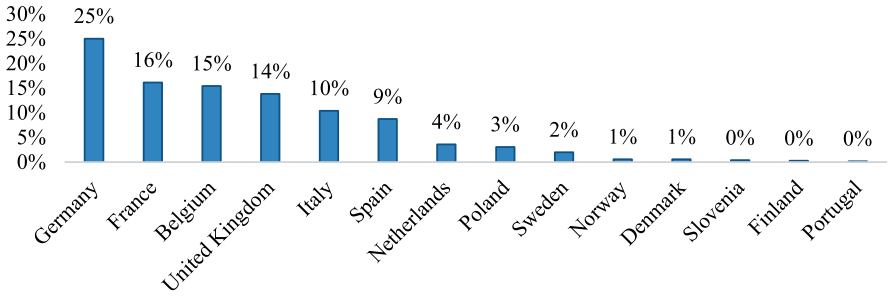


Figure 7. Structure of cargo volume by country on the Europe–Asia route
Rysunek 7. Struktura objętości towarów według kraju na trasie Europa–Azja
Source: author's elaboration based on company data
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

recorded for the United Arab Emirates and South Korea, from which together less than 5 tons of cargo were dispatched (Figure 8). The volume of transported goods amounted to approximately 7,200 m³. The largest share in this category was likewise attributed to Singapore and China, which together exported 5,660 m³ (79%) of cargo, while the smallest share concerned the ports of the same countries identified as having the lowest contribution in the mass-based comparison (Figure 9).

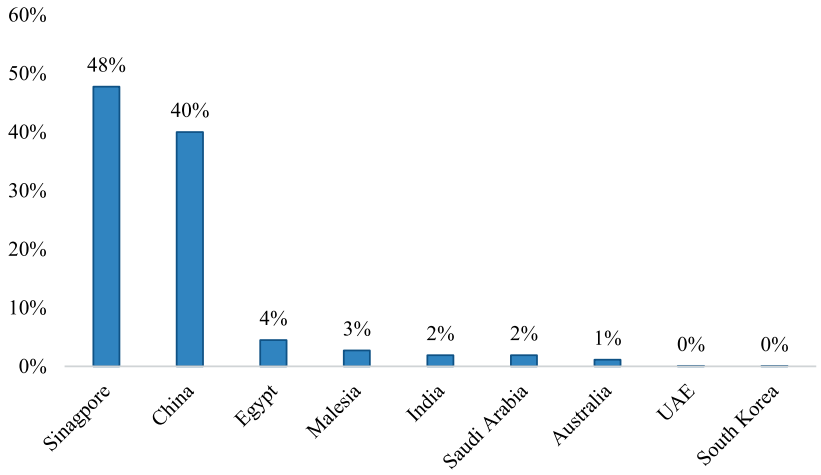


Figure 8. Structure of cargo mass by country on the Asia–Europe route
Rysunek 8. Struktura masy towarów według kraju na trasie Azja–Europa
Source: author's elaboration based on company data
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

Presenting the grouped data by transport direction made it possible to conduct a comparative analysis. It should be noted that the presented data for individual countries do not represent the entirety of each country's trade flows but constitute only the share handled

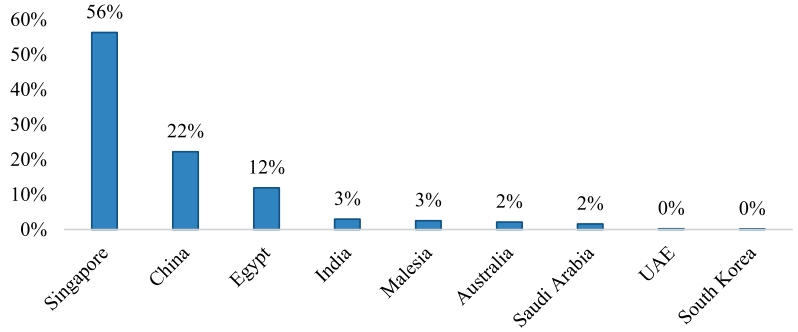


Figure 9. Structure of cargo volume by country on the Asia–Europe route
Rysunek 9. Struktura objętości towarów według kraju na trasie Azja–Europa

Source: author's elaboration based on company data

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

by the company as part of services provided to a portion of its clients. Nonetheless, these data made it possible to verify the hypotheses and formulate conclusions.

Comparison of data before and after the onset of the Red Sea crisis in 2023

For the purpose of comparing maritime transport data for goods shipped through the Red Sea from Asia to Europe and vice versa, an estimated sailing time from each loading port to the passage through this basin was adopted. The statistical sailing time was determined based on regular voyage durations. Typical container ship routes from major seaports were assumed, under optimal conditions and with passage through the Suez Canal. All loading countries included in the analyzed cargo dataset were compiled in Table 4.

The longest sailing time to the Red Sea is from South Korea and China, while the shortest is from countries located in its immediate vicinity, namely Egypt, Saudi Arabia, and the United Arab Emirates. Among the European countries, the sailing time to the Suez Canal from Slovenia and Italy is approximately nine days [Searates 2025].

Based on the actual loading date and the estimated sailing time to the Al-Bahr basin, the estimated date of cargo passage through the Red Sea was calculated. The following formula was used:

$$\textit{actual loading date} + \textit{number of days to reach the RS} = \textit{estimated date of passage through the RS}$$

Using these calculations, the data were grouped into two parts according to cargo transported before and after the increase in threats related to shipping goods through the Red Sea. The period preceding the onset of the Red Sea (RS) crisis was defined using the date of the first Houthi attack on a cargo vessel, which occurred on November 19, 2023. Thus, the first research period was January 1, 2023, to November 18, 2023, and the second was November 19, 2023, to December 31, 2024.

Table 4. Estimated maritime transport times from the loading country to the Red Sea passage
Tabela 4. Szacunkowe czasy transportu morskiego z kraju załadunku do przejścia przy Morzu Czerwonym

Country	Transport time to the Red Sea in days	Country	Transport time to the Red Sea in days
South Korea	**28**	Belgium	14
China	**26**	Netherlands	14
Australia	22	Germany	13
Malesia	19	Portugal	14
Singapore	18	India	12
Norway	18	France	11
Finland	18	Spain	10
Sweden	17	Italy	9
Poland	16	Slovenia	9
Denmark	16	**United Arab Emirates**	**3**
United Kingdom	15	**Saudi Arabia**	**2**

Source: author's elaboration based on [Searates 2025]
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Searates 2025]

A total of 2,567 cargoes were assigned to the first group and 3,127 to the second (for the sake of research clarity, 56 cargoes whose estimated passage through the Red Sea would have occurred after December 31, 2024 were excluded). For both periods, the type of transported cargo was compared. Full-container-load (FCL) and less-than-container-load (LCL) cargoes were identified, along with the weight and volume of goods, the average daily number of cargoes, and the ratio of all these parameters in 2024 to the previous year. Furthermore, the average actual transport times and delays for both periods were compared by month, and the changes before and after the onset of the Red Sea crisis in November 2023 were presented.

Less-than-container-load cargoes (84%) clearly dominated full-container-load cargoes (16%) in both analyzed periods (Table 5). Due to the longer period covering the threat to transported cargo, their number increased by 28% for FCL goods and by 21% for LCL goods. The distribution of cargo across all transported goods remained similar. The difference in favor of LCL cargoes from period to period amounted to 0.8 percentage points.

Table 5. Characteristics of cargo types included in the study
Tabela 5. Charakterystyka rodzajów ładunków uwzględnionych w badaniach

Cargo type	Before the onset of crisis	After the onset of crisis	Change period to period
FCL	15.5% (399)	16.3% (511)	+28%
LCL	84.5% (2,168)	83.7% (2,616)	+21%

Source: author's elaboration based on company data
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

The average daily number of maritime cargoes in a given month, as well as the year-on-year change in this value for the period from February 2023 to December 2024, is illustrated in Figure 10. In 2023, the average daily number of cargoes remained stable at approximately 8–10 units, reaching its peak in August and September. A clear decline in this indicator occurred in November 2023, which was associated with the escalation of threats in the Red Sea. An increase followed in the subsequent months. In February 2024, the year-on-year rise in the number of cargoes reached 38%, indicating a sudden redirection of maritime transport and an intensification of traffic around Africa. However, from March 2024 onwards, persistent negative year-on-year changes were observed (down to –26% in October), which may reflect prolonged transport times and the need to spread deliveries over time. Although the total cargo volume did not decrease, the duration and routing of transport changed.

Monthly changes in the mass and volume of cargo transported by sea through the Red Sea or via the alternative route around Africa in 2023–2024 are presented in Figure 11. Periodic fluctuations are visible, particularly in November 2023, when the data were divided into the periods “before” and “after” November 18, 2023, which is linked to the onset

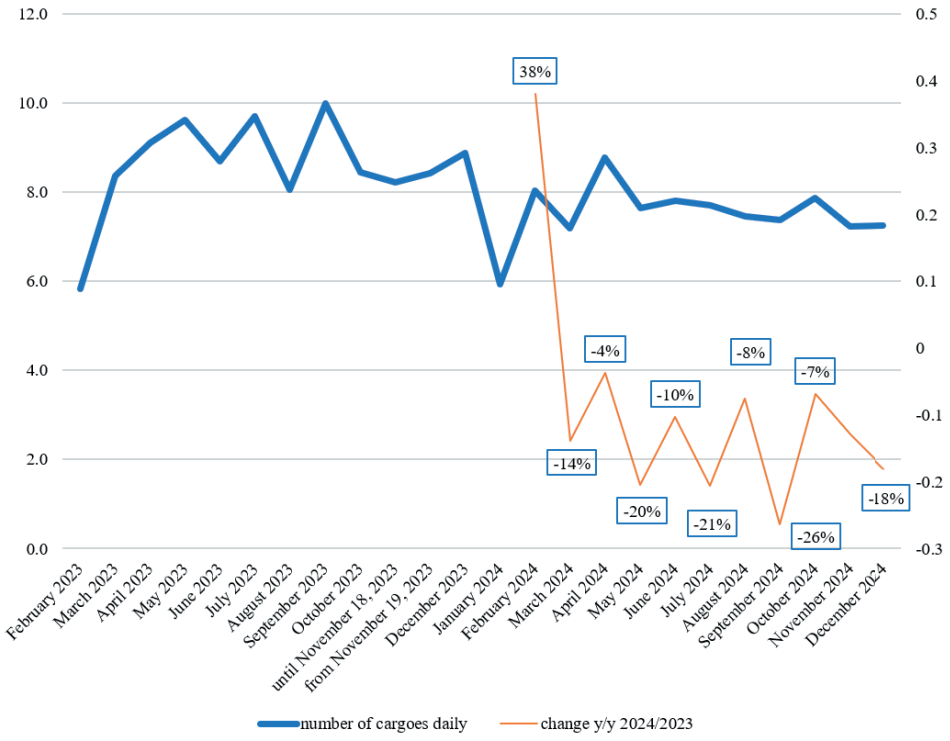


Figure 10. Average daily number of cargoes per month with year-on-year change (in days)
Rysunek 10. Średnia dzienna liczba ładunków w danym miesiącu ze zmianą rok do roku (w dniach)

Source: author’s elaboration based on company data

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

of the Red Sea crisis. The highest cargo mass values were recorded in March and December 2023 and in February 2024, when the weight exceeded 1,600 tons and the volume ranged between 2,500–2,700 m^3.

A different situation occurred in November 2023 (especially after November 18) and in January 2024, when the mass decreased to below 600 tons and the volume did not exceed 1,000 m^3. Despite these temporary declines, the subsequent months brought a rapid return to previous levels, and data from the second half of 2024 even showed increases compared with the corresponding months of 2023, indicating that maritime transport did not decrease but was redirected along another route. The results presented in the chart demonstrate flexibility in responding to geopolitical disruptions in the Red Sea region.

Monthly values of the actual transport time and transport delays for cargo moved by sea between Asia and Europe from January 2023 to December 2024 are presented in Figure 12. The data come from the monitoring system of a large logistics company and were compiled based on differences between the estimated loading and unloading dates (declared by carriers) and the actual dates of these operations.

Delays in maritime transport are a natural phenomenon, resulting, among other factors, from weather conditions, port congestion, or operational issues. However, during the analyzed period, a significant deterioration in transport punctuality was observed at the turn of 2023 and 2024. The cause of this phenomenon was the crisis in the Red Sea region, which forced many carriers to abandon the route through the Suez Canal and take the much longer route around the Cape of Good Hope.

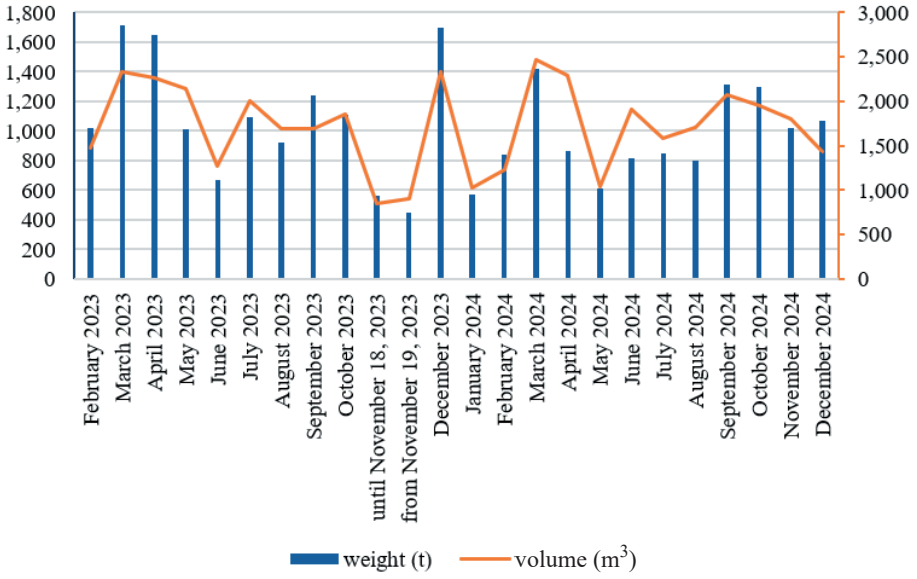


Figure 11. Comparison of monthly cargo weights and volumes in both periods

Rysunek 11. Zestawienie wag oraz objętości miesięcznych ładunków w obu okresach

Source: author's elaboration based on company data

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

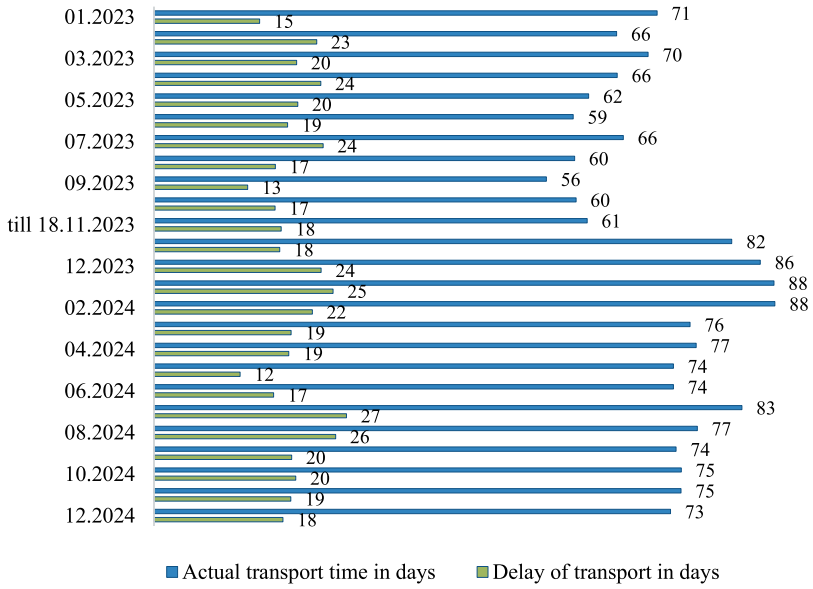


Figure 12. Actual transport time and delays in both analyzed periods
Rysunek 12. Rzeczywisty czas transportu i opóźnienia w obu badanych okresach

Source: author's elaboration based on company data

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

As a result, a sharp extension of actual transport time occurred, from approximately 60 days in October 2023 to 88 days in January 2024. At the same time, delays increased from a typical level of around 17–20 days to 24–27 days.

In the second half of 2024, a visible improvement in transport time and a reduction in delays emerged, which may indicate a gradual return to standard routes and transport conditions. In December 2024, the average transport time amounted to 73 days, and delays fell to 18 days, a value close to the pre-crisis level.

The correlation coefficient between actual transport time and delays was 0.46, indicating a moderate positive relationship. As transport time increases, delays tend to rise as well, although this relationship is not strong. This value suggests that other factors also influence delays, and transport time is not their sole determinant.

Industry-wide data presented in the E2open Ocean Shipping Index Q4 2024 report indicated a significant deterioration in maritime transport punctuality in 2023–2024. The average transport time for cargo from Asia to Europe at ports such as Muhammad Bin Qasim in Pakistan or Mundra in India increased over the year by 22 and 17 days, respectively, reaching as much as 65 days. In the European region, noticeable extensions were also recorded; for example, in the Slovenian port of Koper, the increase amounted to 14 days. These figures align with geopolitical and structural disruptions, including port infrastructure overload during the ongoing Red Sea crisis.

According to the Port Watch platform, flows through key transit points – the Suez Canal and the Bab al-Mandab Strait – declined by 60.7% and 66.4%, respectively, after the emergence of threats, forcing operators to massively reroute voyages around the Cape of Good Hope. Consequently, the average monthly transport volume around Africa almost doubled compared with the period before the crisis.

Verification of hypothesis H1, which assumed that the geopolitical crisis in the Red Sea caused an extension of transport time by more than 20 days, was carried out by comparing data from before and after the onset of disruptions. The analysis results confirmed the validity of this hypothesis. The observed changes exceeded the assumed threshold, indicating a significant impact of geopolitics on maritime logistics. The increase in transport time was neither marginal nor short-lived but constituted a lasting consequence of route changes and the reorganization of shipping operations.

The analysis of maritime transport data before and after the beginning of the Red Sea crisis in November 2023 made it possible to formulate several conclusions. First, a significant impact of the geopolitical situation on the course of maritime routes was observed. As a result of the threat of attacks, operators abandoned the route through the Suez Canal, directing vessels around the Cape of Good Hope. This led to a marked extension of actual transport time and an increase in unloading delays. Despite the disruptions, the total cargo volume did not decline, indicating high flexibility of the logistics system and the ability of operators to adapt quickly under disturbance conditions.

The structure of shipments in terms of cargo type remained stable. The moderate correlation between actual transport time and delays suggests that, apart from route length, other operational factors such as port congestion, schedule reorganization by carriers, or weather conditions also play an important role. Data from the second half of 2024 indicate a gradual stabilization of the situation and a possible return to earlier operational parameters of maritime transport between Asia and Europe.

Relationships between cargo characteristics and changes in transport duration

To determine which additional factors influence changes in maritime transport time on the Asia–Europe–Asia route, taking into account the Red Sea crisis in 2023–2024, a linear regression analysis of the transport data was performed. The dependent variable in this model was the actual transport time measured in days, while the independent variables included the remaining available cargo parameters, namely:

- cargo type (FCL, LCL)
- loading and unloading regions coded as binary variables (Middle East, Western Europe, Northern Europe, Southern Europe)
- cargo characteristics (weight, volume)
- threat period coded as a binary variable (0 – no threat, 1 – threat present)
- estimated date of cargo passage through the Red Sea
- transport delay expressed in days.

The analyzed countries were grouped into regions in order to avoid using an excessive number of independent variables. This reduced the number of countries from 23 to 5 aggregated regions. They were classified as follows:

- Southeast Asia – China, South Korea, Malaysia, Singapore, India, Australia
- Middle East – Saudi Arabia, UAE, Egypt
- Western Europe – Germany, France, Belgium, the Netherlands
- Southern Europe – Italy, Spain, Portugal, Slovenia
- Northern Europe – Poland, Sweden, Norway, Denmark, Finland, the United Kingdom.

The constructed model, based on 5,750 observations, explained 54.2% of the variability in transport time (Table 6). This is a good result given the data's nature, which includes variables difficult to specify precisely, such as weather conditions or operators' direct decisions. To prevent the so-called "dummy variable trap," one reference category was removed – Southeast Asia. The adjusted R-squared differed only minimally, suggesting that the number of variables did not cause excessive model complexity relative to the available data, and the multiple R indicated a strong positive linear correlation between actual transport time and the variables used. The standard error of 15.24 days indicates the average deviation between actual and predicted values.

Table 6. Key results of the linear regression analysis
Tabela 6. Kluczowe wyniki analizy regresji liniowej

Indicator	**Value**
R-square	0.5418
Adjusted R^2	0.5410
Sample size	5,750
Model standard error	15.24 days
F-statistic significance	≈ 0 (highly significant model)

Source: author's elaboration based on company data
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

Through the analysis of the regression coefficients, the impact of individual independent variables on maritime transport time was identified (Table 7). The model captured the significance of changes in transport duration following the emergence of threats in the Red Sea and clarified their practical implications. Among the regional variables, the strongest effect was associated with the location of the loading/unloading port in the Middle East, which increased the average transport time by approximately 10 days. Ports in Western European countries generated additional delays of about 4 days. An opposite tendency was observed for Northern and Southern Europe, where both regions recorded a reduction in transport time by approximately 5 and 6 days, respectively. During a period of disruption to the regular supply chain, a more favorable position relative to alternative routes and higher efficiency of specific ports may have contributed to these beneficial outcomes.

The second hypothesis (H2), which stated that the mass and volume of cargo transported along the Europe–Asia routes in 2023–2024 did not have a significant impact on transport duration, was confirmed. The regression analysis showed that volume was not a statistically significant explanatory variable, and although mass was statistically significant, its effect was marginal. This means that the physical characteristics of the cargo did not determine transport duration in the analyzed period; instead, delivery times depended

Table 7. Summary of the impact of variables on transport time
Tabela 7. Podsumowanie wpływu zmiennych na czas transportu

Variable	Significance	Effect
Cargo type	significant	extended time by approx. 1.7 days
Middle East	highly significant	extended time by approx. 10 days
Western Europe	highly significant	extended time by approx. 4 days
Southern Europe	highly significant	reduced time by approx. 6 days
Northern Europe	highly significant	reduced time by approx. 5 days
Weight [kg]	significant	minimal effect
Volume [m³]	not significant	no meaningful effect
Date of passage through the Red Sea	**highly significant**	**later date → shorter transport time**
Threat period	**highly significant**	**strongest effect: extended time by approx. 25 days**

Source: author's elaboration based on company data
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

primarily on organizational factors and the geopolitical situation. The variable describing cargo type proved significant, though its effect was moderate. Full-container-load shipments increased transport time by an average of 1.7 days compared with less-than-container-load goods.

The most influential variables in the model were those related to the passage period (Figure 13). The estimated date of passage through the Red Sea showed a negative correlation with transport time: the later the passage date, the shorter the recorded transport duration. This may indicate a successful adaptation of the maritime transport market to the ongoing crisis. The most statistically significant variable was the "threat period," which increased transport duration by an average of 25 days, making it the most important explanatory variable in the model.

The residual plot confirms the relationship between the predicted values (transport time) generated by the regression model and the forecast errors (residuals). They were obtained by calculating the difference between the actual value and the value predicted by the model:

$$residual = y - \check{y}$$

- y – actual transport time,
- $\check{y}$ – transport time predicted by the regression model based on the variables: delay, day of the year, weight, volume, cargo type, threat period.

The points are evenly dispersed around the zero axis, which indicates that the model accurately reflects the linear relationship (Figure 14). The absence of a clear pattern in the residual distribution suggests that the assumption of constant error variance (homoscedasticity) is satisfied. No systematic deviations were observed that would indicate model misspecification. The plot confirms that the regression model has a sound statistical foundation and that its application to the analysis of cargo transport time is justified.

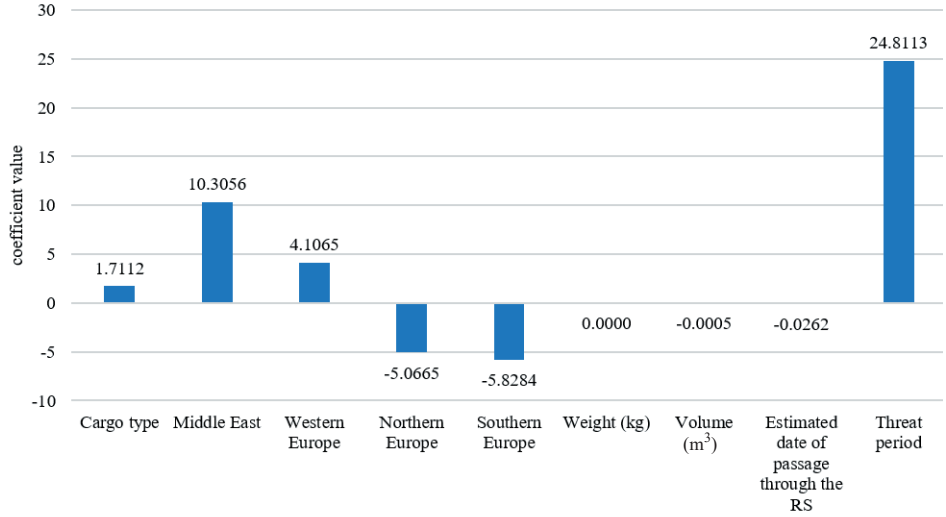


Figure 13. Coefficient values of independent variables in the regression analysis
Rysunek 13. Wartości współczynników zmiennych niezależnych analizy regresji
Source: author's elaboration based on company data
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

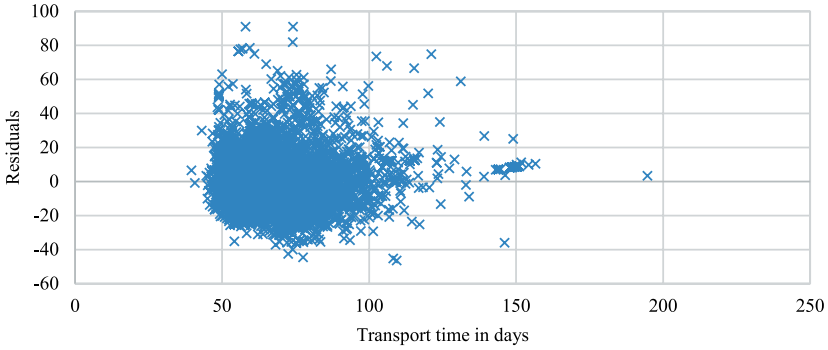


Figure 14. Relationship between the predicted values and the forecast errors
Rysunek 14. Zależność między wartościami przewidywanymi a błędami prognozy
Source: author's elaboration based on company data
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa

In summary, the conducted analysis of transport data demonstrated that the linear regression model achieved a high explanatory capacity, as more than 54% of the variability in transport time was shaped by the included variables. The most important factor contributing to the extension of transport duration was the occurrence of the threat period, linked to geopolitical instability and the uninterrupted Houthi attacks in the Red Sea region since November 2023. This threat increased delivery time by an average

of 25 days, making it the dominant variable in the model. Regional differences were also significant, as transports ending in the Middle East and Western Europe lasted longer, while deliveries to Northern and Southern Europe were characterized by shorter transport times.

Conclusions

In 2023–2024, the Red Sea region became a focal point due to disruptions in maritime transport that affected the functioning of global supply chains. Accordingly, this study focused on identifying the factors influencing the duration of maritime cargo transport through this basin during the specified period. The choice of topic was also driven by the growing importance of this area as a key transport route and by the emerging disruptions that additionally affected the economies of regional states. The core of the analysis centered on the impact of the geopolitical situation on transport duration and on the potential influence of the physical characteristics of cargo on delivery efficiency under conditions of operational instability.

The results of the study showed that geopolitical and infrastructural factors had the greatest influence on transport times. Once threats emerged in the Red Sea region, particularly in the Bab al-Mandab Strait and around the Suez Canal, operators were forced to reroute vessels around the Cape of Good Hope. This change in routing directly translated into extended transport times, with differences averaging 25–28 days compared with the pre-crisis period, which is directly confirmed by the analyzed data. Thus, the first hypothesis (H1), which stated that the geopolitical situation leads to longer transport times, was confirmed.

The second research area involved analyzing physical cargo characteristics, such as mass and volume, in terms of their impact on transport duration. The applied models showed that cargo volume had no statistically significant effect, while mass, although statistically significant, had a negligible practical impact. This means that regardless of the size of the transported cargo, the main determinants of delivery time were external conditions and operational decisions made by carriers in response to threats. The analyses therefore confirmed the second hypothesis (H2), which assumed that physical cargo properties did not play a key role in shaping maritime transport durations during the analyzed period.

An important outcome of the study was also the identification of regional variation in the impact of loading and unloading port locations on delivery times. Ports in the Middle East and Western Europe were associated with a statistically significant extension of transport duration, whereas ports in Northern and Southern Europe contributed to shorter delivery times. This may indicate greater flexibility in these regions in adapting to routing changes. Such patterns demonstrate that delivery times are shaped not only by distance and political risks but also by the adaptability and efficiency of infrastructure and operators under crisis conditions.

The findings of the study can be applied in practice primarily to enhance risk management and operational planning in maritime transport. Since it was confirmed that geopolitical factors were the main drivers of delivery times, logistics companies should develop early-warning systems for emerging threats and predictive models that incorpo-

rate political dynamics along key shipping routes. The observed differences between port regions in their impact on transport duration can also support the optimization of logistics networks. Ports demonstrating greater operational flexibility and stronger adaptive capacity may become preferred nodes during periods of instability. Moreover, transport companies can use the results to improve customer communication and ETA forecasting. If delivery times are primarily shaped by political risks rather than technical or operational parameters, forecasting models must remain adaptable and account for potential scenarios of escalation or stabilization in the Red Sea region. This enhances both the accuracy of predictions and the transparency of information shared with clients. In a broader perspective, organizations planning long-term operations can use insights about disruption mechanisms in the Red Sea to design diversified and flexible logistics structures that reduce dependency on critical chokepoints such as Bab al-Mandab or the Suez Canal. This not only mitigates current risks but also creates a competitive advantage by ensuring delivery stability under crisis conditions.

The collected material and formulated conclusions may serve as a foundation for further research on the resilience of maritime supply chains to geopolitical disruptions, as well as for developing strategies to minimize risk in international transport. The study revealed not only quantitative changes in delivery times but also demonstrated how complex and multifactorial the structure of determinants influencing global transport efficiency truly is.

References

BIMCO, 2025: Market analysis, https://www.bimco.org/news-insights/market-analysis/ [accessed: 07.04.2025].

Bombińska E., 2017: Kierunki rozwoju światowego transportu morskiego na początku XXI wieku – wybrane aspekty. Wybrane aspekty funkcjonowania gospodarki światowej, Studia i Prace WNEIZ US 49(2), DOI: 10.18276/sip.2017.49/2-21

Buchholz K., 2024: Global Shipping's Chokepoints, https://www.statista.com/chart/31489/shippings-chokepoints/ [accessed: 05.04.2025].

Carlomagno P., Antongiovanni G., Rudyi A., Garg H., 2025: Overcoming Disruption in Maritime Trade, Arthur D. Little, https://www.adlittle.com/be-en/insights/viewpoints/overcoming-disruption-maritime-trade [accessed: 05.04.2025].

Chambers S., 2023: 'Extreme' measures under consideration at drought-hit Panama Canal, Splash, https://splash247.com/extreme-measures-under-consideration-at-drought-hit-panama-canal/ [accessed: 03.04.2025].

Depositphotos, 2017: Polityczna mapa regionu Morza Czerwonego, https://depositphotos.com/pl/vector/red-sea-region-political-map-157546738.html [accessed: 01.11.2024].

E2open, 2025: E2open Ocean Shipping Index Q4 2024 Report, https://cdn.brandfolder.io/IDKCKNW5/at/t78kbmbg738g38bfhwsw9krz/E2open_Ocean_Shipping_Index_Q4_2024.pdf [accessed: 15.04.2025].

Encyklopedia PWN, 2024: https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/Czerwone-Morze;3889645.html [accessed: 01.11.2024].

Farid A.M., 2022: The Red Sea: Prospects for Stability, Routledge, New York.

Govindan A., 2024: The Red Sea Crisis and Impact on Maritime Economy, Defence Research and Studies, https://dras.in/the-red-sea-crisis-and-impact-on-maritime-economy/ [accessed: 05.04.2025].

Grzelakowski A.S., 2012: Globalizacja i jej wpływ na rozwój transportu morskiego i globalnych łańcuchów dostaw, Wyzwania gospodarki globalnej. Prace i Materiały Instytutu Handlu Zagranicznego Uniwersytetu Gdańskiego 31, 768–785.

Haralambides H., 2024: The Red Sea crisis and chokepoints to trade and international shipping, Maritime Economics & Logistics 26, 367–390, https://doi.org/10.1057/s41278-024-00296-y

ITF, 2024: The Red Sea Crisis: Impacts on global shipping and the case for international co-operation, Background Paper, International Transport Forum, Paris, https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/repositories/red-sea-crisis-impacts-global-shipping.pdf [accessed: 05.04.2025].

Lloyd's List, 2024: Red Sea shipping is now divided down lines of risk appetite and national security, https://www.lloydslist.com/LL1147985/Red-Sea-shipping-is-now-divided-down-lines-of-risk-appetite-and-national-security [accessed: 07.04.2025].

Marciniak R., 2023: Porty Morza Czerwonego. Analiza aktualnej sytuacji portowo-żeglugowej w regionie, Gospodarka Morska, https://www.gospodarkamorska.pl/porty-morza-czerwonego-analiza-aktualnej-sytuacji-portowo-zeglugowej-w-regionie-69844 [accessed: 01.11.2024].

The Maritime Executive, 2023: OOCL Stops Serving Israel Because of "Operational Issues", https://maritime-executive.com/article/oocl-decides-not-to-serve-israel-for-operational-reasons [accessed: 09.05.2025].

Narbone L., Widdershoven C., 2021: The Red Sea link – Geo-economic projections, shifting alliances, and the threats to maritime trade flows, European University Institute, https://data.europa.eu/doi/10.2870/866338 [accessed: 05.04.2025].

Nowicki T., 2024: Wpływ geopolityki na logistykę globalną. Analiza najważniejszych czynników, Logistyka24, https://logistyka24.com.pl/wplyw-geopolityki-na-logistyke-globalna-analiza-najwazniejszych-czynnikow/ [accessed: 31.03.2025].

Port Watch, 2025: Trade Disruptions in the Red Sea, https://portwatch.imf.org/pages/eventc1000000 [accessed: 15.04.2025].

Raydan N., Nadimi F., 2024: Houthi Shipping Attacks: Patterns and Expectations for 2025. Policy Analysis, Policy Watch 3968, https://www.washingtoninstitute.org/pdf/view/19112/en [accessed: 06.04.2025].

Rodrigue J.-P., 2017: Maritime Transport, The International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology, DOI: 10.1002/9781118786352.wbieg0155

Runde D.F., Hardman A., Bonin C., 2024: Responding to China's Growing Influence in Ports of the Global South, CSIS – Center for Strategic & International Studies, https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/2024-10/241030_Runde_China_Ports.pdf [accessed: 03.04.2025].

Salmonowicz H., 2008: Transport morski w rozwoju zrównoważonym Unii Europejskiej. Zarządzanie projektami logistycznymi, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu 11, 167–175, https://dbc.wroc.pl/Content/125023/Salmonowicz_Transport_Morski_w_Rozwoju_Zrownowazonym_Unii.pdf [accessed: 05.04.2025].

Sand P., Stausbøll E., 2025: 2025 Ocean Freight Outlook, https://www.xeneta.com/outlook/2025-ocean-freight-outlook [accessed: 07.04.2025].

Searates, 2025: https://www.searates.com/distance-time/ [accessed: 09.05.2025].

Stewart I.C.F., Rasul N.M.A., 2019: Geological Setting, Palaeoenvironment and Archaeology of the Red Sea, Springer International Publishing, Cham.

UNCTAD, 2024: Review of Maritime Transport 2024, https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2024 [accessed: 05.04.2025].

Yee V., Goodman P.S., 2021: Suez Canal Blocked After Giant Container Ship Gets Stuck. New York Times, https://www.nytimes.com/2021/03/29/learning/lesson-of-the-day-suez-canal-blocked-after-giant-container-ship-gets-stuck.html [accessed: 03.11.2024].

Zielińska E., 2017: Wybrane aspekty w zakresie transportu morskiego w Polsce. Efektywność transportu, Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 208(6).

Zuziak M., 2018: Konflikt na Morzu Południowochińskim. Zarys historyczny, omówienie problemów natury politycznej i prawnej ze szczególnym uwzględnieniem elementów polityki zagranicznej Chin, Nowa Polityka Wschodnia 3(18), 131–153, DOI: 10.15804/npw20181807

Economics and Organization of Logistics
11 (1), 2026, 33–55

DOI: 10.22630/EIOL.2026.11.1.2

Zgłoszono: 09.01.2026
Zaakceptowano: 26.04.2026

Grzegorz Dzieniszewski[1]✉, **Wiktoria Sasiela**[2], **Wiesław Piekarski**[2], **Dariusz Piekarski**[3], **Natalia Toboła**[4], **Zbigniew Kowalczyk**[4]

[1] Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu, Politechnika Rzeszowska

[2] Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu

[3] Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

[4] Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Ocena oddziaływania środków transportu i maszyn roboczych na środowisko przyrodnicze

Assessment of the environmental impact of transport vehicles and work machinery

Synopsis. Artykuł prezentuje wyniki oceny oddziaływania środków transportu i maszyn roboczych na środowisko przyrodnicze w pełnym cyklu ich istnienia – od wytworzenia, przez eksploatację, aż po procesy kasacji i recyklingu. Celem pracy jest identyfikacja głównych źródeł degradacji środowiska oraz przedstawienie metod umożliwiających ilościowe wartościowanie tych oddziaływań, ze szczególnym uwzględnieniem koncepcji ekobilansu, nakładów środowiskowych i sozoindeksu. W części metodologicznej omówiono hierarchiczny układ analizy oddziaływań, kategorie nakładów środowiskowych oraz wybrane metody oceny cyklu życia obiektów technicznych. Wyniki badań wskazują, że transport drogowy generuje największe obciążenia środowiskowe, zwłaszcza w zakresie emisji CO_2, NO_2, hałasu i zajęcia terenu, a także odpowiada za znaczną część kosztów społecznych związanych z wypadkami i zanieczyszczeniem powietrza. Wykazano również, że nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne, systemy oczyszczania spalin oraz rozwój paliw alternatywnych mogą istotnie ograniczać poziom emisji. Wnioski wskazują

✉ **Grzegorz Dzieniszewski** – Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu, Instytut Nauk Technicznych; Politechnika Rzeszowska, Wydział Mechaniczno-Technologiczny; e-mail:g.dzieniszewski@pansp.pl; https:/orcid.org/0000-0002-2712-1131

Wiktoria Sasiela – Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu, Instytut Nauk Technicznych; e-mail: w.sasiela@pansp.pl; https:/orcid.org/0009-0002-2915-8314

Wiesław Piekarski – Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu, Instytut Nauk Technicznych; e-mail: w.piekarski@pansp.pl; https:/orcid.org/0000-0001-6218-3090

Dariusz Piekarski – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie; e-mail: dariusz.piekarski@up.edu.pl

Natalia Toboła – Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; e-mail: tobolanatalia1@gmail.com

Zbigniew Kowalczyk – Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; e-mail: zbigniew.kowalczyk@urk.edu.pl; https:/orcid.org/0000-0001-8001-2092

CC BY-NC

na konieczność dalszej modernizacji środków transportu, poprawy jakości infrastruktury oraz wdrażania technologii proekologicznych, które pozwolą zmniejszyć presję transportu i mechanizacji na środowisko przyrodnicze.

Słowa kluczowe: ekonomika transportu, koszty zewnętrzne, oddziaływanie środowiskowe

Abstract. The article presents an assessment of the environmental impact generated by transport means and working machinery throughout their entire life cycle, from production and operation to decommissioning and disposal. The aim of the study is to identify the main sources of environmental degradation and to outline methods enabling quantitative evaluation of these impacts, with particular emphasis on environmental load assessment, lifecycle analysis and the concept of the sozoindex. The methodological section discusses the hierarchical structure of environmental impact analysis, categories of environmental inputs, and selected approaches used in ecobalance assessment. The results indicate that road transport is responsible for the highest environmental burden, especially in terms of CO_2 and NO_2 emissions, noise, land use, and the generation of external costs related to accidents and air pollution. The study also shows that modern engineering solutions, advanced combustion control systems, and the development of alternative fuels can significantly reduce emission levels. The conclusions highlight the need for further modernization of transport systems, improvement of technical standards and wider implementation of proecological technologies to effectively limit the pressure exerted by transport and mechanization on the natural environment.

Keywords: transport economics, external costs, environmental impact

Kody JEL: Q53, R41, Q51

Wprowadzenie

Ochrona środowiska przyrodniczego w XXI wieku jest jednym z głównych problemów, przed jakimi stoi obecnie świat. Emisja szkodliwych związków chemicznych, powstających zarówno w fazie produkcji i eksploatacji, jak i podczas wycofywania pojazdów z ruchu i przedostających się do atmosfery, gleby i wody, doprowadziła do degradacji środowiska i ograniczenia zasobów naturalnych Ziemi.

Intensywna eksploatacja naturalnych (konwencjonalnych) źródeł energii i surowców powoduje ich systematyczne wyczerpywanie. Pomimo rozwoju technologii pozyskiwania nowych źródeł energii oraz eksploatacji środków transportu i ich przetwarzania środowisko nie jest chronione przed degradacją – emisją i imisją zanieczyszczeń, w tym spalin i pyłów, infrastrukturą drogową, odpadami motoryzacyjnymi, szkodami górniczymi, skażeniem chemicznym lub radiologicznym czy dewastacją krajobrazu.

Dzięki naukowemu podejściu do problemów środowiskowych można obecnie właściwie kształtować proporcje między wartością obiektów technicznych (środków transportu i maszyn roboczych) a niepowtarzalną wartością elementów środowiska przyrodniczego. Ochrona środowiska wymaga stosowania nowoczesnych metod już na etapie procesu wartościowania i projektowania oraz wytwarzania obiektów. Z tego powodu powszechne jest założenie, że istnienie każdego obiektu technicznego rozciąga się w sensie fizycznym

od fazy jego wytwarzania do fazy likwidacji. Analiza faz istnienia obiektów (cyklu życia) umożliwia minimalizację szkodliwych skutków ich destrukcyjnego oddziaływania na otoczenie i środowisko przyrodnicze oraz spełnienie wymagań i oczekiwań użytkowników.

Projektowanie nowoczesnych środków transportu i maszyn roboczych wymaga bezwzględnego przestrzegania zasad związanych z inżynierią środowiska. Istotną cechą systemu eksploatacji obiektów technicznych jest dążenie do minimalizacji zagrożeń dla zdrowia i życia ludzkiego, innych organizmów żywych i środowiska biologicznego (powietrza, wody, gleby). Minimalizacja zagrożeń związana jest szczególnie ze wzrostem bezpieczeństwa, jakości i efektywności systemów antropotechnicznych i socjotechnicznych.

Materiały i metody

W ramach pełniejszego i dokładniejszego określania nakładów środowiskowych, które uzależnione jest w dużej mierze od rozwoju wiedzy w zakresie rozpoznania efektów oddziaływania wytworów człowieka na środowisko, należy zwrócić uwagę na problem wyznaczania procedury nakładów środowiskowych. Charakter oddziaływania wszelkiego rodzaju czynników na środowisko przyrodnicze jest następujący [Piekarski 2024]:

- pobieranie surowców i materiałów ze środowiska,
- przekazywanie do środowiska zanieczyszczeń i odpadów (zagrożenie środowiska).

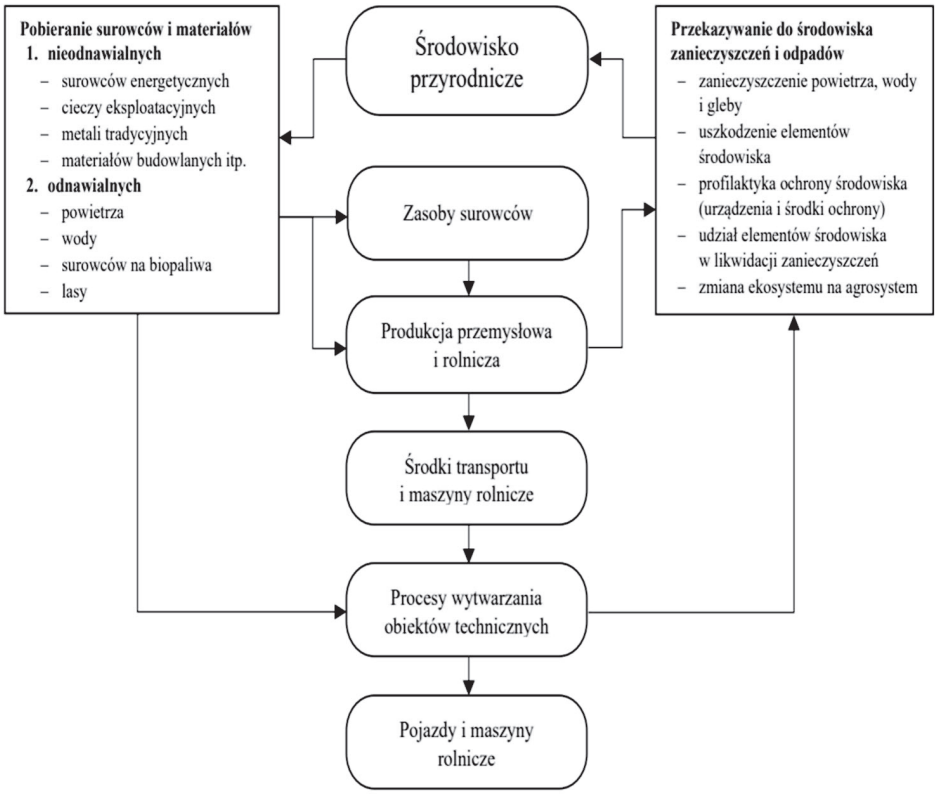
Na rysunku 1 przedstawiono próbę analizy oddziaływania różnych czynników na środowisko w postaci ekobilansu [Kellek i Zuber 1970; Methodik… 1990].

Problematyka oceny obejmującej wartościowanie (określanie ilościowe) wpływu obiektów technicznych na środowisko jest od kilku lat przedmiotem prac badawczych. Znacząca liczba obiektów technicznych (pojazdów, maszyn roboczych, ciągników itp.) obecnie użytkowanych i produkowanych uzasadnia celowość podjęcia tego problemu naukowego [Martelli i in. 2024]. Wiąże się z tym konieczność dokonania oceny oddziaływań obiektów na środowisko przyrodnicze przy wykorzystaniu szeregu metod ekobilansowania, które różnią się między sobą podejściem i przyjętą miarą oceny środowiskowego obciążenia [Tarnas 1997].

Do metod oceny ekobilansu należy zaliczyć:

- środowiskowe oszacowanie cyklu życia obiektów (ilościowe określenie środowiskowego obciążenia),
- analizę cyklu życia (etykietowanie obiektów znakiem „eko”),
- metodę ekobilansowania Feckera (tylko ekobilansowanie wymierne),
- metodę ekopunktową (współczynnik ekologiczny określający zasoby elementów środowiska),
- metodę sumarycznych nakładów środowiska (wyznaczanie nakładów środowiska i ocena).

Kryterium oceny socjologicznej jest istotnym elementem ekobilansu, dlatego przyjmuje się sumaryczne nakłady środowiskowe (SNS). Do wartościowania rozwiązań obiektów technicznych wykorzystywane są wskaźniki określające ich efektywność. W przypadku kryterium sozologicznego przyjmuje się ogólnie, że będzie to efektywność środowiskowa poniesionych nakładów, określana mianem nakładów środowiskowych [Klos 1995; Marczuk i in. 2015].



Rysunek 1. Charakter oddziaływania różnych czynników na środowisko przyrodnicze
Figure 1. The nature of the impact of various factors on the natural environment

Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

Na podstawie powyższego stwierdzenia jako zasadnicze kryterium sozologiczne dla obiektów technicznych przyjmowany jest stosunek sumarycznych nakładów środowiska do parametru charakteryzującego efekt użytkowy pracy obiektów. Otrzymuje się w ten sposób wskaźnik sozologiczny – sozoindeks (*SIS*):

$$SIS = \frac{SNS}{WPO} \tag{1}$$

gdzie:
SNS – sumaryczny nakład środowiskowy;
WPO – wolumen pracy obiektu technicznego, charakteryzujący jego kompleksowy efekt użytkowy.

Mimo tak różnej natury oddziaływań środowiskowych w praktyce dąży się do kwantyfikacji (wartościowania) otrzymanych wyników, nawet tych dotyczących oddziaływań „niematerialnych", których celem jest określenie oddziaływania sumarycznego. W celu umożliwienia prowadzenia kwantyfikacji oddziaływania obiektów (środków

transportu, maszyn roboczych i urządzeń oraz cieczy eksploatacyjnych) na środowisko wprowadzono pojęcie nakładu środowiskowego (*NS*). Jest nim każdy pobrany lub przekazany do środowiska element (np. surowiec mineralny, zanieczyszczenie, odpady poprodukcyjne) odniesiony do wielkości charakteryzującej zasób środowiska w danej kategorii nakładów. W przypadku surowców nieodnawialnych (np. kopalin typu węgiel czy ropa naftowa) wartość poniesionego nakładu środowiskowego charakteryzuje następująca relacja:

$$NS = \frac{Ilość\ pobranego\ surowca\ [\text{Mg lub kg}]}{Udokumentowana\ ilość\ zasobów\ tego\ surowca\ [\text{Mg lub kg}]} \tag{2}$$

Analizując różne formy oddziaływania na środowisko, można wyróżnić wiele kategorii nakładów, takich jak:

- materiały i surowce,
- nośniki energii,
- zasoby pracy ludzkiej,
- oddziaływanie antropopresyjne.

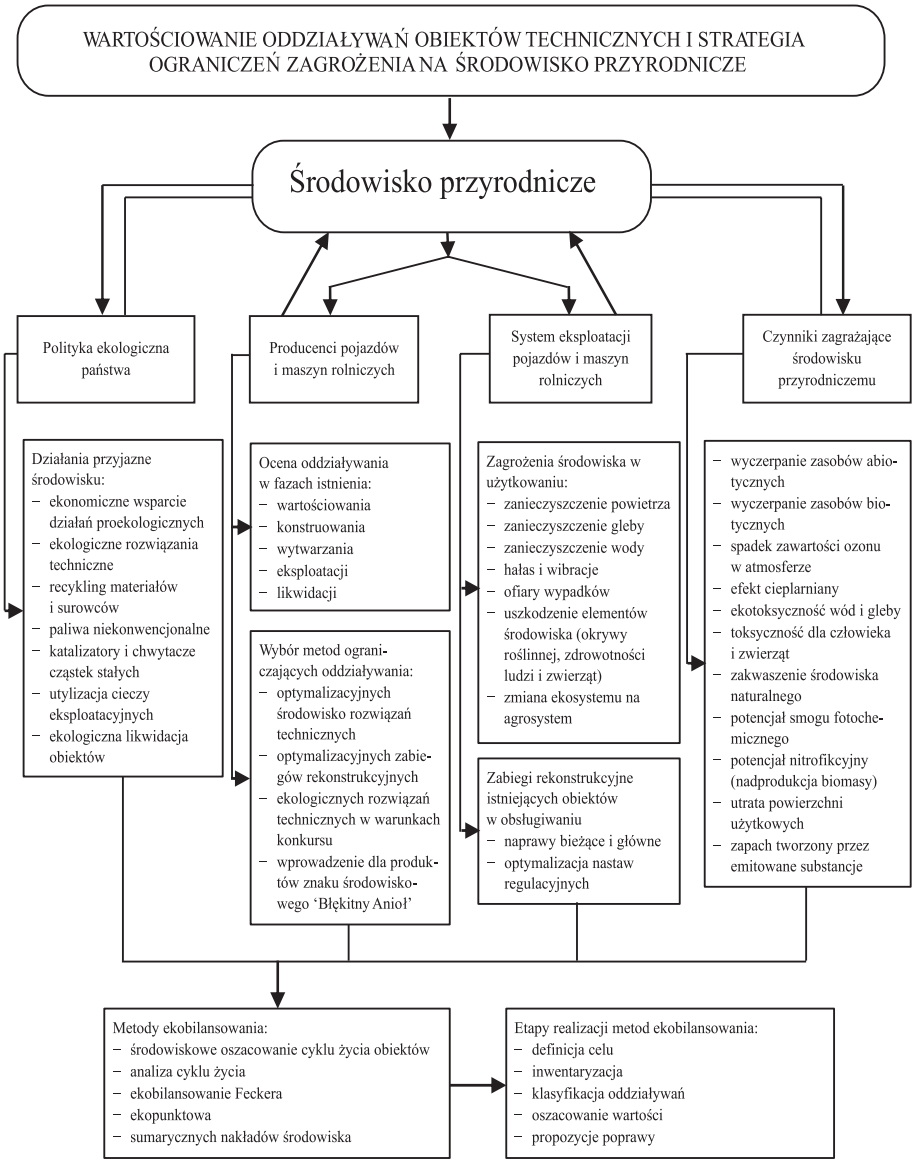
Przy sporządzaniu bilansu oddziaływań obiektów technicznych na środowisko należy posłużyć się układem hierarchicznym stworzonym ze względu na naturę oddziaływań lub ich istotność. Głównym wyznacznikiem istotności jest siła oddziaływania na środowisko, ujawniająca się głębokością zmian w nim zachodzących. Spójny system hierarchiczny należy zdekomponować do postaci podsystemów i zajmować się nimi odrębnie. Ułatwia to znacznie procedurę analizy i pozwala dokładniej wyznaczyć składowe bilansu oddziaływań [Bojarski 1984].

Należy zaznaczyć, że powstaje w ten sposób niezwykle trudna do oceny grupa oddziaływań natury psychofizycznej. Olbrzymia liczba obiektów technicznych – środków transportu, maszyn roboczych, urządzeń oddziałujących na środowisko itp. – obecnie użytkowanych i ustawicznie produkowanych uzasadnia celowość podjęcia tego zagadnienia. Zasadnicze problemy związane z oceną i wyborem kryteriów wartościowania oddziaływań obiektów na środowisko zostały zaprezentowane na rysunku 2.

Motoryzacja i mechanizacja rolnictwa oraz środowisko przyrodnicze tworzą system, w którym jeden czynnik oddziałuje na drugi: środki techniczne zanieczyszczają środowisko, a konieczność ochrony środowiska nakłada na motoryzację ograniczenia w postaci norm określających dopuszczalną emisję spalin i pyłów, poziom biodegradacji paliw, olejów i płynów eksploatacyjnych oraz ich toksyczność (rys. 2). Analizując proces eksploatacji obiektów technicznych, należy wziąć pod uwagę całkowity cykl ich „życia", od uruchomienia produkcji aż po złomowanie, co ma istotne znaczenie w aspekcie oszczędności energii i ochrony środowiska przyrodniczego. Procesy produkcji i kasacji (przetop metali, złomowanie, utylizacja cieczy eksploatacyjnych itp.) również wiążą się z powstawaniem wielu substancji zanieczyszczających środowisko [Bereś i Ciołkowska 1994].

Dla zarysowania całości zagadnienia celowe jest przedstawienie obszarów, w których należy poszukiwać zagrożeń dla środowiska wynikających z różnych oddziaływań urządzeń technicznych. Analizując etapy istnienia obiektów technicznych w aspekcie oddziaływania na środowisko, należy wyróżnić przede wszystkim eksploatację i wytwarzanie oraz likwidację będącą odrębnym etapem istnienia obiektów. Obecnie zwraca się szczególną uwagę na „przyjazność" urządzeń technicznych dla środowiska

przyrodniczego. Oddziaływanie obiektów technicznych w fazie wytwarzania, eksploatacji i kasacji może występować praktycznie we wszystkich elementach środowiska [Piekarski i in. 2016].



Rysunek 2. Wartościowanie i ocena oddziaływania czynników w aspekcie dewastacji biośrodowiska
Figure 2. Valuation and impact assessment of factors in the context of bioenvironment degradation

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Piekarski 1997]

Source: own elaboration based on [Piekarski 1997]

Do degradacji środowiska dochodzi zarówno w czasie eksploatacji różnego rodzaju środków transportu, maszyn roboczych i urządzeń (tab. 1), jak też w procesie utylizacji cieczy eksploatacyjnych (głównie olejów i smarów). Paliwa, oleje, smary itp. zanieczyszczają środowisko praktycznie na wszystkich etapach ich stosowania: w czasie transportu do użytkowników, długiego magazynowania, podczas pracy pojazdów i maszyn, a także przy zbiórce i utylizacji [Gutowski 1992].

Tabela 1. Szacunkowa emisja substancji szkodliwych ze wszystkich środków transportu i maszyn roboczych

Table 1. Estimated emissions of harmful substances from all means of transport and work machinery

Emisja substancji szkodliwych	**CO**	**CO_2**	**CH**	**NO_2**	**Pb**	**SCh**
Emisja [tys. ton]	1040	13 350	270	290	1,0	54
Udział procentowy:						
pojazdy samochodowe	38	94	76	35	45	44
ciągniki i maszyny rolnicze	8	21	6	20	–	31
kolej	1	2	2	6	–	8
żegluga	1	1	1	4	–	4

Źródło: opracowanie własne

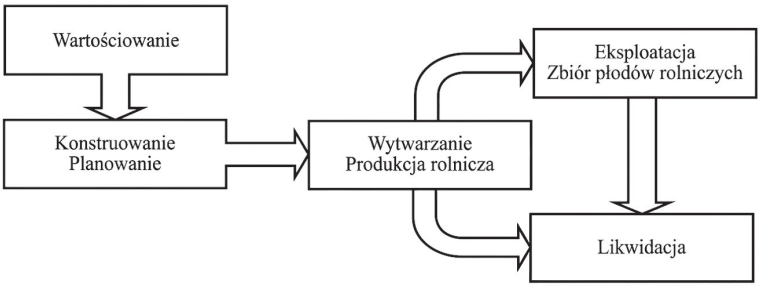
Source: own elaboration

Jak wspomniano wcześniej, dzięki coraz powszechniejszemu zrozumieniu problematyki środowiskowej na pierwszy plan wysuwają się obecnie zagadnienia właściwego kształtowania proporcji między wartością obiektów (urządzeń technicznych) a niepowtarzalną wartością elementów środowiska. Z tego powodu celowe jest wysunięcie propozycji szerszego niż dotychczas analizowania etapów życia obiektów. W aktualnej sytuacji środowiskowej podejście tego typu wydaje się celowe, szczególnie gdy chodzi o wyroby wytwarzane w dużych ilościach (wielkoseryjnie).

W wartościowaniu bardzo istotne jest pozyskiwanie informacji dla celów projektowych, produkcyjnych czy też eksploatacyjnych danego typu obiektu technicznego. Do wartościowania rozwiązań technicznych coraz częściej używa się wskaźników określających ich efektywność [Lončarević i in. 2023]. W przypadku kryterium sozologicznego będzie to, ogólnie mówiąc, efektywność środowiskowa poniesionych nakładów, określanych mianem nakładów środowiskowych.

W fazie wartościowania ekologicznego pojazdów i maszyn ich konstruktorzy i producenci wykorzystują najnowsze osiągnięcia techniki i mechatroniki, a także doświadczenia z dotychczasowej eksploatacji badań eksploatacyjnych i diagnostycznych prowadzonych we wszystkich fazach istnienia obiektów.

Rozważając ekologiczne aspekty obiektów produkcji rolniczej, należy zwrócić uwagę na powstawanie nakładów środowiskowych w różnych fazach istnienia obiektów. Z zasad ekorozwoju procesów zachodzących w produkcji rolniczej wynika, że powinny się one charakteryzować wysoką sozologicznością, której miernikiem jest sozoindeks. Im sozoindeks jest mniejszy, tym sozologiczność obiektu jest większa, i odwrotnie. Analizę i ocenę sozologiczności obiektów i procesów rolniczych możemy przeprowadzać w różnych fazach ich istnienia, co zostało przedstawione na rysunku 3 – w wytwarzaniu (produkcja przemysłowa i rolnicza) i eksploatacji (transport surowców i produktów).



Rysunek 3. Fazy powstawania nakładów środowiskowych
Figure 3. Stages of environmental cost formation
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Piekarski 1997]
Source: own elaboration based on [Piekarski 1997]

Należy zaznaczyć, że wpływ motoryzacji i mechanizacji rolnictwa na środowisko jest bardzo różny, głównie ze względu na zróżnicowanie środków transportu, warunki ich eksploatacji, użytkowania i obsługiwania, ale również system powiązań transportu ze wszystkimi dziedzinami gospodarki krajowej i międzynarodowej. Główne czynniki związane z motoryzacją i mechanizacją prac oddziałujące na środowisko przyrodnicze przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. Oddziaływanie motoryzacji i maszyn roboczych na środowisko
Figure 4. Entities affected by the environmental impact of motor vehicles and work machinery
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Piekarski 1997]
Source: own elaboration based on [Piekarski 1997]

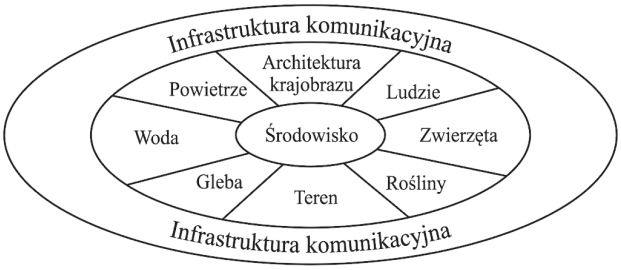
Można zauważyć znaczne różnice poziomu i składu emitowanych produktów spalania przez środki transportu i maszyny robocze w zależności od ich konstrukcji i rodzaju silnika. Zastosowanie kompleksowych rozwiązań w postaci głowicy czterozaworowej, regulowanych nastaw układu dolotowego, regulowanych nastaw faz otwarcia zaworów dolotowych i wylotowych, zwiększenia ciśnienia wtrysku paliwa, optymalizacji procesu wtrysku i zapłonu paliwa, recyrkulacji spalin itp. może się przyczynić do ponad 30% oszczędności zużycia paliwa, co w konsekwencji powoduje zmniejszenie poziomu emisji spalin.

Paliwa, materiały i ciecze stanowią duże zagrożenie dla wszystkich elementów środowiska na każdym etapie eksploatacji. Szczególnie niebezpieczne są trudne do oceny

sytuacje awaryjne (katastrofy) podczas produkcji i dystrybucji. Proces globalizacji w tej dziedzinie jest z jednej strony korzystny – powoduje wzrost jakości i zmniejszenie kosztów produkcji, a z drugiej strony niesie ogromne zagrożenia dla środowiska.

Materiały eksploatacyjne, tj. paliwa i ciecze, odgrywają podstawową rolę w zanieczyszczeniu środowiska. Powstające produkty ich spalania w silnikach stanowią obecnie 70–80% zanieczyszczeń w dużych aglomeracjach miejskich. Emisja przez środki transportu substancji szkodliwych dla organizmów żywych (szkodliwych składników spalin, pyłów i metali) wraz z nadmierną emisją CO_2 sprzyja powstawaniu efektu cieplarnianego w atmosferze.

Oddziaływanie środków transportu (motoryzacji i mechanizacji) powoduje również zmianę procesów naturalnych w środowisku przyrodniczym i otoczeniu człowieka, co przedstawiono na rysunku 5 [Piekarski 2024].



Rysunek 5. Oddziaływanie motoryzacji i mechanizacji prac na elementy środowiska przyrodniczego
Figure 5. Impact of motorization and work mechanization on components of the natural environment
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Piekarski 1997]
Source: own elaboration based on [Piekarski 1997]

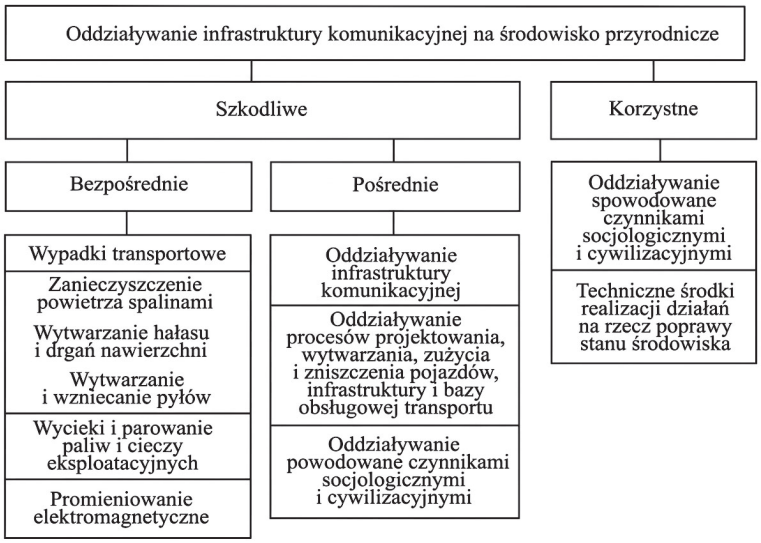
Zanieczyszczenia powietrza, gleby, wód powierzchniowych i głębinowych (zanieczyszczenia ropopochodne) powodowane przez oddziaływanie infrastruktury komunikacyjnej może niekiedy prowadzić do zmian ekosystemu na skalę globalną (np. niszczenie ekosystemu).



Rysunek 6. Działania związane z transportem wpływające na środowisko
Figure 6. Transport-related activities affecting the environment
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Piekarski 1997]
Source: own elaboration based on [Piekarski 1997]

Infrastruktura komunikacyjna i zakłady przemysłowe, a przede wszystkim mosty, wiadukty i stacje paliw oraz składowiska odpadów w znacznej części związanych z motoryzacją, mogą stanowić poważne zagrożenie dla krajobrazu. Do działań związanych z motoryzacją, które mają istotny wpływ na środowisko, zaliczyć można m.in. społeczne zapotrzebowanie na dany obiekt techniczny, projektowanie, produkcję, dystrybucję czy obsługę posprzedażową (rys. 6).

Transport i mechanizację rolnictwa należy jednak postrzegać nie tylko jako szkodliwe oddziaływanie na środowisko, ale upatrywać w niej także czynników korzystnych, które zazwyczaj nie są wyraźnie zauważane (rys. 7). Szkodliwe oddziaływanie motoryzacji na środowisko można natomiast podzielić na bezpośrednie i pośrednie.



Rysunek 7. Przykład oddziaływania motoryzacji na środowisko
Figure 7. An example of the environmental impact of motorization
Źródło: [Piekarski 2005; Chłopek 2002]
Source: [Piekarski 2005; Chłopek 2002]

Wyniki badań i dyskusja

Transport drogowy a degradacja środowiska przyrodniczego

Zagrożenia dla środowiska powstają na etapach produkcji, eksploatacji środków transportu oraz pozyskiwania i przetwarzania surowców na paliwa. Dużym problemem związanym z olbrzymią masą odpadów pochodzących z transportu, przemysłu i działalności komunalnej jest ich składowanie, odzysk i utylizacja. Zmiany środowiska naturalnego oddziałują na szereg powiązanych zjawisk, takich jak:

- choroby nowotworowe,
- kwaśne deszcze,
- wymieranie lasów,

- zanik warstwy ozonowej w stratosferze,
- efekt cieplarniany,
- zmiany klimatyczne i wiele innych.

Dynamiczny rozwój transportu drogowego zanieczyszczającego środowisko stanowi poważne zagrożenie dla równowagi ekologicznej, zarówno w skali całego świata, jak i poszczególnych regionów [Sarna 1997]. Nowe dyrektywy UE, a w ślad za nimi przepisy krajowe wyraźnie wskazują, że transport ma być maksymalnie bezpieczny, wydajny, wygodny i płynny, a także zorientowany na nowoczesną strategię rozwoju i ograniczenie wzrostu liczby jego zadań (zrównoważony rozwój).

Negatywny wpływ transportu na środowisko naturalne powoduje jego degradację, co pociąga za sobą znaczne koszty, zarówno pośrednie (pojawiają się w procesie projektowania, wytwarzania, eksploatacji i kasacji środków transportu oraz infrastruktury), jak i bezpośrednie (kolizje drogowe, zanieczyszczenia powietrza, hałas i drgania, wycieki paliwa itd.).

Bezpośrednie skutki oddziaływania transportu na środowisko są najczęściej mało wymierne, jednak coraz częściej podejmuje się próby ich oszacowania. Procentowy udział poszczególnych gałęzi transportu w ogólnych kosztach zewnętrznych oddziaływania na środowisko przedstawiono w tabeli 2.

Priorytetowa strategia rozwoju gospodarczego w wyniku znacznego wzrostu udziału transportu w degradacji środowiska wymusza podjęcie działań mających na celu ograniczenie tego niekorzystnego oddziaływania. Stopień niekorzystnego oddziaływania transportu na środowisko zależy od wielu czynników, m.in.:

- technologii transportu,
- natężenia i płynności ruchu,
- struktury gałęziowej systemu transportowego,
- poziomu technicznego i technologicznego środków transportu itp.

Tabela 2. Udział procentowy poszczególnych gałęzi transportu w ogólnych kosztach zewnętrznych
Table 2. Percentage share of each transport mode in total external costs

Udział poszczególnych gałęzi	Transport lotniczy	Kolej	Żegluga	Transport samochodowy	Razem
Zanieczyszczenie powietrza	2	4	3	91	100
Hałas	26	10	0	64	100
Zajmowanie terenu	1	7	1	91	100
Koszty budowy i utrzymania	2	37	5	56	100
Kolizje	1	1	0	98	100

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

Pośrednie szkodliwe oddziaływanie na środowisko związane z działalnością transportową wynika głównie z: pozyskiwania i wytwarzania surowców i materiałów, zagospodarowania zużytych środków i materiałów oraz produkcji środków transportu.

Degradacja środowiska przez transport:

1. wywołuje szereg lokalnych negatywnych skutków związanych z warunkami życia, pracy i wypoczynku (hałas, miejscowe zanieczyszczenie powietrza),

2. generuje skutki o zasięgu międzynarodowym, takie jak kwaśne deszcze (emisja NO_x) czy zanieczyszczenie wód morskich,
3. przyczynia się do powstawania globalnych problemów środowiskowych, takich jak dziury ozonowe, globalne ocieplenie itp.

Charakterystyka i skala oddziaływania różnych gałęzi transportu na środowisko zostały zaprezentowane w tabeli 3. Wzrost liczby środków transportu i zwiększenie zadań transportowych niosą za sobą zwiększenie emisji szkodliwych gazów do atmosfery, co przyczynia się do tak istotnych zagrożeń dla ludzkości jak globalne ocieplenie czy zanikanie warstwy ozonowej. Kolejne Szczyty Ziemi i konferencje klimatyczne pozwoliły nagłośnić problemy, przed jakimi stoją społeczeństwa na początku XXI wieku. Unia Europejska, w tym Polska, podjęła wiele działań w ramach polityki proekologicznej, takich jak dofinansowanie badań, wprowadzanie podatków produktowych czy obniżenie podatku w przypadku paliw ekologicznych, co zwiększa ich popularność.

Tabela 3. Charakterystyka oddziaływania środków transportu na środowisko przyrodnicze
Table 3. Characteristics of the impact of transport on the natural environment

Charakterystyka oddziaływania				
Wpływ na środowisko	Zanieczyszczenie powietrza	Zanieczyszczenie wody gruntowej	Tereny leśne	Zdrowie i bezpieczeństwo
Stały wpływ			Zajęcie terenu, zanieczyszczenie krajobrazu	
Wpływ w czasie eksploatacji	Emisja CO_2 i innych gazów wywołujących efekt cieplarniany	Rozprzestrzenianie sie zanieczyszczeń	Kwaśne deszcze	Wypadki, hałas, wibracje
Ryzyko w czasie przeładunku	Rozprzestrzenianie się substancji niebezpiecznych	Rozprzestrzenianie się substancji niebezpiecznych	Rozprzestrzenianie się substancji niebezpiecznych, ryzyko pożaru	Toksyczne wycieki, ryzyko pożaru i eksplozji
Ranga oddziaływania wg elementów środowiska i gałęzi transportu				
Transport samochodowy	***	*	***	***
Transport kolejowy	**		**	*
Transport wodny	*	**[A]	*	
Transport lotniczy[B]	*		*	*

Poziom oddziaływania na środowisko: * – słaby, ** – istotny, *** – bardzo duży.

[A] – wpływ może być znaczny, gdy dojdzie do wypadku; [B] – wpływ nie jest dobrze rozpoznany.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

Środki transportu i maszyny robocze a emisja toksycznych składników spalin

Podstawowym problemem związanym z transportem jest zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego (głównie powietrza i gleby), które wiąże się ściśle ze zużyciem energii (paliwa). Wzrost udziału transportu w konsumpcji nośników energii wynika przede

wszystkim z dynamicznego rozwoju rynku pracy, co jest z kolei wynikiem intensywnego rozwoju transportu, głównie drogowego i lotniczego – gałęzi, które charakteryzują się największym zużyciem paliwa.

W krajach o rozwiniętej motoryzacji i mechanizacji prac globalna emisja tlenku węgla (CO_2) wynosi od 70 do 90% – pochodzi on przede wszystkim z silników spalinowych. Najwięcej dwutlenku węgla pod względem masy (ponad 2 mld ton) emituje transport, to ok. 25% całkowitej światowej emisji tego gazu. Szkodliwość toksyn emitowanych ze spalinami przez infrastrukturę drogową ma charakter wielowymiarowy, oddziałuje bowiem w sposób bezpośredni na środowisko (powietrze, wodę, glebę), ale i na całe życie biologiczne. Poważny problem środowiskowy stanowi również emisja pyłów związana ze zużyciem elementów pojazdu (opony, sprzęgła, hamulce itp.) [Stoma i in. 2015].

Negatywnymi wyróżnikami krajowego parku pojazdów samochodowych są: stan techniczny (wycieki i wyziewy), nadmierne zużycie energii (masa spalin), jakość procesu przygotowania i spalania oraz katalizatory i filtry cząstek stałych itp.

Wysoki poziom emisji zanieczyszczeń przez pojazdy i maszyny robocze jest powodowany przez:

- wysoki średni wiek pojazdów (wpływający na pogorszenie ich stanu technicznego),
- import używanych pojazdów (często nieekologicznych),
- niewłaściwą jakość systemu kontroli technicznej pojazdów,
- nieuzasadniony system oszczędności na kosztach eksploatacji (przeglądy techniczne, wymiany zużytych części zespołów, np. opon, nastawy regulacyjne, jakość napraw).

Główne kierunki działań zmierzające do zmniejszenia skażenia środowiska to:

- wdrażanie zaostrzonych standardów homologacyjnych,
- wdrażanie zaostrzonych standardów ekologicznych dla pojazdów (Euro 3, 4, 5 i 6),
- montowanie w samochodach czujników AdBlue,
- poprawa poziomu obsługi i kontroli technicznej pojazdów,
- poprawa jakości paliw, smarów i cieczy eksploatacyjnych,
- poprawa infrastruktury drogowej i płynności ruchu.

Największym zagrożeniem dla środowiska naturalnego jest szybki, szczególnie dynamiczny rozwój transportu drogowego [Zabłocki 1996]. W samochodowym transporcie drogowym poziom emisji i skład zanieczyszczeń zależą głównie od rodzaju zastosowanego silnika spalinowego. Środki transportu z silnikiem o napędzie iskrowym emitują ponad trzykrotnie więcej CO_2, natomiast pojazdy z zapłonem samoczynnym (diesel) emitują znaczne ilości cząstek stałych (na których osadzają się duże ilości szkodliwych węglowodorowych składników spalin). Należy zaznaczyć, że mimo znaczącego wzrostu liczby środków transportu i maszyn roboczych poziom emisji szkodliwych składników spalin nie uległ istotnemu wzrostowi, głównie dzięki innowacyjnym rozwiązaniom w konstrukcji silników spalinowych, układów napędowych i źródeł napędu (hybrydowe i elektryczne) [Dzieniszewski 2015]. Producenci wprowadzili ponadto szereg rozwiązań ograniczających szkodliwe emisje spalin: systemy EGR, filtry cząstek stałych (DPF), katalizatory utleniające i redukujące oraz system AdBlue (czysty mocznik) redukujący tlenki azotu itp. [Nazimek i in. 2015].

W krajach europejskich źródła mobilne są odpowiedzialne za emisję ponad 70% całkowitej emisji tlenku węgla i prawie 60% tlenków azotu. W Polsce środki transportu mają wyraźną tendencję wzrostową w emisji zanieczyszczeń ze względu na ich coraz

większą liczbę, ale nadal wysoki jest udział przemysłu energetycznego pomimo wprowadzania nowych energooszczędnych technologii produkcji (dlatego kierunkiem działań jest ograniczanie spalania, głównie węgla) [EC Commission 1992a, 1992b].

Przykładowe wielkości najważniejszych zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery w Polsce z podziałem na podstawowe grupy źródeł ich pochodzenia przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Całkowita emisja głównych zanieczyszczeń powietrza według rodzajów działalności w Polsce w 2023 r.

Table 4. Total emissions of major air pollutants by type of activity in Poland in 2023

Źródło	Emisja gazów [tys. Mg]		
	SO_2	CO_2	NO_2
Procesy spalania (energetyka, przemysł, ciepłownictwo)	1800	2700	700
Procesy produkcyjne	40	60	30
Transport drogowy	70	1300 (24,90%)	350 (23,81%)
Inne pojazdy i źródła mobilne	30	260 (4,64%)	140 (9,52%)
Zagospodarowanie odpadów	20	900	250
Ogółem	1960	5220	1470

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

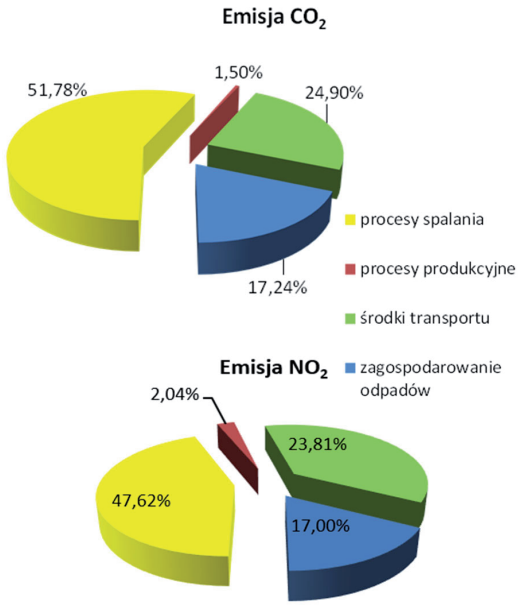
Z analizy danych dotyczących CO_2 przedstawionych na rysunku 8 wynika, że transport drogowy emituje 24,90% tego gazu, a inne pojazdy i źródła mobilne 4,64%; w przypadku NO_2 jest to odpowiednio 23,81% i 9,52%.

Środki transportu w Polsce wykorzystują jako źródło energii paliwa konwencjonalne, które mają znaczący udział w zanieczyszczaniu atmosfery: tlenkami azotu NO_x, węglowodorami C_nH_m, cząstkami stałymi PM i emisją CO_2. Dynamiczny wzrost przewozów towarów i osób w ostatnich latach przyczynił się do zwiększonego zużycia paliw, co prowadzi do większej emisji poszczególnych składników zanieczyszczeń.

Należy zaznaczyć, że emisja NO_2 (w przeliczeniu na jednego mieszkańca) osiągnęła w Polsce poziom europejski [Piekarski i Kuranc 2017]. Obniżenie całkowitej emisji tlenków azotu wynika głównie ze spadku udziału przemysłu (upadek wielu firm, nowe technologie produkcji, systemy oczyszczania spalin itp.) oraz wprowadzenia palników niskoemisyjnych w źródłach stacjonarnych.

Dominujący wpływ na poziom zanieczyszczenia powietrza tlenkami azotu w kraju ma wzrost emisji ze źródeł mobilnych (duża dynamika wzrostu liczby pojazdów). Tendencję tę można ograniczyć dzięki stopniowej wymianie pojazdów na nowe, stosowaniu lepszego jakościowo paliwa i smarów oraz systemów redukcji NO_x w spalinach. Obecnie w pojazdach samochodowych powszechnie montowane są czujniki sterujące systemem dozowania paliwa AdBlue, które znacząco ograniczają emisję NO_2 przy jednoczesnym sterowaniu parametrami procesu spalania w silniku [Bednarek i in. 1997].

W katalizatorze zachodzi reakcja łączenia się AdBlue z postacią gazową tlenku azotu, dzięki czemu szkodliwe gazy przekształcane są w parę wodną i azot. Technologia dopalania stosowana w katalizatorze SCR sprawia, że silniki są tuningowane aż do osiągnięcia opty-



Rysunek 8. Całkowita emisja głównych zanieczyszczeń powietrza według rodzajów działalności w Polsce w 2023 r.

Figure 8. Total emissions of major air pollutants by type of activity in Poland in 2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

malnego ustawienia, dzięki czemu z oleju napędowego pozyskiwana jest maksymalna energia przy jego minimalnym zużyciu. Zmniejszenie zużycia paliwa wynosi średnio 5–8% przy jednoczesnym ograniczeniu emisji spalin.

Producenci samochodów ciężarowych wybrali metodę oczyszczania spalin w technologii SCR ze względu na jej liczne zalety:

- metoda jest prosta i niezawodna,
- obniża koszty eksploatacji samochodu,
- wydłuża okres serwisowania katalizatora SCR/AdBlue,
- spełnia wymagania przyszłościowych norm dotyczących emisji gazów.

Od kilku już lat w Polsce i Europie obowiązują przepisy prawne określające m.in. parametry emisyjne stawiane pojazdom, które znacząco ograniczyły poziom emisji do środowiska szkodliwych składników spalin [OECD 1991; Council… 1993].

Emisja hałasu przez środki transportu – czynnik groźny dla środowiska przyrodniczego

Emisja hałasu jest jednym z najczęstszych niepożądanych zjawisk towarzyszących obecnie rozwojowi cywilizacji. Mimo że dla środowiska stanowi czynnik uciążliwy, poświęca się jej znacznie mniej uwagi niż innym zagrożeniom (np. emisji spalin). Poziom hałasu ustawicznie rośnie, a skutki jego oddziaływania będą widoczne dopiero po bardzo długim czasie i mogą być niestety nieodwracalne [Cimek 1995].

Liczba osób cierpiących na schorzenia spowodowane hałasem przyrasta lawinowo, szczególnie dotyczy to aglomeracji miejskich. Szacuje się, że transport drogowy jest aktualnie odpowiedzialny za 80% wszystkich zagrożeń akustycznych środowiska.

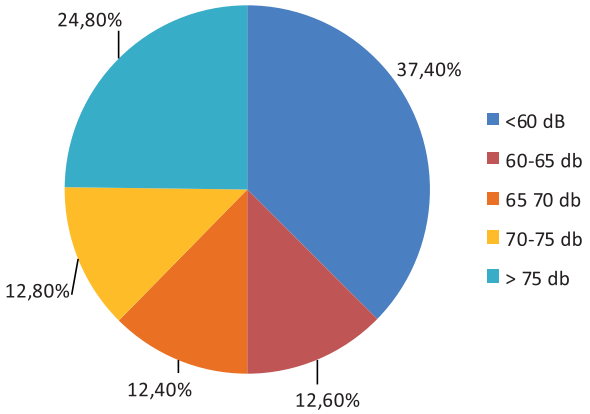
Na poziom hałasu drogowego wpływa szereg elementów, takich jak:

- stan techniczny środków transportu,
- charakterystyka ciągów komunikacyjnych (stan nawierzchni itd.),
- organizacja ruchu (natężenie, płynność i prędkość ruchu itd.),
- rodzaj stosowanych środków transportu (rodzaj silnika, nowoczesność rozwiązań konstrukcyjnych poszczególnych zespołów itp.).

W Polsce hałasem drogowym powyżej 60 dB(A) zagrożone jest blisko 35% powierzchni kraju i 15 mln ludzi (szczególnie mieszkańców miast). Zjawisko to zwiększają następujące czynniki:

- niewłaściwy stan nawierzchni drogowych,
- brak obwodnic miejskich i bezkolizyjnych skrzyżowań,
- nadmierna hałaśliwość pojazdów o przestarzałej konstrukcji i złym stanie technicznym,
- niewłaściwy stan techniczny wielu pojazdów.

Podstawowym wskaźnikiem poziomu hałasu w środowisku jest tzw. równoważny poziom hałasu – LA_{eq} – wyrażany w decybelach [dB]. Badania prowadzone w Polsce wykazały, że na obszarach miejskich w ciągu dnia średni równoważny poziom hałasu wynosi ok. 72 dB. Natomiast hałas drogowy w bezpośrednim sąsiedztwie jego źródeł jest rzędu 65–75 dB, z tendencją do znacznej zmienności w ciągu doby i w zależności od pory roku (rys. 9).



Rysunek 9. Przykładowa emisja hałasu drogowego w ciągu doby (dane dotyczą polskich aglomeracji miejskich)

Figure 9. Example of daily road noise emission frequency (data for polish urban agglomerations)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

Hałas spowodowany ruchem pojazdów można znacznie zredukować dzięki optymalizacji infrastruktury transportowej, polegającej na:

- poprowadzeniu drogi tunelem lub w wykopie,
- prowadzeniu drogi z dala od obszarów zagrożonych hałasem,
- stosowaniu ekranów biologicznych (pokrycie roślinnością terenu wzdłuż drogi),
- stosowaniu ekranów dźwiękochłonnych.

Środki transportowe podczas przemieszczania generują drgania mechaniczne, które powstają na styku kół z nawierzchnią (przekładnia drogowa). Zależą one od jakości nawierzchni, układu zawieszenia, ogumienia itp. oraz prędkości pojazdów i mogą być nawet kilkakrotnie większe podczas ruchu pojazdów po nierównościach. Drgania te prze-

noszone są bezpośrednio przez podłoże i oddziałują zarówno na ludzi, jak i na budynki (np. rysowanie się tynków) oraz znajdujące się w nich urządzenia i aparaturę, a dodatkowo emitują hałas.

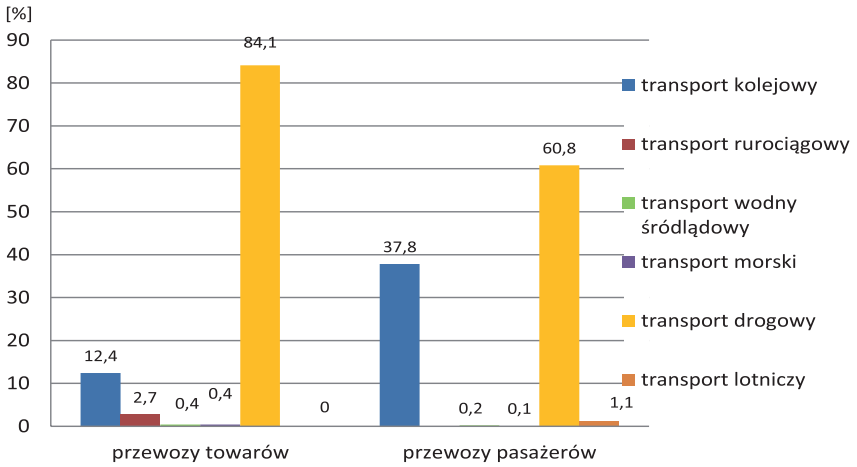
Podejmowane są działania ograniczające drgania, takie jak:

- projektowanie podbudowy nawierzchni o wyższej wytrzymałości (jakość stabilizacji),
- stosowanie odpowiedniej warstwy materiałów (w tym pale wapienne i piaskowe),
- poprawa jakości nawierzchni (w tym utrzymanie równej nawierzchni),
- ekranowanie (najczęściej pod postacią pustych szczelin i rowów).

Całkowity koszt społeczny wykorzystania transportu w środowisku

Negatywne oddziaływanie transportu na środowisko naturalne generuje w Polsce ogromne koszty [Dzieniszewski i Kuboń 2017]. Na całkowity koszt społeczny transportu składają się koszty zewnętrzne oraz koszty, które ponoszą zarówno użytkownicy transportu, jak i państwo. Do kosztów zewnętrznych transportu należy zaliczyć: zanieczyszczenie powietrza, emisję hałasu, zajęcie obszarów ziemi oraz koszty kolizji i wypadków, które ponosi całe społeczeństwo, mimo że nie bierze bezpośredniego udziału w ich powstawaniu (poza przewoźnikami i nabywcami usług transportowych) [Juściński i in. 2024].

Ograniczenie kosztów transportu ponoszonych przez społeczeństwo jest jednym z kluczowych problemów i celów krajowej i międzynarodowej polityki transportowej. Szczególnie dotyczy to transportu drogowego, na który przypada najwięcej przewożonych towarów i osób (rys. 10).

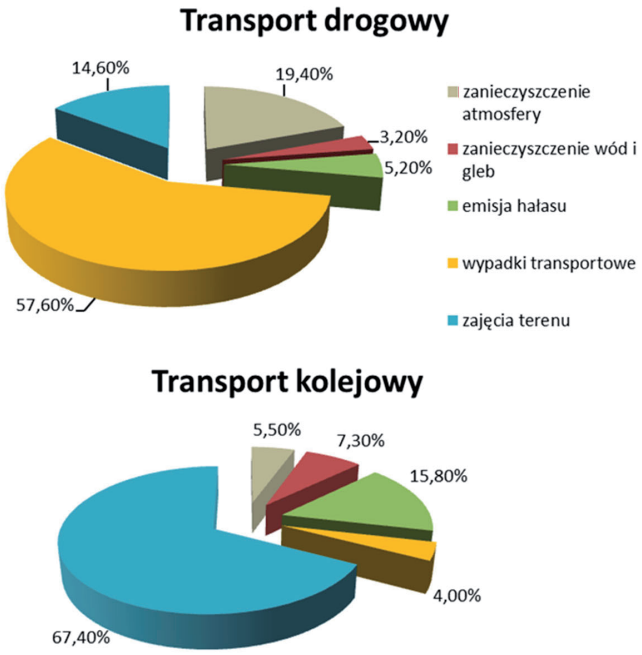


Rysunek 10. Struktura gałęziowa udziału transportu w przewozach towarów i osób w Polsce w 2024 roku

Figure 10. Branch structure of transport's share in freight and passenger transport in Poland in 2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]



Rysunek 11. Przykład struktury strat środowiskowych i ludzkich w polskim transporcie drogowym i kolejowym (2021)

Figure 11. Example of the structure of environmental and human losses in Polish road and rail transport (2021)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

Tabela 5. Szacunkowe wielkości strat środowiskowych i ludzkich w Polsce (dane dotyczą transportu drogowego i kolejowego w 2021 r.)

Table 5. Estimated magnitude of environmental and human losses in Poland (data for road and rail transport in 2021)

Rodzaj strat	Transport drogowy		Transport kolejowy	
	Kwota [mln PLN]	Struktura [%]	Kwota [mln PLN]	Struktura [%]
Zanieczyszczenie atmosfery	34,46	19,4	4,12	5,5
Zanieczyszczenie wód i gleb	61,71	3,2	5,48	7,3
Emisja hałasu	103,46	5,2	11,88	15,8
Wypadki transportowe	1142,91	57,6	3,09	4,0
Zajęcie terenu	288,58	14,6	50,96	67,4

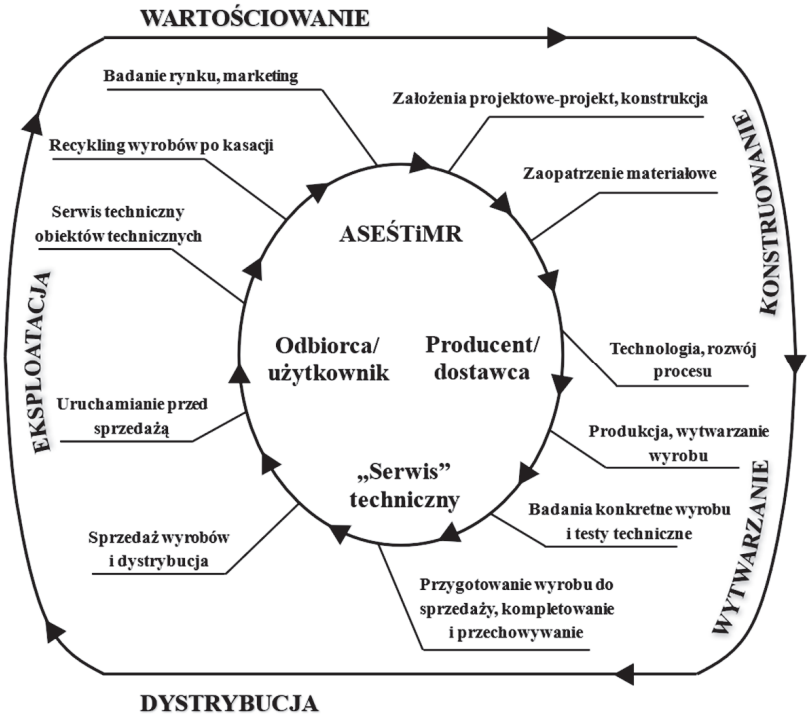
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

W Polsce na przełomie 2020 i 2021 roku prowadzone były badania dotyczące strat środowiskowych i ludzkich wiążących się z poszczególnymi gałęziami transportu. Z analizy tych badań wynika, że największe straty powoduje transport drogowy. Ponieważ w Polsce dominującymi gałęziami transportu, zarówno pasażerów, jak i towarów, są transport drogowy i kolejowy, relacje dotyczące wielkości strat środowiskowych i ludzkich przedstawione zostały w odniesieniu do tych gałęzi (rys. 11, tab. 5).

Etapy istnienia obiektów technicznych i usług w pętli jakości

Aktualnie zarówno w kraju, jak i na świecie zauważalny jest dynamiczny rozwój techniki, który charakteryzuje się gwałtownym nasyceniem gospodarki nowoczesnymi, wysoko wydajnymi i specjalistycznymi środkami transportu i maszyn roboczych. Z tego powodu następuje szybka instrumentalizacja czynności wykonywanych przez operatora maszyn. Procesowi temu winien towarzyszyć równie szybki wzrost umiejętności człowieka w racjonalnym i efektywnym wykorzystaniu coraz bardziej złożonych i skomplikowanych obiektów technicznych. Efektywność gospodarki zależy nie tylko od liczby posiadanych środków technicznych, lecz także od racjonalnego gospodarowania nimi.



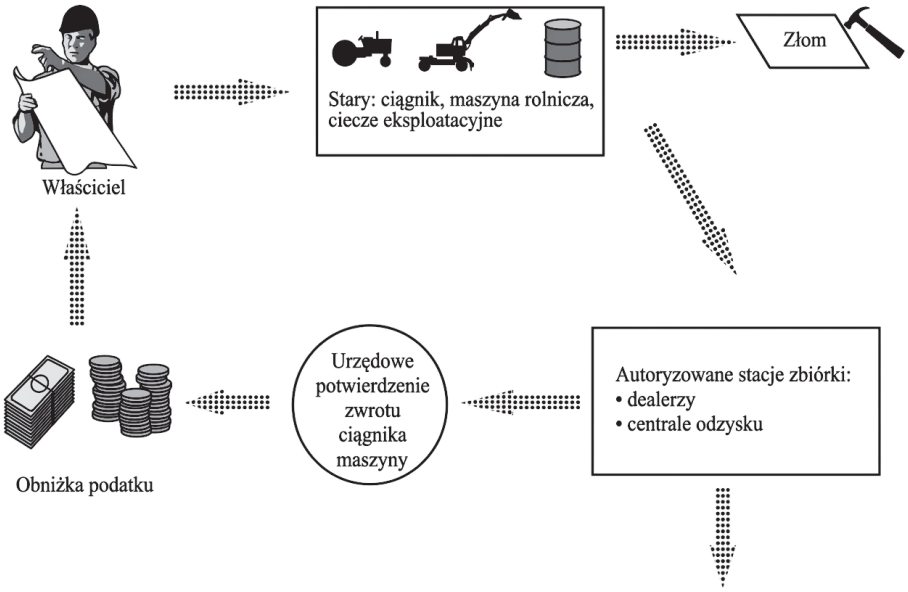
Rysunek 12. Autorski system eksploatacji środków transportu i maszyn roboczych
Figure 12. Authors's system for the operation of transport vehicles and work machinery
Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

Zmiany zachodzące na rynku usług zmuszają producentów środków transportu i maszyn roboczych do gwarantowania ich jakości. Konkurencja na rynku i ochrona środowiska przyrodniczego sprawiają, że to producenci będą dążyli do prowadzenia określonej strategii eksploatacji swoich wyrobów poprzez sieć dealerów (serwis), jak to zostało pokazane na pętli jakości (rys. 12). Maksymalnej efektywności obiektów technicznych powinien towarzyszyć postęp w zakresie projektowania i wytwarzania oraz szczególnie eksploatacji. Zapewnienie ekonomicznie uzasadnionej jakości wyrobów i usług zgodnie z normami serii EN 29000 i EN 45000 obejmuje identyfikację potrzeb i formułowanie wymagań jakościowych, a także systemowe zagospodarowanie jakości w całym cyklu życia obiektu.

Kasacja pojazdów i maszyn roboczych a ochrona środowiska przyrodniczego

Swego rodzaju łagodzeniem degradacji środowiska przy recyklingu środków transportu i maszyn roboczych jest odzyskiwanie części materiałów złomowanych obiektów technicznych i ich ponowne wykorzystanie. Należy zaznaczyć (patrz rys. 13), że do zanieczyszczenia środowiska przez spaliny, oleje i inne płyny eksploatacyjne przyczynia się nie tylko eksploatacja środków transportu i maszyn, ale także ich wytwarzanie i kasacja (złomowanie, przetop metali, utylizacja cieczy i płynów eksploatacyjnych itp.) [Piekarski i Dzieniszewski 2015].

W wielu krajach prowadzone są od wielu lat intensywne badania, które mają na celu doskonalenie procesów spalania, budowę urządzeń ograniczających emisję toksyn, utylizację cieczy eksploatacyjnych oraz przemysłowe wykorzystanie odpadów i przepracowa-



Rysunek 13. Przykładowy proces recyklingu eksploatowanych obiektów technicznych
Figure 13. Example of the recycling process of technical objects in operation

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

nych olejów. Ułatwienie demontażu i skrócenie czasu jego trwania wymagało rezygnacji z wielu technologii trwałego łączenia tworzyw sztucznych ze sobą lub z metalami.

W wielu krajach zachodnich funkcjonują już przewoźne rozdrabniacze tworzyw (shreddery) na podwoziach naczepowych, przemieszczane pomiędzy punktami (ośrodkami) zbiórki zużytych pojazdów i maszyn. Rozdrabniają one tworzywo na granulki, jednak koszt takich urządzeń jest bardzo wysoki, a użytkownicy liczą na gratyfikację finansową za dostarczenie obiektu technicznego.

Umożliwienie recyklingu środków transportu i maszyn roboczych to ogromny problem organizacyjny, techniczny, a przede wszystkim finansowy [Kostecka 2023]. Prowadzenie zbiórki i demontażu wyeksploatowanych obiektów technicznych wymaga specjalistycznych urządzeń ułatwiających demontaż. Proces recyklingu zużytych środków transportu i maszyn roboczych został zaprezentowany na rysunku 13.

Podsumowanie i wnioski

Po przemianach społeczno-gospodarczych zapoczątkowanych w Polsce w 1989 roku odnotowano dynamiczny rozwój motoryzacji oraz znaczący wzrost natężenia ruchu drogowego przy jednoczesnym niskim stopniu rozwoju i jakości infrastruktury transportowej. Członkostwo Polski w Unii Europejskiej wiąże się m.in. z koniecznością respektowania ustaleń konferencji Szczyt Ziemi odbywających się cyklicznie w różnych krajach i wprowadzających do przepisów nowe regulacje dotyczące ochrony środowiska.

Spełnienie wymagań ekologicznych XXI wieku nakłada na konstruktorów i producentów środków transportu oraz maszyn roboczych obowiązek doskonalenia ich konstrukcji, a także opracowywania skutecznych systemów oczyszczania spalin i redukcji hałasu. Stosowane obecnie technologie opierają się na projektowaniu obiektów technicznych „przyjaznych środowisku", co obejmuje: wykorzystanie nowoczesnej inżynierii materiałowej, recykling materiałów i surowców, zwiększanie trwałości i niezawodności podzespołów oraz części zamiennych, a także wdrażanie paliw niekonwencjonalnych.

Całkowite wyeliminowanie negatywnego wpływu motoryzacji i mechanizacji prac na środowisko będzie trudne do osiągnięcia w najbliższym czasie. Z tego względu podejmowane są działania ukierunkowane na redukcję emisji szkodliwych związków chemicznych, a także ograniczenie hałasu i wibracji, co ma prowadzić do zmniejszenia degradacji terenów rolniczych i leśnych.

Realizacja tych celów jest możliwa dzięki wprowadzaniu usprawnień technicznych i organizacyjnych, takich jak: projektowanie ekologicznych konstrukcji, rozwój systemów optymalnego sterowania parametrami pracy, instalacja katalizatorów, filtrów cząstek stałych i systemów AdBlue, przechodzenie na spalanie katalityczne (bezpłomieniowe) oraz stosowanie ekologicznych paliw i odnawialnych źródeł energii.

Dodatkowe korzyści można uzyskać poprzez zwiększenie niezawodności podzespołów i elementów środków transportu oraz maszyn roboczych, wprowadzanie ograniczeń prędkości, zaostrzanie limitów dopuszczalnych emisji zanieczyszczeń, rozwój systemów kontrolnych, a także modernizację infrastruktury transportowej oraz organizacji przestrzennej produkcji przemysłowej i rolniczej.

Bibliografia

Ahbe S., Braunschweig A., Müller-Wenk R., 1990: Methodik für Oekobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung, BUWAL, Bern.

Bednarek E., Małyska J., Kossowicz L., 1997: Wykorzystanie alkoholu etylowego w paliwach silnikowych reformułowanych, Przemysł Chemiczny 3, 85–86.

Bereś R., Ciołkowska L. (red.), 1994: Zanieczyszczenie powietrza w Polsce w 1993 roku, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Państwowa Inspekcja Sanitarna, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Bojarski W., 1984: Podstawy analizy i inżynierii systemów, PWN, Warszawa.

Cimek L., 1995: Hałas i wibracje – czynniki środowiska stworzone przez człowieka, Las Polski 2.

Council of the Baltic Sea States, 1993: Transport and the environment in the Baltic Sea area, Conference of the Ministers of Transport of Baltic Sea area countries, Helsinki.

Czarnowska K., Gworek B., 1984: Liście lipy (*Tilia euchlora*) jako biowskaźniki zanieczyszczeń środowiska miejskiego. [w:] Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe, III Krajowe Sympozjum, Kórnik, 24–26 maja, 377–384.

Duszkiewicz S., Zabłocki M., 1979: Niektóre własności szybkobieżnych silników wysokoprężnych zasilanych dwupaliwowo metanolem i olejem napędowym, Silniki Spalinowe 2.

Dzieniszewski G., 2015: Ekologiczne problemy biopaliw, Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture 62(3/I), 87–96.

Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), 2017: Aktualne problemy transportu. Tom 2, Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, Urząd Marszałkowski Województwa Podkarpackiego, Przemyśl––Rzeszów.

EC Commission, 1992a: A community strategy for sustainable mobility. Green paper on the impact of transport on the environment, COM92 (46) final, 20 February.

EC Commission, 1992b: The future development of the common transport policy. A global approach to the construction of a Community framework for sustainable mobility, COM92 (494) final, 2 December.

Gutowski J., 1992: Wpływ środków eksploatacyjnych na środowisko naturalne, Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 10.

Juściński S., Piekarski W., Piekarski D., Rybak P., 2024: Rozwój eco-transportu w aspekcie logistyki dystrybucji rowerów przez sklepy internetowe, [w:] Technika i ekonomia w procesach transportowych, G. Dzieniszewski, M. Kuboń (red.), Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, Kraków, 169–197.

Kellek T., Zuber R., 1970: Über die Bleiaufnahme und die Bleiverteilung in jungen Fichten, Forstwissenschaftliches Centralblatt 80, 20–26.

Kłos Z., 1995: Podstawy ekobilansowania maszyn i urządzeń, Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych 2, 23–27.

Kostecka J., 2023: Ekologiczne uwarunkowania zrównoważonego rozwoju w kontekście gospodarowania zasobami środowiska, Polish Journal for Sustainable Development 27(1), 45–54.

Lončarević Š., Ilinčić P., Šagi G., Lulić Z., 2023: Development of a Spatial Tier 2 Emission Inventory for Agricultural Tractors by Combining Two Large-Scale Datasets, Sustainability 15(17), 13020, https://doi.org/10.3390/su151713020

Marczuk A., Misztal W., Słowik T., Piekarski W., Bojanowska M., Jackowska I., 2015: Chemiczne uwarunkowania zagospodarowania elementów pojazdów poddanych recyklingowi, Przemysł Chemiczny 94(10), 1860–1871, DOI 10.15199/62.2015.10.46

Martelli S., Martini V., Mocera F., Soma' A., 2024: Life Cycle Assessment Comparison of Orchard Tractors Powered by Diesel and Hydrogen Fuel Cell, Energies 17(18), 4599, https://doi.org/10.3390/en17184599

Materiały szkoleniowe z kursu: Specjalista do spraw transportu i spedycji, 2004: Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.

Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, 1992: Polityka ekologiczna państwa, Warszawa.

Nazimek D., Zając G., Słowik T. i in., 2015: Badania kinetyki konwersji bioetanolu do eteru dimetylowego na katalizatorach zeolitowych zawierających miedź, Przemysł Chemiczny 10, 1778–1782, DOI 10.15199/62.2015.10.25

Tarnas M. (red.), 1997: Ochrona i stan środowiska w województwie chełmskim. Informator 1995––1996, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Chełm, 126.

OECD, 1991: Integrating transport and environmental policies: perspectives for a sustainable mobility, Berlin.

Piekarski W., 1997a: Analiza oddziaływania agregatów ciągnikowych na środowisko przyrodnicze – rozprawa habilitacyjna, Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Lublin.

Piekarski W., 1997b: Destrukcyjność ekologiczna środków technicznych w rolnictwie, [w:] Inżynieria systemów bioagrotechnicznych, Materiały V Sympozjum, Płock, 5, 175–180.

Piekarski W., Dudziak A., Stoma M., Andrejko D., Ślaska-Grzywna B., 2016: Model Assumptions and Analysis of Ecological Awareness and Behaviour: an Empirical Study, Polish Journal of Environmental Studies 25(3), 1187–1195, https://doi.org/10.15244/pjoes/61776

Piekarski W., Dzieniszewski G., 2015: Wybrane problemy logistyczne i techniczne utylizacji zużytych pojazdów na przykładzie Województwa Podkarpackiego, Logistyka 5, 121–128.

Piekarski W., Kuranc A., 2017: Exhaust emissions and fuel consumption in a chassis dynamometer load test in the aspect of modification of an engine controlling system, Combustion Engines 171(4), 11–16.

Piekarski W., Dzieniszewski G., Piekarski D., Spodar G., Pasławska J., 2024: Gospodarka odpadami komunalnymi z wykorzystaniem innowacyjnych technologii, [w:] Technika i ekonomia w procesach transportowych: monografia naukowa, G. Dzieniszewski, M. Kuboń (red.), materiały VII Konferencji Naukowej „Logistyka dziś i jutro", Przemyśl – Kraków, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, 343–353.

Sarna S., 1997: Płatna autostrada A-2 w aglomeracji warszawskiej. Problemy z ustaleniem przebiegu, Transport Miejski 2, 15.

Schűtt P., Lang K.J., Margait D., 1970: Ein Schnelltest zur Ermittlung der individuellen SO_2 – Empfindlichkeit bei Kiefern, Forstwissenschaftliches Centralblatt 3, 153–161.

Stoma M., Maj G., Dudziak A., Ślaska-Grzywna B., Piekarski W., Andrejko D., 2015: Obrót produktami chemicznymi zgodnie z Systemem Badania Bezpieczeństwa i Jakości SQAS, Przemysł Chemiczny 11, 1883–1886, https://doi.org/10.15199/62.2015.11.1

Zabłocki M., Ekert K., 1996: Podstawowe problemy ekologicznego rozwoju silników spalinowych, materiały III Sympozjum Naukowego EKODIESEL'96, ILOT, Warszawa.

Economics and Organization of Logistics
11 (1), 2026, 57–73

DOI: 10.22630/EIOL.2026.11.1.3

Received: 06.02.2026
Accepted: 16.07.2026

Teresa Gądek-Hawlena✉, **Weronika Jac**
Warsaw University of Life Sciences – SGGW

The impact of selected safety systems in trucks on preventing road accidents, according to the opinions of Polish truck drivers

Wpływ wybranych systemów bezpieczeństwa w samochodach ciężarowych na zapobieganie wypadkom drogowym w opinii polskich kierowców ciężarówek

Abstract. The study aimed to find out the opinions of professional drivers on the impact of selected active safety systems on minimizing the risk of road accidents. The data for the study were collected using a questionnaire. Kendall's tau correlation coefficient was used to analyze the data. The study showed that the vast majority of drivers rated the systems positively in terms of ensuring road safety. The only exception was traditional cruise control; in this case, most drivers felt it had no impact on safety. In the case of some assessments of individual active vehicle safety systems, correlations have been found with sociodemographic variables and the nature of the work performed. Thus, correlations exist between sociodemographic variables and between the EBS ($p = 0.00$, $\tau = -0.24$) and ACC ($p = 0.00$, $\tau = -0.25$) systems and age. In turn, in the case of the nature of the work performed, there are correlations between the type of vehicle driven by the driver and traditional cruise control ($p = 0.00$, $\tau = -0.38$) and the professional experience of drivers and the ASR system ($p = 0.00$, $\tau = -0.28$), EBD system ($p = 0.00$, $\tau = -0.28$) and EBS system ($p = 0.00$, $\tau = -0.22$). An important observation from the study is the drivers' opinions: despite pointing out the positive impact of active vehicle safety systems in most cases, they also identified several disadvantages. The study's results fill a research gap regarding users' assessments of active vehicle safety systems and may provide valuable insights into their effectiveness for truck manufacturers.

Keywords: road safety, truck drivers, behavior, vehicle safety systems, risk, lorries, active safety, passive safety

✉ **Teresa Gądek-Hawlena** – Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Department of Logistics; e-mail: teresa_gadek-hawlena@sggw.edu.pl; https://orcid.org/0000-0003-4350-1246

Weronika Jac – Warsaw University of Life Sciences – SGGW, bachelor's degree graduate; e-mail: weronika_jac@sggw.edu.pl

CC BY-NC

Synopsis. Celem badania było poznanie opinii zawodowych kierowców na temat wpływu wybranych aktywnych systemów bezpieczeństwa w samochodach ciężarowych na minimalizację ryzyka wypadków drogowych. Dane do badania zebrano za pomocą kwestionariusza. Do analizy danych wykorzystano współczynnik korelacji tau Kendalla. Badanie wykazało, że zdecydowana większość kierowców pozytywnie oceniła stosowane w samochodach ciężarowych systemy pod względem zapewnienia bezpieczeństwa na drodze. Jedynym wyjątkiem był tradycyjny tempomat – większość kierowców uznała, że nie ma on wpływu na bezpieczeństwo. W przypadku niektórych ocen poszczególnych aktywnych systemów bezpieczeństwa pojazdów stwierdzono korelacje ze zmiennymi socjodemograficznymi i charakterem wykonywanej pracy. Istnieją zatem korelacje między zmiennymi socjodemograficznymi a systemami EBS (p = 0,00, τ = −0,24) i ACC (p = 0,00, τ = −0,25) oraz wiekiem. Z kolei w przypadku charakteru wykonywanej pracy istnieją korelacje między typem pojazdu prowadzonego przez kierowcę a tradycyjnym tempomatem (p = 0,00, τ = −0,38) oraz doświadczeniem zawodowym kierowców a systemem ASR (p = 0,00, τ = −0,28), systemem EBD (p = 0,00, τ = −0,28) oraz systemem EBS (p = 0,00, τ = −0,22). Ważną obserwacją wynikającą z badania są opinie kierowców, którzy pomimo wskazania w większości przypadków pozytywnego wpływu aktywnych systemów bezpieczeństwa pojazdów, zwrócili również uwagę na kilka ich wad. Wyniki badania wypełniają lukę badawczą dotyczącą oceny aktywnych systemów bezpieczeństwa pojazdów przez użytkowników i mogą dostarczyć cennych informacji na temat ich skuteczności producentom samochodów ciężarowych.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo ruchu drogowego, kierowcy zawodowi, zachowanie, systemy bezpieczeństwa pojazdów, ryzyko, samochody ciężarowe, bezpieczeństwo czynne, bezpieczeństwo bierne

JEL codes: R41, R42, I10

Introduction

Data from Eurostat's "Key figures on European transport. The 2023 edition" shows that the transport sector employed 6.1 million people across the European Union in 2022. The dominant mode of transport was road transport, employing almost 90% of all workers in the sector. In Poland, 747.000 people were employed in transportation at that time, which was the second-highest figure in the European Union [Eurostat 2024; Zając 2024]. Across the European Union, almost 6.5 million heavy goods vehicles were recorded in 2022, of which 1.3 million were registered in Poland, accounting for 20% of all such vehicles. Heavy goods vehicles registered in Poland accounted for 20.10% of all transport, measured in tonne-kilometers [Eurostat 2024].

At the same time, although the number of accidents involving truck drivers in Poland is decreasing, truck drivers remain the second-largest group of road accident causers (right after passenger car drivers). The number of accidents caused by this group of drivers between 2021 and 2025 is summarized in Table 1.

Table 1. Traffic accidents caused by truck drivers from 2021 to 2025
Tabela 1. Wypadki drogowe z winy kierowców samochodów ciężarowych w latach 2021–2025

Year	Number of accidents	Dead	Injured
2021	1,977	244	2,295
2022	1,691	221	1,974
2023	1,481	193	1,714
2024	1,464	186	1,741
2025	1,435	86	1,681

Source: own work based on [KGP 2022–2026]
Źródło: badania własne na podstawie [KGP 2022–2026]

As can be seen from the above, the number of accidents, fatalities, and injuries in 2025 decreased by more than 35% compared to 2021. At the same time, given the socioeconomic consequences of traffic accidents, it should be noted that this number remains significant.

Despite the enormous positive impact of road transport on a country's economy, attention should be paid to the social and economic costs associated with this mode of transport, as measured by the number of accidents, fatalities, and injuries in road accidents [Achtenberg 2007; Antov et al. 2011]. As the EC Report indicates, the total external costs of road accidents for the 28 EU countries (excluding the UK) amounted to €238.5 billion for passenger transport and €42.8 billion for road freight transport [European Commission 2019]. Therefore, knowing the causes and effects of hazards is essential. An analysis of the sources of hazards shows that there are many. However, those that appearing most frequently can be grouped into three categories [Badina 2022; Belanova et al. 2022; Kofalvi 2001]: artificial hazards, hazards; hazards caused by natural forces (i.e., heavy rainfall, snow blizzards, and fog); and hazards caused by construction defects, such as cavities in the road surface.

Human factors are the most influential cause of road accidents [Brożyna 2017; Eurostat 2024; Hryc & Godlewska 2026]. Researchers have indicated that inappropriate driving behavior is one of the most significant factors influencing accident risk [Pałęga 2017; Washburn et al. 2023; Rowe et al. 2015; Rashmi & Marisamynathan 2023]. According to Naderi et al. [2010], inappropriate driving behavior can be divided into three general categories: mistakes, errors and traffic violations. Mistakes behind the wheel are often due to memory problems, shortcomings, and negligence, for example, when a driver enters an intersection or a lane incorrectly. Driving errors usually result from poor judgment and limited visibility, for example, when a driver turns right and suddenly encounters a cyclist or motorcyclist, increasing the risk of a collision. Traffic violations include failure to comply with necessary rules, which are absolute requirements for safe driving.

Accidents involving HGV drivers primarily occur due to aggressive maneuvers or non-compliance with traffic rules, as well as poor weather conditions that affect visibility and make it difficult to control the vehicle [Bednarek 2024; Naderi et al. 2021; Trigell et al. 2017].

A significant factor contributing to road accidents among HGV drivers is fatigue. Brown [1994] presented a comprehensive review of the scientific literature on the nature of fatigue and its impact on driver behavior and road accidents. Estimates of the proportion of car accidents related to driver drowsiness vary depending on the study type and the quality of the data. A population-based study conducted in New Zealand found that factors significantly increasing the risk of a fatal or serious injury accident included driving during the time allocated for sleep, driving after less than five hours of sleep in the previous 24 hours, and driving between 2:00 and 5:00 a.m. The study found that minimizing all three of these behaviors could reduce the incidence of injury accidents by up to 19% [Connor et al. 2002].

The advent of mobile phones has also negatively affected the behavior of truck drivers [Dhibi & Alhajyaseen 2026; Alireza et al. 2025]. Research by Donkor et al. [2018] on truck drivers in Ghana revealed that most drivers (96.4%) were aware of the law prohibiting the use of phones while driving. However, 59.6% did not comply with this law on a daily basis. Among drivers who reported using their phones while driving, 44.6% reported using a hands-free kit. Drivers indicated that most phone use was for communicating with fellow drivers about road events, although this cannot be independently confirmed. More than a quarter of respondents did not believe that using a phone was distracting while driving. Among drivers who reported using a cell phone while driving, 2.5% were involved in an accident while using the phone, and 12.4% reported an incident that could have resulted in an accident had they not been using the phone. In 2023, 3,275 people died in the US due to distracted driving [NHTSA n.d.]. Various sources indicate that distracted driving causes between 7% and 50% of traffic accidents [Hanowski et al. 2005; Montuori 2021; Klauer 2017; Palat 2009]. According to Ferreira et al. [2019], among all categories of drivers, it is well known that truck drivers are particularly vulnerable to the risks associated with distraction due to extended driving hours and the solitary nature of their work.

Due to numerous instances of improper behavior by drivers and others around them, it became necessary to introduce design solutions in vehicles to improve safety. Safety systems are designed to minimize negative driver and environmental behavior and improve road safety [Jermakian 2012; Puthan et al. 2018; Trigell et al. 2017]. That is why it is crucial to install devices that enhance both active and passive vehicle safety [Guvenc 2020].

In this regard, car manufacturers are introducing a number of new solutions that are also aligned with EU requirements. Since 2009, the European Union has been working on the General Safety Regulations package. This package is being implemented gradually. The main objective of the GSR is to improve road safety, and one of its outcomes is the introduction of new mandatory equipment for trucks and advanced safety systems that must be installed in newly registered vehicles [Regulation (EU) 2019/2144].

Active and passive safety systems used to minimize the risk of road accidents are listed in Table 2.

Active safety systems are designed to reduce the number of road accidents involving other road users. These systems provide drivers with the opportunity to react before an undesirable event occurs [Ljung Aust & Engström 2011; Guvenc 2020]. In turn, the function of passive safety systems is to protect road users when active safety systems prove insufficient [Niebuhr et al. 2015]. The primary consideration here is the health of passengers and other people involved in the incident [Krzyszkowska 2015;

Table 2. Selected active and passive vehicle safety systems
Tabela 2. Wybrane aktywne i pasywne systemy bezpieczeństwa pojazdów

System	Type of system	Characteristics
Active system	Anti-lock braking system (ABS)	Prevents the vehicle's wheels from locking during braking. It was designed to enable simultaneous braking (especially sudden braking) while still allowing the car to be steered.
	Acceleration slip regulation (ASR)	The traction control system is one of the systems that improves driving safety. Its primary role is to control wheel speed. As a result, ASR increases the traction of the drive wheels during various maneuvers.
	Electronic stability control (ESC)	Electronic stability program (ESP) and dynamic stability control (DSC). When cornering, this system takes control of the combined ABS and ASR systems. It activates automatically when the appropriate sensor detects the possibility of the vehicle skidding out of the corner. To prevent this, the electronic stability control system brakes one or more wheels.
	Electronic brake force distribution (EBD or EBFD)	This system is responsible for the electronic distribution of braking force, which is available in all modern European cars. This system significantly improves safety during braking in all situations.
	Traditional cruise control	A feature in a car that allows the driver to maintain a constant speed while driving.
	Adaptive cruise control (ACC)	It is an advanced driver assistance system that automatically adjusts the vehicle's speed to traffic conditions.
	Automated emergency braking (AEB)	The primary task is to detect potential collisions automatically and, if necessary, initiate braking independently to prevent an accident or mitigate its effects.
	Lane assist	A system that monitors whether the driver is keeping the car within the lane. It works by linking a camera, usually located behind the windshield at the height of the rearview mirror (sometimes assisted by cameras located in the side mirrors), which monitors the space in front of the car, with the steering system.
Passive system	Seat belt	They keep the passenger's body in place during sudden braking or a collision, preventing them from moving around uncontrollably and hitting parts of the cabin.
	Airbags and air curtains	Devices that fill with gas in a fraction of a second in the event of a collision. They create a soft barrier between the passenger's body and the complex elements of the car interior, significantly reducing the risk of injury to the head, chest, or limbs.
	Headrests	When properly positioned, they support the head and reduce the risk of cervical spine injuries.
	Crumple zones	These are specially designed areas of the bodywork that deform predictably during a collision. Their primary function is to absorb impact energy before it reaches the passenger compartment, thereby reducing the forces acting on occupants.
	Steering column with controlled deflection function	In the event of a substantial impact, the steering column collapses or deforms in a controlled manner, reducing the risk of serious injury to the driver's chest and head.

Source: own research
Źródło: badania własne

Sabarinath 2020]. When an unexpected event occurs, they limit its effects by, among other things, maintaining the correct position of the vehicle user and absorbing the force of impact with the obstacle [Sabarinath 2020].

One might be tempted to conclude that these systems are the most crucial elements of vehicle equipment [Krzyszkowska 2015]. Studies on the impact of safety systems on reducing road traffic risks indicate their great potential. According to eImpact (high-risk scenario from 2020), electronic stability control (ESC) prevents by far the highest number of fatalities and injuries: approximately 3,000 fatalities (−14%) and approximately 50,000 injuries (−6%) per year. Speed warning systems (with active accelerator pedal) (−5%), eCall (−4%) and lane departure warning systems (−3%) also have a significant impact on the number of fatalities. At the same time, these applications contribute to reducing traffic congestion, as approximately 15% of all traffic jams in Europe are caused by accidents [European Commission n.d.].

One area of activity aimed at reducing the number of accidents and their negative consequences involving HGV drivers is the installation of safety systems in HGVs. At the same time, the introduction of new solutions or the improvement of existing ones involves, on the one hand, numerous tests by manufacturers and, on the other, an assessment of their suitability from the user's point of view. There are many studies on negative driver behavior [He et al. 2023; Mehdizadeh et al. 2018; Han et al. 2021; Rashmi & Marisamynathan 2023; Habybabady 2025] or on the evaluation of systems to improve driver safety [Chengula et al. 2023; Galal 2023], but there are no studies in this area referring to the experience of professional drivers.

Accordingly, the aim of the study was to examine the relationship between socio-demographic variables and drivers' professional experience, as well as their assessment of the impact of selected active safety systems in trucks on reducing the risk of traffic accidents.

Research method

The empirical analysis was conducted based on a questionnaire. The questionnaire was divided into four groups: (1) demographic variables, (2) work experience, (3) factors and situations threatening road safety, and (4) operation of safety systems in trucks. Additionally, the last question was an open-ended question, in which respondents expressed their views on the advantages and disadvantages of safety systems in trucks.

The research was conducted in the first half of 2024. The CAWI method was used in the data collection process. The online questionnaire was prepared using a Google form and distributed via social media channels, including Facebook and professional driver groups. One hundred and twelve respondents participated in the study. After analyzing the validity of the completed questionnaires, 107 questionnaires were used for further analysis. They were Polish drivers providing transport services both in Poland and across Europe. To answer the research questions, statistical analyses were conducted using Excel and Statistica 13.3 software. It was used to calculate basic descriptive statistics and Kendall's tau coefficient. The significance level in the article was set at $\alpha = 0.05$.

Characteristics of respondents

There were more men than women among the study participants, i.e., 98 men (91.59%) and 9 women (8.41%) (Table 3). The structure of the study participants reflects the prevailing trend in this sector. The profession of truck driver is still predominantly performed by men.

Table 3. Characteristics of survey respondents ($N = 107$)
Tabela 3. Charakterystyka respondentów ($N = 107$)

Variables	Frequency	Percentage [%]
Gender		
Women	9	8.40
Men	98	91.59
Age		
18–25	4	3.74
26–35	23	21.50
36–50	55	51.40
Above 50	24	23.36
Education		
Vocational education	42	39.25
Secondary education	49	45.80
Higher education	16	14.95
Residence		
Village	40	37.38
Town with up to 50,000 inhabitants	28	26.17
Town with 50,001 to 150,000 inhabitants	30	28.04
City with over 150,000 inhabitants	9	8.41
Type of transport performed		
Domestic	42	39.25
International	25	23.37
Domestic and international	40	37.38
Experience as a driver		
Up 5 years	13	12.15
6–10 years	24	22.43
11–20 years	43	40.19
More than 20 years	27	25.23
Type of truck driven		
Tractor unit with semi-trailer	90	84.11
Truck with van body	4	3.74
Truck for bodywork	10	9.35
Special truck	3	2.80
Work system		
Every day at home	32	29.91
Monday to Friday on the road, weekends at home	32	29.91
Two weeks on the road, one week at home	27	25.23
Three weeks on the road, one week at home	15	14.02
Every day at home	1	0.93

Source: own research

Źródło: badania własne

The largest group of drivers were people aged 36–50, who accounted for over half of all respondents. In terms of education, people with secondary and vocational education were the most prevalent (85.05%). Significantly fewer, only 14.95%, had higher education. In terms of residence, people living in rural areas and cities with a population of 50,001 to 150,000 were the most prevalent.

Nearly 40% of respondents are involved in domestic transport. The largest group were respondents with 11 to 20 years of work experience (40.19%), mainly aged 36–50. Over 33% of respondents reported having 1 to 10 years of work experience. In this case, they were primarily drivers aged 26 to 35 years old. Drivers with over 20 years of professional expertise accounted for over 25% of all respondents. The survey mainly involved drivers of tractor units with semi-trailers. Two work systems dominated the surveyed group. These systems involved either daily returns home or work from Monday to Friday, with weekend returns home.

Results

Main traffic hazards according to truck drivers

Several factors influence the frequency and severity of road accidents. These include both the behavior of road users and factors beyond their control. As shown in the data in Figure 1, inappropriate behavior by road users is the primary threat to road traffic, particularly from other drivers.

The data presented in Figure 1 confirm that human error is the primary source of road traffic hazards, followed by weather conditions. According to the respondents, the primary source of danger is the irresponsible behavior of other drivers, with almost 87% of respondents indicating this answer. Next, drivers most often identified hazards such as weather conditions (70%), other road users (63.5%), fatigue (58%), and the technical condition of the vehicle (49.5%). In the opinion of truck drivers, driving under the influence of alcohol and drugs is the least significant factor. The nature of their work and the legal prohibition against working under the influence of alcohol may influence this response pattern. The dangerous behavior of professional drivers does not differ from that of passenger car drivers. Most often, truck drivers do not adjust their speed to the speed limits (Figure 2).

The data obtained show that drivers most often exceed the speed limit (84.11%) and talk on their phones while driving (73.83%). The responses indicate that they also frequently exceed their working time (36.45%) and fail to yield the right of way (25.23%).

Assessment of the impact of selected active safety systems in heavy goods vehicles – sociodemographic variables and professional experience

This chapter presents the results of a study examining the impact of sociodemographic variables on the assessment of the effects of selected active safety systems in trucks on road safety. Kendall's tau coefficient was used to estimate the strength and direction of the relationship between sociodemographic variables and selected active vehicle safety systems. Thanks to this approach, it was possible to determine which systems have the

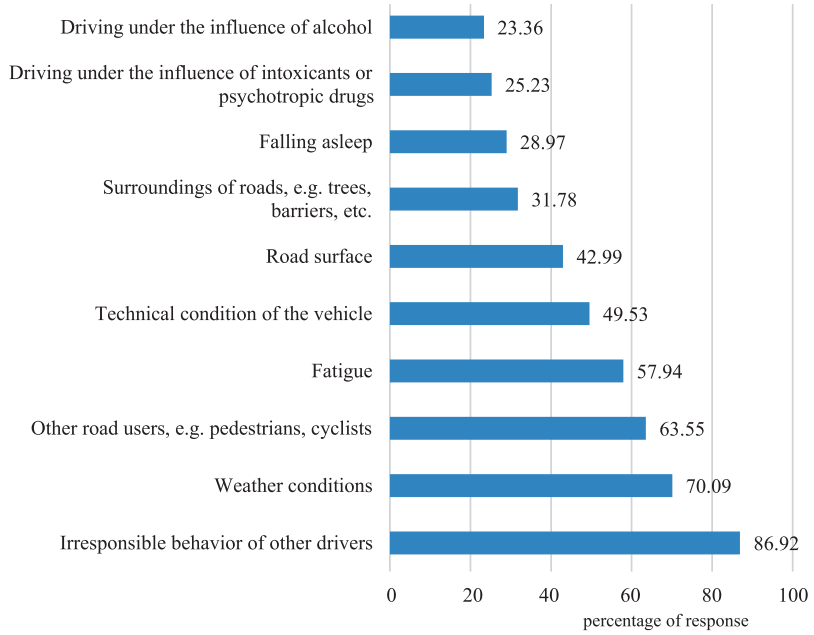


Figure 1. Primary sources of danger in road traffic according to professional drivers (multiple choice)
Rysunek 1. Główne źródła zagrożeń w ruchu drogowym w opinii zawodowych kierowców (wybór wielokrotny)

Source: own research

Źródło: badania własne

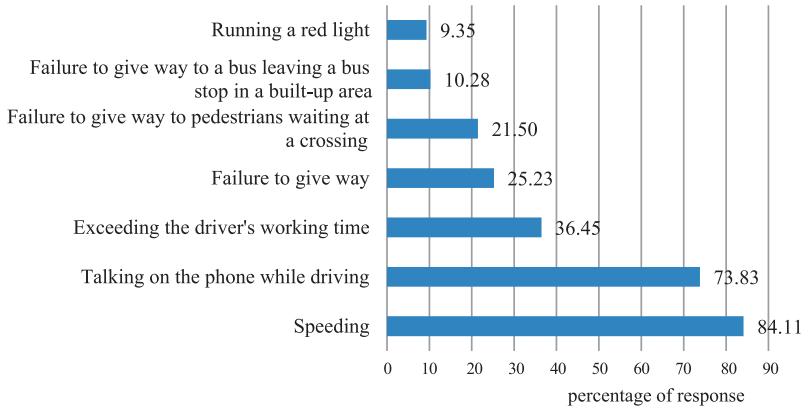


Figure 2. The most common traffic violations committed by professional drivers (multiple choice)
Rysunek 2. Najczęstsze wykroczenia drogowe popełniane przez kierowców zawodowych (wybór wielokrotny)

Source: own research

Źródło: badania własne

most significant impact on road safety, taking into account factors such as gender, age, and place of residence (Table 4).

Table 4. Kendall's correlation coefficients between sociodemographic variables and the assessment of the impact of vehicle safety systems on road safety ($N = 107$)
Tabela 4. Współczynniki korelacji Kendalla między zmiennymi socjodemograficznymi a oceną wpływu systemów bezpieczeństwa pojazdów na bezpieczeństwo ruchu drogowego ($N = 107$)

Factors	**Tau (Kendall)**	***p***	Factors	**Tau (Kendall)**	***p***
Gender			Age		
ABS	0.09	0.17	ABS	0.01	0.90
EBS	0.04	0.57	EBS	−0.24	0.00
ASR	−0.02	0.75	ASR	−0.17	0.01
EBD	−0.06	0.34	EBD	−0.17	0.01
Traditional cruise control	0.05	0.45	Traditional cruise control	0.01	0.92
ACC	0.10	0.14	ACC	−0.25	0.00
AEB	0.06	0.36	AEB	−0.06	0.37
Lane assist	0.08	0.22	Lane assist	−0.19	0.00
Education			Residence		
ABS	−0.07	0.25	ABS	−0.08	0.21
EBS	−0.13	0.04	EBS	0.02	0.79
ASR	0.06	0.34	ASR	0.13	0.05
EBD	0.09	0.15	EBD	0.15	0.02
Traditional cruise control	−0.13	0.06	Traditional cruise control	−0.03	0.60
ACC	0.00	0.99	ACC	0.25	0.00
AEB	0.19	0.00	AEB	−0.11	0.09
Lane assist	0.13	0.03	Lane assist	−0.05	0.43

Source: own research
Źródło: badania własne

When analyzing the data obtained, a weak correlation was found between age and the impact of the EBS system on road safety. The answer "yes" was most often selected by people over 51 years of age (92.00%), while people in the 26–35 age group (8.70%) indicated that the EBS system had no impact on safety. These people were also most often unable to determine the effect of this system on road safety (34.78%). A similar distribution of responses was observed in the assessment of the impact of the ACC system on road safety across age groups. With age, an increasing number of drivers answered "yes." The highest number of "yes" answers was given by drivers over 51 (80.00%). In the case of drivers aged 18–25, as many as 50.00% said that this system had no impact on road safety.

On the other hand, the effect of lane assist on road safety was highly rated by all driver groups, but among those aged 26–35, the "no" responses (8.7%) were the most common. Considering the location of residence and the impact of the ACC system on road

safety, the "yes" answers were most frequently given by individuals living in rural areas (75.00%) and towns with fewer than 50,000 inhabitants (53.57%). In comparison, the "no" response was most common among drivers living in towns with 50,001 to 150,000 inhabitants (40.00%).

Other meaningful relationships that were examined included the assessment of the impact of active vehicle safety systems and the professional experience of drivers. The results of the relationships between individual variables are summarized in Table 5.

Table 5. Kendall's correlation coefficients between the nature of work performed by drivers and the assessment of the impact of vehicle safety systems on road safety ($N = 107$)

Tabela 5. Współczynniki korelacji Kendalla między charakterem pracy wykonywanej przez kierowców a oceną wpływu systemów bezpieczeństwa pojazdów na bezpieczeństwo ruchu drogowego ($N = 107$)

Factors	**Tau (Kendall)**	***p***	**Factors**	**Tau (Kendall)**	***p***
Type of transport provided			Work experience		
ABS	0.01	0.90	ABS	−0.04	0.51
EBS	−0.04	0.59	EBS	−0.22	0.00
ASR	−0.02	0.74	ASR	−0.28	0.00
EBD	−0.04	0.52	EBD	−0.28	0.00
Traditional cruise control	0.09	0.19	Traditional cruise control	0.17	0.01
ACC	−0.05	0.44	ACC	−0.15	0.02
AEB	0.06	0.36	AEB	−0.02	0.73
Lane assist	0.05	0.44	Lane assist	−0.10	0.12
Vehicle type			Work system		
ABS	0.13	0.05	ABS	−0.05	0.37
EBS	−0.14	0.03	EBS	0.01	0.83
ASR	−0.09	0.17	ASR	0.19	0.00
EBD	−0.10	0.13	EBD	0.24	0.00
Traditional cruise control	−0.38	0.00	Traditional cruise control	−0.01	0.96
ACC	−0.15	0.02	ACC	0.07	0.28
AEB	−0.08	0.20	AEB	−0.04	0.57
Lane assist	−0.11	0.09	Lane assist	0.02	0.75

Source: own research

Źródło: badania własne

Work experience influences the assessment of vehicle safety systems. Considering the ASR system, it can be noted that drivers with the longest work experience unanimously indicated that this system affects road safety, followed by drivers with 11–20 years of work experience (76.74%). In contrast, in the group of people with less than 6 years of experience, as many as 30.77% of respondents answered that they "have no opinion." This response may suggest that such a system is not installed in the vehicle. A difference in responses based on length of service can also be seen in the case of the EBD system. As the length

of service increased, drivers were more likely to answer "yes." Those with up to 6 years of work experience were least likely to answer "yes" (69.23%) and most likely to answer "no opinion" (30.77%). Those with 6–10 years of work experience also often answered "no opinion" (20.83%), while as many as 75.00% of this group of drivers answered "yes," meaning that EBD has an impact on road safety. An interesting correlation can be observed between the type of vehicle driven and the use of traditional cruise control. Only 18.89% of tractor-trailer drivers answered "yes," while as many as 62.22% answered "no." This means that, in their opinion, traditional cruise control has little impact on road safety. Drivers of other types of vehicles were much more likely to answer "yes." Another finding from the study is the difference in assessing the impact of EBD and work systems on safety. Drivers who return home every day, as well as those who spend 10 days on the road and 3 days at home, all indicated that this system impacts affects road safety. In contrast, among groups of drivers whose work system involved two weeks on the road followed by one week at home, and three weeks on the road followed by one week at home, the most common answer was "no," indicating that these systems had no impact on safety.

Dangerous situations and the operation of vehicle active safety systems

In addition to rating individual vehicle safety systems, respondents were asked whether they had ever experienced a situation in which any active vehicle safety system was activated and a road accident was prevented. The responses are summarized in Figure 3.

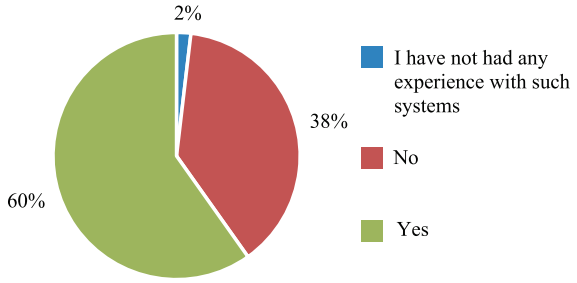


Figure 3. Active safety systems in vehicles and the prevention of road accidents
Rysunek 3. Aktywne systemy bezpieczeństwa w pojazdach a zapobieganie wypadkom drogowym
Source: own research
Źródło: badania własne

Sixty per cent of respondents reported that such situations had occurred, which may indicate that the safety systems were functioning correctly. On the other hand, over 38% of drivers reported never having experienced such a situation. In this case, it may be because they had never been in a situation that required the activation of the vehicle's modern systems. Respondents were then asked whether, despite having safety systems in their vehicles, they had ever experienced a situation in which one of these systems had not worked properly, resulting in an accident. Almost 87% of respondents denied that such a situation had ever occurred. This question also confirmed that safety systems work correctly in most cases. The survey also included Figure 4 drivers who had experienced one or more instances of system malfunction.

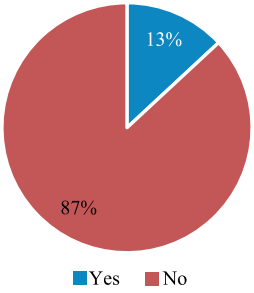


Figure 4. Active vehicle safety systems and the occurrence of road accidents
Rysunek 4. Aktywne systemy bezpieczeństwa pojazdów a występowanie wypadków drogowych
Source: own research
Źródło: badania własne

To supplement the survey results, drivers were asked to comment on the advantages and disadvantages of active vehicle safety systems (Table 6).

Table 6. Advantages and disadvantages of active safety systems – drivers' opinions
Tabela 6. Zalety i wady aktywnych systemów bezpieczeństwa – opinie kierowców

Advantages
"In my opinion, they have a significant impact on improving safety"
"Excellent rating. Safety systems are essential and improve the drivers' work and our safety on the roads"
"Very necessary, even essential in a situation of constantly increasing traffic intensity"
"They should be standard equipment in all trucks"
"Most of them are very useful"
"I think these are beneficial systems that improve traffic safety"
"They help me in my daily work, which is why I consider them useful and necessary"
"They facilitate and improve safety"
"I believe that these systems are critical in the work of every driver. In many situations, they have protected me and other road users from danger"
"They improve safety and make work easier. I feel safe"
Disadvantages
"Average rating. The sensors often see things that are not there or are afraid of road signs or overpasses. In addition, they turn off in bad conditions (rain/snow)"
"The emergency braking system activates when it should not. It also depends on the make of the vehicle"
"The current ACC and emergency braking systems need refinement"
"Some systems need improvement because they still do not work properly (they activate at inappropriate moments)"

Source: own research
Źródło: badania własne

As can be seen from the opinions presented in the table, active safety systems are not only positively evaluated for their impact on improving safety, but also for improving working conditions.

Conclusions

Based on the research conducted, several conclusions can be drawn:

1. The number of accidents caused by truck drivers has decreased by more than 35% over the past five years. The number and nature of traffic accidents are influenced by both external factors, such as weather and the condition of infrastructure, and internal factors, such as driver behavior (use of cell phones, fatigue, working late at night).
2. Actions by truck manufacturers and EU regulations have led to the implementation of numerous systems designed to improve truck safety.
3. According to truck drivers, the leading cause of road accidents is the inappropriate behavior of other road users, mainly other drivers. At the same time, the study reveals that hazardous behaviors among this group of road users include speeding, using cell phones, and failing to observe drivers' working hours.
4. To prevent road accidents involving truck drivers, their vehicles are equipped with increasingly advanced solutions. Research shows that most systems are rated positively by professional drivers. Nevertheless, specific correlations between sociodemographic variables and professional experience indicate a different assessment of their impact on road safety. The difference between the assessments of the EBC and ACC systems across age groups is particularly noticeable. Older individuals are more likely to attribute a positive impact of these systems on safety than younger people. Differences in assessing the effects of active vehicle safety systems on road safety and sociodemographic variables were observed in the responses for the ACC system.
5. Residents of rural areas and small towns believed that the ACC system had a significant impact on road safety, while city dwellers marginalized the effect of this system on safety. This distribution of responses may be influenced by the fact that rural residents can use this system more frequently due to their place of residence and the possibility of using it while driving.
6. Interesting conclusions could also be drawn from analyzing the impact of active vehicle safety systems, considering drivers' professional experience. In this case, too, the difference in assessment was most often found in the case of the EBD system. The positive impact of this system on road safety was primarily highlighted by drivers with longer work experience, as well as those whose work system involved returning home daily and those who spent 10 days on the road followed by 3 days at home. Another system for which differences in assessment were found is the ASR system, which was also more often positively assessed by drivers with longer professional experience. A notable observation from the study is the number of "no opinion" responses. Such responses do not necessarily indicate a lack of opinion on individual systems, but may result from a lack of familiarity with them. The active safety systems can prevent road accidents. However, some of the responses, including descriptive ones, indicate that these systems can sometimes be unreliable and may contribute to road accidents.

This study examined truck drivers' perceptions of active vehicle safety systems in relation to road safety. This study has certain limitations. First, the number of participants in the survey limits the conclusions that can be drawn for the study group. Second, the specific systems involved in preventing road accidents were not specified, particularly with regard to the role of active safety systems and the causes of accidents resulting from

system failure. Indeed, further research should be conducted to examine the opinions of truck drivers in this area. The results of this study suggest that active vehicle safety systems improve road safety; however, like any system, they are not foolproof.

References

Achtenberg F., 2007: Raising Compliance with Road Safety Law. 1st Road Safety PIN Report, ETSC, https://etsc.eu/wp-content/uploads/PIN_Report.pdf [accessed: 11.08.2024].

Alireza A., Nasim S., Mansoureh J., 2025: Investigating Truck Driver Behavior under Distracted Conditions to Enhance Road Safety, International Conference on Transportation and Development, 273–285.

Antov D., Rõivas T., Antso I., Sürje P., 2011: A method for pedestrian crossing risk assessment, WIT Transactions on The Built Environment 116, 587–598.

Badina S., Babkin R., Bereznyatsky A., Bobrovskiy R., 2022: Spatial aspects of urban population vulnerability to natural and artificial hazards, City and Environment Interactions 15, 100082, https://doi.org/10.1016/j.cacint.2022.100082

Bednarek A., 2024: Jakie są główne przyczyny wypadków drogowych z udziałem pojazdów ciężarowych w Polsce?, spelog.pl [accessed: 11.08.2024].

Belanova N., Ershova N., Pyatkova N., Alpackaya I., 2022: Assessment of the risks of construction of transport infrastructure facilities, Transportation Research Procedia 63, 1660–1667, https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.179

Brown I.D., 1994: Driver Fatigue, Human Factors 36(2), 298–314, https://doi.org/10.1177/001872089403600210

Brożyna E., 2017: Czynnik ludzki a bezpieczeństwo w ruchu drogowym, Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 7–8, 49–52.

Chengula T.J., Mwakalonge J., Comert G., Siuhi S., 2023: Improving road safety with ensemble learning: Detecting driver anomalies using vehicle inbuilt cameras, Machine Learning with Applications 14, 100510.

Connor J., Norton R., Ameratunga S., Robinson E., Civil I., Dunn R. et al., 2002: Driver sleepiness and risk of serious injury to car occupants: population-based case control study, BMJ 324(7346), 1125.

Dhibi M., Alhajyaseen W., 2026: Risky driving habits among Tunisia's informal transport drivers: What can the theory of planned behavior tell us?, African Transport Studies 4, 100080.

Donkor I., Gyedu A., Edusei A.K., Ebel B.E, Donkor P., 2018: Mobile phone use among commercial drivers in Ghana: an important threat to road safety, Ghana Medical Journal 52(3), 122–126, http://dx.doi.org/10.4314/gmj.v52i3.3

European Commission, n.d.: Vehicle Safety Systems, https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/smart-mobility/road/application-areas/vehicle-safety-systems_en [accessed: 22.05.2025].

European Commission, 2019: Handbook on the external costs of transport, https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9781f65f-8448-11ea-bf12-01aa75ed71a1 [accessed: 28.02.2025].

Eurostat, 2024: Key figures on European transport – 2023 edition, https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-key-figures/w/ks-he-23-001 [accessed: 22.05.2025].

Ferreira S., Kokkinogenis Z., Couto A., 2019: Using real-life alert-based data to analyse drowsiness and distraction of commercial drivers, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 60, 25–36, https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.10.003

Galal A., Donmez B., Roorda M.J., 2023: Improving truck driver and vulnerable road user interactions through driver training: an interview study with Canadian subject matter experts, Transportation Research Record 2677(12), 398–408.

Guvenc L., 2020: Preventive and Active Safety Applications, arXiv:2012.08031, https://doi.org/10.48550/arXiv.2012.08031

Habybabady R.H., Okati-Aliabad H., Sabouri M., Mohammadi M., Ansari-Moghaddam A., 2025: Prevalence and factors associated with road traffic crashes among truck drivers in Southeast Iran, PloS One 20(4), e0320974, https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0320974 [accessed: 22.05.2025].

Han W., Zhao J., Chang Y., 2021: Driver behaviour and traffic accident involvement among professional heavy semi-trailer truck drivers in China, PLoS One 16(12), e0260217, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260217

Hanowski R.J., Perez M.A., Dingus T.A., 2005: Driver distraction in long-haul truck drivers, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 8(6), 441–458, https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.trf.2005.08.001 [accessed: 28.02.2025].

He Y., Sun C., Chang F., 2023: The road safety and risky behavior analysis of delivery vehicle drivers in China, Accident Analysis & Prevention 184, 107013, https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107013

Hryc P., Godlewska J., 2026: Ergonomiczne uwarunkowania bezpieczeństwa pracy kierowcy w transporcie drogowym, Akademia Zarządzania (Academy of Management) 10(1).

Jermakian J.S., 2012: Crash avoidance potential of four large truck technologies, Accident Analysis & Prevention 49, 338–346, https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.10.033

Jovanis P.P., Chang H-L., 1986: Modelling the Relationship of Accidents to Miles Traveled, Transportation Research Board 1068, 42–51.

KGP, 2022: Wypadki drogowe w Polsce w 2021 roku, Komenda Główna Policji, Warszawa.

KGP, 2023: Wypadki drogowe w Polsce w 2022 roku, Komenda Główna Policji, Warszawa.

KGP, 2024: Wypadki drogowe w Polsce w 2023 roku, Komenda Główna Policji, Warszawa.

KGP, 2025: Wypadki drogowe w Polsce w 2024 roku, Komenda Główna Policji, Warszawa.

KGP, 2026: Wypadki drogowe w Polsce w 2025 roku, Komenda Główna Policji, Warszawa.

Klauer S.G., Dingus T.A., Neale V.L., Sudweeks J.D., Ramsey D.J., 2006: The Impact of Driver Inattention on near-crash/crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data, Virginia Tech Transportation Institute, National Highway Traffic Safety Administration, Washington [accessed: 28.02.2025].

Kofalvi G., Vincze-Pap S., 2001: Traffic safety of heavy vehicles (accident analysis, accident reconstruction), International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, National Highway Traffic Safety Administration.

Krzyszkowska P., 2015: Nowoczesne systemy bezpieczeństwa stosowane w pojazdach i ich wpływ na bezpieczeństwo uczestników ruchu drogowego, Bezpieczeństwo Pracy: Nauka i Praktyka 9, 14–17.

Ljung Aust M., Engström J., 2011: A conceptual framework for requirement specification and evaluation of active safety functions, Theoretical Issues in Ergonomics Science 12(1), 44–65, https://doi.org/10.1080/14639220903470213

Mehdizadeh M., Shariat-Mohaymany A., Nordfjaern T., 2018: Accident involvement among Iranian lorry drivers: Direct and indirect effects of background variables and aberrant driving behaviour, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 58, 39–55, https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.05.029

Montuori P., Sarnacchiaro P., Nubi R., Di Ruocco D., Belpiede A., Sacco A. et al., 2021: The use of mobile phone while driving: Behavior and determinant analysis in one of the largest metropolitan areas of Italy, Accident Analysis & Prevention 157, 106161, https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106161

Naderi H., Nassiri H., Zahedieh F., 2021: Predicting the collisions of heavy vehicle drivers in Iran by investigating the effective human factors. Journal of Advanced Transportation 1, 5532998, https://doi.org/10.1155/2021/5532998

NHTSA, n.d.: Distracted Driving, https://www.nhtsa.gov/risky-driving/distracted-driving [accessed: 05.05.2025].

Niebuhr T., Junge M., Achmus S., 2015: Expanding pedestrian injury risk to the body region level: How to model passive safety systems in pedestrian injury risk functions, Traffic Injury Prevention 16(5), 519–531, https://doi.org/10.1080/15389588.2014.973490

Palat B., Delhomme P., 2012: What factors can predict why drivers go through yellow traffic lights? An approach based on an extended theory of planned behavior, Safety Science 50(3), 408–417, https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.09.020

Pałęga M., 2017: Bezpieczeństwo ruchu drogowego w Polsce w świetle wypadków drogowych i ich skutków, Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 18(12), 332–337.

Puthan P., Thalya P., Lubbe N., 2018: Active and passive safety passenger car technologies: potentials to save lives in India, Int. Res. Counc. Biomech. Inj. (IRCOBI Asia), 481.

Rashmi B.S., Marisamynathan S., 2023: Factors affecting truck driver behavior on a road safety context: A critical systematic review of the evidence, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) 10(5), 835–865, https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.04.006

Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2019 on type-approval requirements for motor vehicles and their trailers, and systems, components and separate technical units intended for such vehicles, as regards their general safety and the protection of vehicle occupants and vulnerable road users, amending Regulation (EU) 2018/858 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulations (EC) No 78/2009, (EC) No 79/2009 and (EC) No 661/2009 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulations (EC) No 631/2009, (EU) No 406/2010, (EU) No 672/2010, (EU) No 1003/2010, (EU) No 1005/2010, (EU) No 1008/2010, (EU) No 1009/2010, (EU) No 19/2011, (EU) No 109/2011, (EU) No 458/2011, (EU) No 65/2012, (EU) No 130/2012, (EU) No 347/2012, (EU) No 351/2012, (EU) No 1230/2012 and (EU) 2015/166, https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/2144/oj/eng [accessed: 05.05.2025].

Rowe R., Roman G.D., McKenna F.P., Barker E., Poulter D., 2015: Measuring errors and violations on the road: A bifactor modeling approach to the driver behavior questionnaire, Accident Analysis & Prevention 74, 118–125, https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.10.012

Trigell A.S., Rothhämel M., Pauwelussen J., Kural K., 2017: Advanced vehicle dynamics of heavy trucks with the perspective of road safety, Vehicle System Dynamics 55(10), 1572–1617.

Washburn C., Kueny C., Murray S., 2023: Establishing links between safety culture, climate, behaviors, and outcomes of long-haul truck drivers, Journal of Safety Research 85, 371–379.

Zając K., 2024: Eurostat podsumował transport drogowy, Fundacja Europejski Instytut Transportu Drogowego, https://pitd.org.pl/news/eurostat-podsumowal-transport-drogowy/ [accessed: 02.05.2024].

Economics and Organization of Logistics
11 (1), 2026, 75–88

DOI: 10.22630/EIOL.2026.11.1.4

Zgłoszono: 17.01.2026
Zaakceptowano: 28.04.2026

Michał Kruszyński[1]✉, **Agnieszka Bekisz**[2], **Katarzyna Dostaw**[3]
[1] Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu
[2] Akademia Wojsk Lądowych im. gen. Tadeusza Kościuszki we Wrocławiu
[3] Akademia Bialska im. Jana Pawła II w Białej Podlaskiej

Zielona logistyka w gospodarstwach rolnych wdrażających działania prośrodowiskowe

Green logistics in agricultural holdings implementing pro-environmental measures

Synopsis. Niniejsze opracowanie naukowe ma na celu rozpoznanie działań wdrażanych w zakresie zielonej logistyki w gospodarstwach rolnych będących beneficjentami interwencji rolno-środowiskowo-klimatycznych (Krajowy Plan Strategiczny dla Wspólnej Polityki Rolnej 2023–2027). W grupie 47 gospodarstw rolnych zlokalizowanych w makroregionie południowo-zachodnim przeprowadzono w okresie październik–grudzień 2025 badania kwestionariuszowe. Wykazały one, że gospodarstwa rolne będące beneficjentami interwencji rolno-środowiskowo-klimatycznych w szerokim zakresie wdrażają zasady zielonej logistyki, obejmujące transport, magazynowanie, gospodarkę odpadami, opakowalnictwo, cyfryzację oraz dystrybucję i handel rolniczy. Przedsięwzięcia te prowadzą do ograniczenia zużycia zasobów naturalnych, redukcji emisji substancji szkodliwych dla środowiska oraz strat materiałowych, a także zamykania obiegów surowców i energii w gospodarstwach (gospodarka o obiegu zamkniętym).

Słowa kluczowe: rolnictwo**,** zielona logistyka, działania prośrodowiskowe WPR, interwencje rolno-środowiskowo-klimatyczne

Abstract. The scientific study aims to identify actions implemented in the field of green logistics in agricultural holdings that are beneficiaries of agri-environmental -climate interventions. A questionnaire survey was conducted among 47 agricultural farms located in the south-western macroregion during the period from October to December 2025. The research results indicate that agricultural holdings benefiting

✉**Michał Kruszyński** – Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu, Wydział Logistyki i Transportu; e-mail: mkruszynski@mail.mwsl.eu; https://orcid.org/0000-0002-7905-1403
Agnieszka Bekisz – Akademia Wojsk Lądowych im. gen. Tadeusza Kościuszki we Wrocławiu, Wydział Zarządzania; e-mail: agnieszka.bekisz@awl.edu.pl; https://orcid.org/0000-0002-6386-6579
Katarzyna Dostaw – Akademia Bialska im. Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, Wydział Nauk Ekonomicznych; e-mail: k.dostaw@dyd.akademiabialska.pl; https://orcid.org /0000-0001-9894-869X

CC BY-NC

from agri-environmental-climate interventions widely implement the principles of green logistics, covering transport, storage, waste management, packaging, digitalization, as well as agricultural distribution and trade. The undertaken measures contribute to reducing the consumption of natural resources, lowering emissions of environmentally harmful substances and material losses, and to closing material and energy loops within farms, in line with the circular economy concept.

Keywords: green logistics, pro-environmental CAP, measures, agri-environment--climate interventions

Kody JEL: Q56, Q13, R41

Zielona logistyka – istota

Zielona logistyka (green logistics), nazywana także logistyką proekologiczną, to koncepcja ukierunkowana na minimalizowanie niekorzystnego oddziaływania systemów logistycznych na otoczenie [Dytczak i Ginda 2014]. Stanowi ona jedną z kluczowych form logistyki, silnie skoncentrowaną na zagadnieniach zogniskowanych wokół kształtowania i ochrony środowiska, a także elementów społecznych [Górniak i Krajewski 2013].

Zielona logistyka to obszar funkcjonalny logistyki przyjazny środowisku i społecznie odpowiedzialny, a także ekonomicznie funkcjonalny. Jest ona koncepcją zarządzania przepływem materiałów i informacji, która umożliwia osiągnięcie celów o charakterze ekonomicznym, społecznym i ekologicznym [McKinnon 2015]. Zielona logistyka obejmuje wszystkie podstawowe zasady logistyczne dotyczące nie tylko łańcucha dostaw i jego ogniw, lecz także łańcucha transportowego, oraz ich oddziaływania na środowisko naturalne.

Obserwacja funkcjonowania gospodarki ujawnia rosnące znaczenie zagadnień dotyczących ochrony środowiska w procesie podejmowania decyzji logistycznych przez podmioty gospodarcze. Przykładem takich decyzji jest np. wybór formy i środka transportu przy uwzględnieniu standardów emisji spalin czy stosowanie opakowań wielokrotnego użytku [Zawada 2020]. Rosnące znaczenie aspektów środowiskowych w decyzjach logistycznych podejmowanych przez podmioty gospodarcze koresponduje z kierunkami badań zielonej logistyki, które obejmują m.in. modelowanie i optymalizację systemów logistycznych, kształtowanie współczesnych (zielonych) łańcuchów dostaw, kształtowanie produktu, ekologizację handlu (greening), a także zrównoważony transport uwzględniający rolę i znaczenie zielonych korytarzy transportowych. Zakres zielonej logistyki obejmuje zarówno jej aspekty operacyjne, jak i zarządcze [Al-Minhas i in. 2020].

Z punktu widzenia zarządzania zielona logistyka wymaga systemowego podejścia do organizacji procesów logistycznych, z priorytetowym uwzględnieniem ochrony środowiska naturalnego oraz efektywnego gospodarowania zasobami. W ramach tego podejścia nie ogranicza się ona jedynie do „zazielenienia" klasycznych procesów logistyki dostaw w przód (forward logistics), lecz obejmuje także integrację logistyki zwrotnej (reverse logistics), co gwarantuje, że cały łańcuch dostaw jest koordynowany w sposób zgodny z zasadami zrównoważonego rozwoju, przy minimalizacji negatywnego oddziaływania na środowisko. Ostatecznym celem zielonej logistyki jest promowanie zrówno-

ważonego rozwoju za pomocą harmonizacji wzrostu gospodarczego, dobrostanu społecznego i stanu środowiska naturalnego [Richnák i Gubová 2021]. Poprzez systematyczną integrację zasad zrównoważonego rozwoju w każdym wymiarze procesów logistycznych dąży się do wypracowania ekosystemu logistycznego, który charakteryzuje się nie tylko wysoką efektywnością i opłacalnością operacyjną, lecz również świadomym i odpowiedzialnym oddziaływaniem na środowisko.

Prezentowane obszary zastosowań zielonej logistyki w gospodarstwie rolnym wynikają zarówno z badań naukowych [Borkowska i Kruszyński 2019], jak i doświadczeń praktyki gospodarczej oraz obserwacji własnych autorów. Stanowią integralny i wielowymiarowy system działań logistycznych zmierzających do optymalizacji przepływu materiałów i energii przy równoczesnej minimalizacji wpływu gospodarstwa na środowisko naturalne. Obszary wdrażania i praktyczny wymiar zielonej logistyki w gospodarstwach rolnych są zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju oraz koncepcją ekologistyki i obejmują [PEP 2025; Andrzejczyk i Rajczakowska 2020; FAO b.d.]:

- zielony transport w gospodarstwie,
- zielone magazynowanie i przechowywanie,
- OZE i efektywność energetyczną,
- gospodarkę odpadami i recykling,
- zielone opakowania i logistykę opakowań,
- cyfryzację i automatyzację wspierające zieloną logistykę,
- zieloną dystrybucję i handel.

Przywołane obszary wdrażania zielonej logistyki w gospodarstwach rolnych mają wymiar prośrodowiskowy. Zielony transport i magazyny oraz racjonalna gospodarka odpadami i recykling prowadzą do redukcji śladu środowiskowego gospodarstw rolnych oraz ograniczają ich niekorzystne oddziaływanie na przyrodę. Stosowanie odnawialnych źródeł energii i dążenie do osiągnięcia efektywności energetycznej w obszarze infrastruktury logistycznej gospodarstw umożliwiają optymalizację kosztów operacyjnych i częściowe uniezależnienie się od paliw kopalnych. Wdrażanie w rolnictwie szeroko rozumianej cyfryzacji i automatyzacji zwiększa sprawność działania logistyki (agrologistyki), ogranicza straty oraz gwarantuje szybsze i bardziej stabilne przepływy wyrobów, co w tak specyficznym sektorze (produkty łatwo się psujące) ma kluczowe znaczenie. Prośrodowiskowe praktyki agrotechniczne i racjonalna gospodarka zasobami naturalnymi (i odpadami) dają szansę na prowadzenie efektywnych procesów produkcyjnych, a to wpisuje się w koncepcję rolnictwa zrównoważonego oraz zielonego, zrównoważonego łańcucha żywnościowego. Przyczynia się to do poprawy konkurencyjności gospodarstw rolnych na rynku, a także stanowi odpowiedź na rosnące oczekiwania konsumentów w zakresie ekologizacji i zwiększania prośrodowiskowego wymiaru rolnictwa, gospodarstw rolnych i szeroko rozumianej działalności rolniczej.

Działania prośrodowiskowe wspólnej polityki rolnej

Logistyka zorientowana na zrównoważenie środowiskowe, określana mianem zielonej logistyki, stanowiąca nowatorską ewolucję tradycyjnych ujęć logistycznych poprzez uwzględnienie pełnego spektrum oddziaływań procesów logistycznych na środowisko, koresponduje z rolnictwem wdrażającym przedsięwzięcia prośrodowiskowe (interwencje

rolno-środowiskowo-klimatyczne) w ramach polityki rolnej Unii Europejskiej – oba podejścia opierają się na wspólnych założeniach zrównoważonego rozwoju.

Wymiar prośrodowiskowy Wspólnej Polityki Rolnej realizowany jest głównie za pomocą dwóch narzędzi, tj. interwencji rolno-środowiskowo-klimatycznych (programu rolnośrodowiskowego) finansowanych w ramach II filaru WPR oraz ekoschematów (I filar WPR). Do tej grupy należy zaliczyć także tzw. system warunkowości (conditionality), na który składają się podstawowe wymagania dotyczące zarządzania (statutory management requirements, SMR) oraz normy dobrej kultury zgodnej z ochroną środowiska (good agricultural and environmental condition of land, GAEC). Normy i wymagania warunkowości są dla gospodarstw rolnych kluczowym kryterium do spełnienia w celu otrzymania pełnej wysokości wsparcia w obszarze płatności bezpośrednich.

Na potrzeby niniejszego opracowania autorzy za kluczowe działanie prośrodowiskowe uznali interwencje rolno-środowisko-klimatyczne ze względu na fakt, że są to przedsięwzięcia dobrowolne realizowane przez wybrane gospodarstwa rolne od 2004 roku (akcesja Polski do Unii Europejskiej) przez okres pięciu lat. Ekoschematy natomiast to narzędzie nowe, realizowane od 2023 roku – jest to instrument dobrowolny, z którego korzystają wybrane gospodarstwa rolne, zobowiązując się do stosowania praktyk przyjaznych środowisku przez rok. Z kolei system warunkowości to mechanizm obowiązkowy, który musi być wdrażany w gospodarstwach ubiegających się o wsparcie w ramach płatności bezpośrednich, niezależnie od świadomości prośrodowiskowej rolników.

Interwencje rolno-środowiskowo-klimatyczne są instrumentem Planu Strategicznego Wspólnej Polityki Rolnej Unii Europejskiej na lata 2023–2027 (II filar WPR) i stanowią kontynuację tzw. programu rolnośrodowiskowego realizowanego we wszystkich edycjach Planu/Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW). Program rolnośrodowiskowy przybierał przez lata różne nazwy:

- Plan Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2004–2006: Wspieranie przedsięwzięć rolnośrodowiskowych i poprawy dobrostanu zwierząt;
- Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013: Program rolnośrodowiskowy;
- Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020: Działanie rolno-środowiskowo-klimatyczne;
- Plan Strategiczny Wspólnej Polityki Rolnej (PSWPR) na lata 2023–2027: Interwencje rolno-środowiskowo-klimatyczne (interwencje na rzecz rozwoju obszarów wiejskich).

Celem instrumentu pn. interwencje rolno-środowiskowo-klimatyczne jest wspieranie i wdrażanie praktyk rolniczych mających na celu ochronę i zachowanie cennych siedlisk przyrodniczych, a także zagrożonych gatunków ptaków oraz zasobów genetycznych roślin i zwierząt, przy jednoczesnym utrzymaniu struktury krajobrazu rolniczego i zapewnieniu siedlisk i zasobów pokarmowych organizmom pożytecznym, w tym owadom zapylającym i gatunkom ptaków pełniącym funkcje ekologiczne w agroekosystemach [MRiRW 2023]. Instrument ten stanowi kontynuację narzędzia pn. działanie rolno-środowiskowo-klimatyczne – DRŚK (PROW 2014–2020) – po wprowadzeniu pewnych modyfikacji, wynikających z doświadczeń pozyskanych we wcześniejszym okresie programowania, a także konieczności odpowiedzi na dodatkowe potrzeby o charakterze środowiskowo-klimatycznym dotyczące chronienia zasobów genetycznych. Część pakietów

DRŚK została włączona w strukturę ekoschematów (I filar WPR), a w ramach interwencji rolno-środowiskowo-klimatycznej powstały nowe narzędzia, np. bioróżnorodność na gruntach ornych.

Działanie PSWPR 2023–2027 pn. interwencje rolno-środowiskowo-klimatyczne obejmuje siedem pakietów (interwencji) podzielonych na warianty:

1. Ochrona cennych siedlisk i zagrożonych gatunków na obszarach Natura 2000.
2. Ochrona cennych siedlisk i zagrożonych gatunków poza obszarami Natura 2000.
3. Ekstensywne użytkowanie łąk i pastwisk na obszarach Natura 2000.
4. Zachowanie sadów tradycyjnych odmian drzew owocowych.
5. Zachowanie zagrożonych zasobów genetycznych roślin w rolnictwie.
6. Zachowanie zagrożonych zasobów genetycznych zwierząt w rolnictwie.
7. Bioróżnorodność na gruntach ornych.

Interwencje rolno-środowiskowo-klimatyczne są zobowiązaniami dobrowolnymi o pięcioletnim okresie realizacji w gospodarstwach rolnych, a dodatkowe wymagania zawarte w poszczególnych pakietach (interwencjach) znacznie wykraczają poza wymagania podstawowe (w tym wzmocnioną warunkowość). Struktura i wsparcie realizowane w ramach tych interwencji różnią się od praktyk oferowanych producentom rolnym w ramach tzw. ekoschematów (I filar WPR). Płatności wynikające z poszczególnych wariantów interwencji rolno-środowiskowo-klimatycznych należy traktować jako rekompensatę za poniesione koszty i utracone dochody w następstwie podjętych dobrowolnie pięcioletnich zobowiązań prośrodowiskowch.

Badania naukowe potwierdzają, że program rolnośrodowiskowy, którego kontynuacją w obecnej perspektywie finansowej w Polsce są interwencje-rolno-środowiskowo-klimatyczne, stanowi instrument WPR wspierający ochronę agrobioróżnorodności, a jego wpływ na różnorodność i liczebność gatunków jest pozytywny. Na poziomie usług ekosystemowych (np. kontrola szkodników przez drapieżniki) korzystne oddziaływanie programów rolnośrodowiskowych dotyczy funkcji ekologicznych. Programy rolnośrodowiskowe stanowią kluczowy instrument realizacji zrównoważonego rolnictwa w UE – są to narzędzia skuteczne wtedy, gdy zostaną dobrze dopasowane do lokalnych warunków [Science for Environment Policy 2017]. Konieczność dostosowania tych instrumentów do lokalnych warunków siedliskowych zauważają także Kleijn i Sutherland [2003]; wyrażają oni pogląd, że programy rolnośrodowiskowe w znacznym stopniu zwiększają bogactwo i liczebność gatunków roślin, owadów i ptaków, szczególnie wtedy, gdy praktyki takie są stosowane przez dłuższy czas [Kleijn i Sutherland 2003]. Warto także zauważyć, że programy rolnośrodowiskowe zwiększają liczebność drapieżników i parazytoidów, intensyfikując naturalną kontrolę szkodników i ograniczając potrzebę stosowania chemicznych środków ochrony roślin [Yousefi i in. 2024].

Materiał i metody

Celem niniejszego opracowania naukowego jest rozpoznanie działań wdrażanych w zakresie zielonej logistyki w gospodarstwach rolnych będących beneficjentami interwencji rolno-środowiskowo-klimatycznych. Do badań celowo wybrano województwa dolnośląskie i opolskie tworzące makroregion południowo-zachodni. Na terenie tego makroregionu złożono 934 wnioski o realizację interwencji rolno-środowiskowo-

-klimatycznych (dane ARiMR z 31.09.2025) – przebadano 5% beneficjentów, tj. 47 gospodarstw rolnych. Badania kwestionariuszowe przeprowadzono od października do grudnia 2025. Podczas gromadzenia materiału badawczego posłużono się także metodą systemowej analizy informacji ukierunkowanej na analizę źródeł wtórnych (opracowania naukowe, dane statystyczne) [Kędzior 2005].

W strukturze respondentów dominowali mężczyźni (82,98%), kobiety stanowiły 17,02%. Wszyscy respondenci potwierdzili, że w prowadzonych przez siebie gospodarstwach rolnych realizują przedsięwzięcia wpisujące się w koncepcję zielonej logistyki.

Wdrażanie przedsięwzięć zielonej logistyki w gospodarstwach rolnych

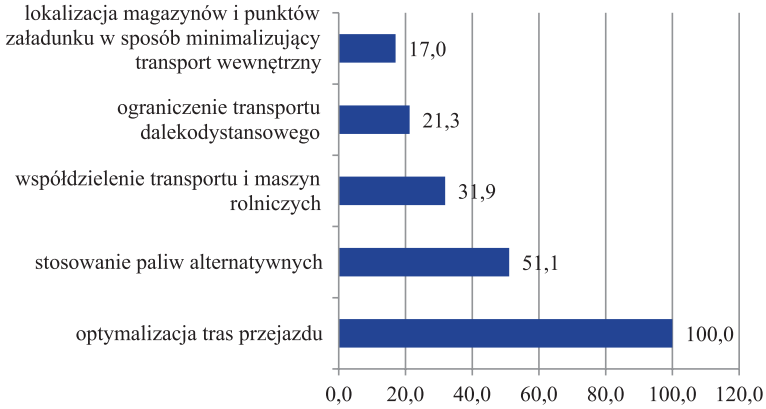
Badanie dotyczyło siedmiu obszarów zielonej logistyki wdrażanej w gospodarstwach rolnych będących beneficjentami środków finansowych wypłacanych z tytułu realizacji interwencji rolno-środowiskowo-klimatycznych (a wcześniej działania rolno-środowiskowo-klimatycznego PROW 2014–2020):

1. zielony transport w gospodarstwie rolnym,
2. zielone magazynowanie i przechowywanie płodów rolnych,
3. OZE i efektywność energetyczna,
4. gospodarka odpadami i recykling,
5. zielone opakowania i logistyka opakowań,
6. cyfryzacja i automatyzacja wspierające zieloną logistykę,
7. zielona dystrybucja i handel.

Praktyczny wymiar zielonego transportu w gospodarstwach rolnych polegał m.in. na optymalizacji tras przejazdu maszyn rolniczych (planowanie przejazdów z wykorzystaniem systemów GPS i telematyki, ograniczenie wolumenu pustych przebiegów), a także użyciu paliw alternatywnych (biodiesel) i współdzieleniu transportu przez kilku producentów rolnych (wspólne dostawy do punktu skupu). Przedsięwzięcia te umożliwiały redukcję zużycia paliwa i ograniczenie emisji CO_2. Uzyskane wyniki badań wskazują, że wszyscy respondenci optymalizują trasy przejazdu środków transportu i maszyn rolniczych, a 51,1% rolników stosuje biodiesel do napędzania traktorów, kombajnów zbożowych i innych maszyn rolniczych (rys. 1).

Około 31,9% udzielających odpowiedzi współdzieli środki transportu (głównie przy dostarczaniu mleka do mleczarni oraz zwierząt żywych do ubojni) i maszyny rolnicze (np. siewniki precyzyjne). Współdzielenie środków transportu oraz maszyn rolniczych, w szczególności wykorzystywanych w gospodarstwach w ograniczonym zakresie, znajduje uzasadnienie zarówno ekonomiczne, jak i środowiskowe, przejawiające się nie tylko w redukcji zużycia paliwa oraz emisji CO_2, lecz także w ograniczeniu całkowitego śladu środowiskowego, obejmującego ślad węglowy, wodny, materiałowy i energetyczny.

W obszarze zielonych magazynów rolnicy zasilają chłodnie, przechowalnie i inne elementy infrastruktury magazynowej z instalacji OZE (odnawialnych źródeł energii), np. instalacji fotowoltaicznych i pomp ciepła. Wdrażają ponadto inteligentne systemy sterowania temperaturą i wilgotnością, które minimalizują zużycie energii, a także wyko-



Rysunek 1. Udział producentów rolnych realizujących poszczególne przedsięwzięcia wpisujące się w realizację tzw. zielonego transportu w gospodarstwach rolnych [%]

Figure 1. Share of agricultural producers implementing projects that contribute to the implementation of the so-called green transport on farms [%]

Źródło: opracowanie własne

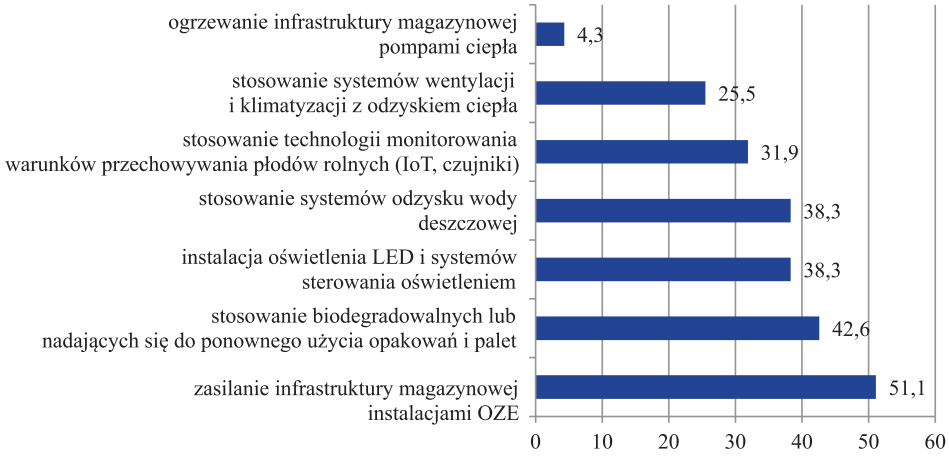
Source: own study

rzystują biodegradowalne opakowania i palety podatne na recykling. Wykorzystanie instalacji OZE zadeklarowała ponad połowa respondentów (51,1%; rys. 2). Z biodegradowalnych i podlegających recyklingowi opakowań i palet (worki jutowe, palety wykonane z drewna, folie biodegradowalne wykorzystywane w mulczowaniu gleby) korzysta 42,6% badanych. Instalacje LED i sterowanie oświetleniem, a także odzysk wody deszczowej stosuje 38,3% ankietowanych.

Wykorzystanie IoT (internetu rzeczy) oraz różnego typu czujników tworzących system monitorowania warunków przechowywania płodów rolnych deklaruje 31,9% respondentów. W ramach zielonego magazynowania rolnicy stosują także systemy wentylacji i klimatyzacji magazynów/przechowalni oraz ogrzewanie pompami ciepła.

Stosowanie w zielonych magazynach instalacji OZE, systemów wentylacji i klimatyzacji z odzyskiem ciepła oraz samych pomp ciepła prowadzi do zmniejszenia zużycia energii i emisji CO_2. Zastosowanie technologii monitorowania warunków przechowywania (IoT, czujniki) powoduje ograniczenie strat żywności i materiałów rolnych, co zmniejsza ślad środowiskowy, a wykorzystanie biodegradowalnych lub nadających się do ponownego użycia opakowań i palet ogranicza zużycie surowców oraz emisję związaną z ich produkcją.

Praktyczny wymiar zielonej logistyki w obszarze wdrażania OZE z uwzględnieniem zagadnienia efektywności energetycznej uwidacznia się w wymianie oświetlenia na LED (zastosowanie w magazynach czujników ruchu), wykorzystaniu instalacji fotowoltaicznych oraz stosowaniu energooszczędnych izolacji w przechowalniach, halach magazynowych i innych budynkach użytkowanych rolniczo. Wyniki badań wskazują, że ankietowani producenci rolni stosują najczęściej energooszczędne izolacje w budynkach służących



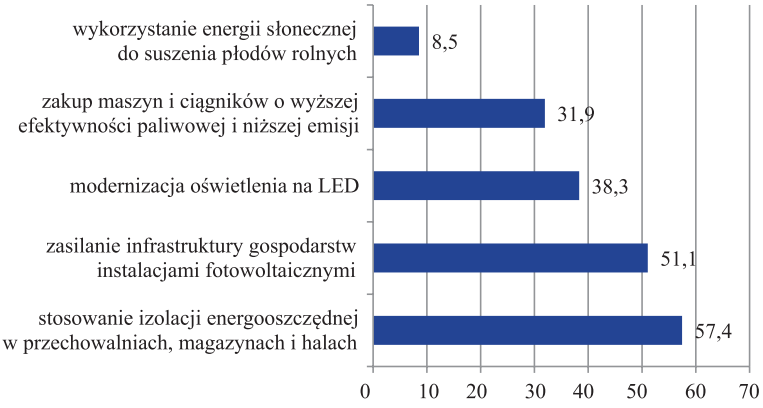
Rysunek 2. Udział producentów rolnych realizujących poszczególne przedsięwzięcia wpisujące się w realizację tzw. zielonego magazynowania w gospodarstwach rolnych [%]

Figure 2. Share of agricultural producers implementing projects that are part of the implementation of the so-called green storage on farms [%]

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

magazynowaniu płodów rolnych (57,4%; rys. 3). Daje to korzyści w postaci minimalizacji przenikania ciepła przez ściany, dach, podłogi i okna, a tym samym redukcji kosztów ogrzewania i klimatyzacji, ograniczenia emisji CO_2 i innych zanieczyszczeń związanych z produkcją energii, a wreszcie poprawy komfortu cieplnego ludzi i zwierząt.



Rysunek 3. Udział producentów rolnych realizujących poszczególne przedsięwzięcia dotyczące wykorzystania OZE i efektywności energetycznej w gospodarstwach rolnych [%]

Figure 3. Share of agricultural producers implementing projects related to the use of renewable energy sources and energy efficiency on farms [%]

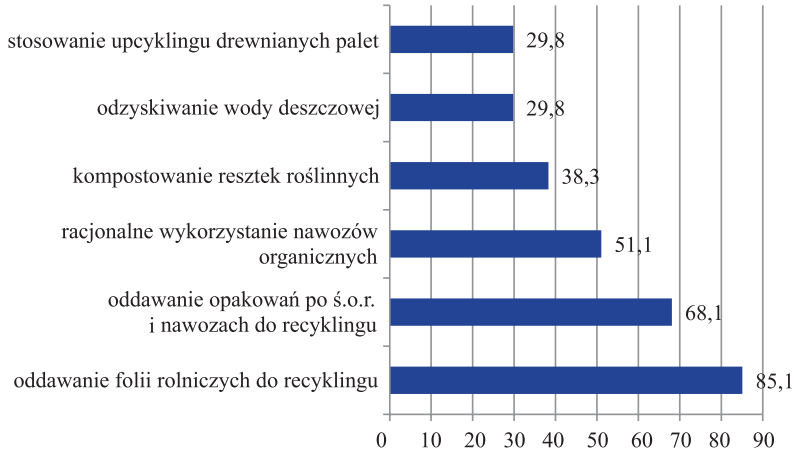
Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Ankietowani rolnicy stosują także instalacje fotowoltaiczne (51,1%), wymianę oświetlenia na LED (38,3%) oraz zakup ciągników, maszyn i urządzeń cechujących się większą efektywnością paliwową i niższą emisją substancji szkodliwych (31,9%). W mniejszym stopniu natomiast wykorzystują energię słoneczną do suszenia płodów rolnych (np. siana, tytoniu, zboża).

Przejawem zielonej logistyki w gospodarstwach rolnych jest także gospodarka odpadami i szeroko rozumiany recykling. W tym zakresie rolnicy mogą stosować upcykling drewnianych palet (naprawa zamiast kupna nowych), separację i recykling folii rolniczych (worki po nawozach, big bagi), a także kompostowanie resztek roślinnych oraz pozyskiwanie wody deszczowej do mycia maszyn czy nawadniania roślin.

W produkcji rolniczej szczególnym problemem środowiskowym jest niewłaściwe zagospodarowanie folii rolniczej (np. folii po sianokiszonkach), jednak do profesjonalnego recyklingu oddaje ją 85,1% respondentów (rys. 4). Jest to zjawisko korzystne, ponieważ wpisuje się w koncepcję logistyki zwrotnej (ekologistyki) oraz gospodarki o obiegu zamkniętym.



Rysunek 4. Udział producentów rolnych realizujących poszczególne przedsięwzięcia dotyczące gospodarki odpadami i recyklingu w gospodarstwach rolnych [%]

Figure 4. Share of agricultural producers implementing waste management and recycling projects on farms [%]

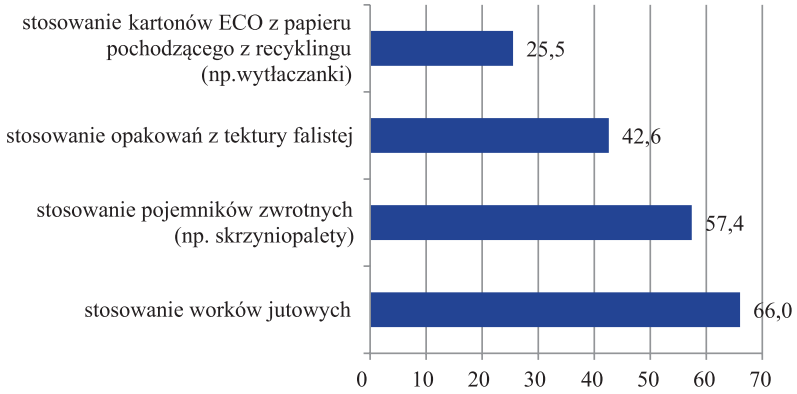
Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Ten sam prośrodowiskowy wymiar ma oddawanie opakowań po środkach ochrony roślin (pestycydach) i nawozach syntetycznych do ponownego przetwarzania (recyklingu) – robi tak 68,1% badanych. Racjonalne wykorzystanie nawozów organicznych dotyczy z kolei 51,1% gospodarstw rolnych. Zagospodarowanie gnojówki i gnojowicy w rolnictwie ogranicza m.in. zużycie azotowych nawozów syntetycznych, których produkcja nie jest obojętna dla środowiska przyrodniczego. Działaniem proekologicznym jest również kompostowanie resztek roślinnych (38,3% badanych), odzyskiwanie wody deszczowej (z przeznaczeniem do nawadniania upraw i mycia maszyn rolniczych; 29,8%)

oraz upcykling palet wykonanych z drewna (również 29,8%). Te ostatnie trzy działania umożliwiają zamykanie obiegów materiałowych i zasobowych w gospodarstwach rolnych, ograniczają zapotrzebowanie na zasoby zewnętrzne i prowadzą do redukcji śladu środowiskowego procesów logistycznych.

Zielone opakowania i ich logistyka to także obszar zainteresowania zielonej logistyki realizowanej przez gospodarstwa rolne biorące udział w badaniu. Stosują one m.in. opakowania z tektury falistej (w 100% podlegające recyklingowi), worki jutowe czy pojemniki zwrotne (skrzyniopalety). Aż 66% badanych rolników wykorzystuje worki jutowe (np. do transportu i krótkotrwałego przechowywania ziemniaków i buraków) – materiały naturalne o dobrej przepuszczalności powietrza i łatwe w kompostowaniu (biodegradowalne). Pojemniki zwrotne (np. skrzyniopalety) wykorzystywane są w 57,4% gospodarstw, co może świadczyć o rosnącym znaczeniu opakowań wielokrotnego użytku, umożliwiających redukcję odpadów, a co za tym idzie, także kosztów logistyki (rys. 5).



Rysunek 5. Udział producentów rolnych realizujących poszczególne przedsięwzięcia dotyczące stosowania zielonych opakowań i logistyki opakowań w gospodarstwach rolnych [%]

Figure 5. Share of agricultural producers implementing projects related to the use of green packaging and packaging logistics on farms [%]

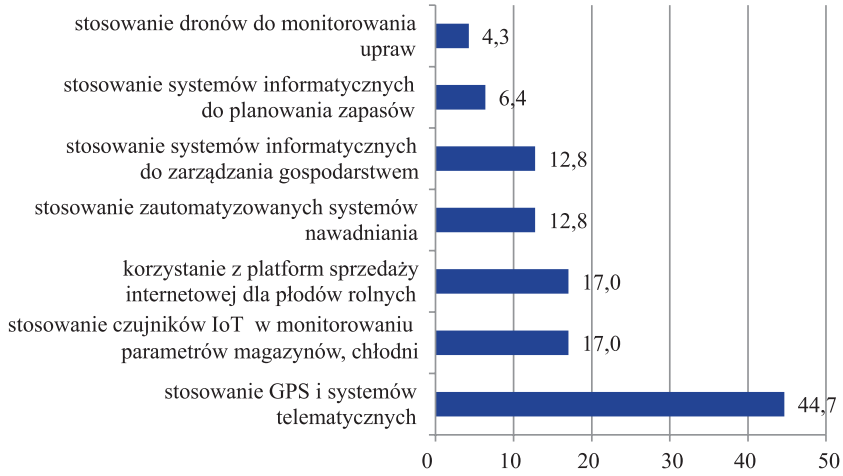
Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Prawie połowa (42,6%) badanych wykorzystuje w procesach produkcyjnych i logistycznych opakowania z tektury falistej, a 25,5% posługuje się ekokartonami, wytwarzanymi z papieru pochodzącego z recyklingu – przykładem są wytłaczanki do transportu i przechowywania jaj kurzych. Zatem gospodarstwa rolne coraz częściej wprowadzają zasady zielonej logistyki w obszarze opakowalnictwa. Stosowanie rozwiązań przyjaznych środowisku sprzyja ograniczaniu negatywnego wpływu działalności rolniczej na ekosystem, w szczególności dzięki redukcji odpadów oraz efektywniejszemu wykorzystaniu zasobów.

Istotnym elementem zielonej logistyki gospodarstw rolnych jest cyfryzacja i automatyzacja, która przejawia się m.in. w stosowaniu systemów GPS oraz systemów telematycznych monitorujących zużycie paliwa i trasy przejazdu, a także internetu rzeczy (ogra-

niczenie marnotrawstwa płodów rolnych poprzez monitorowanie wilgotności magazynu czy temperatury w chłodni). W grupie badanych gospodarstw najpowszechniejszym działaniem z obszaru cyfryzacji i automatyzacji wspierającej zieloną logistykę jest wykorzystywanie systemów GPS oraz rozwiązań telematycznych do kontroli zużycia paliwa i monitorowania tras przejazdu ciągników i maszyn rolniczych (44,7%; rys. 6).



Rysunek 6. Udział producentów rolnych realizujących poszczególne przedsięwzięcia dotyczące cyfryzacji i automatyzacji w gospodarstwach rolnych [%]

Figure 6. Share of agricultural producers implementing projects related to digitalization and automation on farms [%]

Źródło: opracowanie własne

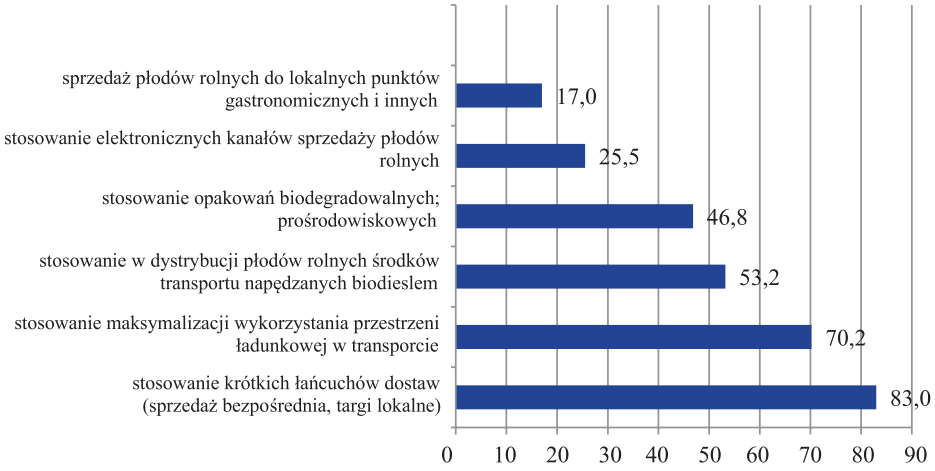
Source: own study

Gospodarstwa stosują także czujniki IoT do monitorowania warunków temperaturowych, wilgotnościowych i innych w magazynach i chłodniach rolniczych. Z rozwiązań tych korzysta 17% badanych podmiotów; taki sam odsetek gospodarstw wykorzystuje w procesach sprzedażowych platformy internetowe (ogłoszenia dotyczące oferty handlowej płodów rolnych). 12,5% rolników stosuje zautomatyzowane systemy nawadniania upraw oraz rozwiązania informatyczne wspomagające zarządzanie gospodarstwem. Mniejszą popularnością cieszą się systemy informatyczne wspierające planowanie zapasów oraz wykorzystanie dronów do monitorowania stanu upraw i szkód łowieckich.

Procesy cyfryzacji i automatyzacji gospodarstw rolnych są istotnym elementem zielonej logistyki, przyczyniającym się do racjonalizacji zużycia zasobów, ograniczenia strat produkcyjnych oraz poprawy efektywności procesów logistycznych dzięki wykorzystaniu systemów monitorowania, analizy danych i zdalnego zarządzania.

Zielona logistyka w rolnictwie polega także na realizowaniu przedsięwzięć ukierunkowanych na zieloną dystrybucję i handel. W tym obszarze stosowane są m.in. formy sprzedaży wpisujące się w krótkie łańcuchy dostaw (sprzedaż bezpośrednia, lokalne targi), a także planowanie rozmieszczenia ładunków na środku transportowym w celu maksymalizacji wykorzystania przestrzeni.

Większość respondentów (83%) sprzedaje płody rolne bezpośrednio, najczęściej w miejscu wytworzenia, a także na lokalnych targach i rynkach – ogranicza to zużycie paliwa oraz emisję CO_2. Ta korzyść środowiskowa osiągana jest także dzięki optymalizacji przestrzeni ładunkowej (70,2% ankietowanych) oraz wykorzystywaniu biodiesla do napędu środków transportu angażowanych w proces dystrybucji produktów wytworzonych w gospodarstwach rolnych (53,2%; rys. 7).



Rysunek 7. Udział producentów rolnych realizujących poszczególne przedsięwzięcia dotyczące zielonej dystrybucji i handlu w gospodarstwach rolnych [%]

Figure 7. Share of agricultural producers implementing green distribution and trade projects on farms [%]

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Prawie połowa badanych (46,8%) stosuje w ramach zielonej dystrybucji opakowania o charakterze biodegradowalnym (prośrodowiskowym), 25,5% prowadzi sprzedaż z wykorzystaniem platform elektronicznych, a 17% upatruje źródeł zbytu w lokalnych punktach masowego żywienia. Wpisuje się to w koncepcję krótkich łańcuchów dostaw, które z uwagi na oszczędność paliwa i ograniczenie emisji substancji szkodliwych mają wymiar ekologiczny.

Wdrażanie przez gospodarstwa rolne działań prośrodowiskowych (interwencje rolno-środowiskowo-klimatyczne) finansowanych w ramach II filaru Wspólnej Polityki Rolnej może korzystnie wpływać na stosowanie rozwiązań z zakresu zielonej logistyki. W ujęciu naukowym zależność tę można opisać jako mechanizm wspierający i wzmacniający. W tym kontekście należy zwrócić uwagę na spójność celów regulacyjnych – cele środowiskowe WPR są zgodne z założeniami zielonej logistyki. Gospodarstwu rolnemu spełniającemu wymagania prośrodowiskowe łatwiej spełniać wymogi logistyczne dotyczące redukcji szeroko rozumianego śladu środowiskowego. Jest to możliwe dzięki komplementarności działań rolniczych i logistycznych (agrologistycznych). Dla kształtowania zielonej logistyki w rolnictwie znaczenie mają także przedsięwzięcia (instrumenty) modernizacyjne realizowane w ramach I filaru WPR, które ograniczając barierę kosztową

zielonych inwestycji, zwiększają konkurencyjność gospodarstwa oraz wzmacniają jego wizerunek rynkowy wśród odbiorców doceniających działania prośrodowiskowe przedsiębiorców (np. niskoemisyjne dostawy).

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że gospodarstwa rolne będące beneficjentami interwencji rolno-środowiskowo-klimatycznych systemowo wdrażają rozwiązania wpisujące się w koncepcję zielonej logistyki, obejmującą: transport, magazynowanie, wykorzystanie OZE, efektywność energetyczną, gospodarkę odpadami, zielone opakowalnictwo, cyfryzację i zieloną dystrybucję. Działania te są elementem świadomego zarządzania gospodarstwem, ukierunkowanego na ograniczenie presji środowiskowej oraz poprawę efektywności ekonomicznej i organizacyjnej.

W obszarze transportu w badanych gospodarstwach dominowały działania związane z optymalizacją tras przejazdu, stosowaniem paliw alternatywnych oraz współdzieleniem maszyn i środków transportu, co prowadziło do redukcji zużycia paliwa i emisji CO_2. W zielonym magazynowaniu istotne znaczenie miało wykorzystanie instalacji OZE i energooszczędnych systemów przechowywania i monitorowania parametrów magazynowych oraz opakowań biodegradowalnych i podlegających recyklingowi, co sprzyjało ograniczeniu strat płodów rolnych i energochłonności procesów. Szczególnie ważne były w tym kontekście gospodarka odpadami i recykling, obejmujące recykling folii rolniczych, odzysk opakowań po nawozach i środkach ochrony roślin, kompostowanie oraz racjonalne wykorzystanie nawozów organicznych, co potwierdza rosnącą rolę gospodarki o obiegu zamkniętym. Uzupełnieniem tych działań było stosowanie zielonych opakowań, takich jak worki jutowe, pojemniki zwrotne i opakowania z surowców wtórnych.

Istotnym elementem zielonej logistyki była także cyfryzacja i automatyzacja procesów logistycznych, realizowana dzięki stosowaniu systemów GPS, telematyki, IoT oraz platform sprzedaży internetowej. W zielonej dystrybucji dominowały krótkie łańcuchy dostaw, sprzedaż bezpośrednia i lokalne kanały zbytu, które ograniczały transport dalekodystansowy, zmniejszały emisję zanieczyszczeń oraz wzmacniały relacje między producentami i konsumentami.

Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że zielona logistyka staje się istotnym elementem zrównoważonego rozwoju gospodarstw rolnych, łączącym cele środowiskowe z poprawą konkurencyjności i efektywności ekonomicznej. Interwencje rolno-środowiskowo-klimatyczne realizowane w ramach II filaru Wspólnej Polityki Rolnej pełnią w tym zakresie funkcję wzmacniającą, zapewniając spójność między polityką środowiskową a praktyką zarządzania logistycznego w rolnictwie.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz doświadczenia zawodowego autorów sformułowano następujące wnioski:

- badane gospodarstwa rolne wdrażają koncepcję zielonej logistyki w sposób kompleksowy, integrując działania prośrodowiskowe na wszystkich kluczowych etapach procesów logistycznych – od transportu i magazynowania po dystrybucję i handel,
- zastosowanie nowoczesnych technologii, w tym odnawialnych źródeł energii, cyfryzacji i automatyzacji, istotnie przyczynia się do zwiększenia efektywności wykorzystania zasobów oraz ograniczenia negatywnego wpływu działalności rolniczej na środowisko,

- praktyki związane z gospodarką odpadami, recyklingiem oraz ponownym wykorzystaniem materiałów potwierdzają rosnące znaczenie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym dla funkcjonowania gospodarstw rolnych,
- rozwój zielonego opakowalnictwa oraz stosowanie krótkich łańcuchów dostaw sprzyjają redukcji emisji związanych z transportem, a jednocześnie wzmacniają lokalne rynki zbytu i relacje producent – konsument,
- autorzy za zasadne uznają przeprowadzenie w przyszłości analogicznych badań w grupie producentów rolnych, którzy nie byli i nie są beneficjentami działań prośrodowiskowych finansowanych w ramach II filaru Wspólnej Polityki Rolnej.

Bibliografia

Al-Minhas U., Ndubisi N.O., Barrane F.Z., 2020: Corporate environmental management: A review and integration of green human resource management and green logistics, Management of Environmental Quality: An International Journal 31(2), 431–450.

Andrzejczyk P., Rajczakowska E., 2020: Ekologistyka jako integralny element zrównoważonego rozwoju gospodarstw rolnych w Polsce, Ekonomika i Organizacja Logistyki 5(2), 27–42.

Borkowska M., Kruszyński M., 2019: Ekologistyka odpadów opakowaniowych w rolnictwie, Ekonomika i Organizacja Logistyki 4(1), 5–15.

Dytczak M., Ginda G., 2014: Zielona logistyka, Logistyka 3, 1524–1533.

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], b.d.: Green supply chain, https://www.fao.org/platforms/green-agriculture/areas-of-work/green-supply-chain/en [dostęp: 12.01.2026].

Górniak J., Krajewski P., 2013: Ekotaksówki jako narzędzie zielonej logistyki, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie 60, 21–32.

Kędzior Z., 2005: Badania rynku. Metody zastosowania, PWE, Warszawa.

Kleijn D., Sutherland W.J., 2003: How effective are European agri-environment schemes in conserving and promoting biodiversity? Journal of Applied Ecology 40(6), 947–969.

McKinnon A.C., Browne M., Piecyk M., Whiteing A., 2015: Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistic, Kogan Page, Londyn.

Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi [MRiRW], 2023: Interwencje rolno-środowiskowo-klimatyczne, https://www.gov.pl/web/rolnictwo/interwencje-rolno-srodowiskowo-klimatyczne [dostęp: 12.01.2026].

Polskie ePłatności [PEP], 2025: Ekologistyka – czyli logistyka w wersji przyjaznej dla środowiska, https://pep.pl/poradnik/ekologistyka [dostęp: 12.01.2026].

Richnák P., Gubová K., 2021: Green and reverse logistics in conditions of sustainable development in enterprises in Slovakia. Sustainability 13(2), 581.

Science for Environment Policy, 2017: Agri-environmental schemes: how to enhance the agriculture-environment relationship. Thematic Issue 57, European Commission, DG Environment by the Science Communication Unit, UWE, Bristol, https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d75faa07-651c-11e7-b2f2-01aa75ed71a1/language-en [dostęp: 12.01.2026].

Yousefi M., Marja R., Barmettler E., Six J., Dray A., Ghazoul J., 2024: The effectiveness of intercropping and agri-environmental schemes on ecosystem service of biological pest control: a meta-analysis, Agronomy for Sustainable Development 44, 15.

Zawada K., 2020: Green Logistics: The Way to Environmental Sustainability of Logistics. Empirical Evidence from Polish SMEs. European Journal of Sustainable Development 9(4), 231.

Economics and Organization of Logistics
11 (1), 2026, 89–106

DOI: 10.22630/EIOL.2026.11.1.5

Zgłoszono: 12.02.2026
Zaakceptowano: 25.04.2026

Mateusz Motyka✉
Szkoła Główna Handlowa w Warszawie

Cyfryzacja i automatyzacja w logistyce – systematyczny przegląd literatury na temat determinant jakości i efektywności operacyjnej

Digitalization and automation in logistics – determinants of service quality and operational efficiency. A systematic literature review

Synopsis. Postępująca cyfryzacja i automatyzacja to kluczowe kierunki transformacji współczesnych systemów logistycznych ze względu na ich wpływ na sposób realizacji procesów logistycznych oraz jakość świadczonych usług. Celem artykułu jest identyfikacja i synteza wyników badań dotyczących wpływu technologii cyfrowych oraz rozwiązań automatyzacyjnych na jakość i efektywność operacyjną w branży usług logistycznych. W toku analizy zidentyfikowano również determinanty warunkujące skuteczność wdrożeń technologicznych w przedsiębiorstwach logistycznych. Badanie przeprowadzono z wykorzystaniem metody systematycznego przeglądu literatury, który obejmował recenzowane publikacje naukowe wyselekcjonowane na podstawie zdefiniowanej strategii wyszukiwania, kryteriów wyłączenia i włączenia oraz wieloetapowej procedury selekcji źródeł. Synteza otrzymanych wyników miała charakter tematyczny i koncentrowała się na analizie stosowanych technologii cyfrowych, obszarów procesów logistycznych oraz wykorzystywanych miar jakości i efektywności operacyjnej. Wyniki przeglądu pokazują, że technologie cyfrowe i rozwiązania automatyzujące prowadzą do poprawy wykorzystania zasobów przedsiębiorstw, skrócenia czasu realizacji procesów logistycznych, wzrostu niezawodności oraz redukcji kosztów operacyjnych. Jednocześnie efekty te są silnie uzależnione od determinant organizacyjnych, kompetencyjnych i procesowych. Na podstawie syntezy literatury zaproponowano autorski model koncepcyjny przedstawiający relacje między wdrożeniem technologii cyfrowych, transformacją procesów logistycznych oraz osiąganymi efektami w zakresie jakości usług i efektywności operacyjnej. Prezentowane wnioski podkreślają znaczenie integracji technologii cyfrowych z dojrzałością procesową organizacji i kompetencjami pracowników oraz wskazują kierunki dalszych badań nad długookresowymi efektami wdrożeń.

✉**Mateusz Motyka** – Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Szkoła Doktorska; e-mail: mm102399@doktorant.sgh.waw.pl; https://orcid.org/0000-0002-0913-6217

CC BY-NC

Słowa kluczowe: cyfryzacja, automatyzacja, efektywność operacyjna, jakość usług logistycznych, systematyczny przegląd literatury

Abstract. Ongoing digitalization and automation represent key directions of transformation in contemporary logistics systems, influencing the way logistics processes are executed and the quality of services provided. The aim of this article is to identify and synthesize research findings on the impact of digital technologies and automation solutions on service quality and operational efficiency in the logistics services sector. During the analysis, determinants conditioning the effectiveness of technology implementation in logistics enterprises were also identified. The study was conducted using the Systematic Literature Review method, covering peer-reviewed scientific publications selected on the basis of a defined search strategy, inclusion and exclusion criteria, and a multi-stage screening procedure. The synthesis of results was thematic in nature and focused on the analysis of applied digital technologies, logistics process areas, and the performance and quality measures used in the studies. The review findings indicate that digital technologies and automation solutions contribute to improved resource utilization, shorter logistics process lead times, increased reliability, and reduced operational costs. At the same time, these effects are strongly dependent on organizational, competence-related, and process-related determinants. Based on the synthesis of the literature, an original conceptual model was proposed, presenting the relationships between the implementation of digital technologies, the transformation of logistics processes, and the resulting outcomes in terms of service quality and operational efficiency. The conclusions emphasize the importance of aligning digital technologies with organizational process maturity and employee competencies, and indicate directions for further research on the long-term effects of technology implementation.

Keywords: digitalization, automation, operational efficiency, logistics service quality, systematic literature review

Kody JEL: O14, O33, L23, L25, L91

Wstęp

Branża usług logistycznych uległa w ostatnich dekadach istotnym przeobrażeniom w wyniku wdrażania technologii cyfrowych i rozwiązań automatyzacyjnych powiązanych z koncepcją Przemysłu 4.0. Cyfryzacja i automatyzacja systemów logistycznych sprzyjają wzrostowi wydajności operacyjnej i redukcji kosztów oraz poprawie jakości procesów i usług. Nadal jednak brakuje kompleksowego ujęcia pozwalającego na całościowe zrozumienie wpływu tych rozwiązań na działalność logistyczną. Choć liczne badania analizowały wpływ cyfryzacji na zarządzanie łańcuchem dostaw [Ben-Daya i in. 2019], a także wpływ automatyzacji operacji logistycznych, w szczególności magazynowych [Boysen i in. 2019], oraz implikacje koncepcji Przemysłu 4.0 [Hofmann i Rüsch 2017] na branżę usług logistycznych, dorobek ten pozostaje rozproszony tematycznie i metodologicznie, co utrudnia całościową ocenę konsekwencji tych zjawisk dla jakości i efektywności operacyjnej w branży. Istnieje zatem potrzeba prowadzenia systematycznego przeglądu literatury, który pogłębi zrozumienie wpływu technologii cyfrowych i automatyzacji procesów logistycznych na omawiany obszar. Celem niniejszego prze-

glądu jest wypełnienie tej luki poprzez identyfikację i syntezę wyników badań dotyczących wpływu technologii cyfrowych oraz rozwiązań automatyzacyjnych na jakość usług i efektywność operacyjną w branży usług logistycznych. W toku analizy zidentyfikowano również determinanty warunkujące skuteczność wdrożeń technologicznych w przedsiębiorstwach logistycznych. Ze względu na szeroki charakter problematyki odnoszącej się do cyfryzacji i automatyzacji w logistyce niniejszy artykuł koncentruje się przede wszystkim na analizie wpływu technologii cyfrowych na jakość usług oraz efektywność operacyjną w przedsiębiorstwach z branży usług logistycznych. Wyniki przeglądu mogą stanowić wsparcie dla menedżerów logistyki przy podejmowaniu decyzji dotyczących wdrożeń technologicznych, a także punkt wyjścia do dalszych badań nad wpływem cyfryzacji na efektywność operacyjną.

W warunkach postępującej cyfryzacji procesów logistycznych jakość usług staje się coraz mocniej skorelowana ze skutecznością wdrażania nowoczesnych technologii. Jakość usług logistycznych jest postrzegana przez klienta jako wynik porównania jego oczekiwań wobec procesu logistycznego z faktycznym doświadczeniem [Mentzer i in. 2001]. Jednocześnie efektywność operacyjna pozostaje kluczowym zagadnieniem w ekonomii oraz naukach o zarządzaniu i jakości, definiowanym jako relacja efektów do nakładów oraz zdolność przedsiębiorstwa do realizacji celów jakościowych [Wilczyński 2014].

Dynamiczny rozwój technologii cyfrowych powoduje szybkie dezaktualizowanie się wiedzy dotyczącej zarządzania procesami logistycznymi [Abdirad i Krishnan 2020]. Rosnąca liczba rozwiązań cyfrowych i automatyzacyjnych, a także robotyzacja procesów biznesowych przekształcają modele operacyjne przedsiębiorstw logistycznych, wymagając jednocześnie dostosowania systemów zarządzania [Winkelhaus i Grosse 2020]. Cyfryzacja i automatyzacja procesów biznesowych stały się w ostatnich latach strategicznym priorytetem dla wielu przedsiębiorstw z branży usług logistycznych [Cichosz i in. 2020], jednak nie wszystkie podmioty dysponują wystarczającym potencjałem adaptacyjnym, przez co pojawiają się bariery wdrożeniowe oraz różnice w osiąganych efektach.

Przedsiębiorstwa świadczące usługi logistyczne prowadzą działalność w obliczu narastającej presji rynkowej w zakresie wdrażania innowacji technologicznych. Pomimo rosnącej liczby badań dotyczących automatyzacji i cyfryzacji procesów biznesowych działania związane z integracją cyfryzacji i automatyzacji w branży usług logistycznych nie zostały jeszcze w pełni przebadane [Chauhan i Singh 2020]. Transformacja cyfrowa wykracza poza samą technologię cyfrową, wpływając na strategię, kulturę organizacyjną oraz kompetencje pracowników [Śledziewska i Włoch 2020]. Koncepcja Przemysłu 4.0 zakłada tworzenie inteligentnych systemów logistycznych i zintegrowanych łańcuchów dostaw z wykorzystaniem systemów cyberfizycznych (ang. cyber-physical system, CPS), analityki danych big data oraz internetu rzeczy (ang. internet of things, IoT) [Winkelhaus i Grosse 2020; Abdirad i Krishnan 2020], co stanowi fundamenty rozwoju Logistyki 4.0.

Wobec powyższego niniejszy artykuł stanowi systematyczny przegląd literatury (ang. systematic literature review, SLR) dotyczący wpływu technologii cyfrowych i rozwiązań automatyzujących na jakość usług oraz efektywność operacyjną w branży usług logistycznych. Przeprowadzona synteza badań i otrzymanych wyników umożliwiła uporządkowanie dotychczasowego dorobku naukowego i identyfikację dominujących nurtów badawczych oraz wskazanie obszarów badań wymagających dalszego pogłębienia. Pozwoliła również opracować autorski model koncepcyjny przedstawiający relacje

między wdrażaniem technologii cyfrowych, transformacją procesów logistycznych oraz osiąganymi efektami w zakresie jakości usług i efektywności operacyjnej.

Materiały i metody

W celu zapewnienia przejrzystości metodologicznej oraz obiektywności syntezy wiedzy w artykule zastosowano metodę systematycznego przeglądu literatury. Umożliwia ona uporządkowaną identyfikację, selekcję i analizę dorobku naukowego w określonym obszarze badawczym, jednocześnie minimalizując ryzyko subiektywnej interpretacji źródeł oraz zwiększając powtarzalność zastosowanej procedury badawczej [Tranfield i in. 2003]. Zastosowanie SLR jest uzasadnione charakterem problemu badawczego, który dotyczy wpływu cyfryzacji i automatyzacji na jakość usług logistycznych oraz efektywność operacyjną przedsiębiorstw z branży. W kontekście niniejszego artykułu metoda systematycznego przeglądu literatury umożliwia identyfikację dominujących kierunków badań, stosowanych miar oraz determinant skuteczności wdrożeń technologicznych, a także wskazanie luk badawczych wymagających dalszej eksploracji. Procedura badawcza została przeprowadzona etapowo i obejmowała kolejno: sformułowanie pytań przeglądowych, wybór bazy danych i przyjęcie strategii wyszukiwania, selekcję i ocenę badań, a następnie analizę oraz tematyczną syntezę wyników. Proces identyfikacji i selekcji publikacji naukowych został przeprowadzony zgodnie z założeniami wytycznych PRISMA 2020, które zapewniają przejrzystość, replikowalność oraz systematyczność raportowania [Page i in. 2021]. Poszczególne etapy postępowania badawczego przedstawiono poniżej.

Formułowanie pytań przeglądowych

Mając na uwadze charakter obranego celu systematycznego przeglądu literatury, postawiono cztery pytania przeglądowe:

1. Jakie czynniki determinują skuteczność wdrażania rozwiązań cyfrowych i automatyzacyjnych w przedsiębiorstwach świadczących usługi logistyczne?
2. W jaki sposób technologie cyfrowe i automatyzacyjne wpływają na jakość usług logistycznych oraz efektywność operacyjną przedsiębiorstw logistycznych?
3. W jaki sposób w literaturze mierzona jest efektywność operacyjna oraz jakość procesów logistycznych przedsiębiorstw z branży usług logistycznych?
4. Jakie czynniki wskazywane są w literaturze jako sprzyjające skutecznemu wdrażaniu technologii cyfrowych i automatyzacyjnych w przedsiębiorstwach logistycznych?

Wybór i przeszukiwanie bazy danych

Systematyczny przegląd literatury przeprowadzono z wykorzystaniem bazy Web of Science, zawierającej szeroki zakres recenzowanych czasopism naukowych i materiałów konferencyjnych z obszaru nauk o zarządzaniu, logistyki oraz technologii, co sprawia, że jest ona odpowiednim źródłem danych do analiz o charakterze interdyscyplinarnym [Aghaei Chadegani i in. 2013]. Na wstępnym etapie badania przeprowadzono analizę istniejących przeglądów systematycznych w celu weryfikacji, czy w literaturze występują aktualne oraz metodycznie poprawne opracowania obejmujące analogiczny zakres tema-

tyczny. Umożliwiło to potwierdzenie zasadności podjęcia systematycznego przeglądu oraz uniknięcie powielania syntez przeprowadzonych wcześniej.

Selekcja i ocena publikacji

W oparciu o wstępny przegląd literatury, cele badania oraz postawione pytania przeglądowe dobrane zostały słowa kluczowe. W celu zapewnienia kompletności wyszukiwania, podzielono je w ramach trzech grup tematycznych odpowiadających głównym składowym problemu badawczego:

(I) kontekst logistyczny,
(II) technologie cyfrowe i automatyzacyjne,
(III) jakość i efektywność operacyjna procesów.

Wyszukiwanie publikacji przeprowadzono z wykorzystaniem operatora logicznego *AND*, co pozwoliło na wyodrębnienie publikacji odnoszących się do zależności pomiędzy technologią, obszarem jej zastosowania oraz analizowanymi rezultatami (tab. 1).

Tabela 1. Grupy słów kluczowych zastosowanych w strategii wyszukiwania literatury
Table 1. Groups of keywords used in the literature search strategy

Grupa I (kontekst logistyczny)	**Grupa II** (technologie cyfrowe i automatyzacyjne)	**Grupa III** (jakość i efektywność operacyjna procesów)
logistic*	digital*	quality
transport*	automation*	performance
	industry 4.0	

Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

Na podstawie zdefiniowanych grup słów kluczowych skonstruowano zestaw kombinacji wyszukiwawczych odzwierciedlających zależności między kontekstem logistycznym, technologiami cyfrowymi oraz analizowanymi rezultatami w postaci jakości i efektywności operacyjnej. Zastosowanie tych kombinacji w bazie Web of Science pozwoliło określić liczbę publikacji spełniających przyjęte kryteria wyszukiwania. Szczegółowe zestawienie wykorzystanych kombinacji oraz liczby uzyskanych wyników przedstawiono w tabeli 2.

Łączna liczba publikacji uzyskanych w wyniku zastosowania zdefiniowanych kombinacji wyszukiwawczych została poddana procesowi filtracji zgodnie z przyjętymi kryteriami włączenia i wyłączenia. Na tym etapie do dalszej analizy zakwalifikowano 1487 pozycji. W celu ograniczenia zbioru do publikacji o największym znaczeniu naukowym w bazie Web of Science zastosowano filtr „highly cited papers", który identyfikuje publikacje charakteryzujące się ponadprzeciętną liczbą cytowań w ramach określonej dziedziny. Wysoka liczba cytowań może świadczyć o znaczącym wpływie danej publikacji na rozwój badań w analizowanym obszarze, a także o jej szerokim wykorzystaniu w dyskursie naukowym. Zastosowanie tego filtra pozwoliło skoncentrować analizę na publikacjach uznawanych w literaturze za szczególnie istotne i wpływowe, a jednocześnie ograniczyć bardzo dużą początkową liczbę rekordów do zbioru, który można

Tabela 2. Kombinacje słów kluczowych zastosowane w wyszukiwaniu literatury oraz liczba uzyskanych wyników
Table 2. Keyword search combinations and number of retrieved records

Nr wyszukiwania	Słowa kluczowe			Zastosowane kombinacje	Liczba rezultatów
1.	logistic*	digital*		(TS = (logistic*)) AND TS = (digital*)	265
2.	logistic*	automation		(TS = (logistic*)) AND TS = (automation)	80
3.	logistic*	industry 4.0		(TS = (logistic*)) AND TS = (industry 4.0)	76
4.	transport*	digital*		(TS = (transport*)) AND TS = (digital*)	347
5.	transport*	automation		(TS = (transport*)) AND TS = (automation)	295
6.	transport*	industry 4.0		(TS = (transport*)) AND TS = (industry 4.0)	37
7.	logistic*	digital*	quality	(TS = (logistic*)) AND TS = (digital*) AND TS = (quality)	34
8.	logistic*	digital*	performance	(TS = (logistic*)) AND TS = (digital*) AND TS = (performance)	86
9.	logistic*	automation	quality	(TS = (logistic*)) AND TS = (automation) AND TS = (quality)	9
10.	logistic*	automation	performance	(TS = (logistic*)) AND TS = (automation) AND TS = (performance)	28
11.	logistic*	industry 4.0	quality	(TS = (logistic*)) AND TS = (industry 4.0) AND TS = (quality)	10
12.	logistic*	industry 4.0	performance	(TS = (logistic*)) AND TS = (industry 4.0) AND TS = (performance)	28
13.	transport*	digital*	quality	(TS = (transport*)) AND TS = (digital*) AND TS = (quality)	34
14.	transport*	digital*	performance	(TS = (transport*)) AND TS = (digital*) AND TS = (performance)	51

cd. tabeli 2
Table 2 cont.

Nr wyszukiwania	Słowa kluczowe			Zastosowane kombinacje	Liczba rezultatów
15.	transport*	automation	quality	(TS = (transport*)) AND TS = (automation) AND TS = (quality)	31
16.	transport*	automation	performance	(TS = (transport*)) AND TS = (automation) AND TS = (performance)	67
17.	transport*	industry 4.0	quality	(TS = (transport*)) AND TS = (industry 4.0) AND TS = (quality)	4
18.	transport*	industry 4.0	performance	(TS = (transport*)) AND TS = (industry 4.0) AND TS = (performance)	5

Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

poddać dalszej pogłębionej analizie. W ramach kolejnego etapu przeprowadzono procedurę identyfikacji i usuwania duplikatów publikacji. Występowanie duplikatów było spowodowane tym, że te same publikacje mogły się pojawiać w wynikach wyszukiwania w ramach różnych kombinacji słów kluczowych zastosowanych w strategii wyszukiwania (tab. 2). Dokonano weryfikacji otrzymanych rekordów w wyniku zastosowania poszczególnych kombinacji wyszukiwawczych, co pozwoliło zidentyfikować powtarzające się pozycje. Proces ten umożliwił uzyskanie zbioru unikalnych publikacji przeznaczonych do dalszej analizy, obejmującego 214 publikacji. Szczegółowe kryteria selekcji przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Kryteria selekcji badań
Table 3. Study selection criteria

Okres	2011–2024
Język publikacji	angielski
Kategorie Web of Science	zarządzanie biznes transport nauki i technologie transportowe ekonomia badania operacyjne i nauki o zarządzaniu
Tematy cytowań	transport zarządzanie łańcuch dostaw i logistyka ekonomia

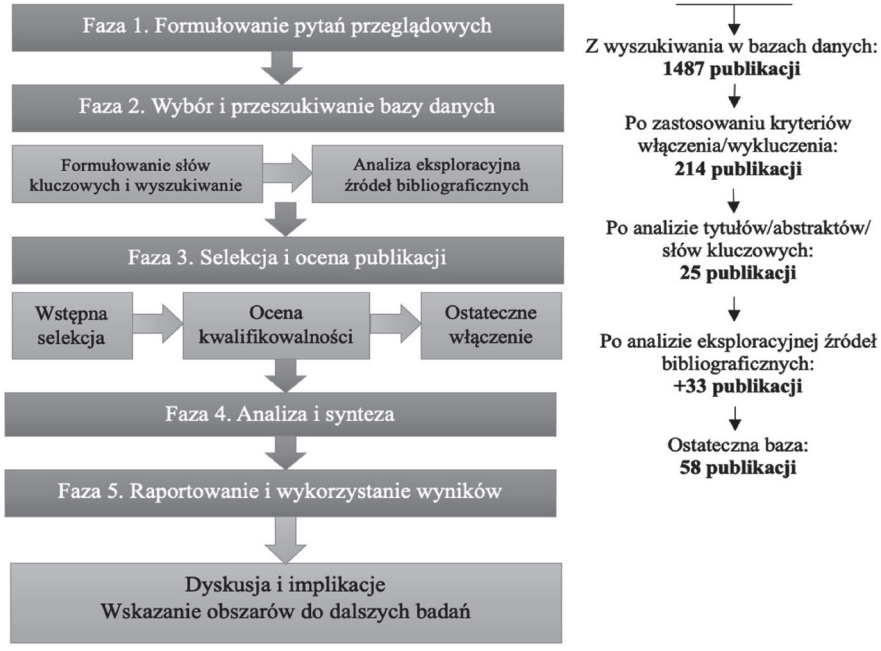
Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

Analiza i synteza

Na kolejnym etapie wyselekcjonowane publikacje zostały poddane ocenie dopasowania pod względem zakresu tematycznego przeglądu. Weryfikacji dokonano na podstawie analizy tytułów, słów kluczowych oraz abstraktów, co pozwoliło zaklasyfikować artykuły do trzech kategorii:

(I) bezpośrednio odnoszące się do badanego zagadnienia (n = 25),
(II) częściowo powiązane z tematyką przeglądu (n = 47),
(III) słabo powiązane z badanym obszarem (n = 142).

Proces ten umożliwił wyodrębnienie zbioru publikacji, które stanowiły podstawę dalszej analizy oraz tematycznej syntezy wyników. Dodatkowo przeprowadzono eksploracyjną analizę źródeł bibliograficznych wybranych artykułów w celu identyfikacji publikacji istotnych z punktu widzenia postawionych pytań przeglądowych. Po ocenie ich abstraktów zdecydowano o włączeniu dodatkowych pozycji do pierwszej z wcześniej zdefiniowanych kategorii (n = 33). Zabieg ten pozwolił ograniczyć ryzyko pominięcia publikacji adekwatnych tematycznie, które mogły nie spełniać kryterium liczby cytowań ze względu na stosunkowo krótki okres, jaki upłynął od momentu publikacji, lub mniejszą rozpoznawalność autorów. Ostatecznie do szczegółowej analizy zakwalifikowano 58 publikacji, które zostały poddane syntezie tematycznej w odniesieniu do sformułowanych pytań przeglądowych (rys. 1).



Rysunek 1. Schemat procedury systematycznego przeglądu literatury
Figure 1. Procedure of the systematic literature review
Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

Wyniki badań i dyskusja

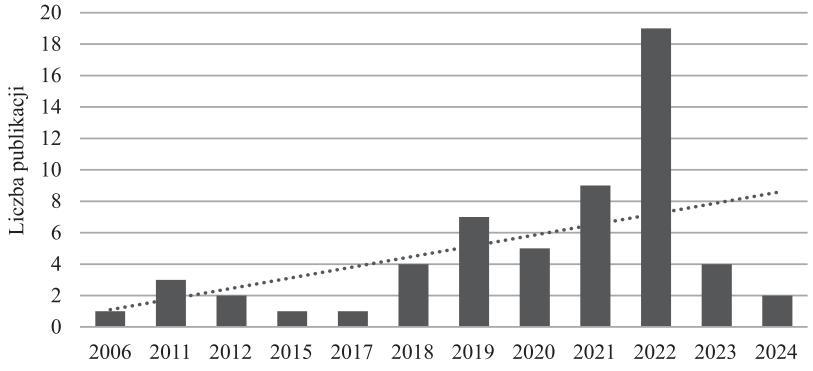
Wyniki przeprowadzonego systematycznego przeglądu literatury zostały przedstawione zgodnie z etapem raportowania i wykorzystania wyników stanowiącym końcową fazę procedury badawczej. Na tym etapie dokonano zarówno analizy ilościowej, która umożliwiła scharakteryzowanie struktury zidentyfikowanego dorobku publikacyjnego, jak i analizy jakościowej, która była ukierunkowana na identyfikację dominujących kierunków badań, powtarzających się wzorców oraz kluczowych wniosków dotyczących wpływu cyfryzacji i automatyzacji na jakość oraz efektywność operacyjną w branży usług logistycznych. Synteza obu podejść umożliwiła nie tylko opis trendów badawczych, lecz także interpretację uzyskanych wyników badawczych w szerszym kontekście teoretycznym oraz praktycznym.

Raportowanie i wykorzystanie wyników

Analiza ilościowa

W ramach systematycznego przeglądu literatury szczegółowej analizie poddano 58 publikacji wyselekcjonowanych na poprzednich etapach badania. Wybrane pozycje literaturowe koncentrowały się przede wszystkim na procesach logistycznych, cyfryzacji i automatyzacji procesów biznesowych oraz zagadnieniach jakości i efektywności operacyjnej. Wśród analizowanych publikacji 14 miało charakter ilościowy, 15 jakościowy, natomiast 29 stanowiło przeglądy literatury (systematyczne lub narracyjne). Struktura ta podkreśla orientację badaczy na syntezowanie wiedzy w obszarze dynamicznych zmian technologicznych.

W celu oceny dynamiki rozwoju badanego obszaru przeprowadzono analizę rozkładu publikacji w czasie. Ujęcie chronologiczne umożliwiło identyfikację zmian intensywności badań oraz okresów wzmożonego zainteresowania tematyką cyfryzacji i automatyzacji w branży usług logistycznych (rys. 2).

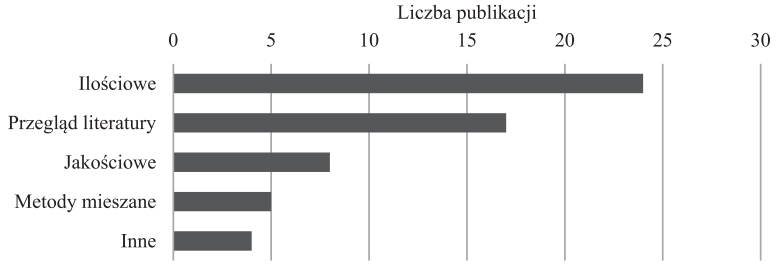


Rysunek 2. Rozkład liczby publikacji w latach 2006–2024
Figure 2. Distribution of publications in 2006–2024

Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

Rozkład czasowy publikacji ujawnia wyraźną intensyfikację badań w ostatnich latach. Spośród 58 analizowanych źródeł literaturowych 50 publikacji (86,2%) zostało opublikowanych w latach 2018–2024, co wskazuje na rosnące znaczenie problematyki cyfryzacji i automatyzacji w branży usług logistycznych oraz jej aktualność badawczą.

Kolejnym etapem analizy ilościowej było określenie struktury metodologicznej analizowanych badań. Zestawienie to umożliwia ocenę dominujących podejść badawczych oraz stopnia zróżnicowania metod stosowanych w literaturze dotyczącej cyfryzacji i efektywności operacyjnej w branży usług logistycznych (rys. 3).



Rysunek 3. Częstotliwość występowania metod badawczych w analizowanych publikacjach
Figure 3. Frequency of research methods identified in the analyzed publications

Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

W analizowanych publikacjach zidentyfikowano zróżnicowane podejścia metodologiczne, obejmujące zarówno analizy teoretyczne, jak i empiryczne. W obrębie badań empirycznych dominowały analizy ilościowe, obejmujące modele statystyczne, analizy zależności między zmiennymi czy badania efektywności operacyjnej procesów logistycznych [Wu i in. 2023; García-Dastugue i Eroglu 2018]. Uzupełnieniem były badania jakościowe koncentrujące się na studiach przypadków i analizach organizacyjnych procesów transformacji cyfrowej [Cichosz i in. 2020; Mathauer i Hofmann 2019], a także publikacje wykorzystujące podejścia mieszane, łączące elementy metod ilościowych i jakościowych [Khan i in. 2022; Cyplik i in. 2019]. Istotną część zbioru stanowiły również opracowania przeglądowe, systematyzujące stan wiedzy na temat Logistyki 4.0 i transformacji cyfrowej w branży usług logistycznych [Winkelhaus i Grosse 2020; Abdirad i Krishnan 2020], co wskazuje na wciąż rozwijający się charakter badanego obszaru.

Szczegółowa klasyfikacja metod badawczych obejmuje:

- 24 badania ilościowe, wykorzystujące m.in. analizy statystyczne, modelowanie równań strukturalnych oraz metody ekonometryczne,
- 17 prac przeglądowych, obejmujących również przeglądy systematyczne,
- 8 badań jakościowych, opartych głównie na studiach przypadków i analizach organizacyjnych,
- 5 badań z zastosowaniem metod mieszanych (ang. mixed methods), łączących podejścia jakościowe i ilościowe,
- 4 prace wykorzystujące inne podejścia, takie jak modele symulacyjne czy analizy scenariuszowe.

Zidentyfikowana struktura wskazuje na rosnącą liczbę badań empirycznych i aplikacyjnych uzupełniających wcześniejsze podejścia koncepcyjne, co znajduje odzwierciedlenie w pracach analizujących rzeczywiste wdrożenia technologii cyfrowych u operatorów logistycznych [Cichosz i in. 2020; Mathauer i Hofmann 2019; Loske i Klumpp 2022]. Zaobserwowana struktura metodologiczna pokazuje, że badania nad cyfryzacją i automatyzacją w logistyce są w fazie intensywnego rozwoju, w ramach której podejścia koncepcyjne i przeglądowe stopniowo uzupełniane są przez badania empiryczne analizujące rzeczywiste wdrożenia technologii cyfrowych i rozwiązań automatyzujących w przedsiębiorstwach logistycznych. Tendencja ta odzwierciedla rosnącą dojrzałość badanego obszaru oraz potrzebę empirycznej weryfikacji wcześniejszych założeń teoretycznych.

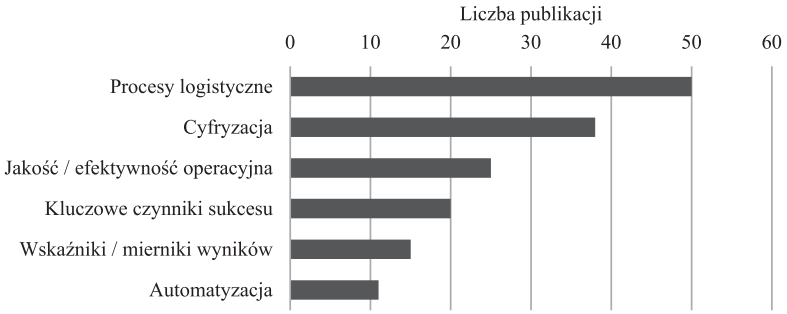
Analiza ilościowa ujawniła jednak istotne luki badawcze. W literaturze wciąż zauważalna jest potrzeba szerszego wykorzystania zaawansowanych technik ilościowych, takich jak modelowanie efektywności czy analizy strukturalne, co podkreślają przeglądy wskazujące na niedostateczny poziom weryfikacji empirycznej i analitycznej [Al Mashalah i in. 2022; Simonetto i in. 2022]. Literatura sygnalizuje również potrzebę szerszego rozpoznania procesów transformacji cyfrowej w przedsiębiorstwach z gospodarek rozwijających się, szczególnie w sektorze MŚP, co podkreślają analizy dojrzałości cyfrowej [Alshahrani 2023; Facchini i in. 2019]. Z perspektywy metodologicznej wyniki przeglądu pokazują potencjalne kierunki dalszych badań ilościowych, podkreślając potrzebę szerszego wykorzystania zaawansowanych narzędzi analitycznych oraz rozszerzenia kontekstu geograficznego analiz.

Analiza jakościowa

Uzupełnieniem analizy ilościowej była jakościowa analiza publikacji, ukierunkowana na identyfikację dominujących motywów tematycznych oraz powtarzających się wzorców interpretacyjnych dotyczących wpływu cyfryzacji i automatyzacji na jakość i efektywność operacyjną procesów logistycznych. Umożliwiła ona również identyfikację obszarów najczęściej analizowanych w kontekście poprawy jakości i efektywności procesów logistycznych oraz najczęściej podkreślanych zależności pomiędzy technologią, przedsiębiorstwem logistycznym i osiąganymi rezultatami operacyjnymi.

Na pierwszym etapie kategoryzacji jakościowej określono częstotliwość występowania kluczowych zagadnień w analizowanych publikacjach (rys. 4). Ujęcie to umożliwiło identyfikację obszarów o największej koncentracji uwagi badawczej.

Analiza tematyczna pokazuje, że najczęściej podejmowany jest wątek procesów logistycznych, w ścisłym powiązaniu z zagadnieniami cyfryzacji i automatyzacji oraz oceną jakości i efektywności. Autorzy analizowanych publikacji wskazują, że wdrażanie technologii cyfrowych zwiększa przejrzystość procesów i widoczność operacji w czasie rzeczywistym oraz integrację przepływów informacji w łańcuchach dostaw [Queiroz i Fosso Wamba 2020; Parola i in. 2021]. W konsekwencji rozwiązania cyfrowe wiązane są ze wzrostem efektywności operacyjnej, skróceniem czasu realizacji procesów logistycznych oraz podniesieniem poziomu jakości usług [Loske i Klumpp 2022; García-Dastugue i Eroglu 2018]. Często analizowane są również kluczowe czynniki sukcesu oraz wskaźniki pomiaru wyników operacyjnych, co jest odzwierciedleniem dążenia do operacjonalizacji efektów wdrożeń technologicznych poprzez wykorzystanie mierzalnych wskaźników wyników operacyjnych [Wudhikarn i in. 2018; Wu i in. 2023]. Stosunkowo rzadziej



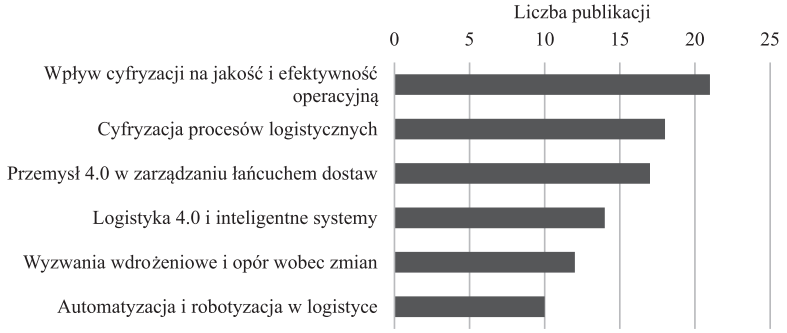
Rysunek 4. Częstotliwość występowania wybranych zagadnień w analizowanych publikacjach
Figure 4. Frequency of selected topics in the analyzed publications

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

poruszane są natomiast zagadnienia automatyzacji procesów logistycznych, co wskazuje na niedostateczne rozpoznanie uwarunkowań technologicznych i organizacyjnych związanych z wdrażaniem rozwiązań automatyzacyjnych w ramach transformacji cyfrowej.

Na kolejnym etapie przeprowadzono identyfikację dominujących kierunków badawczych obecnych w wyselekcjonowanych publikacjach (rys. 5), co umożliwiło określenie głównych nurtów tematycznych współczesnych badań nad cyfryzacją i automatyzacją procesów logistycznych.



Rysunek 5. Dominujące kierunki badań w analizowanych publikacjach
Figure 5. Dominant research directions in the analyzed publications

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Przeprowadzona analiza jakościowa w kontekście głównych kierunków badawczych wykazała, że najsilniej reprezentowanym nurtem jest badanie wpływu cyfryzacji na jakość i efektywność operacyjną. Zdaniem autorów wyselekcjonowanych publikacji stosowanie technologii cyfrowych wiąże się z poprawą przejrzystości procesów, wzrostem kontroli operacyjnej oraz zwiększeniem wydajności działań logistycznych [Loske i Klumpp, 2022; Khan i in. 2022]. Drugim istotnym kierunkiem badań jest rola

Przemysłu 4.0 w zarządzaniu łańcuchem dostaw – podkreśla się tu znaczenie integracji technologii, takich jak IoT, analityka danych czy systemy cyberfizyczne, dla koordynacji procesów i zwiększenia elastyczności systemów logistycznych [Winkelhaus i Grosse 2020; Tang i Veelenturf 2019]. W analizowanych publikacjach obecny jest także wątek rozwoju koncepcji Logistyki 4.0 i inteligentnych systemów logistycznych, które są postrzegane jako element usprawniający przepływy materiałowe i informacyjne w przedsiębiorstwach logistycznych [Cichosz i in. 2020; Perotti i in. 2022]. Jednocześnie stosunkowo często podejmowany jest temat wyzwań wdrożeniowych i oporu wobec zmian – autorzy wskazują, że bariery organizacyjne i kompetencyjne stanowią istotne ograniczenie skuteczności transformacji cyfrowej [Mathauer i Hofmann 2019; Perotti i in. 2022]. Kolejnym kierunkiem jest automatyzacja i robotyzacja w branży usług logistycznych, szczególnie w kontekście operacji magazynowych i procesów realizacji zamówień, gdzie technologie te wiąże się ze zwiększeniem powtarzalności procesów oraz ograniczaniem błędów operacyjnych. Zidentyfikowane kierunki badawcze wskazują, że literatura dotycząca cyfryzacji i automatyzacji w branży usług logistycznych koncentruje się przede wszystkim na trzech wzajemnie powiązanych obszarach:

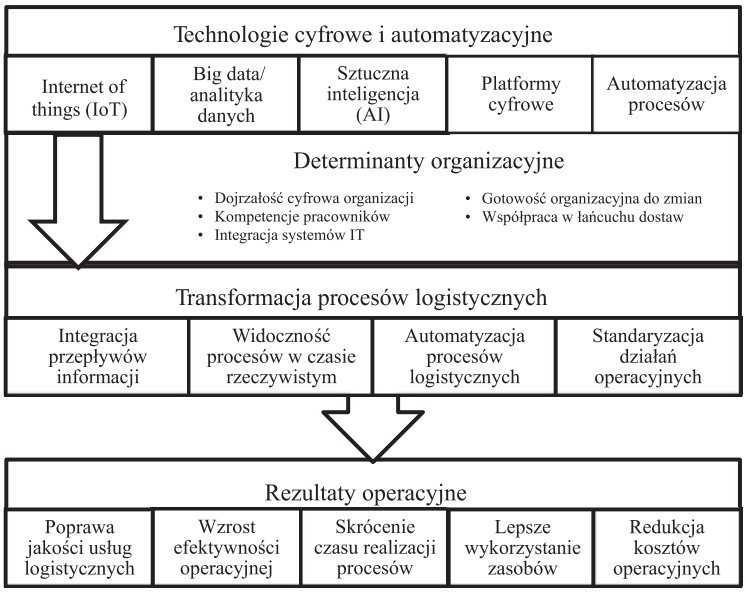
1. wpływie technologii cyfrowych na efektywność operacyjną procesów logistycznych,
2. roli koncepcji Przemysłu 4.0 w integracji systemów logistycznych,
3. organizacyjnych uwarunkowaniach wdrażania rozwiązań cyfrowych i automatyzacyjnych w przedsiębiorstwach logistycznych.

Analiza jakościowa pokazuje, że rezultaty badań dotyczących wpływu technologii cyfrowych i automatyzacyjnych na efektywność operacyjną i jakość usług logistycznych nie są w pełni jednoznaczne. Część badań koncentruje się na korzyściach wynikających z wdrażania technologii cyfrowych, wskazując na poprawę przejrzystości procesów logistycznych, wzrost kontroli operacyjnej oraz zwiększenie wydajności systemów logistycznych [Loske i Klumpp 2022; García-Dastugue i Eroglu 2018; Wu i in. 2023]. Autorzy innych opracowań zwracają natomiast uwagę na uzależnienie osiąganych rezultatów od kontekstu organizacyjnego przedsiębiorstwa i poziomu dojrzałości cyfrowej organizacji oraz ograniczanie efektów wdrożeń technologicznych przez bariery organizacyjne i kompetencyjne [Mathauer i Hofmann 2019; Facchini i in. 2019; Cichosz i in. 2020]. W literaturze podkreśla się również, że część badań ma charakter koncepcyjny lub przeglądowy i koncentruje się na potencjalnych korzyściach wynikających z koncepcji Logistyki 4.0 i Przemysłu 4.0, podczas gdy empiryczna weryfikacja tych założeń w praktyce przedsiębiorstw logistycznych jest w dalszym ciągu stosunkowo niewielka [Winkelhaus i Grosse 2020; Abdirad i Krishnan 2020; Mathauer i Hofmann 2019]. Różnice te wskazują, że wpływ technologii cyfrowych na efektywność operacyjną i jakość usług logistycznych ma charakter warunkowy i zależy zarówno od poziomu integracji technologicznej przedsiębiorstwa, jak i jego zdolności organizacyjnych do adaptacji nowych rozwiązań.

Analiza jakościowa wskazuje również, że literatura dotycząca cyfryzacji i automatyzacji w branży usług logistycznych koncentruje się przede wszystkim na zagadnieniach związanych z procesami logistycznymi, cyfryzacją operacji oraz oceną jakości i efektywności operacyjnej (co potwierdza wysoka częstotliwość występowania tych tematów w analizowanych publikacjach). Struktura tematyczna badań pokazuje jednocześnie, że obszary te są rozwijane w ramach wyraźnie wyodrębnionych nurtów badawczych,

obejmujących analizę zarówno efektów wdrożeń technologicznych, jak i uwarunkowań organizacyjnych oraz zarządczych transformacji cyfrowej. Zidentyfikowane wzorce tematyczne oraz kierunki badawcze pozwalają uporządkować rozproszony dorobek literatury w analizowanym obszarze i pokazują kluczowe zależności pomiędzy wdrażaniem technologii cyfrowych, transformacją procesów logistycznych i osiąganymi efektami operacyjnymi w przedsiębiorstwach z branży usług logistycznych. Jednocześnie wskazują na obszary wymagające dalszych pogłębionych badań empirycznych, zwłaszcza w zakresie uwarunkowań organizacyjnych wdrożeń oraz długookresowych efektów transformacji cyfrowej.

Na podstawie przeprowadzonej syntezy literatury zaproponowano model koncepcyjny przedstawiający relacje pomiędzy wdrażaniem technologii cyfrowych i automatyzacyjnych, transformacją procesów logistycznych oraz osiąganymi rezultatami w zakresie jakości usług i efektywności operacyjnej w przedsiębiorstwach z branży usług logistycznych (rys. 6).



Rysunek 6. Model koncepcyjny wpływu cyfryzacji i automatyzacji na jakość usług oraz efektywność operacyjną w branży usług logistycznych

Figure 6. Conceptual model of the impact of digitalization and automation on service quality and operational efficiency in the logistics services sector

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Model ten pokazuje, że technologie cyfrowe oddziałują na jakość usług logistycznych i efektywność operacyjną przede wszystkim poprzez transformację procesów logistycznych, obejmującą zwiększenie widoczności operacji, integrację przepływów informacyjnych oraz automatyzację działań operacyjnych. Jednocześnie skuteczność wdrożeń

technologicznych jest uwarunkowana czynnikami organizacyjnymi, takimi jak poziom dojrzałości cyfrowej przedsiębiorstwa, posiadane kompetencje oraz integracja systemów informatycznych.

Charakterystyka analizowanych publikacji

Analizowany zbiór publikacji charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem podejść badawczych oraz kontekstów aplikacyjnych związanych z cyfryzacją i automatyzacją w branży usług logistycznych. Różnorodność ta dotyczy zarówno stosowanych metod badawczych, jak i zakresu problemów analizowanych w ramach wyselekcjonowanych publikacji. Główne nurty tematyczne koncentrują się wokół transformacji cyfrowej łańcucha dostaw, Logistyki 4.0, automatyzacji procesów biznesowych, integracji technologii cyfrowych (IoT, AI, big data) oraz ich wpływu na jakość procesów, efektywność operacyjną i zrównoważony rozwój.

Większość analizowanych publikacji odnosi się do branży usług logistycznych w ujęciu globalnym, z wyraźną przewagą przykładów z Europy i Azji, przy jednoczesnym niedoborze badań dotyczących regionów rozwijających się. Ponadto część badań ma charakter koncepcyjny lub przeglądowy, podczas gdy inne podejmują próby empirycznego potwierdzenia skuteczności wdrażanych rozwiązań cyfrowych.

Zróżnicowanie wynika również z zakresu jednostek analizy – od poziomu operacyjnego (np. zarządzanie magazynem, transport) po poziom strategiczny (np. transformacja modeli biznesowych w Logistyce 4.0). Autorzy niektórych publikacji poruszają zagadnienia relacyjne, takie jak integracja z klientem czy jakość współpracy, inni natomiast koncentrują się na aspektach technologicznych, obejmujących m.in. gotowość organizacyjną czy architekturę systemów cyfrowych [Cyplik i in. 2019; Queiroz i Fosso Wamba 2020; Wu i in. 2023; Facchini i in. 2019].

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzony systematyczny przegląd literatury potwierdza rosnące znaczenie cyfryzacji i automatyzacji jako kluczowych determinant kształtujących jakość oraz efektywność operacyjną procesów logistycznych. W analizowanych badaniach technologie takie, jak internet rzeczy, rozwiązania oparte na analizie danych, inteligentne systemy logistyczne oraz platformy integrujące dane, są konsekwentnie wskazywane jako narzędzia zwiększające przejrzystość procesów, poprawiające wykorzystanie zasobów oraz wspierające efektywność operacyjną [Loske i Klumpp 2022; Urciuoli i Hintsa 2021; Nozari i in. 2022]. Jednocześnie wyniki badań pokazują, że efekty wdrożeń technologicznych zależą od czynników organizacyjnych, kompetencyjnych i kulturowych, w tym gotowości organizacyjnej, integracji systemów IT z zasobami ludzkimi oraz skutecznego zarządzania zmianą [Cichosz i in. 2020; Cyplik i in. 2019; Abdirad i Krishnan 2020; Mathauer i Hofmann 2019].

Analiza rozkładu publikacji w czasie wskazuje na wyraźną intensyfikację badań po roku 2018, co odzwierciedla aktualność i dynamiczny rozwój problematyki transformacji cyfrowej w branży usług logistycznych [Winkelhaus i Grosse 2020; Abdirad i Krishnan 2020]. Jednak pomimo znacznego wzrostu liczby publikacji w literaturze

nadal widoczne są istotne luki badawcze. Dotyczą one w szczególności ograniczonej liczby analiz długookresowych efektów wdrożeń, niedostatecznej reprezentacji badań dotyczących gospodarek rozwijających się oraz potrzeby pogłębionych badań empirycznych wskazywanej w pracach przeglądowych i koncepcyjnych [da Silva i in. 2023; Al Mashalah i in. 2022; Simonetto i in. 2022].

Analiza literatury wskazuje, że kluczowe determinanty sukcesu wdrożeń obejmują zarówno synchronizację czynników technologicznych, procesowych i organizacyjnych, jak i rozwój kompetencji cyfrowych pracowników oraz współpracę w ramach łańcucha dostaw [Cichosz i in. 2020; Perotti i in. 2022; Rathore i in. 2022]. Wdrożenie nowoczesnych technologii cyfrowych sprzyja standaryzacji i automatyzacji powtarzalnych działań, co przekłada się na zwiększoną stabilność procesów oraz poprawę wskaźników jakościowych i efektywności operacyjnej [Loske i Klumpp 2022; Wu i in. 2023]. Co istotne, efektywność operacyjna oceniana jest najczęściej przy wykorzystaniu wskaźników KPI związanych z czasem realizacji, kosztami, korzystaniem z zasobów i poziomem obsługi klienta [Wudhikarn i in. 2018; Wu i in. 2023].

Z perspektywy praktycznej wyniki przeglądu wskazują, że transformacja cyfrowa w branży usług logistycznych powinna być traktowana jako proces organizacyjno-technologiczny wymagający równoległego rozwoju infrastruktury cyfrowej, kompetencji pracowników oraz dojrzałości procesowej przedsiębiorstw logistycznych [Facchini i in. 2019; Cyplik i in. 2019; Mathauer i Hofmann, 2019]. Niniejszy przegląd literatury przyczynia się do uporządkowania dotychczasowego dorobku badawczego w obszarze cyfryzacji i automatyzacji w branży usług logistycznych i wskazuje kierunki dalszych badań, obejmujące pogłębione analizy empiryczne, prowadzenie badań w zróżnicowanych kontekstach regionalnych i geograficznych oraz ocenę długoterminowych efektów wdrożeń technologii cyfrowych i automatyzacyjnych [Simonetto i in. 2022; da Silva i in. 2023].

Bibliografia

Abdirad M., Krishnan K., 2020: Industry 4.0 in logistics and supply chain management: A systematic literature review, Engineering Management Journal 33(3), 187–201, https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1783935

Aghaei Chadegani A., Salehi H., Yunus M.M., Farhadi H., Fooladi M., Farhadi M., Ebrahim N.A., 2013: A comparison between two main academic literature collections: Web of Science and Scopus databases, Asian Social Science 9(5), 18–26. https://doi.org/10.5539/ass.v9n5p18

Al Mashalah H., Hassini E., Gunasekaran A., Bhatt D., 2022: The impact of digital transformation on supply chains through e-commerce: literature review and a framework, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 165, 102837, https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102837

Alshahrani S.T., 2023: Industry 4.0 in "Major Emerging Markets": A Systematic Literature Review of Benefits, Use, Challenges, and Mitigation Strategies in Supply Chain Management, Sustainability 15(20), 14811, https://doi.org/10.3390/su152014811

Ben-Daya M., Hassini E., Bahroun Z., 2019: Internet of things and supply chain management: a literature review, International Journal of Production Research 57(15–16), 4719–4742, https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402140

Boysen N., de Koster R., Weidinger F., 2019: Warehousing in the e-commerce era: a survey, European Journal of Operational Research 277(2), 396–411, https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.023

Chauhan C., Singh A., 2020: A review of Industry 4.0 in supply chain management studies, Journal of Manufacturing Technology Management 31(5), 863–886, https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2018-0105

Cichosz M., Wallenburg C.M., Knemeyer A.M., 2020: Digital transformation at logistics service providers: barriers, success factors and leading practices, The International Journal of Logistics Management 31(2), https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2019-0229

Cyplik P., Oleskow-Szlapka J., Tobola A., Adamczak M., 2019: Building a model for assessing the maturity of Polish enterprises in terms of Logistics 4.0 assumptions, Business Logistics in Modern Management 19, 105–120.

Facchini F., Oleśków-Szłapka J., Ranieri L., Urbinati A., 2019: A Maturity Model for Logistics 4.0: An Empirical Analysis and a Roadmap for Future Research, Sustainability 12(1), https://doi.org/10.3390/su12010086

García-Dastugue S.J., Eroglu C., 2018: Operating performance effects of service quality and environmental sustainability capabilities in logistics, Journal of Supply Chain Management 55(3), https://doi.org/10.1111/jscm.12185

Hofmann E., Rüsch M., 2017: Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics, Computers in Industry 89, 23–34, https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002

Khan S., Singh R., Haleem A., Dsilva J., Ali S.S., 2022: Exploration of critical success factors of Logistics 4.0, A DEMATEL Approach, Logistics 6(1), 13, https://doi.org/10.3390/logistics6010013

Loske D., Klumpp M., 2022: Verifying the effects of digitalisation in retail logistics: an efficiency-centred approach, International Journal of Logistics Research and Applications 25(2), 203–227, https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1815681

Mathauer M., Hofmann E., 2019: Technology adoption by logistics service providers, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 49(4), 416–434, https://doi.org/10.1108/ijpdlm-02-2019-0064

Mentzer J.T., Flint D.J., Hult G.T.M., 2001: Logistics service quality as a segment-customized process, Journal of Marketing 65(4), 82–104, https://doi.org/10.1509/jmkg.65.4.82.18390

Nozari H., Szmelter-Jarosz A., Ghahremani-Nahr J., 2022: Analysis of the challenges of Artificial Intelligence of Things (AIoT) for the smart supply chain (case study: FMCG industries), Sensors 22(8), https://doi.org/10.3390/s22082931

Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D. i in., 2021: The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews, BMJ 372, n71, https://doi.org/10.31222/osf.io/v7gm2

Parola F., Satta G., Buratti N., Vitellaro F., 2021: Digital technologies and business opportunities for logistics centres in maritime supply chains, Maritime Policy & Management 48(4), 461–477, https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1802784

Perotti S., Santacruz R.F.B., Bremer P., Beer J.E., 2022: Logistics 4.0 in warehousing: a conceptual framework of influencing factors, benefits and barriers, The International Journal of Logistics Management 33(5), 193–220, https://doi.org/10.1108/ijlm-02-2022-0068

Queiroz M.M., Fosso Wamba S., 2020: The Role of Digital Connectivity in Supply Chain and Logistics Systems: A Proposed SIMPLE Framework, [w:] M. Hattingh, M. Matthee, H. Smuts, I. Pappas, Y. Dwivedi, M. Mäntymäki (red.), Responsible Design, Implementa-

tion and Use of Information and Communication Technology. I3E 2020. Lecture Notes in Computer Science 12066. Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-030-44999-5_7

Rathore B., Gupta R., Biswas B., Srivastava A., Gupta S., 2022: Identification and analysis of adoption barriers of disruptive technologies in the logistics industry, The International Journal of Logistics Management 33(5), 136–169, https://doi.org/10.1108/IJLM-07-2021-0352

da Silva R.M., Frederico G.F., Garza-Reyes J.A., 2023: Logistics service providers and Industry 4.0: a systematic literature review, Logistics 7(10, https://doi.org/10.3390/logistics7010011

Simonetto M., Sgarbossa F., Battini D., Govindan K., 2022: Closed loop supply chains 4.0: from risks to benefits through advanced technologies. A literature review and research agenda, International Journal of Production Economics 253, 108582, https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108582

Śledziewska K., Włoch R., 2020: Gospodarka cyfrowa. Jak nowe technologie zmieniają świat, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, https://doi.org/10.31338/uw.9788323541943

Tang C.S., Veelenturf L.P., 2019: The strategic role of logistics in the Industry 4.0 era, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 129, 1–11, https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.06.004

Tranfield D., Denyer D., Smart P., 2003: Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review, British Journal of Management 14(3), 207–222, https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375

Urciuoli L., Hintsa J., 2021: Can digital ecosystems mitigate risks in sea transport operations? Estimating benefits for supply chain stakeholders, Maritime Economics & Logistics 23(2), 237–267, https://doi.org/10.1057/s41278-020-00163-6

Wilczyński W., 2014: Pomiar efektywności a cele przedsiębiorstw, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego 803, 547–558.

Winkelhaus S., Grosse E.H., 2020: Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system, International Journal of Production Research 58(10, 18–43, https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1612964

Wu X.Y., Wang Q., Wang L., Zhao X.D., 2023: Customer integration and the performance of third-party logistics firms: a moderated mediation model, International Journal of Logistics Research and Applications 26(6), https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1969349

Wudhikarn R., Chakpitak N., Neubert G., 2018: A literature review on performance measures of logistics management: an intellectual capital perspective, International Journal of Production Research 56(13), 4490–4520, https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1431414

Economics and Organization of Logistics
11 (1), 2026, 107–118

DOI: 10.22630/EIOL.2026.11.1.6

Zgłoszono: 09.02.2026
Zaakceptowano: 22.06.2026

Natalia Sobieska✉
Akademia Sztuki Wojennej w Warszawie

Centralizacja zakupów w przedsiębiorstwach usługowych B2B

Centralization of purchasing in B2B service companies

Synopsis. Poszukiwanie oszczędności to jedno z kluczowych wyzwań współczesnych przedsiębiorstw działających na szeroką skalę. Jednym z pomysłów stosowanych w biznesie jest centralizacja zakupów, a więc sprowadzenie wszystkich procesów zakupowych do zorganizowanej jednostki wyodrębnionej w ramach struktur przedsiębiorstwa. Celem badania była ocena tego rozwiązania. Zastosowano metodę sondażu diagnostycznego z wykorzystaniem narzędzia arkusza wywiadu skierowanego do dwóch ekspertów zajmujących się centralizacją zakupów w przedsiębiorstwach usługowych działających w relacji B2B. We wnioskach wskazano, że największymi wyzwaniami są opór pracowników wobec zmian oraz poprawność przygotowania wdrożenia.

Słowa kluczowe: zarządzanie zmianą, zaopatrzenie, metoda SMART

Abstract. Finding savings is one of the key challenges facing modern, large-scale enterprises. One approach used in business is purchasing centralization, which involves consolidating all purchasing processes into a single, organized unit within the organization's structure. The aim of this study was to evaluate this solution. A diagnostic survey was used, utilizing an interview questionnaire, targeting two experts currently in the process of centralizing purchasing in B2B service companies. The conclusions indicate that the greatest challenges are employee resistance to change and inadequate preparation for implementation.

Keywords: change management, procurement, SMART

Kody JEL: L22, D23

✉ **Natalia Sobieska** – Akademia Sztuki Wojennej w Warszawie, Szkoła Doktorska; e-mail: n.sobieska@doktorant.akademia.mil.pl; https://orcid.org/0009-0004-4486-7447

CC BY-NC

Wstęp

Wysoka świadomość interesariuszy w relacjach business-to-business (B2B) sprawia, że przedsiębiorstwa są zmuszone utrzymywać rynkową cenę swoich usług. Jeśli zatrudniają setki pracowników i działają zgodnie z prawem nakładającym na duże przedsiębiorstwa dodatkowe obowiązki, ich koszty prowadzenia działalności są znacznie wyższe niż małych czy średnich organizacji. Ponieważ właściciele oczekują wysokiej marży, a cena usług jest ustalana na rynku zdominowanym przez sektor MŚP, ważnym aspektem działalności przedsiębiorstw jest poszukiwane rozwiązań prowadzących do zmniejszenia kosztów. Jednym z nich jest centralizacja zakupów.

Działy operacyjne czy zespoły projektowe skutecznie radziły sobie dotychczas z procesami zakupowymi. Ich wiedza techniczna, doświadczenie i zbudowane przez lata pracy relacje z dostawcami i podwykonawcami sprawiały, że zaspokajano podstawowe potrzeby przedsiębiorstwa. Dopóki wynik końcowy danego okresu rozliczeniowego pozostawał zgodny z założeniami, sposób jego osiągnięcia nie był poddawany analizie przez kierownictwo. Przyczyny zmiany tego stanu są różne, wiążą się z dynamiką otoczenia, ale też czynnikami wewnętrznymi organizacji. Kontrola, optymalizacja, analiza danych, planowanie rozwoju, systematyzacja – te i inne pojęcia można odnieść także do centralizacji zakupów.

Celem przeprowadzonego badania była ocena centralizacji zakupów w dwóch przedsiębiorstwach usługowych działających w relacji B2B.

Centralizacja zakupów to rozwiązanie wprowadzane w przedsiębiorstwach, w których proces ten jest zdecentralizowany, a poszczególne jednostki biznesowe zaopatrują się indywidualnie, na podstawie własnego zapotrzebowania i na bazie przyjętych wytycznych. Zmiana tej polityki ma najczęściej charakter strategiczny, szczególnie w przypadku dużych przedsiębiorstw i korporacji. Każdy etap wdrożenia centralizacji zakupów (planowanie, organizowanie, motywowanie i kontrole w perspektywie wieloletniej) wiąże się z innymi wyzwaniami. Doświadczenia z rynku biznesowego wskazują, że jest ono trudne, popełniane są przy tym kosztowne błędy. W literaturze znaleźć można niewiele badań dotyczących centralizacji zakupów. Z dostępnych informacji wynika, że wysoki odsetek niepowodzeń wynikających z wprowadzania zmian organizacyjnych staje się przesłanką do odrzucania istniejących modeli zarządzania zmianą organizacyjną i poszukiwania lub formułowania bardziej adekwatnych modeli [Szymocha 2020, s. 13]. Zadania służb zakupowych wiążą się z systemem, który, jeśli jest odpowiednio zorganizowany, umożliwia zaspokojenie potrzeb organizacji [Pałucha 2016, s. 351].

W podsumowaniu podkreślono potrzebę dopasowania podejścia, metod i narzędzi do indywidualnych cech organizacji oraz charakterystyki prowadzonej działalności. Oczekiwane efekty centralizacji zakupów są atrakcyjne, napędzane koniecznością rozwoju. Największym wyzwaniem jest niechęć i opór pracowników wobec zmian, co przekłada się na trudności w egzekwowaniu zaplanowanych działań. Istnieje konieczność znalezienia rozwiązań pozwalających na lepsze planowanie i wdrażanie decyzji strategicznych. W tym kontekście zaproponowano rozszerzenie metody SMART.

Materiał i metody

Metody teoretyczne zastosowane w pracy obejmują przede wszystkim analizę w odniesieniu do literatury naukowej z obszaru zarządzania zmianami oraz zakupów w organizacjach, uzupełnioną syntezą i wnioskowaniem. Zastosowano również metodę sondażu diagnostycznego za pomocą techniki wywiadu eksperckiego z kierownikami działu zamówień – zadano pięć pytań otwartych w formie pisemnej, które następnie omówiono na spotkaniu z ekspertami. Przedstawione w artykule wyniki są efektem wstępnych badań naukowych dotyczących centralizacji zakupów w przedsiębiorstwach, które będą kontynuowane.

Eksperci reprezentowali kadrę kierowniczą działów odpowiedzialnych między innymi za proces zakupów w dwóch spółkach usługowych działających w relacji B2B, mających status dużego przedsiębiorcy, w których podjęto decyzję o centralizacji zakupów. Pierwsze przedsiębiorstwo prowadzi rozproszoną działalność na terenie całej Polski z dużą liczbą kontraktów ryczałtowych i towarzyszących im prac dodatkowych, co wiąże się z realizacją dużej liczby zakupów o małej wartości. Działalność drugiego ma charakter projektowy, inwestycyjny, zakupy są dokonywane w mniejszej ilości, mają za to wyższą wartość. Obie organizacje kupują zarówno materiały, jak i usługi, w tym zlecają prace podwykonawcom. Określają swoją branżę jako multitechniczną, co obejmuje ochronę przeciwpożarową, usługi budowlane, sanitarne i wodno-kanalizacyjne, instalacje niskonapięciowe, HVAC (heating, ventilation, air conditioning), BMS (building management system) oraz inne rodzaje instalacji, urządzeń i usług znajdujących zastosowanie w budynkach o różnym przeznaczeniu (np. logistycznych, przemysłowych, biurowych).

Wyniki badań

Zarządzanie zmianą

Prowadząc działalność w stabilnych warunkach rynkowych, przedsiębiorstwa muszą nie tylko czerpać zyski i zaspokajać potrzeby, ale również się rozwijać. Współcześnie toczy się wielka gra o konkurencyjność, w trakcie której nie można jednak zatracić stabilności i ciągłości działania. Zadania nie ułatwia dynamiczne otoczenie i to nie tylko bliskie, które bierze udział w tej samej grze, ale również dalsze, szczególnie zmiany prawne, uwarunkowania polityczne, ekonomiczne, a w ostatnich latach także ekologiczne. Organizacje starają się zwiększyć swoje zdolności adaptacyjne poprzez zmianę swoich struktur, procesów i kultur [Hayes 2002, s. 8]. Przedsiębiorstwa rzadko kiedy mogą wpływać bezpośrednio na otoczenie, szukają więc optymalizacji wewnątrzstrukturalnych. Zmiany odnoszą się do dowolnego realnego procesu, w którym stan końcowy przedsiębiorstwa jako organizacji (lub jej części) różni się od jego stanu początkowego [Bartnicki 1998, s. 9]. Czasami są one małe, jak wprowadzenie nowego formularza, a kiedy indziej wynikają z decyzji strategicznych. Wiążą się z tym zarówno zagrożenia, jak i szanse, co sprawia, że do zarządzania zmianą konieczne staje się włączenie elementów zarządzania ryzykiem. I o ile narzędzia pozwalają prognozować i dopasowywać działania w odniesieniu do danych ilościowych (finansowych, produkcyjnych), o tyle ocena pracy człowieka

wymaga metod jakościowych, które charakteryzują się mniejszą kwantyfikacją. Przyspieszające tempo zmian wpływa na relacje pracowników z rzeczami, miejscami, ludźmi, organizacjami i ideami [Hayes 2002, s. 4]. Niektórzy pracownicy będą w tym upatrywać nowych szans, inni odbiorą zmianę jako zagrożenie. W wielu środowiskach pracy od pracowników wymaga się, aby albo porzucili stare nawyki i rozwinęli nowe kompetencje, albo odeszli [Hayes 2002, s. 8]. I mimo że wiele zarządów jest świadomych zależności, że szczęśliwi pracownicy oznaczają lepszą efektywność, jednak finalnie przedsiębiorstwo ma wciąż przynosić zysk.

Szukanie konkurencyjności w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu to bardzo ogólne wskazanie przyczyn powodujących zmiany. W ujęciu praktycznym można wyróżnić [Szymocha 2020, s. 15–16]:

- kryzysy,
- różnice pomiędzy wynikami planowanymi a osiągniętymi,
- nowe technologie,
- nowe szanse,
- zewnętrzny lub wewnętrzny przymus,
- fuzję lub przejęcie,
- zmianę dla zmiany,
- modę,
- planowane odejście.

Wiąże się to też z kulturą społeczeństwa. W Polsce popularne są takie powiedzenia jak „kto nie ryzykuje, ten nie pije szampana", ale z drugiej strony także „nowe nie znaczy lepsze". Kierownictwo nie zawsze podejmuje racjonalne decyzje oparte na dostępnych informacjach wysokiej jakości. Intuicja, przekonania, cechy charakteru, a także chwilowy nastrój – to wszystko ma znaczenie. Badania wskazują, że nawet 50–70% wprowadzanych zmian kończy się niepowodzeniem [Rosnerova i in. 2024, s. 3]. Przytaczane są także przykłady przedsiębiorstw i osób, które na skutek nadmiernego asekuranctwa i unikania ryzyka stawały się „żółwiami", pozostającymi coraz bardziej z tyłu w wyścigu o dominację na rynku [Tyszka i Zaleśkiewicz 2001, s. 13]. Unikanie zmian nie jest racjonalnym rozwiązaniem, a stabilność staje się echem przeszłości. Rozwój nauki i technologii w połączeniu z nabieranym doświadczeniem i umiejętnościami osób decyzyjnych pozwala zwiększać prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń pozytywnych i kontrolować te negatywne. Do najczęstszych problemów występujących podczas wdrażania zmian można zaliczyć [Dziadkiewicz i Juchniewicz 2013, s. 20]:

- wydłużony czas realizacji względem planu,
- niezidentyfikowane problemy ujawniające się w trakcie wdrażania,
- nieskuteczną koordynację działań,
- współzawodniczenie działań,
- niewystarczające umiejętności pracowników zaangażowanych we wdrożenia,
- nieodpowiednie szkolenia i instrukcje skierowane do pracowników niższego stopnia,
- niekontrolowany wpływ czynników środowiska zewnętrznego.

Cztery z siedmiu wymienionych problemów odnoszą się do pracowników. Wyniki badań wskazują, że każda organizacja, bez względu na jej wielkość, doświadcza trudności związanych z ludzkimi przyzwyczajeniami i niechęcią do zmian. Jednocześnie eksperci wskazywali na niewystarczającą liczbę personelu lub jego niedostateczne kompetencje

[Koć 2025, s. 88]. Przykładem zmiany budzącej wiele emocji jest integracja z systemem KSeF (Krajowy System e-Faktur). Zaledwie 23% księgowych deklaruje gotowość do wdrożenia e-fakturowania, jednocześnie dominują obawy związane z chaosem organizacyjnym, awariami technicznymi oraz nieprzygotowaniem klientów [Mierzejewska 2025, s. 20]. Dopasowanie szkoleń i innych narzędzi stosowanych w celu przygotowania pracowników do zmiany wiążą się z kosztami. A przecież zmiana ma najczęściej przynieść wymierne korzyści finansowe. Dochodzi do tego jeszcze kwestia, czy zmiana przynosi oczekiwane efekty w określonym czasie.

Dużo uwagi poświęca się wybranym funkcjom zarządzania. Można uznać, że proces planowania ma priorytetowe znaczenie dla osiągania sukcesów [Polanowska i in. 2020, s. 91]. Kontrola powinna nie tylko ujawniać czynniki niepożądane, ale również umożliwiać wykrycie błędów w planowaniu i realizacji procesów, aby można było odpowiednio wcześnie podjąć działania zmierzające do ich usunięcia lub naprawy [Wysokińska-Senkus i Senkus 2017, s. 250]. Działania podejmowane w ramach planowania, organizowania i kontroli są dobrze zakotwiczone w biznesie, podparte nauką i zrozumieniem. Pomijana funkcja motywacyjna to obszar, który wciąż należy rozwijać. Poszczególni pracownicy nie są otwarci na zmiany, ponieważ postrzegają je jako przyczynę niestabilności organizacyjnej, liderzy zaś zachęcają do działań organizacyjnych, które ułatwiają zmiany [Khaw i in. 2022, s. 9]. Wynika to z niezrozumienia, braku zaangażowania w osiąganie celów lub niewystarczającej komunikacji. Jedną z odpowiedzi na te problemy jest stosowanie metody SMART. Nazwa ta odnosi się do pięciu cech, które powinien mieć cel [Whitmore 2011, s. 76]:

- specific – konkretne,
- measurable – mierzalne,
- agreed – uzgodnione,
- realistic – realne,
- time phased – określone w czasie.

Uzgadnianie celów z osobami, które mają realizować działania, ma jeden zasadniczy minus. Jeśli spytamy bowiem trzydzieści osób o opinię, otrzymamy trzydzieści różnych odpowiedzi. Niemniej w ślad za zakomunikowaniem decyzji i nadaniem statusu „cel" powinny iść informacja i czas na pytania. Pracownik pozostawiony sam sobie obierze sposób działania niekoniecznie optymalny w szerszej perspektywie, dostępnej kierownictwu przedsiębiorstwa.

Zakupy w przedsiębiorstwach

Wszystkie podmioty prowadzące działalność gospodarczą dokonują zakupów, które są częścią procesu zaopatrzenia. Zaopatrzenie to zapewnienie przedsiębiorstwu sprawnego zasilania w materiały, półprodukty niezbędne do prowadzenia ciągłej, rytmicznej działalności gospodarczej przy jak najniższych kosztach logistycznych [Kowalska 2005, s. 14]. Oba pojęcia stosowane są często naprzemiennie, w zależności od ograniczenia odpowiedzialności względem jednostek. Zaopatrzenie jest jednak szerszym pojęciem, dotyczy zarówno funkcji ukierunkowanych na zewnątrz (zakupów), jak i do wewnątrz przedsiębiorstwa (zarządzania materiałami) [Bendkowski i Radziejowska 2011, s. 40]. W dużych przedsiębiorstwach niemal zawsze występuje wyodrębniona jednostka biznesowa, dział lub zespół osób zajmujących się zakupami. Można wyróżnić jej następujące zadania [Hadaś i Ragin-Skorecka 2017, s. 41]:

- segmentację pozycji zakupowych,
- ustalanie strategii zakupowych,
- wyszukiwanie źródeł zaopatrzenia,
- klasyfikowanie i ocenę dostawców,
- negocjacje z dostawcami,
- zawieranie umów z dostawcami towarów i usług,
- ustalanie zapotrzebowania na towary, usługi lub utwory na podstawie zgłaszanych potrzeb,
- planowanie oraz kontrolę stanów zapasów,
- harmonogramowanie i kontrolę dostaw,
- kontrolę faktur za dostawy.

Im większa skala działalności, tym więcej realizuje się pojedynczych zakupów. Z tego powodu, szczególnie gdy przedsiębiorstwo rozrasta się z czasem, a na początku działało w sposób zdecentralizowany, zespoły zakupowe zajmują się wyłącznie formalizacją współpracy z dostawcami i rozwojem relacji, a zamówienia składają pracownicy działów operacyjnych, którzy najlepiej wiedzą, czego potrzebują do realizacji projektów. Wymaga to ustalenia zakresów odpowiedzialności i zadań, balansu między kontrolą a płynnością działania. Dział zakupów skupia się przede wszystkim na prawidłowym przebiegu procesów zakupowych, optymalnym gospodarowaniu budżetem, ograniczaniu ryzyka związanego z kontraktami oraz przestrzeganiu obowiązujących procedur zakupowych. Natomiast pracownicy innych działów zwracają szczególną uwagę na aspekty techniczne zamawianych usług, szybkość ich wykonania oraz pewność, że w sytuacjach kryzysowych otrzymają niezwłoczne wsparcie serwisowe [Pytel 2025, s. 52]. Ta różnica w potrzebach wewnętrznych jest kluczowym obszarem wymagającym dopasowania rozwiązań w celu zapewnienia ciągłości działania organizacji. Odpowiednio zorganizowany system umożliwia szybkie zaspokajanie zgłaszanych przez poszczególne komórki organizacyjne potrzeb, jak również minimalizację zapasów materiałowych i związanych z tym kosztów [Pałucha 2016, s. 351]. Przy dużej liczbie zakupów istotna jest też kontrola podejmowanych decyzji. Tym bardziej, że zakupy online stają się nie tylko wygodną alternatywą dla tradycyjnych kanałów sprzedaży, ale w wielu przypadkach już podstawową formą nabywania towarów i usług [Grabowski i Kowalczyk 2025, s. 6]. S**ą** one realizowane szybko, ale niekoniecznie poprzedzane weryfikacją cen, jakości i alternatyw.

W przypadku przedsiębiorstw usługowych, poza zaopatrzeniem w materiały potrzebne do wykonywania pracy oraz produkty pozwalające funkcjonować organizacji (energia, artykuły biurowe itp.), kupuje się również usługi podwykonawcze. Dotyczy to zarówno outsourcingu, jak i pojedynczych usług. Dzieje się tak np. w branży budowlanej, gdzie generalny wykonawca zleca poszczególne elementy projektu wyspecjalizowanym jednostkom, a także w logistyce (spedytorzy zlecający zadania przewoźnikom), IT, produkcji, marketingu i wielu innych obszarach. Przykładem może być branża facility management, gdzie przedsiębiorstwo oferuje klientowi obsługę techniczną nieruchomości. W zakres umowy wchodzą maszyny, urządzenia czy instalacje, które zgodnie z prawem podlegają obowiązkowym przeglądom konserwacyjno-serwisowym, ale żeby można było zachować warunki gwarancji, muszą być wykonywane przez wskazaną firmę – najczęściej producenta. W takich przypadkach jakość kupowanej usługi jest niezmiernie ważna, ponieważ przedsiębiorstwo nie ma bezpośredniego wpływu na jej wykonanie, a klient ocenia swojego

kontrahenta i to z nim się rozlicza. Między innymi dlatego zarządzanie relacjami z dostawcami jest na tyle ważne, by zajmował się nim zespół pracowników.

Scentralizowane zakupy umożliwiają osiągnięcie silniejszej pozycji negocjacyjnej wobec dostawców, dzięki czemu maleją jednostkowe koszty związane z obsługą zakupów. Wadą takiego rozwiązania może być wydłużenie drogi przepływu informacji, wystąpienie zakłóceń w procesie komunikacji. Kumulować mogą się także skutki popełnionych błędów decyzyjnych. Z kolei podjęcie decyzji o decentralizacji zakupów wiąże się z reguły ze zwiększeniem kosztów zakupów, możliwością obniżenia jakości świadczonych usług logistycznych czy dublowaniem zadań wykonywanych przez różne komórki organizacyjne [Pałucha 2016, s. 352]. Zmiana systemu jest sama w sobie trudnym zadaniem, jednak potrzeba optymalizacji i rozwoju wpływa na podejmowanie decyzji o jej wdrożeniu.

Wyniki badań ankietowych

Centralizacja zakupów to zmiana, za którą odpowiedzialni są najczęściej pracownicy działu zakupów, wspierani przez inne jednostki. Ekspertom zadano pięć jednakowych pytań dotyczących doświadczeń związanych z centralizacją zakupów, której wprowadzenie leży w ich zakresie odpowiedzialności:

1. Jak rozumie pan/pani pojęcie centralizacji zakupów?
2. Na jakim etapie wdrażania centralizacji zakupów znajduje się pana/pani organizacja?
3. Jakie bariery i wyzwania dostrzega pan/pani w tym procesie?
4. Jakie efekty spodziewa się pan/pani uzyskać dzięki centralizacji zakupów?
5. Czy uważa pan/pani decyzję o centralizacji zakupów za dobrą czy złą dla organizacji? Proszę uzasadnić odpowiedź.

Podsumowanie odpowiedzi zawarto w tabeli 1.

Organizacje są w różnych fazach wdrażania zmian. Pierwsza z nich znajduje się na etapie uporządkowania i formalizacji modelu, obejmującym przygotowanie polityki zakupowej oraz instrukcji dla pracowników operacyjnych. Tworzona jest wizja procesu, który spełniałby oczekiwania koncernu, nie powodując jednocześnie blokad w bieżącej obsłudze projektów. Ważny jest balans między kontrolą a korzyściami operacyjnymi – weryfikacja i matrycowa akceptacja zapytań ofertowych, zamówień czy umów może zwiększyć oszczędność kosztów, ale wydłuża czas trwania procesów, który w branży multitechnicznej jest często najważniejszą wartością dla klientów. Jako następne działania wymieniono omówienie propozycji z zarządem i kadrą kierowniczą oraz wdrożenie zaleceń w wybranym regionie jako pilotażu przed przekazaniem nowych zasad całej organizacji. W drugiej organizacji polityka zakupowa została ogłoszona i zalecona do stosowania dwa tygodnie przed wywiadem, wzbudzając wiele emocji i wymuszając zmiany w systemie, procesach oraz podejściu pracowników. Nad dokumentem pracował dział zakupów, konsultując pomysły i zapisy z zarządem oraz kierownikami poszczególnych działów operacyjnych. W zależności od specyfiki danego działu polityka zakupowa wskazuje na różne działania i zasady. Część inwestycyjna i powtarzalne zakupy zostały scentralizowane, proces ma być prowadzony w całości przez dział zakupów, natomiast część serwisowa, reagująca na zgłoszenia klientów, ma realizować proces we własnym zakresie, w zależności od potrzeb. Scentralizowane zostały również niektóre kategorie produktów i usług stanowiące koszty własne, takie jak wynajem i wyposażenie biura,

Tabela 1. Podsumowanie odpowiedzi wywiadu eksperckiego
Table 1. Summary of expert interview responses

Zakres pytania	Ekspert 1	Ekspert 2
Centralizacja zakupów	centralizacja zasad, norm i kontroli; realizacja zakupów przez działy operacyjne	całkowita centralizacja
Etap wdrożenia	przygotowanie polityki i pilotażu	ogłoszenie polityki (2 tygodnie przed wywiadem)
Bariery i wyzwania	niechęć pracowników do zmian; rozproszenie organizacyjne	opór pracowników; konieczność zmian w systemie ERP; zwiększenie liczby zadań działu zakupów/niewystarczająca liczba pracowników
Oczekiwane efekty	ujednolicenie procesu; lepsza komunikacja; efekty finansowe (efekt skali); lepsza kontrola (audyty)	większa marża; lepsze planowanie zakupów i spójność działań; kontrola kosztów; lepsza współpraca z dostawcami
Opinia nt. decyzji	właściwa pod warunkiem mądrego wdrożenia	słuszna, ale należało się lepiej przygotować

Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

flota czy odzież robocza i środki ochrony indywidualnej. Pracownicy działów operacyjnych różnie interpretują zapisy, co sprawia, że proces nie jest w praktyce ustandaryzowany nawet w obrębie danego działu. W rozmowach wybrzmiewa frustracja i złość na opóźnienia w działaniach i pogorszenie jakości obsługi klienta, a nawet kary finansowe. Natomiast dział zakupów jest przeciążony, czas odpowiedzi się wydłużył, a większość zgłoszeń wymaga dodatkowych wyjaśnień. Jednak z każdym dniem liczba poprawnych zgłoszeń wzrasta, szczególnie tych powtarzalnych.

Centralizację zakupów można rozumieć w różny sposób. Kierownik ds. zakupów z przedsiębiorstwa o rozproszonej działalności (ekspert 1) wskazał na centralizację zasad, ram i kontroli, w ramach których zakupy są realizowane przez pracowników w różnych komórkach. Dokonał podziału, w którym polityka zakupowa, zarządzanie panelem dostawców, umowami ramowymi i ryzykiem, a także zgodność z wytycznymi koncernowymi (podkreślił czynniki ESG, czyli environmental, social, governance, w tym obszarze) i audyty są prowadzone centralnie, natomiast określenie potrzeb, wybór dostawcy, złożenie zamówienia, jego realizacja i kontrola operacyjna spoczywają na barkach pracowników operacyjnych. Drugi ekspert, z organizacji nastawionej na projekty i inwestycje, określił centralizację zakupów jako model, w którym wszystkie dokumenty i decyzje zakupowe są realizowane przez jeden centralny dział zakupów. Różnice w odpowiedziach potwierdzają konieczność dopasowania powszechnych koncepcji wprowadzania dowolnej zmiany do charakterystyki i możliwości organizacji.

Wśród barier i wyzwań obaj eksperci wymienili w pierwszej kolejności niechęć/opór pracowników wobec zmian. Wskazano na obawy przed skomplikowanymi wymaganiami w zakresie dokumentacji wewnętrznej, wydłużeniem czasu odpowie-

dzi na zapytania czy utratą autonomii. Technicy realizujący zadania często nie mają czasu na wypełnianie formularzy i opisywanie swojej pracy, istnieje również bariera kompetencji cyfrowych – nie wszyscy czują się swobodnie, pracując na komputerze. Kierownicy zdają sobie doskonale sprawę z tego, że kilkuosobowy zespół potrzebuje więcej czasu niż rozproszone kilkaset osób, aby realizować zadania z korzyścią dla organizacji. Podawana jest też w wątpliwość wiedza techniczna działu zakupów, a co za tym idzie – zdolność do podejmowania optymalnych decyzji. Technicy pracujący na co dzień z instalacjami i urządzeniami wykorzystują swoje doświadczenie w doborze produktów i usług. Co więcej, wielu pracowników ma ulubione miejsca dokonywania zakupów czy relacje biznesowe z kontrahentami, którzy z różnych powodów nie wpisują się w wytyczne koncernowe (ze względu np. na brak odroczonego terminu płatności). Według eksperta 1, wyzwanie polega m.in. na przekonaniu pracowników, że centralizacja zakupów upraszcza codzienność, a nie ją komplikuje. Jest to zadanie o tyle trudne, że na każdy rutynowy scenariusz przypada mnóstwo wyjątków potwierdzających obawy pracowników operacyjnych. Kluczowe wydaje się wsparcie kierownictwa, które lepiej rozumie zagadnienia płynności finansowej, skali zakupowej, siły negocjacyjnej czy raportowania i może wyjść poza uproszczone rozumowanie „jak kupię taniej, to dostanę większą premię". Dodatkowym czynnikiem utrudniającym pozytywne nastawienie wśród pracowników jest fakt, że w obydwu organizacjach w nieodległym czasie wprowadzono inną poważną zmianę, jaką było przejście na nowy system ERP (enterprise resource planning), co wciąż generuje wiele problemów w codziennej działalności przedsiębiorstw.

Jako drugie kluczowe wyzwanie wskazano konieczność dopasowania struktur i systemu operacyjnego. Szukając optymalizacji, organizacje oczekują przeorganizowania procesu zakupów przy zachowaniu warunków zatrudnienia. Dział zakupów ma wykonywać znacznie więcej zadań, odciążając tym samym działy operacyjne. Obaj eksperci poruszali kwestię alokacji pracowników między działami, by wyrównać obciążenie, ale w momencie przeprowadzania wywiadu takie rozwiązanie nie było zaakceptowane. Ekspert 2 prowadzi rekrutację na trzy stanowiska, zaś w organizacji eksperta 1 nie przewidziano dodatkowego miejsca pracy w dziale zamówień po wdrożeniu zmian. Zmiany w systemach operacyjnych wiążą się z nakładami finansowymi na akceptowalnym poziomie, większą trudność stanowi niewystarczające wsparcie działu IT i zewnętrznych konsultantów. Mimo reklam dotyczących rozwiązań szytych na miarę w praktyce okazuje się, że organizacje muszą dostosować się do możliwości systemu, a nie systemy do potrzeb organizacji. Co więcej, abstrahując od rozwiązań sztucznej inteligencji, potrzeba czasu i zasobów, by wyposażyć system w informacje, balansując między bezpieczeństwem i późniejszą potrzebą automatyzacji i aktualizacji. Przetwarzanie danych wygląda inaczej w przedsiębiorstwie handlowym posiadającym magazyn, opisane produkty itp., a inaczej w firmie usługowej, gdzie zazwyczaj opis zamówień wprowadza się ręcznie i nie zawsze jest on dokładny (np. wykonanie naprawy urządzenia).

Organizacje decydujące się na zmiany robią to, by osiągnąć wymierne korzyści, poprawić efektywność. Z tego względu specjalnie użyto pojęcia „efekt" w pytaniu czwartym. Spośród oczekiwanych efektów eksperci wymienili:

- organizacyjne – ujednolicenie procesu i decyzji, spójność działań, planowanie zakupów,

- finansowe – niższe ceny zakupu surowców i usług, co pozwala na uzyskanie większych marż,
- kontrolingowe – kontrola kosztów, lepsza audytowalność,
- inne – lepsza współpraca z dostawcami, zarządzanie ryzykiem, ochrona pracowników.

Oczekiwane efekty są odpowiedzią na występujące trudności. Przy rozproszonej działalności i zdecentralizowanych zakupach wytypowani do tego pracownicy postępują zgodnie z własną wolą, interpretacją wytycznych i sposobami wdrożenia. Różnice w podejmowanych działaniach w skali całej organizacji wprowadzają chaos, utrudniają relokację zasobów i wymianę informacji. Centralizacja zakupów ma więc ułatwić proces z perspektywy działów operacyjnych i nowych pracowników. Planowanie zakupów eliminuje dublujące się działania zarówno po stronie organizacji, jak i kontrahenta (np. zapytania ofertowe dotyczące tego samego zakresu wysyłane przez kilka osób z różnych zespołów). Wśród korzyści finansowych eksperci zwrócili uwagę na efekt skali, a więc większą siłę negocjacyjną w przypadku zamówień o większej wartości i/lub liczbie, która przekłada się na niższą cenę jednostkową. Ma to szczególne znaczenie dla przedsiębiorstw usługowych rozliczających się w formie ryczałtu, gdzie cena jest dla klienta stała, oparta na zakładanym bezpiecznym budżecie, a oszczędności wynikające z dodatkowych negocjacji kosztów bezpośrednio zwiększają marżę. Eksperci oczekują również lepszej kontroli danych, w tym m.in. wspomnianych wyników projektów, co powinno być efektem wprowadzonych zmian w systemie ERP i ujednolicenia rodzaju wprowadzanych informacji. Ponadto łatwiej wyszkolić zespół działu zakupów składający się z kilku lub kilkunastu osób niż setkę rozproszonych pracowników operacyjnych. Wysoka jakość danych ułatwia porównywanie raportów w kolejnych okresach, co umożliwia szybką i dokładną identyfikację nadarzających się szans lub nadchodzących zagrożeń. Nie bez znaczenia jest też komfort odpowiadania na pytania audytorów, znajomość możliwości oraz pewność dotycząca poprawności i kompletności informacji. Eksperci podkreślali również, że skupienie zakupów u wybranych, sprawdzonych kontrahentów sprzyja budowaniu długotrwałej relacji opartej na partnerstwie. Z drugiej strony, firmy chcące dostać się na taką listę angażują się nawet jeszcze bardziej w udowodnienie swojej konkurencyjności. Ujednolicenie procesu i jakości przetwarzanych danych sprzyjają zarządzaniu ryzykiem i reagowaniu na wczesnym etapie pojawiania się szans i zagrożeń. Formalizacja współpracy z dostawcami i podwykonawcami zabezpiecza organizację i pracowników operacyjnych poprzez przeniesienie odpowiedzialności, kar umownych i warunków gwarancji na zleceniobiorców. Podpisywane są m.in. oświadczenia dotyczące przestrzegania zasad etyki i BHP.

Plany obydwu organizacji zakładają uzyskanie powyższych efektów w ciągu trzech lat, co czyni je strategicznymi. W momencie przeprowadzania wywiadu nie zostały one jeszcze ujęte w mierzalne, konkretne wskaźniki. Z punktu widzenia zarządów oczekiwania wyrażane są w dwóch bardzo ogólnych wskaźnikach, mianowicie cash flow oraz EBIT. Wymienione przez ekspertów efekty są jednym z wielu elementów, które mogą wpłynąć na te wskaźniki, co sprawia, że trudno będzie ocenić mierzalne korzyści z samej centralizacji zakupów. Ekspert 1 przyznał, że jego zespół stworzył na własne potrzeby takie wskaźniki, jak obrót z kontrahentami ramowymi (współpraca sformalizowana umową ramową), procent obrotu z odroczonym terminem płatności, wartość bonusów (rabatów potransakcyjnych) i inne.

Ostatnie pytanie dotyczyło opinii nt. decyzji wprowadzenia centralizacji zakupów w kategorii „dobra/zła". Obaj eksperci uznali ją za dobrą i słuszną, podkreślając konieczność „mądrego" wdrożenia (ekspert 1) i krytykując brak odpowiedniego przygotowania (ekspert 2). Do działań, które należałoby podjąć, aby zwiększyć szansę na uzyskanie oczekiwanych efektów, można zaliczyć: dopasowanie rozwiązań do prowadzonej działalności oraz przewidzenie wąskich gardeł, zanim zaczną one oddziaływać negatywnie. Wymaga to komunikacji i zaangażowania kierownictwa operacyjnego, by można było dobrze zrozumieć potrzeby i ograniczenia. Należy przy tym uwzględnić fakt, że odbywa się to przy powszechnym braku czasu, organizowaniu spotkań, z których nic nie wynika, sztywnym trzymaniu się zakresu kompetencji, występowaniu asekuranctwa i mentalności silosowej w korporacjach.

Podczas prowadzenia rozmów z ekspertami zauważalna była różnica w ich nastawieniu. W pierwszej organizacji, będącej na etapie planowania, widoczne były determinacja, cierpliwość i otwartość na konsultacje międzydziałowe, a także szukanie wskazówek i narzędzi poza organizacją. Ekspert 2, którego przedsiębiorstwo jest w trakcie konfrontacji założeń z rzeczywistością, okazywał frustrację, zmęczenie i poczucie niesprawiedliwości, a także osamotnienie w byciu odpowiedzialnym za decyzje podejmowane przez zarząd.

Podsumowanie i wnioski

Podsumowując, największym wyzwaniem dla wprowadzenia centralizacji zakupów jest niechęć i opór pracowników, ale także konieczność dopasowania procesów, struktur i systemów informatycznych.

Centralizacja zakupów w dużych przedsiębiorstwach usługowych działających w relacji B2B jest słuszną decyzją, jednak na drodze do osiągnięcia założonych celów wciąż napotyka się liczne trudności. Występuje konieczność rozwinięcia wiedzy i umiejętności pozwalających na stworzenie narzędzi i metod dających się dopasować do potrzeb indywidualnych organizacji, które wesprą kadrę kierowniczą w efektywnym planowaniu i wdrażaniu zmian. Jedną z nich może być rozszerzenie metody SMART skupiające się na trzeciej cesze – akceptacji wśród pracowników, którzy w zakresie obowiązków mają działania podlegające zmianie. Osoby odpowiedzialne za wprowadzenie zmiany nie mogą też zostać pozbawione wsparcia kadry kierowniczej, która bezpośrednio organizuje pracę podwładnym. Komunikacja nie może się jednak kończyć na wysokich stanowiskach, jeżeli chcemy zaangażować w proces niechętnych mu pracowników znajdujących się na najniższych szczeblach struktury organizacyjnej.

Koncepcja centralizacji zakupów oceniana jest pozytywnie, a największym wyzwaniem jest niechęć pracowników wobec zmian. Eksperci wskazują na trudności i dużą wagę właściwego planowania, co wymaga dodatkowych badań w celu stwierdzenia, czy to plan stanowi obszar do poprawy, czy może egzekwowanie założeń, które wiąże się z motywowaniem pracowników.

Kierunki dalszych badań to rozwinięcie problematyki na inne przedsiębiorstwa, nie tylko usługowe, działające w relacji B2B oraz skonstruowanie metod i narzędzi wspomagających zarządzanie zmianą. O ile dużo uwagi poświęca się identyfikacji wyzwań dotyczących kapitału ludzkiego, a także metodom motywowania, lukę stanowi

połączenie tych dwóch obszarów. Jak zmotywować pracownika, by dostrzegł i wykorzystał szanse pojawiające się podczas zmiany, oraz ograniczyć negatywny wpływ towarzyszących zmianie zagrożeń?

Bibliografia

Bendkowski J., Radziejowska G., 2011: Logistyka zaopatrzenia w przedsiębiorstwie, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.

Dziadkiewicz A., Juchniewicz P., 2013: Koncepcja zarządzania zmianą w organizacji, [w:] J. Skalik, J. Kacała (red.), Zmiana warunkiem sukcesu. Współczesne uwarunkowania i metody wspomagania procesu zarządzania zmianami, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu 277, 15–28.

Grabowski J., Kowalczyk K., 2025: Logistyka ostatniej mili: między oczekiwaniami konsumentów a iluzją zrównoważonego rozwoju, Ekonomika i Organizacja Logistyki 10(2), 5–22.

Hadaś Ł., Ragin-Skorecka K., 2017: Organizacja procesów zakupowych a wzrost strategicznej rangi zakupów – wyniki badań, Nauki o Zarządzaniu 2(31), 38–46.

Hayes J., 2002: The Theory and Practice of Change Management, Palgrave Macmillan, New York.

Khaw K.W., Alnoor A., Al-Abrrow H., Tiberius V., Ganesan Y., Atshan N.A., 2022: Reactions towards organizational change: a systematic literature review, Current Psychology 42, 19137–19160.

Koć T., 2025: Zarządzanie projektami w branży instalacyjno-montażowej – wyzwania i trudności, Ekonomika i Organizacja Logistyki 10(1), 81–90.

Kowalska K., 2005: Logistyka zaopatrzenia, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Katowice.

Mierzejewska M., 2025: Krajowy System e-Faktur jako akcelerator automatyzacji rachunkowości, Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów 205, 15–28.

Pałucha K., 2016: Organizacja procesu zakupów zaopatrzeniowych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej: Organizacja i Zarządzanie 99, 349–361.

Polanowska A., Kulig P., Syzdek A., 2020: Planowanie jako nadrzędna funkcja zarządzania w cyfrowym świecie, Prace Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania i Przedsiębiorczości 49(1), 89–104.

Pytel P., 2025: Zakupy i utrzymanie ruchu. Bez współpracy nie ma sukcesu, Kierunek Chemia 2, 52–57.

Rosnerova Z., Pnisciakova O., Kicova E., Fabus J., 2024: Comprehensive Study of Critical Areas of Change Management as a Starting Point for Leaders in the Area of Managing Human Resources in Organizations: The Case of the Visegrad Four, Systems 12(9), 342.

Szymocha D., 2020: Zmiana organizacyjna. Czy można stworzyć uniwersalny model zarządzania zmianą?, [w:] A. Mazur, P. Rojek-Adamek, J. Tomczyk (red.), Zarządzanie zmianą. Innowacje – organizacje – bezpieczeństwo, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Pedagogicznego, Kraków, 9–22.

Tyszka T., Zaleśkiewicz T., 2001: Racjonalność decyzji, PWE, Warszawa.

Whitmore J., 2011: Coaching. Trening efektywności, G + J, Warszawa.

Wysokińska-Senkus A., Senkus P., 2017: Kontrolowanie procesów pracy, [w:] J.S. Kardas, M. Wójcik-Augustyniak (red.), Zarządzanie w przedsiębiorstwie. Środowisko, procesy, systemy, zasoby, Difin, Warszawa, 240–255.

Economics and Organization of Logistics
11 (1), 2026, 119–133

DOI: 10.22630/EIOL.2026.11.1.7

Zgłoszono: 05.01.2026
Zaakceptowano: 12.02.2026

Agnieszka Wilczyńska-Strawa✉
Akademia Sztuki Wojennej w Warszawie

Ocena obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych z perspektywy pasażerów

Assessment of ground handling at Polish airports from the perspective of passengers

Synopsis. Jakość obsługi naziemnej stanowi istotną determinantę konkurencyjności portów lotniczych oraz doświadczeń pasażerów jako ich użytkowników. Celem przeprowadzonego badania była diagnoza jakości obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych z perspektywy pasażerów oraz identyfikacja obszarów jej świadczenia wymagających zmian i usprawnień. W celu osiągnięcia założonego celu zastosowano metodę sondażu diagnostycznego przy wykorzystaniu techniki ankiety. W badaniu uczestniczyło 130 respondentów, którzy podzielili się doświadczeniami i opiniami dotyczącymi przebiegu podróży lotniczych z dziewięciu polskich portów. Wyniki badania potwierdziły hipotezę o wysokiej ogólnej ocenie obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych dokonywanej przez pasażerów. Wykazano również, że ogólna ocena obsługi naziemnej była wyższa niż średnia ocen szczegółowych czterech wybranych obszarów jej świadczenia. Analiza ocen szczegółowych pozwoliła ustalić hierarchię (według liczby wskazań respondentów) obszarów obsługi naziemnej wymagających interwencji i usprawnień. Priorytetowym obszarem wymagającym poprawy pozostaje szybkość obsługi pasażerów podczas odprawy biletowo-bagażowej oraz boardingu. Uzyskane wyniki badań zostały skonfrontowane przede wszystkim z rezultatami globalnego badania satysfakcji pasażerów transportu lotniczego przeprowadzonego przez Międzynarodowe Zrzeszenie Przewoźników Powietrznych (IATA) w 2025 roku.

Słowa kluczowe: transport lotniczy, obsługa naziemna, porty lotnicze, ocena jakości usług, doświadczenia pasażerów

Abstract. The quality of ground handling services is a significant determinant of airport competitiveness and the passenger experience. The aim of the study was to assess the quality of ground handling services at Polish airports from a passenger perspective and identify areas requiring change and improvement. A diagnostic survey approach was used to achieve this goal. The study involved 130 respondents who shared their experiences and opinions regarding air travel at nine Polish

✉**Agnieszka Wilczyńska-Strawa** – Akademia Sztuki Wojennej w Warszawie, Wydział Zarządzania i Dowodzenia; e-mail: a.strawa@akademia.mil.pl; https://orcid.org/0000-0003-4538-7918

CC BY-NC

airports. The study results confirmed the hypothesis of a high overall passenger rating of ground handling services at Polish airports. It also demonstrated that the overall rating of ground handling services was higher than the average of the four selected detailed ratings. Analysis of the detailed ratings allowed us to establish a hierarchy (based on the number of respondents' responses) of ground handling areas requiring intervention and improvement. The priority area for improvement remains the speed of passenger service during check-in and boarding. The obtained research results were compared primarily with the results of the global air passenger satisfaction survey conducted by the International Air Transport Association (IATA) in 2025.

Keywords: air transport, ground handling, airports, service quality assessment, passenger experience

Kody JEL: L91, L93, R40, M30

Wstęp

Obsługa naziemna jest niezbędna do właściwego funkcjonowania transportu lotniczego i wnosi istotny wkład w skuteczne wykorzystanie lotniczej infrastruktury transportowej [Dyrektywa Rady 96/67/WE 1996]. Obejmuje ona usługi niezbędne dla przybycia statku powietrznego oraz jego odlotu z portu lotniczego, z wyjątkiem usług świadczonych przez służby ruchu lotniczego [ICAO 2019]. W kontekście pasażerów obsługa naziemna obejmuje wszelką pomoc świadczoną osobom przylatującym, odlatującym i przesiadającym się, w tym sprawdzanie biletów i dokumentów podróży oraz rejestrowanie bagażu i jego transport do sortowni [Rozporządzenie MTBiGM 2013]. W obliczu rosnącej liczby operacji lotniczych oraz osób obsługiwanych w polskich portach lotniczych efektywne funkcjonowanie obsługi naziemnej przekłada się na sprawność operacyjną danego portu oraz doświadczenia pasażerów. Przyjmuje się, że wzrost globalnego zadowolenia pasażerów o 1% generuje średni wzrost przychodów z działalności pozalotniczej portu lotniczego o 1,5%, podczas gdy wzrost ruchu pasażerskiego o 1% – wzrost przychodów o 0,7–1%, a wzrost powierzchni komercyjnej o 1% – wzrost przychodów o 0,2% [ACI Europe 2018, s. 15]. Doświadczenie pasażerów stało się zatem istotnym elementem konkurencyjności portów lotniczych. Jednak pomimo rosnącego znaczenia ich opinii stosunkowo niewiele badań naukowych koncentruje się na ocenie jakości obsługi naziemnej z perspektywy pasażerów.

Realizacja procedury badawczej miała przede wszystkim charakter diagnostyczny. W jej ramach dokonano oceny obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych z perspektywy pasażerów, uwzględniając jej wybrane obszary. W następstwie badania zidentyfikowane zostały obszary świadczenia obsługi naziemnej wymagające najpilniejszych interwencji i usprawnień. Biorąc pod uwagę fakt, że coraz większa liczba rankingów i ocen portów lotniczych opiera się na bezpośredniej opinii ich użytkowników, zaprojektowana procedura badawcza wpisuje się w założenia realizacji strategii pasażerocentrycznej portów lotniczych, skoncentrowanej na doświadczeniu pasażerów.

Przyjęto następującą hipotezę główną: pasażerowie polskich portów lotniczych wysoko oceniają jakość obsługi naziemnej, przy czym ponad 80% respondentów ocenia ją jako „dobrą" lub „bardzo dobrą" Jednocześnie, bazując na ocenach szczegółowych, możliwa jest identyfikacja obszarów wymagających zmian i ulepszeń. Próg powyżej 80% ocen pozytywnych przyjęto na podstawie wyników globalnego badania satysfakcji pasażerów transportu lotniczego przeprowadzonego przez Międzynarodowe Zrzeszenie Przewoźników Powietrznych w 2025 roku [IATA 2025].

Założono, że realizacja procedury badawczej ma znaczenie aplikacyjne – jej wyniki można wykorzystać w praktyce funkcjonowania portów lotniczych oraz agentów obsługi naziemnej, w szczególności w zakresie optymalizacji procesów obsługowych ukierunkowanej na poprawę doświadczeń pasażerów.

Przegląd literatury

W ramach przeglądu literatury przedmiotu przeprowadzono analizę ok. 70 publikacji naukowych z bazy Google Scholar opublikowanych w latach 2015–2025. Doboru publikacji dokonano na podstawie hasła kluczowego „ground handling" (obsługa naziemna). Analizie i syntezie poddano wyłącznie źródła spełniające kryteria inkluzji, obejmujące publikacje poddane recenzji naukowej przez niezależnych recenzentów oraz pozostające w bezpośrednim związku z tematyką projektowanej procedury badawczej, co miało na celu zapewnienie jakości i rzetelności naukowej analizowanego materiału.

Wykaz problematyki poruszanej w publikacjach naukowych z bazy Google Scholar dobranych na podstawie wyszukiwania hasła „ground handling" przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Problematyka analizowanych publikacji naukowych z bazy Google Scholar (2015–2025) według hasła „ground handling"
Table 1. Topics of the analyzed scientific publications from Google Scholar (2015–2025) under the keyword "ground handling"

Źródło bibliograficzne	Obszar problematyczny
Wilczyńska-Strawa, 2017, s. 63–73	**Prawne podstawy funkcjonowania obsługi naziemnej w portach lotniczych** – w tym obowiązki dostawców usług oraz warunki dostępu do infrastruktury portu lotniczego
Kwasiborska, 2016, s. 91–111	**Obsługa pasażerska** jako istotny element obsługi naziemnej. **Znaczenie współpracy podmiotów w porcie lotniczym**, w tym rola agenta obsługi naziemnej. **Zakres czynnościowy obsługi pasażerskiej** w terminalu portu lotniczego. **Optymalizacja czasu obsługi** jako czynnik determinujący przepustowość terminali pasażerskich
Szabo i in., 2022 Vagner, Jenčová i Szabo, 2018, s. 131–138	**Zwiększanie efektywności obsługi naziemnej** poprzez usprawnienie poszczególnych podprocesów obsługowych
Fitouri-Trabelsi i in., 2015, s. 17–31 Dall'Olio i Kolisch, 2023	**Znaczenie procesów decyzyjnych w organizacji obsługi naziemnej** – np. zapewnienie odpowiednich zasobów do obsługi lotów przylotowych i odlotowych oraz optymalizacja siły roboczej przy operacjach załadunku i rozładunku bagażu

cd. tabeli 1
Table 1 cont.

Źródło bibliograficzne	Obszar problematyczny
Kozłowski, Kruk i Stelmach, 2018, s. 49–62 Kobaszyńska-Twardowska i Wantuła, 2023, s. 49–60 Durmaz i in., 2021, s. 82–90 Zagrajek i Hoszman, 2018, s. 147–155	**Wpływ obsługi naziemnej na bezpieczeństwo i punktualność transportu lotniczego**, w tym analiza odpowiedzialności obsługi naziemnej za opóźnienia lotów
Gładyś, Kwasiborska i Postół, 2022, s. 115–126	Wpływ zakłóceń w obsłudze samolotu na zużycie paliwa przez statek powietrzny
Uchroński, 2020, s. 319–339 Skorupski i in., 2020	**Znaczenie czynnika ludzkiego** w obsłudze naziemnej w porcie lotniczym
Ahad, Akram i Inam, 2021, s. 37–48	**Wyzwania związane z zarządzaniem zasobami ludzkimi** w obsłudze naziemnej
Türeli i in., 2019, s. 1077–1087	**Wpływ pracowników obsługi naziemnej na satysfakcję i lojalność pasażerów** w porcie lotniczym
Tabares, Mora-Camino i Drouin, 2021 Çiçek, 2022, s. 482–507 Sari, Wan Mohamed i Ayu Jalil, 2021, s. 170–182	**Przyszłościowe kierunki zmian w obsłudze naziemnej**, w tym: automatyzacja, zrównoważony rozwój w wymiarze ekonomicznym, społecznym i środowiskowym oraz elektryfikacja sprzętu obsługi naziemnej

Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

Kolejnym etapem było zastosowanie wyszukiwania zaawansowanego w ramach międzynarodowej platformy ResearchGate z wykorzystaniem hasła „ground handling" oraz „passenger satisfaction". Szczególne znaczenie dla projektowanej procedury badawczej miała publikacja Hatipoğlu, Ergül i Kepti [2025, s. 1843–1851], w której wskazano, że obsługa naziemna odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu ogólnego postrzegania usług przez pasażerów. Do zmierzenia różnicy między oczekiwaniami pasażerów a postrzeganiem przez nich linii lotniczych i usług obsługi naziemnej zastosowano metodę SERVQUAL. Na podstawie analiz zidentyfikowano cztery obszary wymagające poprawy: właściwą i terminową obsługę bagażu, zaangażowanie personelu w rozwiązywanie problemów, czas dostawy bagażu w docelowym porcie lotniczym oraz personalizację obsługi podczas odprawy biletowo-bagażowej, boardingu, przesiadki i odbioru bagażu. Badanie ograniczono do rynku transportu lotniczego w Turcji.

Materiały i metody

Bezpośrednią inspiracją do opracowania procedury badawczej był wywiad udzielony przez prezesa Welcome Airport Services Sp. z o.o. dotyczący trendów i wyzwań związanych ze świadczeniem usług obsługi naziemnej w porcie lotniczym, ze szczególnym uwzględnieniem obsługi pasażerskiej. Treść rozmowy została opublikowana w monografii naukowej pt. „Pasażer w porcie lotniczym. Wybrane problemy".

Realizacja procedury badawczej miała charakter przede wszystkim diagnostyczny i była ukierunkowana na ogólną ocenę obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych z perspektywy pasażerów, przy jednoczesnym uwzględnieniu ocen szczegółowych w następujących obszarach:

- Czas obsługi w ramach kolejnych etapów przygotowania do podróży lotniczej (np. odprawa biletowo-bagażowa, wejście na pokład samolotu).
- Elastyczność i zdolność obsługi naziemnej do reagowania na nieprzewidziane sytuacje (np. opóźnienia lotów, zmiana numeru poczekalni przedodlotowej).
- Profesjonalizm, uprzejmość i komunikatywność pracowników obsługi naziemnej.
- Wpływ działań obsługi naziemnej na opóźnienia lotów.

Do porównania ocen ogólnych obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych oraz ocen szczegółowych czterech wybranych elementów jej świadczenia wykorzystano arkusz kalkulacyjny Excel. Analizę danych przeprowadzono w ramach trzyetapowego postępowania badawczego przedstawionego w tabeli 2.

Tabela 2. Trzyetapowe postępowanie badawcze i główne czynności
Table 2. Three-step research procedure and main activities

Etap procedury badawczej	Wykaz podjętych działań	Efekt realizacji
Przygotowanie badania	**Analiza literatury** z zakresu tematyki badań. **Diagnoza aktualnej sytuacji problemowej** dotyczącej przedmiotu badania. **Konsultacje w zakresie koncepcji badania**	**Koncepcja badania pilotażowego** – opracowanie celów, zakresu i metodologii wstępnej procedury badawczej
Przeprowadzenie badania	**Dystrybucja kwestionariusza ankiety badawczej**. **Konsultacje dotyczące przebiegu realizacji procedury badawczej**	**Pozyskanie danych ilościowych i ich uporządkowanie** – zbieranie danych od wybranej grupy respondentów oraz przygotowanie ich do analizy
Finalizacja badania	**Analiza danych i wyników badania**. **Omówienie zebranych danych i wyników badania**. **Zaproponowanie wykorzystania pozyskanych danych i wyników** w dalszych badaniach	**Prezentacja wyników badania pilotażowego** – zestawienie i wstępna interpretacja danych w celu oceny funkcjonalności narzędzi badawczych i weryfikacji hipotezy

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Kwestionariusz ankiety wykorzystany do oceny składał się z trzech części: wstępnej (metryczka informacyjna), demograficznej (metryczka respondenta) oraz merytorycznej. W części merytorycznej opracowano 12 pytań dotyczących następujących zagadnień:

- jakość i satysfakcja pasażerów z obsługi naziemnej, w tym czas realizacji poszczególnych procedur obsługowych,
- poziom akceptacji automatyzacji obsługi naziemnej przez pasażerów,
- profesjonalizm i kompetencje pracowników obsługi naziemnej,
- wyzwania związane z obsługą naziemną w porcie lotniczym,

- najbardziej stresujące etapy podróży w porcie lotniczym,
- obszary obsługi naziemnej wymagające usprawnień.

Przed przeprowadzeniem badania na szerszej próbie narzędzie zostało przetestowane pod względem merytorycznym i organizacyjnym. Kwestionariusz był dostępny online w okresie od 19 sierpnia do 19 października 2025 r.

W badaniu wzięło udział 130 respondentów (N = 130). Pod względem płci dominowały kobiety, które stanowiły 55% próby, natomiast mężczyźni – 45%. Z punktu widzenia wieku próba była relatywnie młoda, dominowali respondenci w wieku 18–34 lat (53%) oraz 35–54 lat (44%). Niewielki udział respondentów powyżej 54. roku życia mógł wynikać z przyjętej formy dystrybucji kwestionariusza (badanie internetowe).

Respondenci realizowali podróże lotnicze kilka razy w roku (55%). Nie odnotowano osób podróżujących samolotem kilka razy w miesiącu lub częściej. Charakterystykę próby badawczej przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Charakterystyka próby badawczej (N = 130)
Table 3. Characteristics of the research sample (N = 130)

Cechy respondentów	Kategorie	*N*	%
Płeć	kobiety	71	55
	mężczyźni	59	45
Wiek	18–34	69	53
	35–54	57	44
	> 54	4	3
Częstotliwość podróży lotniczych	rzadziej niż raz w roku	23	18
	raz w roku	35	27
	kilka razy w roku	72	55
	kilka razy w miesiącu i częściej	0	0

Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

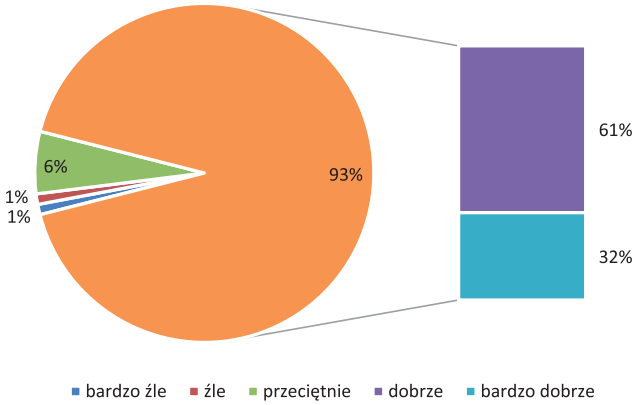
Respondenci wskazali, z których portów lotniczych korzystali najczęściej podczas podróży lotniczych, były to: Port Lotniczy Gdańsk im. L. Wałęsy, Port Lotniczy Olsztyn-Mazury, Port Lotniczy Poznań-Ławica im. H. Wieniawskiego, Port Lotniczy Warszawa-Modlin, Lotnisko Chopina w Warszawie, Port Lotniczy Wrocław-Strachowice im. M. Kopernika, Międzynarodowy Port Lotniczy Katowice w Pyrzowicach, Port Lotniczy Rzeszów-Jasionka, Port Lotniczy Kraków-Balice im. Jana Pawła II. Dominowało Lotnisko Chopina w Warszawie, wskazane przez ok. 67% respondentów jako najczęściej użytkowane. W ramach badania oceniono obsługę naziemną oferowaną w dziewięciu z 15 certyfikowanych lotnisk użytku publicznego [ULC 2025a].

Biorąc pod uwagę, że w pierwszym kwartale 2025 roku polskie porty lotnicze obsłużyły 12 290 263 pasażerów [ULC 2025b], wymagana liczba osób biorących udział w ankiecie dla zapewnienia reprezentatywności jej wyników wynosi 384, przy poziomie ufności 95%, wielkości frakcji 0,5 oraz błędzie maksymalnym 5% (wynik kalkulatora doboru próby, Naukowiec.org).

Zrealizowane badanie miało charakter pilotażowy. W zakresie **organizacyjnym** jego celem było przetestowanie narzędzia badawczego, natomiast w zakresie **merytorycznym** – wykrycie trendów satysfakcji pasażerów dotyczących kluczowych elementów świadczenia obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych.

Wyniki badań i dyskusja

W ramach realizacji badania przeprowadzono ogólną ocenę obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych z perspektywy pasażerów. Zdecydowana większość respondentów oceniła obsługę naziemną wysoko. Dominowała ocena „dobrze", wskazana przez 61% uczestników badania, a 32% respondentów uznało obsługę za „bardzo dobrą". Niewielki odsetek odpowiedzi (7%) dotyczył ocen: „przeciętnej", „złej" lub „bardzo złej" (rys. 1).



Rysunek 1. Rozkład odpowiedzi respondentów dotyczących ogólnej oceny obsługi naziemnej
Figure 1. Distribution of respondents' answers regarding the overall assessment of ground handling

Źródło: opracowanie własne na podstawie uzyskanych wyników badań
Source: own elaboration based on obtained research results

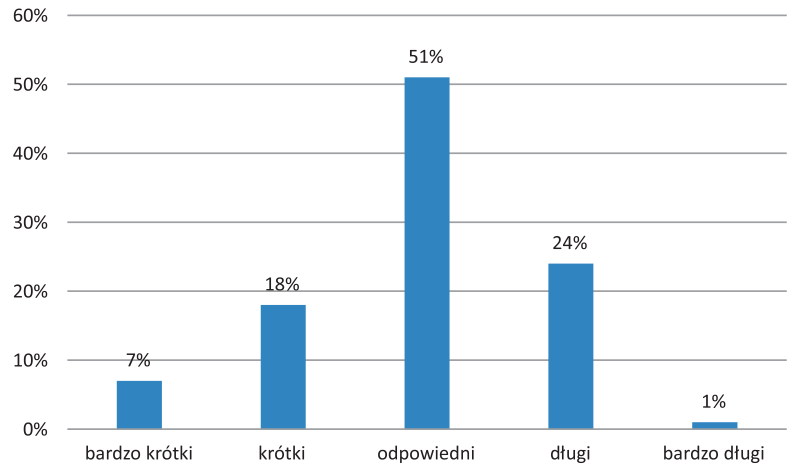
Wysoka ocena obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych pokrywa się z ogólnym zadowoleniem pasażerów z podróży lotniczych deklarowanym w badaniu z 2025 roku, w ramach którego 86% ankietowanych stwierdziło, że jest bardzo zadowolonych lub raczej zadowolonych [IATA 2025].

Sporządzono także charakterystykę respondentów, którzy ogólnie krytycznie oceniali obsługę naziemną w polskich portach lotniczych (udzielając odpowiedzi: „bardzo źle", „źle" lub „przeciętnie"). W tej grupie dominowały kobiety (80%), osoby w wieku 18–34 lat (80%), podróżujący kilka razy w roku (60%) oraz użytkownicy Lotniska Chopina w Warszawie (80%). Wynika z tego, że częstsze korzystanie z transportu lotniczego oraz większych portów lotniczych może się wiązać z niższymi ogólnymi ocenami obsługi.

Kolejnym krokiem była ocena obsługi naziemnej według czterech kryteriów szczegółowych.

Kryterium szczegółowe 1: Czas obsługi w ramach kolejnych etapów przygotowania do podróży w polskich portach lotniczych.

Na pytanie: *Jak ocenia Pani/Pan czas wymagany na realizację kolejnych etapów przygotowania do podróży lotniczej w polskich portach lotniczych (np. odprawa biletowo-bagażowa, kontrola bezpieczeństwa, wejście na pokład samolotu)?* 76% respondentów udzieliło ocen pozytywnych: „bardzo krótki" (7%), „krótki" (18%) oraz „odpowiedni" (51%; rys. 2).



Rysunek 2. Ocena respondentów dotycząca czasu obsługi w ramach kolejnych etapów przygotowania do podróży lotniczej

Figure 2. Evaluation of service time within the subsequent stages of preparation for air travel according to respondents

Źródło: opracowanie własne na podstawie uzyskanych wyników badań

Source: own elaboration based on obtained research results

Kryterium szczegółowe 2: Elastyczność obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych i zdolność dostosowania się do nieprzewidzianych sytuacji.

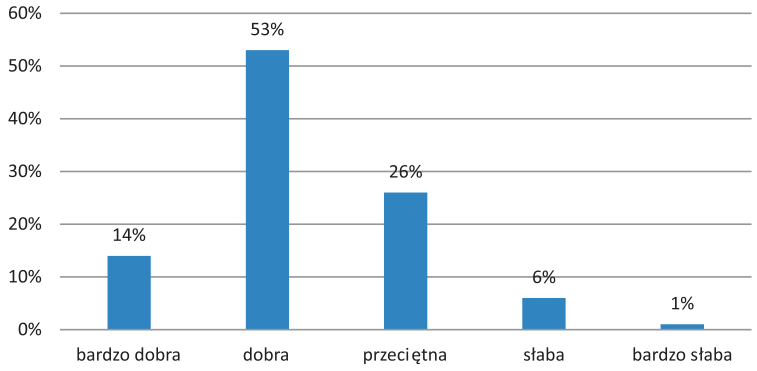
Na pytanie: *Jak ocenia Pani/Pan elastyczność i zdolność obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych do dostosowania się do nieprzewidzianych sytuacji?* 67% respondentów udzieliło odpowiedzi pozytywnych: „bardzo dobrze" (14%) oraz „dobrze" (53%; rys. 3).

Kryterium szczegółowe 3: Profesjonalizm, uprzejmość i komunikatywność pracowników obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych.

Na pytanie: *Jak ocenia Pani/Pan profesjonalizm, uprzejmość i komunikatywność pracowników obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych?* 85% respondentów udzieliło odpowiedzi pozytywnych: „zdecydowanie profesjonalna, uprzejma i komunikatywna" (28%) oraz „raczej profesjonalna, uprzejma i komunikatywna" (57%; rys. 4).

Kryterium szczegółowe 4: Wpływ działań obsługi naziemnej na opóźnienia lotów.

Łącznie 58% respondentów oceniło, że działania obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych nie mają wpływu na opóźnienia lotów (rys. 5).

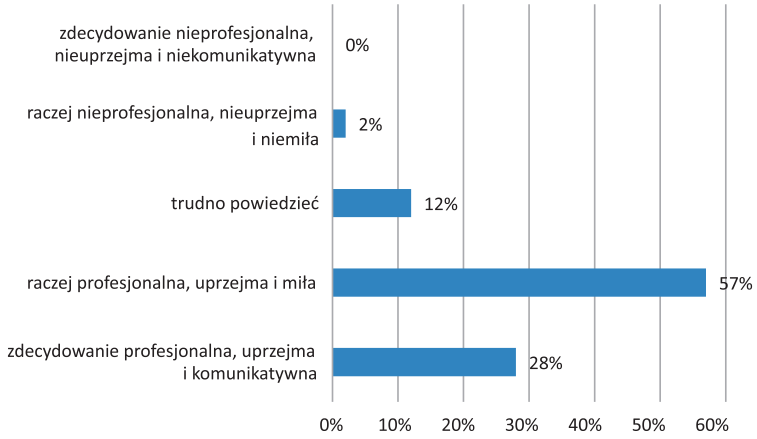


Rysunek 3. Ocena respondentów dotycząca elastyczności i zdolności obsługi naziemnej dostosowania się do nieprzewidzianych sytuacji

Figure 3. Assessment of flexibility and ability of ground handling services to adapt to unforeseen situations according to respondents

Źródło: opracowanie własne na podstawie uzyskanych wyników badań

Source: own elaboration based on obtained research results



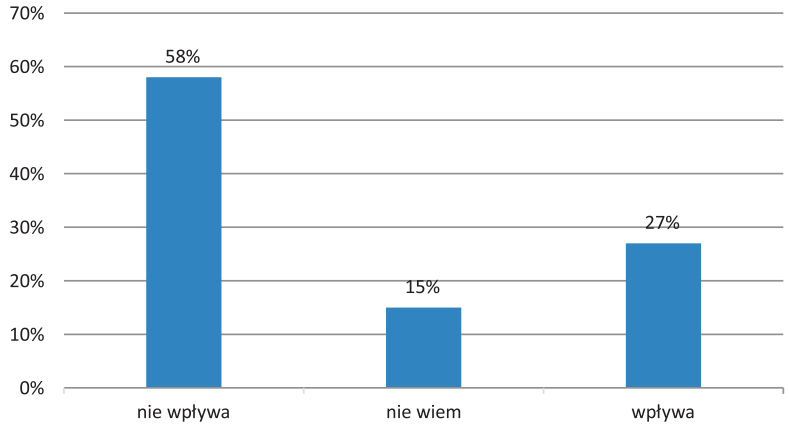
Rysunek 4. Ocena respondentów dotycząca profesjonalizmu, uprzejmości i komunikatywności pracowników obsługi naziemnej

Figure 4. Respondents' assessment of the professionalism, courtesy and communication skills of ground handling staff

Źródło: opracowanie własne na podstawie uzyskanych wyników badań

Source: own elaboration based on obtained research results

Ogólna ocena obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych przez pasażerów jest wyższa niż średnia ocen w poszczególnych kryteriach szczegółowych (tzw. efekt halo), co wskazuje na dominację impresji związanej z profesjonalizmem, uprzejmością i komunikatywnością pracowników obsługi naziemnej nad oceną elastyczności i zdolności dostosowania się do nieprzewidzianych sytuacji.



Rysunek 5. Ocena respondentów dotycząca wpływu działań obsługi naziemnej na opóźnienia lotów
Figure 5. Assessment of the impact of ground handling operations on flight delays according to respondents

Źródło: opracowanie własne na podstawie uzyskanych wyników badań
Source: own elaboration based on obtained research results

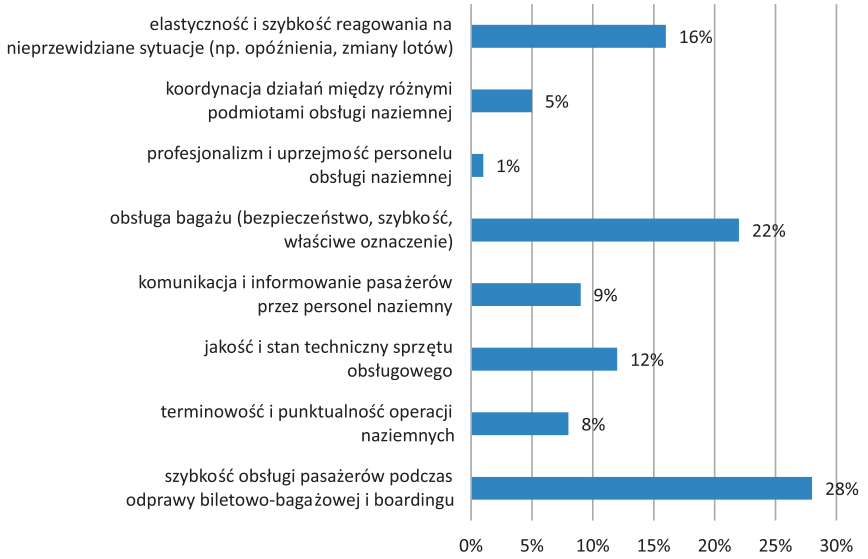
Podobny efekt zaobserwowano w globalnym badaniu pasażerów [IATA 2025], w którym ogólne zadowolenie z podróży lotniczych było wyższe od średnich ocen poszczególnych elementów obsługi. Najsłabiej oceniona została obsługa bagażu.

Respondenci wskazali następujące obszary świadczenia obsługi naziemnej wymagające zmian i usprawnień:

- szybkość obsługi pasażerów podczas odprawy biletowo-bagażowej i boardingu,
- terminowość i punktualność operacji naziemnych,
- jakość i stan techniczny sprzętu obsługowego,
- komunikacja i informowanie pasażerów przez personel naziemny,
- obsługa bagażu (bezpieczeństwo, szybkość, właściwe oznakowanie),
- profesjonalizm i uprzejmość personelu obsługi naziemnej,
- koordynacja działań między różnymi podmiotami obsługi naziemnej,
- elastyczność i szybkość reagowania na nieprzewidziane sytuacje (np. opóźnienia, zmiany lotów).

Na podstawie liczby wskazań zidentyfikowano trzy obszary wymagające najpilniejszych interwencji: szybkość obsługi pasażerów podczas odprawy biletowo-bagażowej i boardingu, obsługa bagażu oraz elastyczność i szybkość reagowania na nieprzewidziane sytuacje (rys. 6).

Najwięcej respondentów (28%) za obszar najpilniej wymagający zmian i ulepszeń uznało **szybkość obsługi pasażerów podczas odprawy biletowo-bagażowej i boardingu**. Jednocześnie 76% ankietowanych pozytywnie oceniło długość czasu wymaganego do realizacji kolejnych etapów przygotowania do podróży lotniczej w polskich portach lotniczych (kryterium szczegółowe 1), a 24% uznało, że szybkość obsługi podczas odprawy biletowo-bagażowej i boardingu wymaga pilnych usprawnień.



Rysunek 6. Ocena respondentów dotycząca ośmiu obszarów świadczenia obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych w kontekście pilności wprowadzenia zmian i ulepszeń

Figure 6. Assessment of eight areas of ground handling services at Polish airports in the context of the urgency of introducing changes and improvements according to respondents

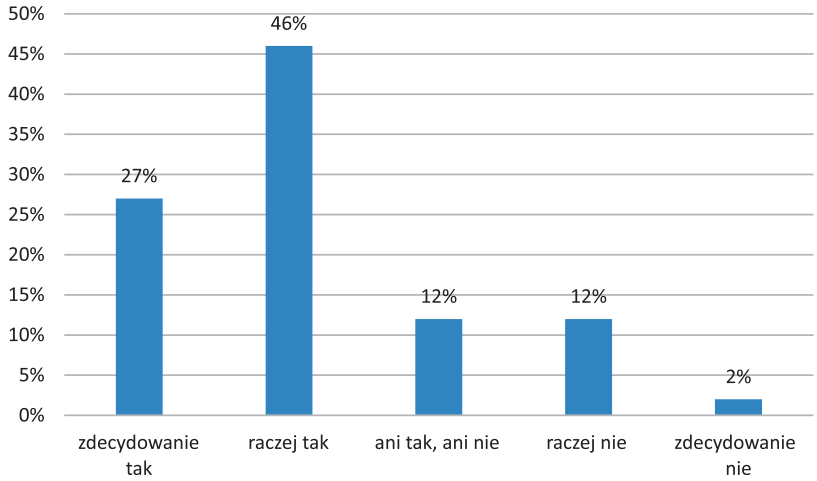
Źródło: opracowanie własne na podstawie uzyskanych wyników badań

Source: own elaboration based on obtained research results

Według IATA [2025] pożądany czas dotarcia pasażera do poczekalni przedodlotowej (gate) wynosi:

- mniej niż 30 minut dla 73% pasażerów podróżujących wyłącznie z bagażem podręcznym,
- mniej niż 45 minut dla 78% pasażerów podróżujących z bagażem podręcznym i rejestrowanym,
- mniej niż 60 minut dla 90% pasażerów wymagających świadczenia asysty w porcie lotniczym.

Uzyskane wyniki potwierdziły postawioną hipotezę główną. Ogólna pozytywna ocena obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych była wyższa od uzyskanej w globalnym badaniu satysfakcji pasażerów transportu lotniczego przeprowadzonym przez Międzynarodowe Zrzeszenie Przewoźników Powietrznych w 2025 roku. Jednocześnie zaobserwowano rozbieżność pomiędzy oceną ogólną a średnią ocen szczegółowych dla wybranych kryteriów świadczenia obsługi naziemnej, co może wynikać z tzw. efektu halo – pozytywne wrażenie ogólne zawyża ocenę szczegółów. Na podstawie uzyskanych wyników proponuje się podjęcie działań optymalizujących w takich obszarach jak: szybkość obsługi pasażerów podczas odprawy biletowo-bagażowej i boardingu, obsługa bagażu oraz elastyczność i szybkość reagowania na nieprzewidziane sytuacje. Jednym z możliwych rozwiązań jest automatyzacja procesów obsługi naziemnej w porcie lotniczym – jej wprowadzenie popiera 73% respondentów, z czego 27% „zdecydowanie popiera", a 46% „raczej popiera" (rys. 7).



Rysunek 7. Poparcie respondentów dla automatyzacji obsługi naziemnej w polskich portach lotniczych

Figure 7. Respondents' support for ground handling automation at Polish airports

Źródło: opracowanie własne na podstawie uzyskanych wyników badań

Source: own elaboration based on obtained research results

Obszary świadczenia obsługi naziemnej zidentyfikowane jako wymagające najpilniejszych zmian i ulepszeń stanowią przeszkodę w realizacji koncepcji „bezproblemowej podróży lotniczej". Podróżni doceniają technologie, które personalizują i usprawniają podróż, poprawiając ich ogólne samopoczucie podczas pobytu w porcie lotniczym. Najbardziej stresujące dla podróżnych momenty kontaktu występują przed wejściem na pokład, a poziom stresu spada po zakończeniu tej fazy podróży [Higgins 2024]. Za szczególnie stresujące etapy przygotowania i finalizacji podróży lotniczej w polskich portach lotniczych respondenci uznali: kontrolę bezpieczeństwa (37%), odbiór bagażu (20%) oraz odprawę biletowo-bagażową (19%). Należy tu zaznaczyć, że kontrola bezpieczeństwa nie wchodzi w zakres odpowiedzialności agentów obsługi naziemnej.

W przypadku kontynuacji badań dotyczących akceptacji automatyzacji obsługi naziemnej w porcie lotniczym warto umożliwić respondentom udzielenie odpowiedzi szczegółowych, np. w formie komentarzy. W badaniu ACI Europe [2024] dotyczącym wpływu cyfryzacji i automatyzacji na doświadczenia pasażerów wykazano, że 73% respondentów czuje się pewnie, korzystając z produktów i usług cyfrowych lub online. Analiza komentarzy ujawniła jednak dodatkowe opinie i doświadczenia, wskazujące na potrzebę wsparcia pasażerów przez personel, brak zaufania do technologii oraz ograniczony dostęp do usług niektórych grup podróżujących, w tym osób starszych i niekorzystających z narzędzi cyfrowych.

Wnioski

W efekcie realizacji założonej procedury badawczej potwierdzona została hipoteza główna. Przeszło 80% respondentów (tj. 120 badanych) wysoko oceniło obsługę naziemną w polskich portach lotniczych, przy czym w ramach ocen szczegółowych zidentyfikowane zostały obszary wymagające zmian i ulepszeń.

Badanie wykazało, że respondenci wyżej oceniają ogólną obsługę naziemna w polskich portach lotniczych w zakresie ogólnym niż jej cztery wybrane aspekty szczegółowe, takie jak: czas obsługi na kolejnych etapach przygotowania do podróży lotniczej, elastyczność i zdolność obsługi naziemnej do dostosowania się do nieprzewidzianych sytuacji, profesjonalizm, uprzejmość i komunikatywność pracowników oraz wpływ działań obsługi naziemnej na opóźnienia lotów.

Pomimo pozytywnej oceny czasu trwania obsługi respondenci uznali szybkość obsługi pasażerów podczas odprawy biletowo-bagażowej i boardingu za obszar wymagający najpilniejszych usprawnień. Kolejnymi obszarami wymagającymi zmian były: obsługa bagażu oraz elastyczność i szybkość reagowania na sytuacje nieprzewidziane.

Wyniki przeprowadzonego badania nie są statystycznie reprezentatywne dla populacji pasażerów polskich portów lotniczych. Ograniczeniem badania jest niewielka próba, jednak wnioski pilotażowe pozwalają wyznaczyć kierunek dalszych badań. Podczas ich kontynuacji zaleca się zastosowanie metody SERVQUAL w celu porównania oczekiwań pasażerów z ich rzeczywistymi doświadczeniami w zakresie obsługi naziemnej. Istotne jest także wyeliminowanie niepełnej reprezentatywności portów lotniczych w próbie oraz wprowadzenie randomizacji kolejności pytań w kwestionariuszu ankiety, co pozwoli uniknąć dopasowywania odpowiedzi szczegółowych do ogólnej oceny obsługi.

Bibliografia

Ahad A., Akram H., Inam M., 2021: The Impact of Human Resource Practices on Employee Job Satisfaction in Ground Handling Agencies of Pakistan, Jurnal Aplikasi Manajemen, Ekonomi dan Bisnis 6(1), 37–48, https://doi.org/10.51263/jameb.v6i1.138

Airports Council International Europe [ACI Europe], 2018: Guidelines for passenger services at European airports. The passenger at the heart of the airport business, https://www.aci-europe.org/downloads/resources/aci%20europe%20guidelines%20for%20passenger%20services%20at%20european%20airports.pdf [dostęp: 20.11.2025].

Airports Council International Europe [ACI Europe], 2024: ACI Europe Survey on the impact of digitalisation and automation on the passenger experience, https://www.aci-europe.org/downloads/resources/ACI%20%20EUROPE%20Survey%20on%20the%20impact%20of%20digitalisation%20and%20automation%20on%20the%20passenger%20experience%20-%20RESULTS.pdf [dostęp: 12.12.2025].

Çiçek I., 2024: The Sustainability Evaluation for Ground-handling Companies, Journal of the Faculty of Political Science 6(2), 482–507, https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/4370626

Dall'Olio G., Kolisch R., 2023: Formation and Routing of Worker Teams for Airport Ground Handling Operations: A Branch-and-Price-and-Check Approach, Transport Science 57(5), https://doi.org/10.1287/trsc.2022.0110

Durmaz V., Yazgan E., Yılmaz A.K., 2021: Ergonomic Risk Factors in Ground Handling Operations to Improve Corporate Performance, International Journal of Aviation Science and Technology 2(2), 82–90, DOI:10.23890/IJAST.vm02is02.0205

Dyrektywa Rady 96/67/WE, 1996: Dyrektywa Rady 96/67/WE z dnia 15 października 1996 r. w sprawie dostępu do rynku usług obsługi naziemnej w portach lotniczych Wspólnoty [Dz.U.UE.L.1996.272.36].

Fitouri-Trabelsi S., Mora-Camino F., Cosenza C.A.N., Weigang L., 2015: Integrated Decision Making for Ground Handling Management, Global Journal of Science Frontier Research: F, Mathematics and Decision Sciences 15(1), 17–31.

Gładyś S., Kwasiborska A., Postół J., 2022: Determination of the impact of disruptions in ground handling on aircraft fuel consumption, Transport Problems 17(2), 115–126, DOI: 10.20858/tp.2022.17.2.10

Hatipoğlu S., Ergül H., Kepti Y., 2025: Enhancing service quality in aviation: The critical role of ground handling services, Politeknik Dergisi 28(6), 1843–1851, DOI:10.2339/politeknik.1659840

Higgins G., 2024: ACI World's 2024 survey reveals growing demand for wellbeing, premium services, and sustainable travel, International Airport Review, https://www.internationalairportreview.com/news/232269/aci-worlds-2024-survey-reveals-growing-demand-for-wellbeing-premium-services-and-sustainable-travel/ [dostęp: 20.11.2025].

International Air Transport Association [IATA], 2025: IATA Global Passenger Survey, 2025 highlights, https://www.iata.org/en/publications/manuals/global-passenger-survey/ [dostęp: 20.10.2025].

International Civil Aviation Organization [ICAO], 2019: Manual on Ground Handling (Doc 10121).

Kobaszyńska-Twardowska A., Wantuła M., 2023: Hazard identification at airport ground handling locations, WUT Journal of Transportation Engineering 136, 49–60, DOI: 10.5604/01.3001.0053.4050

Kozłowski M., Kruk A., Stelmach A., 2018: Identyfikacja struktury krytycznych punktów procesu obsługi naziemnej samolotu, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport 122, 49–62.

Kwasiborska A., 2016: Proces obsługi pasażerów w porcie lotniczym, Studia Oeconomica Posnaniensia 4(7), 91–111, DOI:10.18559/SOEP.2016.7.5

Rozporządzenie MTBiGM, 2013: Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 19 listopada 2013 r. w sprawie obsługi naziemnej w portach lotniczych [Dz.U. 2013, poz. 1685, z późn. zm.].

Sari M., Wan Mohamed M.W., Ayu Jalil S., 2021: Conceptual model for the implementation of electric ground support equipment in ground handling activities in Indonesia, International Journal of the Analytic Hierarchy Process 13(1), 170–182, https://doi.org/10.13033/ijahp.v13i1.825

Skorupski J., Grabarek I., Kwasiborska A., Czyżo S., 2020: Assessing the suitability of airport ground handling agents, Journal of Air Transport Management 83, 101763, https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101763

Szabo S., Pilát M., Makó S., Korba P., Ci˘cváková M., Kmec L., 2022: Increasing the Efficiency of Aircraft Ground Handling – A Case Study, Aerospace 9(2), https://doi.org/10.3390/aerospace9010002

Tabares D.A., Mora-Camino F., Drouin A., 2021: A multi-time scale management structure for airport ground handling automation, Journal of Air Transport Management 90, 101959, https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101959

Türeli N.S., Durmaz V., Bahçecik Y.S., Akay S.S., 2019: An Analysis of Importance of Innovatice Behaviors of Ground Handling Human Resources in Ensuring Customer Satisfaction, Procedia Computer Science 158, 1077–1087, DOI: 10.1016/j.procs.2019.09.149

Uchroński P., 2020: Analysis of the operation of the ground handling agent in the aspect of safety, Journal of KONBiN 50(1), 319–339, DOI: 10.2478/jok-2020-0019

Urząd Lotnictwa Cywilnego [ULC], 2025a: Rejestr Lotnisk Cywilnych, https://ulc.gov.pl/_download/lotniska/rejestr/Rejestr_Lotnisk_Cywilnych_22.12.2025.pdf [dostęp: 03.01.2026].

Urząd Lotnictwa Cywilnego [ULC], 2025b: Liczba obsłużonych pasażerów oraz wykonanych operacji w ruchu krajowym i międzynarodowym – regularnym i czarterowym w latach 2023–2025. Pierwszy kwartał 2025, https://ulc.gov.pl/statystyki-analizy/statystyki-wg-portow-lotniczych [dostęp: 03.01.2026].

Vagner J., Jenčová E., Szabo S., 2018: Optimization of the Aircraft Ground Handling Process, RepTudKoz 30(2), 131–138.

Wilczyńska-Strawa A., 2017: Podstawowa terminologia i typologia w zakresie obsługi naziemnej dla potrzeb zarządzania w porcie lotniczym, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, Seria: Administracja i Zarządzanie 42(115), 63–73.

Zagrajek P., Hoszman A., 2018: Impact of ground handling on Air Traffic Volatility, Journal of Management and Financial Sciences 33, 147–155, https://doi.org/10.33119/JMFS.2018.33.8

ISSN 2450-8055