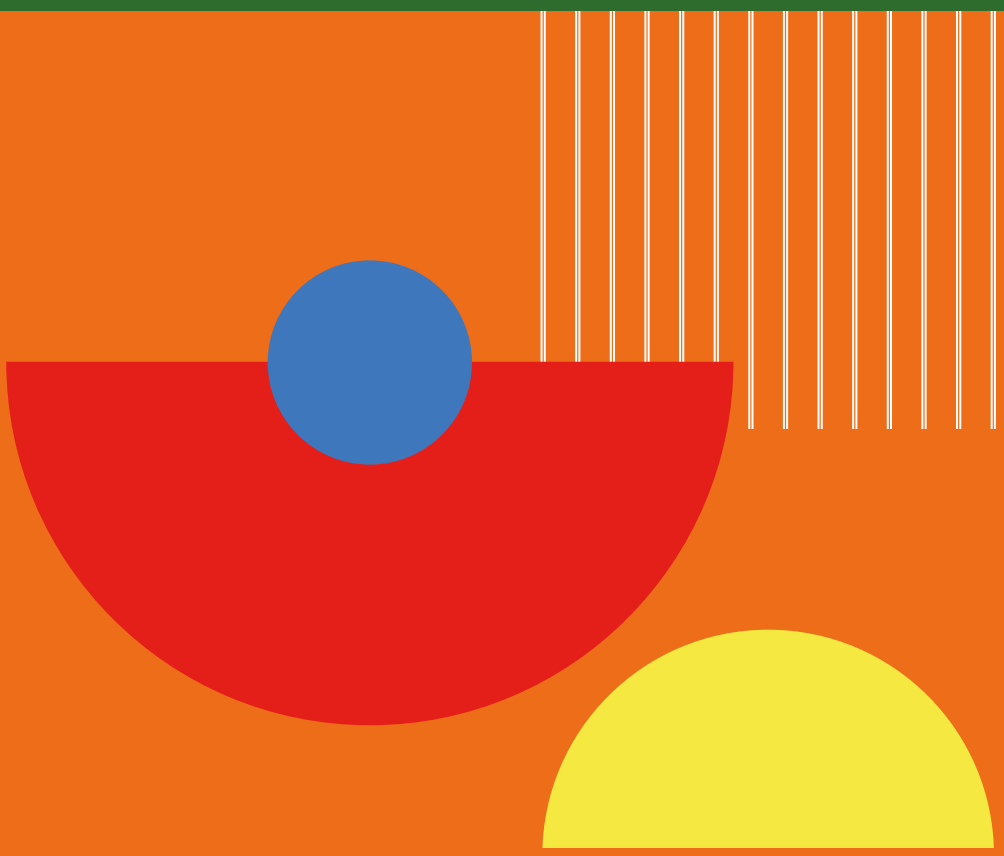
nr 2(43)/2026
e-ISSN 2391-5129

Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie

Czasopismo naukowe o problemach współczesnego zarządzania



Akademia Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi

Redakcja czasopisma
dr hab. prof. nadzw. Zenon Ślusarczyk
dr inż. Jerzy Janczewski

Rada Programowa
prof. dr hab. Czesław Sikorski (Uniwersytet Łódzki)
dr hab. Edward Stawasz, prof. UŁ (Uniwersytet Łódzki)
dr hab. Tomasz Zalega, prof. UW (Uniwersytet Warszawski)
dr Yuriy Alexandrovich Chepurko (Kubański Uniwersytet Państwowy w Krasnodarze)
dr hab. Wasyl Marczuk, prof. nadzw. (Narodowy Uniwersytet Przykarpacki im. Wasyla Stefanyka w Iwano-Frankowsku)
doc. dr Nadiya Dubrovina, prof. nadzw. (Uniwersytet Ekonomiczny w Bratysławie)
dr Erika Neubauerova, prof. nadzw. (Uniwersytet Ekonomiczny w Bratysławie)
doc. dr Tetyana Nestorenko, prof. nadzw. (Berdiański Państwowy Uniwersytet Pedagogiczny, Berdiańsk)
dr Anurag Hazarika (21st Century Open University, USA and Global Interfaith University, USA)

Redaktor naukowy numeru
dr inż. Jerzy Janczewski

Redaktorzy językowi
Iwona Cłapińska (język polski)
Michael Fleming (język angielski)

Recenzenci
Lista recenzentów publikowana jest na stronie internetowej czasopisma
https://ojs.ahe.lodz.pl/index.php/ziwgib/editorial-team

Redakcja „Zarządzania Innowacyjnego w Gospodarce i Biznesie”
Akademia Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi
90-212 Łódź, ul. Sterlinga 26
e-mail: ziwgib@ahe.lodz.pl
www.ziwgib.ahe.lodz.pl

© Copyright by Akademia Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi
Łódź 2026

e-ISSN 2391-5129

Czasmopismo naukowe punktowane przez MNiSW,
obecne jest w bazach: Pol-index, BazEcon i BazHum, DOAJ,
EBSCO, ERIH Plus, ICI Journal Master List, Biblioteka Nauki.

Skład DTP
Monika Poradecka

Wydawnictwo Akademii Humanistyczno-Ekonomicznej w Łodzi
90-212 Łódź, ul. Sterlinga 26
tel. 42 63 15 908
wydawnictwo@ahe.lodz.pl
www.wydawnictwo.ahe.lodz.pl

Spis treści

Wprowadzenie 7

CZĘŚĆ I. ZARZĄDZANIE ORGANIZACJAMI

Iryna Babets
Determinants of Poland's economic growth in the context of inbound tourism: Linear regression modelling 10

Bartosz Rzętkiewicz
Problem jakości wiedzy generowanej przez AI w decyzjach menedżerskich 27

Gabriel Kagankiewicz, Wiktoria Urbańska
Zarządzanie bezpieczeństwem informacji w instytucjach publicznych 56

Roksana Sztajnkowska, Natalia Milczarczyk
Zakład karny jako organizacja publiczna – wyzwania nowoczesnego zarządzania 72

Kacper Minda, Sebastian Seliga
Innowacyjne podejście do zarządzania bezpieczeństwem państwa w walce z terroryzmem 88

Łukasz Żoczek, Arkadiusz Kocot, Klaudiusz Grübel
Efektywność ekonomiczna branży wodociągowo-kanalizacyjnej w aspekcie zrównoważonego rozwoju 98

Krzysztof Rabiej
The use of artificial intelligence in business management 116

CZĘŚĆ II. LOGISTYKA I ZARZĄDZANIE TRANSPORTEM

Jan Fudali

Optimizing cargo space utilization in road transport with non time-dependent constraints 128

Damian Kociemba

Practical implementation of an AI model (Ministral 3B) in the logistics of dangerous goods 138

Contents

Introduction 7

PART I. ORGANIZATIONS MANAGEMENT

Iryna Babets
Determinants of Poland's economic growth in the context of inbound tourism: Linear regression modelling 10

Bartosz Rzętkiewicz
The problem of the quality of AI-generated knowledge in managerial decision-making 27

Gabriel Kagankiewicz, Wiktoria Urbańska
Information security management in public institutions 56

Roksana Sztajnkowska, Natalia Milczarczyk
Prison as a public organization: Challenges of modern management 72

Kacper Minda, Sebastian Seliga
An innovative approach to state security management in the fight against terrorism 88

Łukasz Żoczek, Arkadiusz Kocot, Klaudiusz Grübel
Economic efficiency of the water supply and sewerage industry in the context of sustainable development 98

Krzysztof Rabiej
The use of artificial intelligence in business management 116

PART II. LOGISTICS AND TRANSPORT MANAGEMENT

Jan Fudali

Optimizing cargo space utilization in road transport with non time-dependent constraints 128

Damian Kociemba

Practical implementation of an AI model (Ministral 3B) in the logistics of dangerous goods 138

Wprowadzenie

Oddawany do rąk Czytelników numer 2(43)/2026 czasopisma „Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie" poświęcony został problematyce współczesnych wyzwań zarządzania organizacjami, gospodarką i systemami transportowymi w warunkach postępującej cyfryzacji, rosnącej niepewności otoczenia oraz dynamicznych przemian technologicznych. Zmiany zachodzące we współczesnej gospodarce wymagają poszukiwania nowych modeli zarządzania, wdrażania innowacyjnych rozwiązań organizacyjnych oraz wykorzystywania narzędzi opartych na danych i sztucznej inteligencji. Prezentowane w niniejszym numerze artykuły wpisują się w te aktualne kierunki badań, łącząc perspektywę teoretyczną z praktycznymi aspektami funkcjonowania organizacji i systemów społeczno-gospodarczych.

Pierwsza część numeru, zatytułowana *Zarządzanie organizacjami*, obejmuje szeroki zakres zagadnień związanych z funkcjonowaniem przedsiębiorstw, instytucji publicznych oraz współczesnych systemów zarządzania. Autorzy podejmują problematykę determinant wzrostu gospodarczego Polski w kontekście turystyki przyjazdowej, wskazując na znaczenie jakościowego podejścia do polityki turystycznej i wpływu migracji na gospodarkę. Istotne miejsce zajmują również rozważania dotyczące wykorzystania sztucznej inteligencji w procesach decyzyjnych oraz zarządzaniu przedsiębiorstwem. Szczególna uwaga została poświęcona jakości wiedzy generowanej przez systemy AI, konieczności nadzoru człowieka nad procesami decyzyjnymi oraz rosnącej roli menedżera jako krytycznego interpretatora wyników generowanych przez inteligentne systemy. W numerze znalazły się także opracowania na temat bezpieczeństwa informacji w instytucjach publicznych, nowoczesnego zarządzania jednostkami penitencjarnymi oraz innowacyjnych metod zarządzania bezpieczeństwem państwa w warunkach zagrożeń terrorystycznych i postępującej cyfryzacji. Problematyka bezpieczeństwa została ukazana w ujęciu systemowym. Podkreślono znaczenie współpracy międzyinstytucjonalnej, odporności organizacyjnej oraz wykorzystania nowych technologii. Na uwagę zasługują również artykuły dotyczące efektywności ekonomicznej sektora wodociągowo-kanalizacyjnego w kontekście zrównoważonego rozwoju oraz roli social commerce w budowaniu przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstw funkcjonujących na rynkach cyfrowych. Autorzy wskazują, że współcze-

sna konkurencyjność coraz częściej opiera się na integracji aspektów technologicznych, społecznych i środowiskowych.

Druga część numeru, zatytułowana *Logistyka i zarządzanie transportem*, koncentruje się na problemach optymalizacji procesów transportowych oraz wykorzystania sztucznej inteligencji w logistyce. Zaprezentowane badania dotyczą zarówno efektywnego wykorzystania przestrzeni ładunkowej w transporcie drogowym, jak i praktycznych możliwości zastosowania lokalnych modeli językowych wspieranych architekturą RAG w logistyce towarów niebezpiecznych. Wyniki tych badań potwierdzają rosnące znaczenie zaawansowanych narzędzi analitycznych i algorytmicznych w procesach podejmowania decyzji logistycznych.

Artykuły opublikowane w niniejszym numerze ukazują interdyscyplinarny charakter współczesnych badań nad zarządzaniem, gospodarką i transportem. Łączą one perspektywę ekonomiczną, organizacyjną, technologiczną i społeczną, wskazując jednocześnie kierunki dalszych badań oraz praktyczne możliwości wdrażania innowacyjnych rozwiązań.

Wyrażamy nadzieję, że prezentowany 43. numer stanie się inspiracją do dalszych badań naukowych, wymiany doświadczeń oraz poszukiwania nowych rozwiązań odpowiadających na wyzwania współczesnej gospodarki i zarządzania.

Zenon Ślusarczyk
Jerzy Janczewski

Ten utwór jest dostępny na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe.



Open Access

CZĘŚĆ I
ZARZĄDZANIE ORGANIZACJAMI

Iryna Babets https://orcid.org/0000-0003-0635-9375
Central Ukrainian National Technical University
e-mail: irina.babets@ukr.net

Determinants of Poland's economic growth in the context of inbound tourism: Linear regression modelling

Determinanty wzrostu gospodarczego Polski w kontekście turystyki przyjazdowej – modelowanie regresji liniowej

https://doi.org/10.25312/ziwgib.901

Abstract

This article evaluates the impact of international tourism and migration flows on key macroeconomic aggregates and the labour market in Poland, with a specific focus on identifying structural differences based on the country of origin and visitor profiles.

The empirical analysis is based on econometric modelling and multiple regression analysis using aggregated macroeconomic data for the period 2010–2024. The results reveal a significant structural asymmetry in the impact of migration and tourism streams. A 1% increase in overnight stays and tourist expenditure leads to a GDP increase of 1.19% and 0.798%, respectively, while simultaneously boosting employment in the HoReCa sector (Hotel, Restaurant, Café/Catering). Conversely, a 1% increase in the total number of arrivals results in a 1.66% decline in GDP. Highly positive economic impacts are driven by long-term arrivals from Ukraine (labour migration) and premium/business travellers from the UK. In contrast, cross-border and transit flows from Belarus and Russia show negligible or negative elasticities due to low-margin shopping profiles and geopolitical barriers. The findings suggest that Poland's tourism policy should shift from quantitative growth (volume of arrivals) to qualitative stimulation (length of stay and expenditure).

Strategic support should target premium, business, medical, and MICE tourism (Meetings, Incentives, Conferences, and Exhibitions tourism) segments to maximize the economic multiplier effect.

Keywords: HoReCa sector, international migration, econometric modelling, GDP, Poland, international tourism

Streszczenie

Celem artykułu jest ocena wpływu międzynarodowego ruchu turystycznego i migracyjnego na kluczowe agregaty makroekonomiczne oraz rynek pracy w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem identyfikacji strukturalnych różnic wynikających z kraju pochodzenia i profilu odwiedzających. Analiza empiryczna została przeprowadzona z wykorzystaniem modelowania ekonometrycznego oraz wielorakiej analizy regresji na podstawie zagregowanych danych makroekonomicznych z lat 2010–2024. Wyniki estymacji dowodzą strukturalnej asymetrii wpływu strumieni migracyjnych i turystycznych. Wzrost liczby noclegów i wydatków turystów o 1% generuje wzrost PKB odpowiednio o 1,19% i 0,798%, stymulując jednocześnie zatrudnienie w sektorze HoReCa. Z kolei wzrost ogólnej liczby przyjazdów o 1% skutkuje spadkiem PKB o 1,66%. Silnie dodatni wpływ wykazują napływy długookresowe z Ukrainy (migracja zarobkowa) oraz segment premium/biznes z Wielkiej Brytanii. Strumienie przygraniczne i tranzytowe z Białorusi i Rosji wykazują elastyczność znikomą lub ujemną ze względu na niskomarżowy charakter zakupów i bariery geopolityczne. Wyniki sugerują konieczność reorientacji polityki turystycznej Polski z podejścia ilościowego (liczba przyjazdów) na ujęcie jakościowe (długość pobytu i wielkość wydatków). Wsparcie strategiczne powinno koncentrować się na turystyce premium, biznesowej, medycznej oraz sektorze MICE w celu maksymalizacji efektu mnożnikowego.

Słowa kluczowe: sektor HoReCa, migracje międzynarodowe, modelowanie ekonometryczne, PKB, Polska, turystyka międzynarodowa

Introduction

The contemporary global economy is characterized by dynamic shifts, in which the service sector plays an increasingly vital role as a catalyst for economic growth. One of the key components of this expansion, particularly in Central and Eastern European countries, is inbound tourism. In Poland, this sector has undergone a profound transformation over recent decades, evolving into a significant source of foreign exchange reserves, a generator of employment, and a driving force behind national infrastructure development. According to UN tourism data, the number of international arrivals reached approximately 1.52 billion in 2025, representing an increase of nearly 60 million compared to the previous year (*The UN Tourism Data Dashboard. International Tourist Arrivals*, 2026). These results

confirm the sustained high demand for tourism and a return to pre-pandemic growth trends. In Poland, 2025 proved to be another record-breaking year for the tourism industry. Between January and November 2025, 39.6 million tourists utilized tourist accommodation establishments, representing a 9.9% increase compared to the corresponding period of 2024 (*Rekordowe wyniki polskiej turystyki w 2025 roku – branża turystyczna rośnie szybciej niż polskie PKB*, 2026). The number of domestic tourists grew by 9.3%, while the number of international tourists expanded by 12% (*Rekordowe wyniki polskiej turystyki w 2025 roku – branża turystyczna rośnie szybciej niż polskie PKB*, 2026).

According to the UNWTO (*International Tourism Highlights, 2024 Edition*, 2024), inbound tourism significantly contributes to economic development by providing foreign currency inflows and stimulating job creation. The influx of foreign tourists generates direct demand for transport, housing and public services, which, due to multiplier effects, leads to an increase in production in other sectors of the national economy. Therefore, understanding the relationship between the arrival of foreign tourists and the dynamics of key macroeconomic indicators is crucial for effective planning of the country's economic and tourism policy.

The importance of inbound tourism for the development of the national economy: Theoretical provisions and empirical evidence

The study of the relationship between tourism development and economic growth is an important issue in modern academic literature. The theoretical basis of the hypothesis regarding the positive impact of tourism on economic growth is most often the theory of endogenous growth, according to which trade liberalization promotes economic growth by facilitating transactions with goods and services, increasing the efficiency of investments and providing positive externalities for firms (Rivera-Batiz, Romer, 1991). The strengthening of the impact of inbound tourism on the national economy occurs as a result of the growth of the size of the tourism market (Habibi, Rahmati, Karimi, 2018), which is explained by the theory of economic growth in terms of the impact of international tourism activity on GDP. The theory of economic growth is directly related to the concept of export-led growth, which explains economic growth through determinants such as human resources employed, new technologies, and increased foreign exchange earnings (Rivera, 2017). Tourism has direct, indirect, and induced effects on the economy, increasing jobs, foreign exchange earnings, and national income (Perles-Ribes et al., 2017). Confirmation of the relationship between economic growth and the development of the tourism sector was obtained by Antonios Adamopoulos and Eleftherios Thalassinos as a result of econometric modelling based on statistical data for the six largest industrialized countries (Canada, France, Germany, Italy, Great Britain and the USA), which are also considered the most attractive tourist destinations. Adamopoulos and Thalassinos argue that "[t]ourism development has greater positive and direct effect on economic growth for Canada, Italy, UK and USA; travel services have a positive indirect effect on economic

growth through tourist arrivals for Canada, Italy and USA" (Adamopoulos, Thalassinos, 2020).

Alex Acheampong et al. examined the impact of inbound tourism on inclusive growth using data for 154 countries from 2000 to 2020 and found that foreign tourist arrivals and the spending they make in the host country are directly related to inclusive growth (Acheampong, Opoku, Koomson, 2025). Anyu Liu and Doris Chenguang Wu confirmed the impact of tourism productivity on economic growth in Spain (Liu, Wu, 2019). Rauniyar Ashish Kumar proved that inbound tourism stimulated short-term and long-term economic growth in Nepal and also confirmed the long-term one-way Granger causality from tourism to economic growth (Kumar, 2019).

Aleksandra Milczarek, considering the economic significance of tourism, emphasizes the importance of tourism potential: countries that are largely dependent on tourism and foreign travellers (Malta, Croatia, Spain, Greece, Cyprus, Portugal) have higher employment in tourism and a larger share of tourism in GDP than other EU countries (Milczarek, 2017). Anna Semmerling explains the dependence of a country's GDP on income from the sale of tourism services by the fact that tourism enterprises form a service chain, and cash receipts from tourists are redistributed, circulating throughout the economy, creating a financial effect at all phases of economic turnover (Semmerling, 2017: 9–10).

Academic publications provide arguments to confirm the relationship between the development of inbound tourism and the dynamics of economic growth. Inbound tourism is an important export sector, providing the necessary foreign exchange reserves, stimulating investment in infrastructure and contributing to increased employment in countries that have tourism potential and effectively use it. Empirical studies confirm that foreign tourist spending generates a direct increase in income in the service sector, which, through the multiplier mechanism, is transformed into an increase in aggregate demand and GDP.

The state of research on inbound tourism and its impact on the Polish economy

Significant interest of researchers is focused on studying the dynamics of inbound tourism, analysing economic, technological and informational factors of the development of tourist services in Poland (Rowiński et al., 2023). Ewa Bąk-Filipek, Gábor Szalkai and Katarzyna Podhorodecka studied inbound tourism during the COVID-19 pandemic in Poland according to the main indicators (number of foreign tourist arrivals, structure of inbound tourism by purpose of trip and duration of stay of tourists, average tourist spending) and concluded that the waves of pandemic exacerbation had a significant impact on the dynamics of tourist flows and structural changes in the services provided (Bąk-Filipek, Szalkai, Podhorodecka, 2022).

Using the relationship between the WEF composite Travel & Tourism infrastructure score and the sector's direct contribution to GDP, Beata Będzik and Sylwia Gołąb found that Poland's position is below the EU average (Będzik, Gołąb, 2020). To study the relationship between active foreign tourism revenues and foreign visitors in the V4 countries

in 2009–2015, Daniela Matušíková et al calculated the Pearson correlation coefficient for each of the four countries separately and confirmed a positive relationship between active tourism revenues and the number of foreign visitors in Slovakia, the Czech Republic and Poland. (Matušíkova, Šambronská, Żegleń, 2020).

An important direction of research into the impact of tourism on the Polish economy is the analysis of the relevant processes in metropolitan areas that have become attractive tourist destinations. Thus, according to estimates by Maciej Dębski et al., the contribution of inbound tourism to Warsaw's GDP, which consists of the added value generated by visitors' consumption, supplemented by net indirect taxes on this consumption, in 2019 amounted to approximately 2.0% of Warsaw's GDP (Dębski et al., 2021: 53–54). According to a study conducted by Zygmunt Kruczek and Leszek Mazanek, in 2018 the GDP generated by the tourism industry in Krakow amounted to more than 8% of the city's total GDP (Kruczek, Mazanek, 2019).

As the analysis of academic literature has shown, scholars recognize the significant role of inbound tourism in Poland's economic growth. However, these conclusions are mainly based on the study of the structural and dynamic characteristics of the tourism industry and GDP. At the same time, the relationship between the indicators characterizing inbound tourism and economic growth remains insufficiently studied. Despite a significant number of publications devoted to the role of tourism in the Polish economy, there are no studies of the relationship between tourism and economic growth using econometric tools, in particular regression models, which allow separating the actual impact of tourism on economic growth from general macroeconomic trends.

This article aims to identify and analyse the determinants of economic growth in Poland that are related to inbound tourism. The main research tool is linear regression modelling, which allows quantifying the impact of tourism variables on macroeconomic indicators.

Methodology for studying the impact of inbound tourism on the Polish economy

To build econometric models that will allow assessing the impact of inbound tourism on the Polish economy, the linear multiple regression method was used. The list of variables characterizing economic development includes GDP; income of enterprises in the field of services related to servicing tourists; number of employees in enterprises in the field of accommodation and catering, culture, entertainment and recreation (tab. 1).

Tab. 1. Indicators characterizing economic growth and development of tourism-related economic sectors

	GDP, in mln PLN	Total revenues in accommodation and food service enterprises, in mln PLN	Total revenues in activities related to arts, entertainment and recreation, in mln PLN	Revenues from catering activities, in mln PLN	Employed persons, in thousands	
					Accommodation and catering	Arts, entertainment and recreation
2010	1434368	8294,723	12046,14	12964,89	243,2	149,1
2011	1528127	9438,996	12136,77	13649,27	237,5	153,3
2012	1595225	9761,300	11534,95	14719,95	246,4	147,0
2013	1656341	9714,978	11050,98	15617,25	244,7	140,0
2014	1719097	10322,360	10082,89	17111,89	248,7	144,9
2015	1809564	11417,330	10621,90	19177,59	252,3	146,1
2016	1858637	12468,020	11669,46	22187,76	270,6	150,6
2017	1989351	14033,880	14254,90	24285,73	291,4	154,2
2018	2115242	14947,800	15552,56	26026,72	295,9	157,3
2019	2288492	16676,360	23277,82	30017,10	307,3	160,7
2020	2362909	11952,960	26734,81	19809,45	290,1	155,3
2021	2623948	15733,130	39952,89	27620,21	269,8	153,8
2022	3067495	22009,020	58831,32	39147,78	321,0	166,3
2023	3415274	26707,580	73917,55	47275,29	320,6	169,3
2024	3653432	30019,580	–	52679,19	325,9	172,5

Source: compiled based on data from the Central Statistical Office of Poland (*Przychody z działalności gastronomicznej*, 2024; *Wyniki finansowe wg sekcji PKD 2007,* 2024; *Roczniki Statystyczne Rzeczypospolitej Polskiej*, 2025).

Variables characterizing inbound tourism include: spending by foreigners during travel; the number of foreign tourists who stayed overnight in accommodation establishments; the total number of foreigners and the number of citizens of Belarus, Germany, Great Britain, Russia and Ukraine who visited Poland (tab. 2).

Tab. 2. Indicators characterizing foreign tourism in Poland

	Expenses of foreigners, bln PLN	Foreign tourists accommodated in tourist accommodation establishments, in thousands	Total arrivals of foreigners to Poland, in thousands	Arrivals of foreigners to Poland by citizenship, thousands				
				Belarus	Germany	Russia	Great Britain	Ukraine
2010	26,7	10064,630	8912,6	2650,8	168,4	792,1	294,4	4307,1
2011	25,7	10620,260	10763,9	3145,2	165,2	1092,8	321,2	5218,5
2012	28,9	11876,600	12469,0	3342,4	185,3	1506,9	341,9	6108,0
2013	32,1	12471,270	14123,4	3306,1	164,3	2123,7	402,5	7132,7
2014	43,1	12992,240	14863,0	3352,5	132,9	2038,0	455,1	7897,5
2015	51,0	13757,660	15890,5	3041,1	142,0	1642,0	562,3	9492,9
2016	54,7	15579,230	16942,2	3097,5	192,2	1418,6	675,3	10136,6
2017	56,7	16705,220	18257,8	3632,6	195,2	1578,7	809,0	10328,7
2018	58,3	17742,650	18049,1	3480,4	241,0	1436,1	898,2	9963,6
2019	61,0	18683,580	18619,4	3370,1	242,1	1470,9	1024,1	10408,2
2020	27,4	6622,952	6189,0	1114,0	61,9	346,6	321,8	3762,9
2021	28,6	7165,013	6457,4	865,3	96,7	167,9	206,6	4294,1
2022	44,8	14759,250	13668,0	1435,1	150,3	156,4	656,1	9594,9
2023	53,4	17010,910	14019,8	1275,8	224,3	236,0	925,3	9519,8
2024	56,9	18392,030	13791,7	1199,9	262,0	309,0	979,2	9226,6

Source: compiled based on data from the Central Statistical Office of Poland (*Turystyka w 2024*, 2024; *Turyści zagraniczni w turystycznych obiektach noclegowych*, 2024; *Roczniki Statystyczne Rzeczypospolitej Polskiej*, 2025).

In order to test the impact of inbound tourism on the Polish economy, models were constructed that are described by the following relationship:

$$Econ = a_0 + a_1 Accom_FT + a_2 Arrivals_F + a_3 Exp_F + \varepsilon_{1t},$$

where *Econ* denotes the dependent variable, for which indicators characterizing the Polish economy are alternately utilized (*GDP* – Poland's gross domestic product, *Reven_Accom* – total revenues in accommodation and catering, *Reven_AER* – total revenues in enterprises engaged in activities related to arts, entertainment and recreation; *Reven_Catering* – revenues from catering activities; *Empl_Accom* – employed persons in accommodation and catering enterprises Employment in accommodation and catering enterprises; *Empl_AER* – employed persons in arts, entertainment and recreation enterprises); *Accom_FT* – accommodation provided to foreign tourists in accommodation facilities; *Arrivals_F* – total arrivals of foreigners to Poland; *Exp_F* – expenses of foreigners.

Additionally, the relationship between economic indicators (GDP, income of enterprises whose activities are related to serving foreigners, employment in the sectors providing accommodation and catering services, and related to culture and entertainment) and the number of arrivals of foreigners to Poland by citizenship was modelled:

$$Econ = b_0 + b_1 Arriv_{Bel} + b_2 Arriv_{Germ} + b_3 Arriv_{GB} + b_4 Arriv_{Rus} + b_5 Arriv_{Ukr} + \varepsilon_{2t}.$$

The number of arrivals of foreign citizens from those countries from which tourist flows were the largest was used as independent variables in this model: *Arriv_Bel* – tourists from Belarus; *Arriv_Germ* – tourists from Germany; *Arriv_GB* – tourists from Great Britain; *Arriv_Rus* – tourists from Russia; *Arriv_Ukr* – tourists from Ukraine.

All raw statistical data obtained from the Central Statistical Office were transformed using the natural logarithm, which ensured statistical correctness and linear interpretability of the regression model. The estimation of the regression model parameters and the verification of the models' goodness-of-fit were conducted using Statistica software.

Results of the assessment of the impact of foreign tourists on the Polish economy

The regression analysis confirmed the significant impact of inbound tourism indicators on the Polish economy, as evidenced by three models of this dependence, shown in table 3. According to the first model, in 2010–2024, Poland's GDP directly depended on the change in the number of foreign tourists who spent the night in the relevant tourist facilities and on the expenses that foreign tourists made during the trip: with an increase in each of these independent variables by 1%, the dependent variable increased by 1.19% and 0.798%, respectively, with other constant conditions. At the same time, an inverse relationship was found between GDP and the number of foreigners who visited Poland: with an increase in the independent variable by 1%, the dependent variable decreased by 1.66%, with other constant conditions. Two other models characterizing the impact of inbound tourism on the income of enterprises whose activities are related to tourist accommodation and gastronomy also showed a positive impact of overnight stays of foreign tourists and their expenses on the income of these enterprises, while the number of foreigners arriving in Poland had a negative impact. The reliability of the obtained models is confirmed by high values of the correlation and determination coefficients, a low level of statistical error in the calculation of the parameters of linear equations and the absence of autocorrelation. The calculated F-statistics (Fisher's criterion values) for all models exceed the critical (tabular) values, which indicates the statistical significance of the relationship between the dependent and independent variables.

Tab. 3. Results of regression analyses of foreign nationals in the Polish economy in 2010–2024

Factor features	Dependent variable		
	GDP	***Reven_Accom***	***Reven_Catering***
Number of observations	15	15	15
Intercept	16,05*** (1,701)	8,045*** (1,961)	9,186*** (2,114)
Accom_FT	1,190** (0,417)	1,9*** (0,481)	1,839*** (0,518)
Arrivals_F	-1,663*** (0,320)	-2,086*** (0,369)	-2,211*** (0,397)
Exp_F	0,798*** (0,248)	0,866** (0,285)	1,174*** (0,308)
DW	0,996	1,081	1,038
R	0,889	0,916	0,924
R2	0,791	0,840	0,854
F-statistics	F(3,11)=13,860	F(3,11)=19,287	F(3,11)=21,587

* statistical error rate (p-level) ≤10%;

** statistical error rate (p-level) ≤5%;

*** statistical error rate (p-level) ≤1%.

Source: calculated by the author.

The negative sign associated with the number of foreign visitors, coupled with the positive signs for overnight stays and expenditures, provides evidence of an inefficient structure within a segment of migration and tourism flows. The total number of foreigners encompasses every individual crossing the border – including cross-border workers, transit travellers, short-term visitors staying for only a few hours without an overnight stay, as well as economic migrants. If this particular group expands at the fastest rate, it imposes real costs on the state infrastructure (burdening roads, transport networks, border services, and the environment) without leaving a financial equivalent in the economy in the form of paid hotel accommodations or gastronomic services. Interpreting this situation within a migration context points to the potential occurrence of a substitution effect in the labour market. Consequently, it can be inferred that the Polish economy does not benefit from the mere "fact of the physical presence" of a foreigner, but rather from the duration of their stay and their propensity to consume. It is the quality and value added of the tourism stream that matter, rather than its volume.

The regression analysis revealed no statistically significant relationship between the income of cultural, entertainment, and recreational enterprises and either the number of international tourists or their travel expenditures. The lack of a statistically significant relationship between the income of enterprises in the culture, entertainment, and recreation sector and the variables describing the influx and expenditures of international tourists indicates a distinct economic profile of this industry compared to the accommodation and food services sector (HoReCa). This empirical finding allows for the conclusion that the financial condition of cultural and recreational entities in Poland is primarily determined by domestic demand and – in the case

of public institutions – by a system of non-market subsidies. Despite its documented strong impact on the HoReCa sector and GDP in previous models, international tourism does not constitute a direct macroeconomic driver of revenue for the culture and recreation enterprises as a whole. This may stem from language barriers within the offered services, as well as the marginal share of cultural expenditures in the structure of travellers' budgets.

The regression analysis allowed for the construction of two models confirming a direct dependence of employment in sectors related to tourism services on both the number of international tourists utilizing accommodation and international tourist travel expenditures, as well as an inverse relationship with the total number of foreigners arriving in Poland (tab. 4). Thus, with a 1% increase in the number of international tourists utilizing accommodation and a 1% increase in international tourist expenditures, the number of employees in enterprises providing accommodation and catering services increased by 0.408% and 0.323%, respectively. Concurrently, a 1% increase in the number of foreigners arriving in Poland caused a decrease in the number of employees in this service sector.

Tab.4. Results of regression analysis of the impact of foreign arrivals on the number of people employed in the service sector in Poland in 2010–2024

Factor features	**Dependent variable**	
	Empl_Accom	***Empl_AER***
Number of observations	15	15
Intercept	5,582*** (0,636)	4,334*** (0,224)
Accom_FT	0,408** (0,156)	0,452*** (0,065)
Arrivals_F	-0,532*** (0,119)	-0,378*** (0,060)
Exp_F	0,323*** (0,093)	–
DW	1,659	1,403
R	0,895	0,895
R^2	0,803	0,801
F-statistics	F(3,11) = 14,925	F(2,12) = 24,160

* statistical error rate (p-level) ≤10%;

** statistical error rate (p-level) ≤5%;

*** statistical error rate (p-level) ≤1%.

Source: calculated by the author.

An interpretation of these results through the prism of the labour market and employment structure in the tourism services industry (accommodation and catering) indicates that employment is directly linked to labour intensity. The model's findings perfectly reflect this: (1) overnight stays stimulate employment because an overnight tourist generates full demand for hotel operations (front desk, housekeeping, administration) and catering

services (breakfasts, hotel restaurants), and an increase in the number of overnight stays provided forces hotels to expand headcount to maintain service standards; (2) expenditures stimulate employment because higher spending implies that tourists do not merely sleep in hotels but intensively utilize additional services (premium restaurants, SPA areas, tour guides, or local attractions), which generates higher demand for personnel across the entire tourism-related sector; (3) the total number of foreigners has a negative impact due to the fact that this indicator largely depends on transit, same-day, or cross-border workers, who typically do not utilize accommodation facilities and minimally engage with catering services (often bringing their own provisions or purchasing only fuel/basic products at petrol stations).

The obtained results indicate the occurrence of a scale and optimization effect: if mass same-day tourism expands without a corresponding increase in overnight stays, restaurants and hotels have no incentive to expand employment. Furthermore, a large influx of foreigners (e.g., economic migrants seeking employment, including within the HoReCa sector) increases the labour supply. This can lead to a situation where employers, instead of increasing the number of official full-time positions, optimize costs, introduce flexible employment arrangements, or partially shift labour into the informal economy (which is reflected in official statistical data as a "decrease in the number of employees").

The obtained empirical results confirm that employment in the accommodation and catering services sector in Poland exhibits a strong dependence on the qualitative structure of tourism flows rather than on their quantitative volume. The positive elasticity of employment with respect to the number of overnight stays (+0.408%) and expenditures (+0.323%) indicates a direct mechanism of job creation by tourists who generate high value-added for the economy (requiring full hotel and commercial services). Conversely, the inverse relationship in the case of the total number of arriving foreigners suggests that mass transit or same-day movement does not generate incentives to expand labour resources in the analysed enterprises.

The assumption regarding the vital importance of the qualitative structure of tourist flows for accelerating economic growth and achieving positive effects in the tourism industry is confirmed by the results of the regression analysis of the impact of the number of foreigners arriving in Poland, broken down by their citizenship. As shown in table 5, during the analysed period, Poland's GDP demonstrated a statistically significant direct relationship with the number of arrivals of UK citizens (Model 1) and Ukrainian citizens (Model 2), whereas the dependence of GDP on the number of arrivals of Belarusian citizens (Model 1) and Russian citizens (Model 2) was inverse. According to Models 3 and 4, total revenues in accommodation and catering depended directly on the number of arrivals of UK citizens, while the relationship with arrivals of Russian citizens was inverse. Concurrently, no statistically significant relationship was found between the total revenues of enterprises in the aforementioned fields of activity and the arrivals of Belarusian and Ukrainian citizens.

Tab. 5. Results of regression analysis of the impact of the number of foreign arrivals by citizenship on the Polish economy in 2010–2024

Factor features	Dependent variable			
	GDP	***GDP***	***Reven_Accom***	***Reven_Catering***
	Model 1	***Model 2***	***Model 3***	***Model 4***
Number of observations	15	15	15	15
Intercept	16,158*** (0,271)	12,651*** (0,764)	8,127*** (0,409)	8,296*** (0,467)
Arriv_Bel	-0,499*** (0,029)	–	–	–
Arriv_GB	0,362*** (0,029)	–	0,537*** (0,058)	0,624*** (0,067)
Arriv_Rus	–	-0,283*** (0,034)	-0,294*** (0,031)	-0,323*** (0,036)
Arriv_Ukr	–	0,427*** (0,088)	–	–
DW	1,710	1,138	1,976	2,05
R	0,983	0,929	0,963	0,962
R^2	0,968	0,864	0,927	0,926
F-statistics	F(2,12)=182,96	F(2,12)=38,324	F(2,12)=77,318	F(2,12)=75,874

* statistical error rate (p-level) ≤10%;

** statistical error rate (p-level) ≤5%;

*** statistical error rate (p-level) ≤1%.

Source: calculated by the author.

The obtained empirical results (tab. 5) can be explained by significant differences in the expenditure profiles and purchasing power of the citizens of the analysed countries. Citizens of the United Kingdom typically utilize the full spectrum of commercial infrastructure, including hotels, catering, air transport, and cultural services. This generates high unit revenue, which directly impacts GDP growth by stimulating consumption. Conversely, arrivals of Belarusian citizens (particularly during the analysed period) frequently bear the characteristics of cross-border, shopping, or economic tourism. Their expenditures are concentrated on essential goods characterized by lower profit margins or partially situated within the informal economy, which translates into the official growth of the Gross Domestic Product to a significantly lesser extent.

Another factor determining the varied impact of arrivals from the United Kingdom, Belarus, Ukraine, and Russia on the Polish economy is the specific nature of the tourist movement itself. Movement from the United Kingdom largely encompasses business tourism and city breaks (primarily to Krakow and Warsaw). Business tourism exhibits a strong, positive correlation with economic growth, as the arrivals of specialists and investors directly stimulate the market environment. In contrast, movement from Belarus most frequently takes the form of visiting friends and relatives (VFR tourism). Such

tourists rarely utilize commercial accommodation and catering facilities, which drastically limits the multiplier effect within the national economy.

The modelling results, indicating a positive correlation between arrivals of Ukrainian citizens and Poland's GDP alongside a negative relationship in the case of Russian citizens, reflect profound structural differences in the nature of these flows. The impact of Ukrainian arrivals on the Polish economy reflects a unique cross-border mobility dynamic. During the analysed period, these inbound visitor flows – which encompass short-term travel, cross-border shopping, and Visiting Friends and Relatives (VFR) tourism associated with labour mobility – demonstrated a distinct macroeconomic relationship with domestic GDP. The influx of workers effectively filled supply-side gaps in highly labour-intensive sectors, such as construction, services, and agriculture, which directly translated into an expansion of the economy's productive capacity and an increase in gross value added. Unlike short-term tourists, Ukrainian citizens frequently settle in Poland for extended periods, generating sustained demand for consumer goods, real estate rentals, and services. Furthermore, the growing number of business entities established in Poland by Ukrainian citizens additionally stimulates GDP dynamics through investments and job creation.

The negative parameter associated with the variable for arrivals from Russia can be interpreted as a statistical consequence of the co-occurrence of crisis-related phenomena, such as heightened geopolitical risk, a regression in bilateral trade, and the low-margin transit and shopping nature of the visits. Personal movement from Russia was historically intertwined with commercial trade (inter alia, within the framework of the Local Border Traffic agreement). Institutional restrictions and sanctions led to a situation where, despite the physical presence of individuals, the associated capital and commodity flows decreased drastically, which the econometric model identifies as an inverse relationship. Similar to the case of Belarus, a significant share of the movement from Russia (particularly with regard to the Kaliningrad Oblast) took the form of short-term shopping trips. Under conditions of high inflation and exchange rate fluctuations, the real contribution of these visits to GDP generation proved to be lower than the infrastructural costs of managing this traffic or the losses resulting from the general cooling of economic relations.

Conclusion

The empirical analysis conducted in this study, based on econometric modelling, allowed for the formulation of key conclusions regarding the impact of international tourism and migration flows on selected macroeconomic aggregates and the labour market in Poland in the years 2010–2024.

1. Structural asymmetry of the impact of migration flows. The estimation results of the regression models unequivocally prove that the impact of foreigners on the national economy (GDP) and the tourism services sector (HoReCa) is conditioned by the structure and quality of this stream, rather than its quantitative volume. The positive elasticity of GDP with respect to the number of overnight stays (+1.19%) and expenditures (+0.798%) confirms that the key drivers

of economic growth are tourists who generate high value-added, whose stays are characterized by a longer temporal exposure and a higher propensity to consume.

2. The quantitative paradox. The negative relationship identified in the models between GDP and the total number of arriving foreigners (a 1.66% decrease with a 1% increase in the variable) constitutes an important diagnostic conclusion. This result suggests that mass movement of a purely transit, same-day, or cross-border nature, which does not translate into the purchase of accommodation services, may generate social and logistical costs for the state infrastructure that exceed the direct financial benefits.
3. Job creation and revenue generation in the HoReCa sector. The sectoral regression analysis confirmed the direct transmission of tourism demand onto the labour market. An increase in the number of overnight stays and expenditures generates employment growth in enterprises providing accommodation and catering services. This demonstrates the high labour intensity of the sector and its capacity to absorb labour resources under the influence of a demand impulse. Similar to the case of GDP, the overall increase in the number of foreigners exhibits a negative correlation with official employment, which economically can be interpreted as an effect of introducing flexible employment arrangements or supply-side pressure on the labour market under conditions of an influx of short- and medium-term migrants.
4. Heterogeneity of international flows. The impact of international personal movement on Poland's GDP is not homogeneous and depends on the economic structure and motivations of inbound migrants. While flows from the United Kingdom (business and premium tourism) and Ukraine (settlement and labour migration filling supply-side gaps in the labour market) constitute strong stimulators of economic growth, cross-border movement from Belarus and Russia exhibits negligible or negative elasticity with respect to GDP. This stems from the low profitability of expenditures of a purely shopping-and-transit nature, as well as geopolitical barriers that restrict the occurrence of a positive multiplier effect in the national economy.

Based on the empirical findings, the strategic objective of Poland's tourism policy should be the selective stimulation of increasing the length of stay and encouraging tourist expenditures (a qualitative approach). Promotional and infrastructural activities should focus on premium, business, medical, and MICE (meetings, incentives, conferences, and exhibitions) tourism segments, as the estimated regression models demonstrate that these sectors most effectively stimulate corporate revenues, employment, and Gross Domestic Product growth.

References

Acheampong A.O., Opoku E.E.O., Koomson I. (2025), *Effect of inbound tourism on inclusive growth: Does institutionalized democracy matter?*, "Tourism Management Perspectives", vol. 58, article no. 101382, https://doi.org/10.1016/j.tmp.2025.101382

Adamopoulos A., Thalassinos E.I. (2020), *Tourism Development and Economic Growth: A Comparative Study for the G-6 Leaders*, "European Research Studies Journal", vol. 23(1), pp. 368–380, https://doi.org/10.35808/ersj/1555

Bąk-Filipek E., Szalkai G., Podhorodecka K. (2022), *Foreign inbound tourism to Poland and Hungary during the COVID-19 pandemic times – comparing the solutions and outcomes*, "Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna", vol. 58, pp. 11–25, https://doi.org/10.14746/rrpr.2022.58.03

Będzik B., Gołąb S. (2020), *A comparison of the tourism sector in Poland and the Czech Republic*, "Studia Periegetica", nr 1(29)/2020, pp. 73–86, https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.1341

Dębski M., Dziedzic E., Skalska T., Zawistowska H. (2021), *Wpływ turystyki na gospodarkę Warszawy*, Raport, https://go2warsaw.pl/wp-content/uploads/Wplyw-turystyki-na-gospodarke-Warszawy.pdf [accessed: 2.05.2026].

Habibi, F., Rahmati, M., Karimi A. (2018), *Contribution of tourism to economic growth in Iran's Provinces: GDM approach*, "Future Business Journal", vol. 4(2), p. 261–271, https://doi.org/10.1016/J.FBJ.2018.09.001

International Tourism Highlights, 2024 Edition (2024), Madrid: UN Tourism, https://doi.org/10.18111/9789284425808

Kruczek Z., Mazanek L. (2019), *Krakow as a Tourist Metropolitan Area. Impact of Tourism on the Economy of the City*, "Studia Periegetica", nr 2(26), pp. 25–41, https://doi.org/10.26349/st.per.0026.02

Kumar R.A. (2019), *The Impact of Inbound Tourism on Economic Growth of Nepal*, "International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences", vol. 9(3), pp. 183–195, http://dx.doi.org/10.6007/IJARBSS/v9-i3/5647

Liu A., Wu D.C. (2019), *Tourism productivity and economic growth*, "Annals of Tourism Research", vol. 76, pp. 253–265, https://doi.org/10.1016/j.annals.2019.04.005

Matušíková D., Šambronská K., Żegleń P. (2020), *Relacja między dochodami z zagranicznej turystyki przyjazdowej a ruchem turystycznym: studium przypadku czterech krajów Grupy Wyszehradzkiej*, "Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy", vol. 2(62), pp. 294–308, https://doi.org/10.15584/nsawg.2020.2.19

Milczarek A. (2017), *Gospodarcze znaczenie turystyki w krajach Unii Europejskiej*, "Studia i Prace WNEiZ US", nr 47, t. 1, pp. 137–147, https://doi.org/10.18276/sip.2017.47/1-12

Perles-Ribes J.F., Ramón-Rodríguez A.B., Rubia A., Moreno-Izquierdo L. (2017). *Is the tourismled growth hypothesis valid after the global economic and financial*

crisis? The case of Spain 1957–2014, "Tourism Management", vol. 61, pp. 96–109, https://doi.org/10.1016/J.TOURMAN.2017.01.003

Przychody z działalności gastronomicznej (2024), https://bdl.stat.gov.pl/bdl/metadane/cechy/1476 [accessed: 10.05.2026].

Rekordowe wyniki polskiej turystyki w 2025 roku – branża turystyczna rośnie szybciej niż polskie PKB (2026), https://www.gov.pl/web/sport/rekordowe-wyniki-polskiej-turystyki-w-2025-roku--branza-turystyczna-rosnie-szybciej-niz-polskie-pkb [accessed: 2.05.2026].

Rivera M.A. (2017), *The synergies between human development, economic growth, and tourism within a developing country: An empirical model for Ecuador*, "Journal of Destination Marketing & Management", vol. 6(3), pp. 221–232, https://doi.org/10.1016/J.JDMM.2016.04.002

Rivera-Batiz L.A., Romer P.M. (1991), *Economic Integration and Endogenous Growth*, "Quarterly Journal of Economics", vol. 106(2), pp. 531–555, https://doi.org/10.2307/2937946

Roczniki Statystyczne Rzeczypospolitej Polskiej za lata 2010–2025 (2025), https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-rzeczypospolitej-polskiej-2025,2,25.html [accessed: 10.05.2026].

Rowiński R., Hawlena J., Kowalska G., Mazurek-Kusiak A., Kobyłka A. (2023), *Selected Factors Determining the Development of the Tourist Services Market in Poland*, "European Research Studies Journal", vol. XXVI(4), pp. 62–71, https://doi.org/10.35808/ersj/3272

Semmerling A. (2017), *Udział turystyki zagranicznej w rozwoju gospodarczym wybranych krajów Europy Wschodniej*, "Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Turystyki i Języków Obcych w Warszawie. Turystyka i Rekreacja", z. 1, pp. 7–25.

The UN Tourism Data Dashboard. International Tourist Arrivals (2026), https://www.untourism.int/tourism-data/un-tourism-tourism-dashboard [accessed: 2.05.2026].

Turyści zagraniczni w turystycznych obiektach noclegowych (2024), https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/teryt [accessed: 10.05.2026].

Turystyka w 2024 r. (2024), https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/kultura-turystyka-sport/turystyka/turystyka-w-2024-r-,1,22.html [accessed: 10.05.2026].

Wyniki finansowe wg sekcji PKD 2007 (2024), https://bdl.stat.gov.pl/bdl/metadane/cechy/2695 [accessed: 10.05.2026].

About the Author

Iryna Babets – habilitated doctor of Economic Sciences in the field of the state's economic security. She is a Professor at the Department of International Economic Relations, Central Ukrainian National Technical University. She is the author of more than 250 papers published in academic journals, as well as monographs addressing issues of foreign trade and capital flows at both the global and national levels, the safeguarding of the state's economic security, the development of innovation activity, and its impact on economic growth.

O autorce

Iryna Babets – doktor habilitowany nauk ekonomicznych w zakresie bezpieczeństwa gospodarczego państwa. Profesor Katedry Międzynarodowych Stosunków Gospodarczych na Centralno-Ukraińskim Narodowym Uniwersytecie Technologicznym. Autorka ponad 250 artykułów w czasopismach naukowych oraz monografii, które dotyczą problemów handlu zagranicznego i ruchu kapitału na poziomie globalnym i krajowym, zapewnienia bezpieczeństwa gospodarczego państwa, rozwoju działalności innowacyjnej oraz jej wpływu na wzrost gospodarczy.

Ten utwór jest dostępny na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe.

Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie nr 2(43)/2026
ISSN 2391-5129

Bartosz Rzętkiewicz https://orcid.org/0000-0002-9395-8909
Wyższa Szkoła Biznesu i Nauk o Zdrowiu w Łodzi
e-mail: bartosz.rzetkiewicz@wsbinoz.pl

Problem jakości wiedzy generowanej przez AI w decyzjach menedżerskich

The problem of the quality of AI-generated knowledge in managerial decision-making

https://doi.org/10.25312/ziwgib.909

Streszczenie

Artykuł analizuje jakość wiedzy generowanej przez sztuczną inteligencję w decyzjach menedżerskich. Punktem wyjścia jest teza, że użyteczność decyzyjna odpowiedzi tworzonych przez GenAI nie wynika z ich stylistycznej płynności, lecz z nadzoru epistemicznego, który łączy wynik działania modelu ze źródłami, kryteriami, kontekstem, aktualnością oraz odpowiedzialnością. Część empiryczna ma charakter porównawczego studium wielu przypadków i opiera się na publicznie udokumentowanych wdrożeniach: IBM AskHR w obszarze HR, BMW Group Offer Analyst w zakupach, AI @ Morgan Stanley Assistant i Debrief w doradztwie finansowym, ConsumerIQ w The Estée Lauder Companies oraz Lilli w McKinsey. Analizę uzupełnia warstwa kontrolna zaczerpnięta z badań eksperymentalnych nad GenAI w pracy wiedzochłonnej, zwłaszcza eksperymentu z konsultantami Boston Consulting Group dotyczącego tak zwanej poszarpanej granicy techa nologicznej. W artykule rozwinięto ramę JWG-AI, która obejmuje sześć wymiarów jakości wiedzy: trafność merytoryczną, możliwość prześledzenia dowodów, kompletność względem kryteriów, adekwatność kontekstową, aktualność czasową i bezpieczeństwo normatywne. Wyniki wskazują, że wysoka jakość wdrożeń GenAI zależy mniej od samej mocy modelu, a bardziej od kuratorowanych korpusów, dyscypliny wyszukiwania, jawnych kryteriów, rutyn ewaluacyjnych, ścieżek eskalacji i odpowiedniego nadzoru człowieka.

Słowa kluczowe: generatywna sztuczna inteligencja, decyzje menedżerskie, jakość wiedzy, nadzór epistemiczny

Abstract

This article investigates the quality of knowledge generated by generative artificial intelligence in managerial decision-making. It advances the argument that decision usefulness does not arise from the linguistic fluency of AI outputs, but from the epistemic governance arrangements that connect outputs with sources, criteria, context, temporal validity and accountability. The empirical part is designed as a comparative multiple-case study based on publicly documented GenAI deployments: *IBM AskHR* in human resources, *BMW Group Offer Analyst* in procurement, *AI @ Morgan Stanley Assistant* and *Debrief* in a regulated advisory and compliance context, *ConsumerIQ* at The Estée Lauder Companies in marketing intelligence, and McKinsey's *Lilli* in consulting. The analysis is strengthened by a control layer drawn from experimental studies on GenAI and knowledge work, especially the BCG consultant experiment on the jagged technological frontier. The paper develops the JWG-AI framework and operationalizes six dimensions of AI-generated knowledge quality: substantive relevance, evidential traceability, criterion completeness, contextual fit, temporal currency, and normative safety. The findings indicate that high-quality use of GenAI is less a matter of model capability alone than of curated corpora, retrieval discipline, visible decision criteria, evaluation routines, escalation paths and calibrated human review.

Keywords: generative AI, managerial decision-making, knowledge quality, epistemic governance

Rozwój generatywnej sztucznej inteligencji (GenAI) przesuwa w naukach o zarządzaniu i jakości punkt ciężkości z samej automatyzacji czynności poznawczych na problem wiarygodności przesłanek, na których menedżer opiera decyzję[1]. Nie chodzi więc wyłącznie o to, czy system tworzy odpowiedź szybko i stylistycznie poprawnie, lecz o to, czy wytworzony artefakt poznawczy może zostać obroniony jako element racjonalnego procesu decyzyjnego.

Menedżer nie podejmuje decyzji na podstawie „tekstu" jako takiego. Korzysta z propozycji interpretacji, klasyfikacji, porównania lub rekomendacji, które dopiero po weryfikacji mogą uzyskać status wiedzy organizacyjnej. To rozróżnienie jest zasadnicze, to znaczy, że płynność językowa jest własnością komunikatu, natomiast jakość wiedzy jest własnością całego układu socjotechnicznego, w którym komunikat powstaje, jest sprawdzany i zostaje powiązany z odpowiedzialnością za decyzję.

[1] W artykule pojęcie wiedzy generowanej przez AI nie oznacza autonomicznej wiedzy posiadanej przez system, lecz element poznawczy wytworzony przez GenAI, który może zostać włączony do procesu wiedzy organizacyjnej dopiero po ludzkiej i proceduralnej walidacji.

Wkład artykułu do rozważań polega na rozwinięciu ramy JWG-AI, wzbogaceniu jej o autorską skalę oceny nadzoru epistemicznego[2] oraz zestawieniu publicznie udokumentowanych wdrożeń GenAI z wynikami eksperymentów dotyczących pracy wiedzochłonnej. W ten sposób analiza wychodzi poza prostą narrację o wzroście produktywności i kieruje uwagę ku ekonomii błędu, czyli kosztowi decyzji, która została przyspieszona, ale osłabiona poznawczo.

Wprowadzenie

Generatywna sztuczna inteligencja (GenAI) weszła do organizacji przede wszystkim jako narzędzie przyspieszania pracy wiedzochłonnej. W codziennych procesach funkcjonowania firmy streszcza dokumenty, porównuje oferty, odpowiada na pytania pracowników, przygotowuje notatki po spotkaniach, syntetyzuje raporty rynkowe i wspiera tworzenie wariantów strategicznych (Csaszar, Ketkar, Kim, 2024). W praktyce menedżerskiej jej znaczenie jest jednak głębsze niż prosta automatyzacja tekstu. W naszych czasach GenAI zaczyna uczestniczyć w wytwarzaniu przesłanek decyzji (Agrawal, Gans, Goldfarb, 2018; Shrestha, Ben-Menahem, von Krogh, 2019). Jeżeli przesłanka jest błędna, niepełna, nieaktualna albo pozbawiona źródeł, szybkość jej uzyskania nie jest korzyścią organizacyjną, lecz mechanizmem przyspieszonej reprodukcji błędu.

W naukach o zarządzaniu i jakości to przesunięcie ma konsekwencje teoretyczne. Klasyczna problematyka jakości danych i informacji koncentrowała się na dokładności, kompletności, aktualności, spójności oraz użyteczności w określonym kontekście (Wang, Strong, 1996; Lee i in., 2002). GenAI komplikuje tę perspektywę. Nie zwraca danych, a wytwarza ustrukturyzowane wypowiedzi, argumenty, interpretacje i rekomendacje. Ich ryzyko polega na tym, że mogą być jednocześnie komunikacyjnie przekonujące i o słabym wymiarze epistemicznym. Innymi słowy, system może produkować formę wiedzy, która przypomina rezultat ekspercki, zanim przejdzie procedury właściwe wiedzy organizacyjnej.

Problem ten nie jest abstrakcyjny. W decyzjach HR błąd może oznaczać niezgodną z polityką lub prawem pracy odpowiedź udzieloną pracownikowi. W zakupach może prowadzić do wyboru dostawcy na podstawie niepełnego porównania ofert. W *compliance* i doradztwie finansowym może naruszyć reguły komunikacji z klientem albo wymogi dokumentacyjne. W marketingu może przekształcić chwilowy szum rynkowy w strategiczną hipotezę. W consultingu zaś może utrwalić schemat interpretacyjny dominujący w dotychczasowym korpusie wiedzy firmy. Każdy z tych przypadków dotyczy

[2] Nadzór epistemiczny oznacza zorganizowaną kontrolę wiarygodności wiedzy używanej w decyzji – jej źródeł, uzasadnienia, kompletności, aktualności i zgodności z kontekstem organizacyjnym. Termin nawiązuje do koncepcji *epistemic vigilance* Dana Sperbera i współautorów, którzy wskazują, że komunikacja wymaga mechanizmów ochrony przed błędnym poinformowaniem, a zarazem podkreślają: „vigilance […] is not the opposite of trust; it is the opposite of blind trust" (Sperber i in., 2010: 363–364). W odniesieniu do GenAI oznacza to nie nieufność wobec systemu, lecz instytucjonalne zabezpieczenie przed bezrefleksyjnym przyjęciem jego odpowiedzi jako wiedzy.

innego rodzaju szkody, acz wszystkie prowadzą do wspólnego pytania – kiedy odpowiedź GenAI zasługuje na to, by stać się przesłanką decyzji menedżerskiej?

Literatura empiryczna pokazuje, że GenAI może wyraźnie zwiększać produktywność. Shakked Noy i Whitney Zhang poprzez eksperyment z zadaniami pisarskimi wykazali, że dostęp do programu ChatGPT skracał czas pracy i podnosił jakość wyników, szczególnie u słabszych wykonawców (Noy, Zhang, 2023). Erik Brynjolfsson, Danielle Li i Lindsey Raymond udowodnili w badaniu, w którym brało udział 5000 pracowników obsługi klienta, że asystent konwersacyjny zwiększał produktywność, w tym najmocniej wspierał osoby mniej doświadczone (Brynjolfsson, Li, Raymond, 2025). Wyniki te nie oznaczają jednak, że GenAI automatycznie poprawia jakość decyzji. Eksperyment z konsultantami BCG wskazuje raczej na pewną ambiwalencję. W zadaniach mieszczących się w możliwościach modelu uzyskiwano wzrost jakości i szybkości, natomiast poza tak zwaną *jagged technological frontier*[3] użycie AI obniżało poprawność rozwiązań (Dell'Acqua i in., 2026). W tejże trudności mieści się zasadnicza luka badawcza. Dotychczasowa debata zbyt często traktuje GenAI jako technologię produktywną, podczas gdy dla nauk o zarządzaniu i jakości równie ważne wydaje się pytanie o warunki uznania wyniku pracy AI za wiedzę organizacyjną. Artykuł rozwija tę perspektywę z punktu widzenia koncepcji nadzoru epistemicznego (Alasuutari, Qadir, 2014).

Celem artykułu jest identyfikacja mechanizmów podnoszących jakość wiedzy tworzonej przez GenAI w decyzjach menedżerskich. Pytanie badawcze brzmi: jakie konfiguracje nadzoru epistemicznego sprawiają, że wyniki działania GenAI stają się poznawczo użyteczne i decyzyjnie wiarygodne w różnych domenach organizacyjnych? Odpowiedź oparto na porównawczym studium pięciu publicznie udokumentowanych wdrożeń oraz na zestawieniu ich z wynikami badań eksperymentalnych nad GenAI w pracy wiedzochłonnej.

Wkład artykułu sytuuję na styku teorii zarządzania wiedzą, badań nad jakością informacji oraz refleksji nad organizacyjnym użyciem generatywnej sztucznej inteligencji. Po pierwsze, artykuł proponuje ramę JWG-AI, która pozwala uchwycić jakość wiedzy generowanej przez AI nie jako cechę samego tekstu, lecz jako rezultat relacji między modelem, korpusem źródłowym, strukturą zadania, procedurą weryfikacji i odpowiedzialnością decydenta. Po drugie, opracowana macierz kodowania przypadków umożliwia analityczne przełożenie publicznie udokumentowanych wdrożeń GenAI na profil nadzoru epistemicznego, a więc na układ mechanizmów decydujących o tym, czy wygenerowana odpowiedź jest możliwa do sprawdzenia, kompletna, kontekstowo adekwatna i normatywnie bezpieczna. Po trzecie, artykuł rozwija propozycje teoretyczne dla przyszłych badań empirycznych, zwłaszcza eksperymentów menedżerskich i studiów terenowych, w których przedmiotem analizy byłaby nie tylko produktywność użytkownika, lecz również koszt błędu poznawczego, kalibracja zaufania oraz jakość uzasadnienia decyzji. W konsekwencji

[3] Pojęcie *jagged technological frontier* oznacza nierównomierną, trudną do przewidzenia granicę kompetencji AI: zadania podobne dla człowieka pod względem trudności mogą być przez GenAI wykonywane bardzo dobrze albo wyraźnie gorzej. Fabrizio Dell'Acqua i jego współpracownicy w badaniu z udziałem 758 konsultantów BCG wykazali, że AI poprawiała produktywność i jakość pracy w zadaniach mieszczących się w jej aktualnych możliwościach, lecz obniżała trafność rozwiązań w zadaniu znajdującym się poza tą granicą. Dlatego termin ten nie opisuje ogólnej „mocy" AI, lecz jej nieciągłą i kontekstowo zależną użyteczność w pracy wiedzochłonnej.

GenAI zostaje tu ujęta jako infrastruktura epistemiczna organizacji, czyli narzędzie współwytwarzania wiedzy, którego wartość zależy od stopnia, w jakim organizacja potrafi nie tylko projektować, ale również kontrolować i audytować warunki jego użycia. Tak ujęty temat może stać się fundamentem działań teoretycznych oraz praktycznych.

Od jakości informacji do jakości wiedzy generowanej przez AI

Pojęcie jakości w zarządzaniu ma długą tradycję, lecz w analizie GenAI wymaga jednak doprecyzowania. Jakość danych rozumiana jest zwykle wielowymiarowo. Obejmuje dokładność, kompletność, spójność, aktualność, dostępność i adekwatność do celu użycia (Wand, Wang, 1996; Wang, Strong, 1996). Yang Lee i współautorzy podkreślają, że jakość informacji jest nie tylko własnością obiektu informacyjnego, ale również relacją pomiędzy informacją a użytkownikiem, zadaniem i kontekstem. Ta relacyjność staje się szczególnie istotna w przypadku GenAI. Produkt czy rezultat modelu nie jest prostą reprezentacją bazy danych. Staje się oto wytworzoną odpowiedzią, która selekcjonuje, porządkuje i językowo scala różne elementy wiedzy (Weick, 1995; Lee i in., 2002).

Wiedza organizacyjna w literaturze zarządzania wiedzą nie jest redukowalna do informacji. Thomas Davenport i Laurence Prusak ujmowali ją jako mieszaninę doświadczenia, wartości, informacji kontekstowej i eksperckiego wglądu, która tworzy ramę oceny nowych doświadczeń (Davenport, Prusak, 1998). Ikujiro Nonaka wskazywał na dynamikę przekształceń między wiedzą *tacit* i *explicit* (Nonaka, 1994), a Maryam Alavi i Dorothy Leidner podkreślały znaczenie systemów wiedzy jako infrastruktury tworzenia, przechowywania, transferu i zastosowania wiedzy (Alavi, Leidner, 2001). GenAI ingeruje w każdy z tych etapów. Przyspiesza wyszukiwanie, upraszcza transfer, zwiększa dostępność wiedzy skodyfikowanej, ale przy okazji może osłabić refleksję nad jej pochodzeniem i zakresem obowiązywania. Efekt ten jest oczywiście wytłumaczalny także na poziomie psychologicznym. To jednak wykracza poza ramy niniejszego artykułu.

W decyzjach menedżerskich wiedza ma charakter pragmatyczny. Nie wystarcza, że komunikat jest poprawny w sensie ogólnym. Musi być trafny wobec konkretnego problemu, jurysdykcji, klienta, procedury i potencjalnej konsekwencji. Simonowska koncepcja ograniczonej racjonalności przypomina, że organizacje nie maksymalizują decyzji w warunkach pełnej informacji, lecz konstruują wystarczające rozwiązania przy ograniczonych zasobach poznawczych (Simon, 1979). GenAI może poszerzać przestrzeń poszukiwania, ale może również wprowadzać nowe ograniczenie. Może je skonstatować w następujący sposób: użytkownik otrzymuje odpowiedź, której podstaw nie potrafi szybko zweryfikować – nie potrafi i najczęściej nie chce. W nowszej literaturze problem ten bywa ujmowany jako ograniczenie epistemiczne, a nie jedynie informacyjne.

Badania nad AI w organizacjach dostarczają dwóch istotnych punktów odniesienia (Faraj, Pachidi, Sayegh, 2018; Jarrahi, 2018). Pierwszy dotyczy relacji automatyzacji i augmentacji. Sebastian Raisch i Sebastian Krakowski pokazali, że w zarządzaniu te dwa tryby nie są rozłączne. Automatyzacja pewnych etapów może zwiększać zdolności

człowieka, ale może też przesuwać odpowiedzialność i zubożać kompetencje interpretacyjne. Drugi dotyczy zaufania (Raisch, Krakowski, 2021). John Lee i Katrina See oraz Ella Glikson i Anita Woolley wskazują, że celem nie powinno być maksymalne zaufanie do automatyzacji, lecz zaufanie skalibrowane odpowiednio do kompetencji systemu i ryzyka związanego z zadaniem. GenAI, z racji płynnego języka, szczególnie łatwo prowokuje nadmierną ufność. Ujmując to kolokwialnie i lekko humorystycznie, diabeł tkwi w języku (Lee, See, 2004; Glikson, Woolley, 2020).

Na potrzeby artykułu jakość wiedzy generowanej przez AI definiuję jako stopień, w jakim wytworzony przez system GenAI artefakt poznawczy – odpowiedź, synteza, porównanie, notatka lub rekomendacja – może zostać użyty w procesie decyzyjnym po weryfikacji źródeł, kryteriów, kontekstu, aktualności i oszacowaniu normatywnego ryzyka. Definicja ta w sposób celowy nie przypisuje jakości samemu modelowi. Jakość jest tu własnością relacji, tj. modelu, korpusu, zapytania, interfejsu, procedur walidacyjnych i odpowiedzialności człowieka.

Zaproponowana rama JWG-AI obejmuje sześć wymiarów. Trafność merytoryczna oznacza, że odpowiedź rozwiązuje problem, a nie jedynie go elegancko parafrazuje. Możliwość dowodowego prześledzenia oznacza możliwość wskazania źródeł i fragmentów, z których wynika twierdzenie. Kompletność wobec kryteriów dotyczy objęcia pełnego zestawu warunków decyzyjnych. Adekwatność kontekstowa oznacza dopasowanie do organizacji, branży, jurysdykcji, klienta lub rynku. Aktualność czasowa odnosi się do kontroli wersji dokumentów i danych. Bezpieczeństwo normatywne obejmuje zgodność z prawem, politykami, etyką, poufnością i zasadami niedyskryminacji (*OECD AI Principles overview*, 2024).

Tab. 1. Rama JWG-AI. Operacjonalizacja jakości wiedzy generowanej przez AI

Wymiar jakości	**Pytanie diagnostyczne**	**Typowe ryzyko**	**Mechanizm kontroli**
Trafność merytoryczna	Czy odpowiedź rozwiązuje właściwy problem decyzyjny?	Płynna, lecz powierzchowna parafraza, pozorna eksperckość	Walidacja ekspercka, testy zadaniowe, porównanie z decyzjami referencyjnymi
Weryfikowalność źródłowa	Czy użytkownik widzi źródła, cytaty, wersje dokumentów lub dowody?	Halucynacja, brak możliwości przeprowadzania audytu, niemożność obrony decyzji	RAG, linki do dokumentów, cytowania, rejestr wykorzystanych źródeł
Kompletność kryteriów	Czy ujęto wszystkie istotne kryteria i warianty?	Pominięcie warunku granicznego lub kryterium wykluczającego	Checklisty, macierze porównawcze, jawne kryteria punktacji

Wymiar jakości	Pytanie diagnostyczne	Typowe ryzyko	Mechanizm kontroli
Adekwatność kontekstowa	Czy odpowiedź uwzględnia branżę, jednostkę, klienta i jurysdykcję?	Odpowiedź ogólna, nieprzystająca do lokalnych realiów	Kuratorowane4 korpusy źródłowe, profile użytkownika, reguły lokalne, kontekstowo osadzone szablony zapytań
Aktualność czasowa	Czy system korzysta z obowiązującej wersji polityki, raportu lub danych?	Użycie dokumentu archiwalnego, starzenie się wiedzy	Kontrola wersji, datowanie dokumentów, cykle odświeżania korpusu
Bezpieczeństwo normatywne	Czy wynik spełnia wymogi prawne, etyczne, poufnościowe i antydyskryminacyjne?	Naruszenie *compliance*, bias, wyciek informacji, nieuprawniona porada	Role dostępu, audyty, testowanie kontradyktoryjne systemu AI (ang. r*ed teaming*)[5], ścieżki eskalacji, weryfikacja ekspercka przez człowieka (ang. *human review*)

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury i publicznych materiałów źródłowych wskazanych w bibliografii.

Metoda badania i źródła danych

Badanie ma charakter eksploracyjnego, porównawczego studium wielu przypadków. Wybór tej strategii jest uzasadniony nowością badanego zjawiska, niedostępnością porównywalnych danych ilościowych dla większości wdrożeń GenAI oraz potrzebą uchwycenia konfiguracji organizacyjnych, a nie samego działania modelu językowego. Zgodnie z logiką studium przypadku (Eisenhardt, 1989; Eisenhardt, Graebner, 2007; Gibbert, Ruigrok, Wicki, 2008; Yin, 2018) celem nie jest uogólnienie statystyczne, lecz uogólnienie analityczne. Jest to zatem identyfikacja mechanizmów, które mogą być następnie testowane w innych kontekstach.

[4] *Źródło kuratorowane* rozumiane jest w artykule jako źródło podlegające kuracji merytorycznej. Oznacza dokument, zbiór danych, procedurę, raport, regulację, komentarz ekspercki lub inny zasób wiedzy, który może zostać oceniony pod względem autorstwa, aktualności, wiarygodności, relewantności, zgodności z politykami organizacji oraz przydatności dla określonego zadania decyzyjnego.

[5] *Testowanie kontradyktoryjne systemu AI* (ang. *red teaming*) oznacza zorganizowaną procedurę sprawdzania systemu sztucznej inteligencji poprzez celowe poszukiwanie jego błędów, podatności, zachowań niepożądanych, odpowiedzi dyskryminacyjnych, niebezpiecznych lub niezgodnych z założonym sposobem użycia. W ujęciu NIST jest to „structured testing effort to find flaws and vulnerabilities in an AI system", prowadzone często w środowisku kontrolowanym i we współpracy z twórcami systemu. W kontekście jakości wiedzy generowanej przez GenAI testowanie kontradyktoryjne nie służy więc wyłącznie bezpieczeństwu technicznemu, lecz także ocenie, czy model nie wytwarza pozornie wiarygodnych, ale błędnych, stronniczych albo normatywnie ryzykownych przesłanek decyzji menedżerskiej.

Dobór przypadków miał charakter celowy. Wybrano wdrożenia reprezentujące różne domeny decyzyjne i różne profile możliwej szkody. Są to HR (ang. *human resources*), zakupy, *compliance*/doradztwo regulowane, analityka wiedzy rynkowo-marketingowej oraz consulting. Warunkiem włączenia do próby było publiczne udokumentowanie wdrożenia przez organizację, partnera technologicznego albo wiarygodny materiał źródłowy. Ostateczny zestaw obejmuje IBM AskHR, BMW Group Offer Analyst, AI @ Morgan Stanley Assistant i Debrief, ConsumerIQ w The Estée Lauder Companies oraz Lilli w McKinsey. Dodatkowo wprowadzono przypadek kontrolny o charakterze eksperymentalnym – badanie Dell'Acqua i współautorów (2026) przeprowadzone z konsultantami BCG. Nie jest ono (jak już powiedziano) wdrożeniem organizacyjnym w takim samym sensie jak pozostałe przypadki, ale wydaje się, że pozwala sprawdzić, czy mechanizmy obserwowane w studiach wdrożeniowych odpowiadają wynikom kontrolowanego eksperymentu.

Za podstawową jednostkę analizy przyjęto rezultat poznawczy wytwarzany przez GenAI w ramach konkretnego procesu organizacyjnego. Oznacza to, że przedmiotem porównania nie były same systemy informatyczne ani ogólne strategie wdrożeniowe, lecz te formy wiedzy, które po wygenerowaniu przez model mogły zostać użyte jako przesłanki działania menedżerskiego. W analizowanych przypadkach obejmowały one odpowiedzi na pytania pracowników, porównania ofert dostawców, odpowiedzi doradcze oparte na wewnętrznych zasobach wiedzy organizacyjnej, notatki po spotkaniach, syntezy wiedzy o konsumentach i trendach rynkowych oraz syntezy wiedzy projektowej. Każdy przypadek opisano według jednolitego schematu analitycznego uwzględniającego rodzaj źródeł, typ zadania, dostępne miary efektu, zastosowane mechanizmy kontroli jakości, procedury kierowania spraw do dalszej oceny oraz zasadnicze ryzyka poznawcze, które mogły wpływać na wiarygodność decyzji podejmowanej z wykorzystaniem odpowiedzi GenAI. Kodowanie przeprowadzono na skali 0–3 dla sześciu wymiarów JWG-AI, tj. 0 – brak publicznie uchwytnego mechanizmu, 1 – mechanizm szczątkowy lub deklaratywny, 2 – mechanizm widoczny (ale częściowy), 3 – mechanizm silny, zintegrowany z procesem i możliwy do uzasadnienia na podstawie źródeł.

Takie podejście ma oczywiście ograniczenia. Materiały korporacyjne mają charakter selektywny i zwykle eksponują sukces wdrożenia. Nie dają pełnego wglądu w liczbę błędów, odrzucone odpowiedzi, koszty utrzymania, napięcia organizacyjne ani realną jakość decyzji po użyciu narzędzia. Z tego powodu w artykule nie twierdzę, że opisane wdrożenia są empirycznie najlepsze w swoich branżach. Twierdzę natomiast, że są wystarczająco dobrze udokumentowane, aby zrekonstruować ich architekturę nadzoru epistemicznego i porównać ją między domenami.

Kryterium rzetelności zapewniono przez triangulację źródeł, czyli zestawienie materiałów firmowych z literaturą naukową, standardami zarządzania ryzykiem AI (*ISO/IEC 42001:2023. Information technology – Artificial intelligence – Management system*, 2023; *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*, 2023) oraz wynikami eksperymentów. Wartości liczbowe przy przypadkach przytaczano tylko wtedy, gdy były jawnie podane w źródle. Autorskie wyniki punktowania nie są miarą skuteczności ekonomicznej ani niezależnym audytem. Są bardziej jakościową oceną dojrzałości mechanizmów kontroli wiedzy ujawnionych w dostępnych materiałach.

Tab. 2. Dobór przypadków, źródła i jawne dane empiryczne wykorzystane w analizie

Przypadek	Obszar	Artefakt wiedzy	Dane/cechy wdrożenia	Podstawowe źródła dotyczące przypadku
IBM AskHR	HR	Odpowiedzi na pytania pracowników, obsługa zadań HR, personalizowane wskazania proceduralne	Ponad 80 automatyzowanych zadań HR, ponad 2,1 mln rozmów rocznie, dostęp do około 7000 stron polityk firmy, ponad 1 mln transakcji HR w 2024 roku, 55,1 tys. informacji zwrotnych, 99% adopcji wśród menedżerów, 94-procentowy wskaźnik samodzielnej obsługi zapytań przez system AI[6], 40% redukcji kosztów operacyjnych HR w cztery lata.	*Transforming HR support with agentic AI*, 2025
BMW Group Offer Analyst	Zakupy	Porównanie ofert wobec zapytania ofertowego (ang. *Request for Proposal*, RfP)[7], dokumentów i kryteriów standardowych/ *ad hoc*	Proces obejmuje wczytanie do systemu dokumentacji zapytania ofertowego oraz formularzy cenowych, ekstrakcję informacji, analizę według kryteriów standardowych i dopasowanych. BMW wskazuje też w 2025 roku wdrożenie narzędzi GenAI w zakupach, w tym Offer Analyst, Knowledge Navigator i Tender Assistant.	*Revamping procurement operations with generative AI-powered Offer Analyst solution on AWS*, 2024; *Greater efficiency and productivity with artificial intelligence – generative AI in BMW Group Purchasing*, 2025

[6] IBM deklaruje, że IBM AskHR osiągnął 94-procentowy wskaźnik samodzielnej obsługi typowych pytań (ang. *containment rate*), co oznacza, że zdecydowana większość rutynowych interakcji była zamykana przez system bez eskalacji do pracownika HR. W ujęciu jakościowym wskaźnik ten należy jednak traktować jako miarę efektywności operacyjnej, a nie jako samodzielny dowód trafności lub kompletności wiedzy generowanej przez AI.

[7] RfP oznacza zapytanie ofertowe kierowane do potencjalnych dostawców w celu uzyskania porównywalnych propozycji handlowych, technicznych i organizacyjnych. Biorąc pod uwagę systemy GenAI stosowane w zakupach, „wczytanie dokumentacji RfP oraz formularzy cenowych" oznacza przekazanie systemowi dokumentów zawierających wymagania zamawiającego, kryteria oceny oraz dane cenowe oferentów. Jakość analizy AI zależy w tym przypadku od kompletności tych dokumentów, jednoznaczności kryteriów oraz możliwości powiązania rekomendacji systemu z konkretnymi fragmentami zapytania ofertowego i formularzy cenowych.

Przypadek	Obszar	Artefakt wiedzy	Dane/cechy wdrożenia	Podstawowe źródła dotyczące przypadku
AI @ Morgan Stanley Assistant / Debrief	Doradztwo finansowe i zgodność regulacyjna (ang. *compliance*)	Odpowiedzi oparte na wewnętrznym repozytorium wiedzy organizacji (tzw. korpusie firmowym)[8], syntezy, notatki i szkice komunikacji po spotkaniach	Odpowiedzi generowane wyłącznie na podstawie wewnętrznych zasobów wiedzy Morgan Stanley Wealth Management i linkowane do dokumentów, 98% adopcji Assistant w zespołach doradców, wzrost dostępu do dokumentów z 20% do 80%, Debrief za zgodą klienta tworzy notatki, identyfikuje ustalenia do realizacji wynikające ze spotkania i szkice e-maili do dalszej redakcji przez doradcę, system ewaluacji jakości działania GenAI, zestaw testów regresyjnych, zerowa retencja danych[9], rozumiana jako tryb nieutrwalania treści klienta w logach dostawcy, z zastrzeżeniem ograniczeń technicznych i kontraktowych.	*Morgan Stanley Wealth Management Announces Key Milestone in Innovation Journey with OpenAI*, 2023; *Morgan Stanley Research Announces AskResearchGPT Powered by OpenAI*, 2024; *Morgan Stanley uses AI evals to shape the future of financial services*, 2025

[8] Odpowiedzi generowane na podstawie korpusu wiedzy organizacyjnej oznaczają rezultaty działania systemu GenAI, które są tworzone nie z ogólnej wiedzy modelu ani z otwartego internetu, ale z uprzednio wyselekcjonowanego, zweryfikowanego i kontrolowanego zbioru dokumentów należących do organizacji. Taki korpus może obejmować procedury, polityki wewnętrzne, raporty, analizy, instrukcje, komentarze eksperckie, regulaminy, dokumentację klienta lub inne zasoby skodyfikowanej wiedzy. W ujęciu jakościowym istotne jest to, że odpowiedź powinna dać się powiązać z konkretnymi fragmentami tego korpusu. Wzmacnia to możliwość jej weryfikacji źródłowej, ogranicza ryzyko halucynacji i umożliwia audyt decyzji podjętej na jej podstawie.

[9] Zerowa retencja danych (ang. *zero data retention*) oznacza tryb przetwarzania, w którym treści klienta, takie jak zapytania i odpowiedzi systemu, nie są utrwalane w logach monitorowania nadużyć po stronie dostawcy usługi. Nie należy jednak utożsamiać tego pojęcia z absolutnym brakiem przetwarzania lub z identycznym statusem wszystkich funkcji systemu. W praktyce zakres zerowej retencji zależy od polityki dostawcy, rodzaju usługi, tak zwanego endpointu, umowy oraz wymogów bezpieczeństwa i zgodności regulacyjnej. W zastosowaniach menedżerskich, zwłaszcza w sektorach regulowanych, zerowa retencja danych stanowi mechanizm ograniczania ryzyka ujawnienia informacji poufnych, lecz nie zastępuje wewnętrznych procedur klasyfikacji danych, kontroli dostępu i audytu użycia AI.

Przypadek	Obszar	Artefakt wiedzy	Dane/cechy wdrożenia	Podstawowe źródła dotyczące przypadku
ConsumerIQ – The Estée Lauder Companies	Analityka wiedzy o rynku i konsumentach[10] (ang. *marketing intelligence*)	Synteza wiedzy o konsumentach[11], trendów i dokumentów w różnych formatach	Niemal 25 marek w około 150 krajach, dokumenty w formacie pdf, PowerPoint i arkuszach, centralizacja insightów, skrócenie czasu dostępu do danych z tygodni do minut, odpowiedzi z cytowaniami do walidacji źródeł.	*The Estée Lauder Companies and Microsoft Copilot Studio transform intelligence*, 2025; *ELC Partners With Microsoft to Create ConsumerIQ Tool for Data-Driven Insights*, 2025
McKinsey Lilli	Consulting	Wyszukiwanie, synteza wiedzy firmowej, wskazywanie ekspertów i materiałów	Ponad 40 źródeł podlegających kuracji merytorycznej, ponad 100 tys. dokumentów i transkryptów wywiadów, sieć ekspertów w 70 krajach, odpowiedzi z linkami, 5–7 najbardziej relewantnych materiałów, data stewards, wskazania oszczędności czasu. przygotowania do spotkań do 20% w wypowiedzi użytkownika	*Meet Lilli, our generative AI tool that's a researcher, a time saver, and an inspiration*, 2023
Eksperyment BCG	Consulting/praca wiedzochłonna	Rozwiązania realistycznych zadań konsultingowych z użyciem GPT-4	Eksperyment terenowy (758 konsultantów BCG), porównanie trzech warunków pracy: bez wsparcia AI, z wykorzystaniem GPT-4 oraz z wykorzystaniem GPT-4 po instruktażu dotyczącym formułowania poleceń. W zadaniach znajdujących się w aktualnym zakresie możliwości AI użycie GPT-4 prowadziło do wykonania średnio o 12,2% większej liczby zadań, skrócenia czasu pracy o 25,1% oraz wzrostu jakości rezultatów o ponad 40%. Efekt ten załamywał się jednak poza granicą kompetencji systemu – w takim zadaniu poprawność rozwiązań była o 19 p.p. niższa niż w grupie pracującej bez AI.	Dell'Acqua i in., 2026

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury i publicznych materiałów źródłowych wskazanych w bibliografii.

[10] Analityka wiedzy o rynku i konsumentach oznacza zorganizowany proces pozyskiwania, porządkowania, łączenia i interpretowania informacji dotyczących klientów, konkurencji, trendów, kanałów sprzedaży, zachowań konsumenckich oraz szerszego otoczenia rynkowego. Jej celem nie jest samo gromadzenie danych, lecz przekształcanie rozproszonych sygnałów rynkowych we wnioski użyteczne dla decyzji marketingowych, produktowych i strategicznych.

[11] Synteza wiedzy o konsumentach oznacza proces integrowania i interpretowania rozproszonych danych, obserwacji oraz wniosków dotyczących potrzeb, motywacji, preferencji i zachowań konsumentów. W odróżnieniu od prostej agregacji danych synteza ta polega na nadaniu informacjom znaczenia decyzyjnego, tj. na przekształceniu wielu cząstkowych sygnałów rynkowych w spójną diagnozę użyteczną dla decyzji marketingowych, produktowych lub strategicznych. W odniesieniu do GenAI pojęcie to wymaga ostrożności. System może sprawnie łączyć rozproszone materiały, ale zarazem wzmacniać nadinterpretacje, uproszczenia lub słabo udokumentowane hipotezy dotyczące konsumentów.

Wyniki studiów przypadków

IBM AskHR. Aktualność polityk, kontekst lokalny i obsługa przypadków nietypowych jako kryteria jakości wiedzy HR

IBM AskHR jest dobrym przykładem tego, że jakość wiedzy generowanej przez AI w HR zależy od wcześniejszej dyscypliny procesowej. W opisie IBM szczególnie istotna jest zasada *transform, not transfer* – czyli, innymi słowy, wadliwych procesów nie należy po prostu przenosić do automatyzacji, lecz najpierw je przeprojektować. To zdanie ma duże znaczenie teoretyczne. Wskazuje, że jakość odpowiedzi GenAI jest pochodną jakości procesu, z którego odpowiedź wyrasta. Model nie naprawia chaosu polityk HR – co najwyżej generuje bardziej płynne odpowiedzi na podstawie chaotycznego korpusu.

W publicznie dostępnym opisie wdrożenia IBM AskHR przedstawiono szereg wskaźników obrazujących skalę i organizacyjne osadzenie systemu. Narzędzie automatyzuje ponad 80 typów zadań z obszaru HR, obsługuje rocznie ponad 2,1 mln interakcji z pracownikami, korzysta z zasobu obejmującego około 7000 stron polityk organizacyjnych, a w 2024 roku przetworzyło ponad 1 mln transakcji HR. IBM wskazuje ponadto na 55,1 tys. informacji zwrotnych zebranych w 2024 roku, 99-procentowy poziom wykorzystania narzędzia wśród menedżerów, 94-procentowy wskaźnik samodzielnej obsługi typowych pytań bez przekazania sprawy człowiekowi oraz 40-procentową redukcję kosztów operacyjnych HR w okresie czterech lat (*Transforming HR support with agentic AI*, 2025). Dane te nie dowodzą jeszcze jakości każdej pojedynczej odpowiedzi generowanej przez system. Pozwalają uchwycić trzy istotne warunki zarządzania jakością wiedzy, tj. skalę (powtarzalnego) użycia, istnienie (mierzalnego) obiegu informacji zwrotnej oraz operacyjne powiązanie systemu z (aktualizowanym) zasobem polityk organizacyjnych.

Z perspektywy ramy JWG-AI przypadek IBM AskHR pokazuje, że trafność merytoryczna odpowiedzi zależy przede wszystkim od poprawnego przypisania zapytania pracownika do właściwej domeny HR (świadczeń, wynagrodzeń, rozwoju kariery, podróży służbowych, dokumentacji pracowniczej bądź czynności menedżerskich). Szczególnego znaczenia nabiera tu aktualność wiedzy, ponieważ polityki HR podlegają oczywistym zmianom w czasie i różnicują się terytorialnie. Odpowiedź zgodna z procedurą obowiązującą w jednej jurysdykcji może być nietrafna w innej, a komunikat poprawny w poprzednim okresie rozliczeniowym może utracić ważność po zmianie regulaminu, procesu albo lokalnych przepisów prawa pracy. Równie istotny jest wymiar bezpieczeństwa normatywnego. Obejmuje on ochronę danych pracownika, niedyskryminacyjny charakter odpowiedzi oraz zgodność z regulacjami właściwymi dla danego kraju i jednostki organizacyjnej.

Z analizowanego przypadku wynika zatem, że system GenAI stosowany w HR nie powinien być projektowany jako ogólny chatbot konwersacyjny, ale jako ograniczony domeną mechanizm proceduralnego wsparcia, który działa na podstawie wcześniej zweryfikowanych i aktualnych polityk organizacyjnych. O jego jakości decyduje nie tylko zdolność do udzielania odpowiedzi na rutynowe pytania, ale także zdolność do rozpoznania granic własnej użyteczności. Dlatego model dwupoziomowy (automatyczna obsługa

spraw standardowych oraz przekazywanie przypadków złożonych, nietypowych lub wrażliwych do oceny człowieka) należy traktować nie jako rozwiązanie pomocnicze, ale jako podstawowy warunek wiarygodności systemu. Bez takiego mechanizmu sprawy wymagające uwzględnienia lokalnego prawa pracy, indywidualnej sytuacji pracownika albo oceny etyczno-organizacyjnej mogłyby zostać błędnie zakwalifikowane jako rutynowe zapytania administracyjne.

Właśnie w tym miejscu, inaczej to ujmując, ujawnia się zasadnicza różnica między automatyzacją obsługi HR a zarządzaniem jakością wiedzy HR: pierwsza skraca czas odpowiedzi, druga wymaga rozpoznania, kiedy odpowiedź nie powinna zostać udzielona automatycznie.

BMW Group Offer Analyst. Kryteria, źródła i uzasadnienie w ocenie ofert

Przypadek BMW Group Offer Analyst ukazuje odmienny od HR sposób konstytuowania jakości wiedzy generowanej przez GenAI. W procesach zakupowych zasadniczym problemem nie jest szybkie udzielenie odpowiedzi użytkownikowi. Ważne jest tu możliwie jak najbardziej kompletne, porównywalne i źródłowo weryfikowalne przeanalizowanie dokumentacji przetargowej (zapytania ofertowego, ofert dostawców, formularzy cenowych, warunków handlowych oraz wymagań technicznych i organizacyjnych). Opis wdrożenia przedstawiony przez AWS wskazuje, że proces obejmuje wczytanie do systemu dokumentacji zapytania ofertowego, następnie ofert dostawców, wydobycie informacji o oferentach, analizę według kryteriów standardowych oraz analizę według kryteriów definiowanych przez użytkownika dla konkretnego postępowania. W tym sensie podstawową cechą rozwiązania jest przekształcenie zadania konwersacyjnego w zadanie porównawczo-kryterialne: system nie tyle „odpowiada" na pytanie, ile porządkuje materiał decyzyjny według (jawnie) określonych przesłanek oceny.

Wysoka jakość analizy zakupowej powstaje tu nie przez rozszerzanie swobody modelu, lecz przeciwnie – przez jej metodyczne ograniczanie. Im silniej odpowiedź zostaje związana z dokumentami źródłowymi, kryteriami oceny i strukturą postępowania zakupowego, tym mniejsze jest ryzyko, że wynik działania GenAI przyjmie postać nieuzasadnionej sugestii lub językowo przekonującej opinii. W takiej konfiguracji rezultat pracy systemu może być traktowany jako zestawienie podlegające audytowi. Użytkownik ma możliwość sprawdzenia, które wymagania zostały spełnione, które pozostają niejednoznaczne, a które wymagają dodatkowej interpretacji. Rozwiązanie to wzmacnia w pierwszej kolejności dwa wymiary jakości wiedzy. Są to kompletność kryteriów oraz weryfikowalność źródłową uzasadnienia. Jednocześnie materiały BMW z 2025 roku sytuują Offer Analyst w szerszym programie cyfryzacji zakupów (obok takich narzędzi, jak Knowledge Navigator i Tender Assistant). Sugeruje to, że jakość analizy nie jest projektowana wyłącznie na poziomie pojedynczej aplikacji. Dokonywane jest to w ramach szerszej architektury platformowej, która obejmuje także przygotowanie użytkowników do pracy z narzędziami GenAI.

Z perspektywy ramy JWG-AI znaczenie mają dwa rozwiązania organizacyjno-poznawcze. Pierwsze polega na oddzieleniu kryteriów stałych, właściwych dla powtarzalnych

procesów zakupowych, od kryteriów specyficznych dla danego projektu, kategorii zakupowej lub postępowania. Drugie polega na aktywnym włączeniu użytkownika w definiowanie wymagań niestandardowych. Dzięki temu system nie narzuca jednej, uniwersalnej logiki oceny ofert. Umożliwia menedżerowi zakupów doprecyzowanie tych warunków, które w danym przypadku mają rzeczywiste znaczenie decyzyjne. GenAI nie zastępuje więc profesjonalnego osądu zakupowego. Porządkuje obszar do porównania, zmniejsza ryzyko pominięcia istotnych informacji i ułatwia rekonstrukcję podstaw dokonanego wyboru.

Granice tego przypadku są jednak równie istotne, jak jego potencjał. Decyzja o wyborze dostawcy nie wyczerpuje się w analizie dokumentów. Obejmuje także ocenę ryzyka relacyjnego, odporności łańcucha dostaw, historii współpracy, zdolności innowacyjnej partnera, uwarunkowań geopolitycznych oraz wiedzy ukrytej, która często nie zostaje w pełni odzwierciedlona w dokumentacji przetargowej. Offer Analyst może zatem znacząco podnieść jakość formalnej analizy ofert, ale nie powinien być interpretowany jako samodzielny mechanizm do strategicznej rekomendacji zakupowej. Jego największa wartość ujawnia się wtedy, gdy ogranicza przeoczenia, redukuje asymetrię informacyjną i zwiększa przejrzystość porównania, nie zaś wtedy, gdy miałby pozorować pełną ocenę partnerstwa biznesowego. W zakupach GenAI powinna być więc rozumiana jako narzędzie wzmacniające dyscyplinę analityczną procesu. Nie może być traktowana jako substytut odpowiedzialnego osądu menedżerskiego.

Morgan Stanley. Weryfikowalność źródłowa, ewaluacja jakości odpowiedzi i zgodność regulacyjna w doradztwie finansowym

Przypadek Morgan Stanley należy do najlepiej udokumentowanych przykładów organizacyjnego nadzoru nad wiedzą generowaną przez GenAI w wysoce regulowanym środowisku działania. Już w komunikacie z 2023 roku podkreślano, że narzędzie przeznaczone dla doradców finansowych ma wytwarzać odpowiedzi wyłącznie na podstawie wewnętrznych zasobów Morgan Stanley Wealth Management oraz odsyłać użytkownika do dokumentów źródłowych, na których oparto daną odpowiedź (*Morgan Stanley Wealth Management Announces Key Milestone in Innovation Journey with OpenAI*, 2023). W kolejnym etapie wdrożono AI @ Morgan Stanley Debrief, system sporządzający (za zgodą klienta) notatki ze spotkań, identyfikujący ustalenia do realizacji oraz przygotowujący roboczy projekt wiadomości po rozmowie. Istotne jest jednak to, że wygenerowane treści nie są traktowane jako gotowa komunikacja z klientem. Doradca zachowuje obowiązek ich sprawdzenia, redakcji i ostatecznego zatwierdzenia przed użyciem (*Morgan Stanley Research Announces AskResearchGPT Powered by OpenAI*, 2024; *Morgan Stanley Wealth Management Announces Latest Game-Changing Addition to Suite of GenAI Tools*, 2024). Rola człowieka nie ma więc charakteru pozornego ani wyłącznie formalnego. Jest ostatnim ogniwem odpowiedzialności za treść przekazywaną klientowi i za zgodność tej treści z wymogami profesjonalnego doradztwa finansowego.

Opis wdrożenia przedstawiony przez OpenAI wskazuje, że jakość systemu była budowana nie tylko przez dobór źródeł. Zaangażowany był też do tego rozbudowany system

ewaluacji odpowiedzi. Morgan Stanley testował przypadki użycia przed wdrożeniem, prowadził ewaluacje streszczeń, angażował ekspertów dziedzinowych i specjalistów odpowiedzialnych za projektowanie zapytań do oceny trafności, spójności i przydatności odpowiedzi, rozwijał ewaluacje tłumaczeń oraz doskonalił metody wyszukiwania i przywoływania właściwych źródeł. Wysokie znaczenie ma informacja o codziennym wykorzystywaniu zestawu testów regresyjnych oraz o ścisłym powiązaniu zapewniania jakości z wymogami zgodności regulacyjnej (*Morgan Stanley uses AI evals to shape the future of financial services*, 2025). Właśnie ta kombinacja – kontrolowany korpus wiedzy, systematyczna ewaluacja, testy regresyjne i nadzór zgodności – odróżnia wdrożenie w sektorze regulowanym od zwykłego użycia chatbota, który jest publicznie dostępny.

Ogólnie dostępne dane wskazują również na wysoką skalę wykorzystania rozwiązania. Morgan Stanley deklaruje, że ponad 98% zespołów doradców korzysta z narzędzi, takich jak Assistant, a dostępność dokumentów wzrosła z 20% do 80%. Komunikat dotyczący Debrief przypomina zarazem, że Assistant został w pełni udostępniony we wrześniu 2023 roku, natomiast Debrief rozszerzył funkcjonalność systemu o notowanie spotkań, streszczanie rozmów i przygotowywanie wstępnych projektów komunikacji z klientem (*Morgan Stanley Research Announces AskResearchGPT Powered by OpenAI*, 2024; *Morgan Stanley Wealth Management Announces Latest Game-Changing Addition to Suite of GenAI Tools*, 2024). Ważne i ciekawe jest przy tym to, że sama organizacja zastrzega ograniczenia wyników generowanych przez AI, w tym możliwość nieścisłości, niekompletności oraz stronniczości. Użytkownik pozostaje zobowiązany do weryfikacji treści przed ich użyciem. Z perspektywy jakości wiedzy jest to element wartościowy, a można powiedzieć, że i zasadniczy. Organizacja nie redukuje wdrożenia do narracji o produktywności. Stara się formalnie utrzymywać wymóg sprawdzenia i odpowiedzialnego użycia wyniku działania systemu.

Wniosek z tego przypadku odnosi się do związku pomiędzy weryfikowalnością źródłową a zaufaniem do wiedzy generowanej przez GenAI. Wydaje się, że w doradztwie finansowym nie wystarcza, aby odpowiedź była językowo przekonująca lub prawdopodobna. Musi być możliwa do uzasadnienia wobec klienta, regulatora oraz wewnętrznych funkcji nadzoru i zgodności. Jakość wiedzy nie sprowadza się więc do semantycznej trafności odpowiedzi. Musi obejmować możliwość odtworzenia całej sekwencji decyzyjnej – od pytania użytkownika, przez źródło i wygenerowaną odpowiedź, po ocenę ekspercką, użycie komunikatu oraz odpowiedzialność za jego konsekwencje. Przypadek Morgan Stanley pokazuje, że GenAI w finansach (i zarządzaniu nimi) wymaga technik generowania wspomaganego wyszukiwaniem oraz systemu ewaluacji jakości odpowiedzi, kontroli prywatności danych, testów regresyjnych i jednoznacznie określonej roli doradcy w procesie decyzyjnym.

Ograniczenie tego modelu wynika z tej samej cechy, która stanowi o jego bezpieczeństwie. Oparcie systemu na wewnętrznym, skodyfikowanym korpusie wiedzy może ograniczać ryzyko nieautoryzowanych rekomendacji oraz wzmacniać konserwatyzm poznawczy. System bardzo dobrze odtwarza wiedzę uznaną, zatwierdzoną i utrwaloną w organizacji. Słabiej wychwytuje sygnały peryferyjne, nowe sprzeczności, niestandardowe interpretacje lub zjawiska dopiero wyłaniające się poza głównym nurtem firmowej

ekspertyzy. W sektorze regulowanym taka ostrożność jest częściowo pożądana, ponieważ zmniejsza ryzyko komunikacji niezgodnej z politykami firmy lub wymogami nadzorczymi. Z perspektywy nauk o zarządzaniu wykazuje jednak trudność ujawniającą się między bezpieczeństwem wiedzy a jej odkrywczością. Morgan Stanley pokazuje, jak można zwiększać wiarygodność GenAI w środowisku wysokiego ryzyka. Pokazuje również, jaką cenę poznawczą może mieć daleko posunięta kontrola źródeł i procedur.

ConsumerIQ w The Estée Lauder Companies. Synteza wiedzy o konsumentach w warunkach zmienności rynku

ConsumerIQ w The Estée Lauder Companies reprezentuje ten typ zastosowania GenAI, w którym podstawową funkcją systemu nie jest obsługa powtarzalnej procedury, a integracja interpretacyjna rozproszonych zasobów wiedzy o rynku, konsumentach i trendach. ELC działa za pośrednictwem niemal 25 marek w około 150 krajach. Organizacja operuje na znacznej liczbie danych dotyczących zachowań konsumenckich, kategorii produktowych, lokalnych uwarunkowań rynkowych oraz zmian w języku i praktykach wynikających z codziennej konsumpcji. Materiały Microsoftu i ELC wskazują, że przed wdrożeniem ConsumerIQ wiedza ta była rozproszona w wielu formatach i na wielu nośnikach, obejmujących między innymi pliki pdf, prezentacje, arkusze kalkulacyjne i dokumenty analityczne. ConsumerIQ, zbudowany z wykorzystaniem Microsoft Copilot Studio oraz Azure OpenAI Service, ma porządkować te zasoby, analizować dokumenty, identyfikować wzorce i formułować rekomendacje użyteczne dla decyzji marketingowych i strategicznych (*The Estée Lauder Companies and Microsoft Copilot Studio transform intelligence*, 2025; *ELC Partners With Microsoft to Create ConsumerIQ Tool for Data-Driven Insights*, 2025).

Skrócenie czasu dostępu do istotnych danych z tygodni do minut to deklarowany efekt wdrożenia. W obszarze analityki wiedzy o rynku i konsumentach zmiana ta ma znaczenie nie tylko operacyjne, ale i poznawcze. Wartość rozpoznania rynkowego często zależy od szybkości uchwycenia zmiany – zanim stanie się ona oczywista dla konkurentów. Z perspektywy ramy JWG-AI szczególnie istotne jest jednak nie tylko samo przyspieszenie dostępu do informacji, liczy się to, w jaki sposób system wiąże wygenerowane odpowiedzi ze źródłami. Cytowania umożliwiające przejście do dokumentów źródłowych wzmacniają poziom możliwości weryfikowania formułowanych wniosków. Nie jest to element drugorzędny ani wyłącznie redakcyjny, tym bardziej w analizie trendów i zachowań konsumenckich. Źródłowe uzasadnienie odpowiedzi ogranicza ryzyko, że system przekształci krótkotrwałą modę, anegdotyczny sygnał, błąd danych wejściowych albo dominującą narrację marketingową w – pozornie tylko – prawdziwą przesłankę strategiczną.

Tutaj pojawia się jednak odmienny problem jakości niż w HR, zakupach czy doradztwie regulowanym. Odpowiedź systemu rzadko wiąże się z jednoznaczną procedurą lub pojedynczym wymogiem formalnym. Wydaje się, że częściej ma charakter hipotezy interpretacyjnej. Wskazuje, które z zachowań konsumentów mogą się utrwalać, jak zmienia się język danej kategorii, które mikrotrendy mogą oddziaływać na produkt, komunikację marki, opakowanie lub pozycjonowanie oferty. Jakość wiedzy generowanej przez GenAI

obejmuje zatem nie tylko aktualność informacji. To także zdolność do łączenia słabych sygnałów w uzasadnioną i możliwą do dalszej weryfikacji diagnozę. Im większy poziom syntezy, tym większe zarazem ryzyko wygładzenia różnic między rynkami, grupami konsumentów, markami i kontekstami kulturowymi. Ostatecznie to także większa efektywność biznesowa dla całej firmy.

Przypadek ConsumerIQ pokazuje, że w zastosowaniach marketingowych znaczenie ma nie tylko dostęp do źródeł. Widać to w obszarze różnorodności i jakości samej wiedzy. Jeżeli materiał źródłowy jest zbyt jednorodny, system może znacząco przyspieszyć analizę – nawet nie poszerzając jej zakresu poznawczego. Wysoka jakość wymaga więc kontroli tego, czy GenAI korzysta z danych globalnych oraz lokalnych, ilościowych i jakościowych, bieżących i historycznych. Równie ważne jest to, czy użytkownik potrafi odróżnić wniosek oparty na stabilnym materiale empirycznym od atrakcyjnie sformułowanej, aczkolwiek niezbyt przekonująco udokumentowanej hipotezy. W takim rozumieniu wdrożenie GenAI w marketingu wymaga szczególnie rozwiniętej kultury interpretacji. Inne, ale ważne cechy to umiejętność pracy ze źródłem, rozpoznawania niepewności, ważenia sygnałów oraz krytycznego traktowania syntetycznych odpowiedzi generowanych przez system.

McKinsey Lilli. Adekwatność kontekstowa i jakość syntezy wiedzy eksperckiej w doradztwie strategicznym

McKinsey Lilli jest przypadkiem, w którym GenAI zostaje umieszczona w samym centrum modelu profesjonalnej usługi. McKinsey pisze wprost: „Knowledge is the lifeforce of McKinsey". Jak się wydaje, to nie jest jedynie hasło wizerunkowe. W firmie doradczej jakość pracy zależy od zdolności dotarcia do właściwych analogii, ekspertów, danych, przypadków, ram interpretacyjnych. Lilli ma agregować ponad 40 kuratorowanych źródeł wiedzy, ponad 100 tys. dokumentów i transkryptów wywiadów oraz sieć ekspertów w 70 krajach.

Zgodnie z opisem McKinsey Lilli nie ogranicza się do udzielenia pojedynczej odpowiedzi na pytanie użytkownika. Po wpisaniu zapytania system identyfikuje zwykle od pięciu do siedmiu najbardziej odpowiadających materiałów, syntetyzuje ich zasadniczą treść, wskazuje odsyłacze do źródeł oraz pomaga odnaleźć ekspertów, których doświadczenie może być użyteczne w danym problemie projektowym. Jakość nie jest tu zatem rozumiana jako sprawność wygenerowania jednego tekstu. To bardziej zdolność skrócenia drogi od problemu klienta do właściwych zasobów wiedzy, dokumentów i osób. W tym oto sensie Lilli pełni funkcję organizacyjnego mechanizmu dostępu do kapitału intelektualnego firmy. Porządkuje rozproszone zasoby, ułatwia ich interpretację i przyspiesza przejście od zapytania projektowego do roboczej hipotezy rozwiązania.

Z perspektywy nadzoru nad jakością wiedzy (a z badawczej jako element poznawczy) szczególne znaczenie ma to, że wdrożenie Lilli zostało powiązane z instytucjonalnymi rolami odpowiedzialnymi za porządkowanie, ocenę i utrzymywanie zasobów źródłowych. McKinsey wskazuje, że setki osób uczestniczą w kuracji treści. Co to oznacza? Dbają o jakość danych, usuwają lub maskują informacje poufne dotyczące klientów,

opisują materiały w sposób umożliwiający ich wyszukiwanie oraz zapewniają ich przydatność dla pracy konsultantów. Ten element jest wysokiej wagi, choć często pomijany w uproszczonych dyskusjach o GenAI. Model językowy nie zastępuje bowiem organizacyjnej pracy nad wiedzą. Przeciwnie, czyni ją bardziej widoczną i strategicznie istotną. Im większa występuje zależność organizacji od systemów GenAI, tym większe jest znaczenie kuratorów zasobów wiedzy, właścicieli danych, dziedzinowych ekspertów oraz funkcji odpowiedzialnych za bezpieczeństwo, poufność i ryzyko.

Przypadek Lilli dobrze ujawnia trudności właściwe profesjonalnym organizacjom, których przewaga konkurencyjna opiera się na skodyfikowanym doświadczeniu. System bardzo skuteczny w przeszukiwaniu wcześniejszych projektów może wzmacniać analogie do rozwiązań już opisanych, uznanych i utrwalonych w korpusie wiedzy firmy. Jest to jednocześnie jego siła i ograniczenie. Siła polega na szybkim uruchomieniu doświadczenia zgromadzonego w wielu zespołach, sektorach i regionach. Ograniczenie polega na możliwości reprodukowania dominujących wzorców interpretacyjnych – a więc faworyzowania tego, co zostało już wcześniej nazwane, sklasyfikowane i uznane za wartościowe.

Dla doradztwa strategicznego ma to znaczenie zasadnicze. Najtrudniejsze problemy klientów nie zawsze wymagają odnalezienia podobnego przypadku z przeszłości. Często wymagają one rozpoznania, czy dostępna analogia jest niepełna, myląca albo pozornie podobna. Jakość wiedzy generowanej przez GenAI nie może więc polegać wyłącznie na sprawnej syntezie istniejącego zasobu. Musi obejmować również zdolność ujawniania niepewności, wskazywania luk w materiale źródłowym, sygnalizowania granic porównania, ale także – co jednak bardzo istotne – odróżniania dobrze udokumentowanej analogii od interpretacyjnej sugestii. W przypadku Lilli najważniejszy wniosek brzmiał będzie zatem następująco: GenAI może wzmacniać jakość pracy doradczej (konsultingowej) tylko wtedy, gdy dostęp do skodyfikowanej wiedzy w danej organizacji jest równoważony krytycznym namysłem nad tym, czego ta wiedza nie obejmuje.

Eksperymenty z pracą wiedzochłonną i granice produktywności

Porównawcze studia przypadków pokazują różne (i zarazem badawczo ciekawe) architektury wdrożeń, ale nie pozwalają same w sobie ocenić wpływu GenAI na jakość decyzji. Z tego powodu warto zestawić je z wynikami eksperymentów. Najważniejszy dla niniejszego artykułu jest eksperyment Dell'Acqua i współautorów przeprowadzony z 758 konsultantami BCG. Badani zostali losowo przypisani do warunków – bez dostępu do AI, z dostępem do GPT-4 albo z dostępem do GPT-4 i krótkim instruktażem promptowania (czyli przygotowania odpowiedniej instrukcji komunikacji z chatbotem). W zadaniach mieszczących się w możliwościach modelu konsultanci z AI wykonali średnio 12,2% więcej zadań, pracowali 25,1% szybciej, a jakość ich wyników była ponad 40% wyższa niż w grupie kontrolnej. Jednak w zadaniu znajdującym się poza granicą możliwości AI użytkownicy z AI byli o 19 punktów procentowych mniej skłonni do poprawnej odpowiedzi.

Wynik ma istotny wpływ na teorię jakości wiedzy. Oznacza, że GenAI może równocześnie podnosić jakość i ją niszczyć – zależnie od typu zadania. Problem nie polega więc na ogólnym pytaniu „czy AI pomaga", ale na pytaniu, czy organizacja potrafi rozpoznać granicę kompetencji systemu. Bez tej zdolności menedżer może przenieść zaufanie

wypracowane w zadaniach łatwiejszych na zadania, w których model generuje pozornie przekonujące, aczkolwiek niepoprawne rozwiązania. To właśnie stanowi sam środek rozważań o ekonomii błędu.

Podobny wniosek wynika z badań Noya i Zhang (2023), Brynjolfssona, Li i Raymond (2025) oraz Nicholasa Otisa i współautorów (2024). GenAI potrafi poprawiać wydajność i wyrównywać różnice kompetencyjne, ale efekty są heterogeniczne. W przedsiębiorczości, gdzie zadania są w dużej mierze bardziej kontekstowe i splecione z lokalnymi warunkami, sam dostęp do porad AI nie musi prowadzić do poprawy wyników ekonomicznych. Natomiast z punktu widzenia zarządzania oznacza to, że jakość wiedzy generowanej przez AI nie może być mierzona tylko czasem wykonania ani subiektywną satysfakcją użytkownika. Konieczne są miary trafności, kompletności, kalibracji pewności i skutku decyzji. To oczywiste.

Dlatego w dalszej części artykułu przypadki wdrożeniowe interpretuję przez pryzmat eksperymentalnej lekcji o granicy technologicznej. Wysoka jakość GenAI w organizacji wymaga nie tylko dostępu do modelu. Wymaga praktyk, które dają możliwość pomocy użytkownikowi w zorientowaniu się, kiedy odpowiedź jest w granicy kompetencji systemu, kiedy wymaga dodatkowego źródła, a kiedy zaś powinna zostać przekazana ekspertowi do dalszej pracy.

Porównawcza analiza nadzoru epistemicznego

Porównanie analizowanych przypadków wskazuje, że jakość wiedzy generowanej przez GenAI nie ma charakteru uniwersalnego. Przyjmuje postać domenowo zróżnicowanych konfiguracji i form kontroli. W obszarze zarządzania zasobami ludzkimi zasadnicze znaczenie mają aktualność polityk organizacyjnych, dostosowanie odpowiedzi do lokalnego kontekstu prawno-organizacyjnego oraz sprawne przekazywanie przypadków nietypowych do oceny eksperckiej. W zakupach ciężar jakości przesuwa się ku kompletności kryteriów oceny i weryfikowalności źródłowej podczas porównania ofert. W doradztwie finansowym, funkcjonującym pod presją regulacyjną, forpocztą stają się możliwość odtworzenia podstaw odpowiedzi, systematyczna ewaluacja jakości działania danego narzędzia, zgodność regulacyjna oraz odpowiedzialna weryfikacja treści przez doradcę. W marketingu jakość zależy od tempa syntezy wiedzy o rynku i konsumentach, ale też od zdolności oceny wiarygodności, różnorodności oraz aktualności źródeł, z których wyprowadzane są wnioski o trendach. W doradztwie strategicznym natomiast centralne znaczenie zyskuje organizacyjne porządkowanie wiedzy eksperckiej oraz zdolność systemu do wskazywania nie tylko gotowych odpowiedzi, ale również właściwych materiałów, źródeł i osób kompetentnych w danym problemie.

Jak już wcześniej ustalono, dla potrzeb syntezy porównawczej zastosowano skalę od 0 do 3 dla każdego z sześciu wymiarów ramy JWG-AI. Należy podkreślić, że uzyskane wyniki nie stanowią pomiaru jakości samych modeli językowych ani audytu badanych organizacji. Są one analityczną interpretacją jawnie opisanych mechanizmów zarządzania jakością wiedzy w poszczególnych wdrożeniach. Wysoka ocena oznacza, że w dostępnych

materiałach źródłowych można zidentyfikować wyraźny, powtarzalny i powiązany z procesem użycia mechanizm kontroli danego wymiaru jakości. Ocena pośrednia oznacza obecność takiego mechanizmu, lecz w formie częściowej, ogólnie opisanej albo ograniczonej do wybranych etapów procesu. Ocena niska wskazuje natomiast, że publicznie dostępne dane nie pozwalają wiarygodnie potwierdzić istnienia wystarczająco rozwiniętej procedury kontroli. Taki sposób punktowania ma charakter porządkujący i porównawczy. Pozwala uchwycić różnice między domenami zastosowania GenAI, nie roszcząc sobie prawa do pełnej oceny skuteczności wdrożenia. Skala 0–3 w tabeli 3 ma charakter porządkujący i jakościowy. Nie jest niezależnym audytem wdrożeń, lecz transparentną rekonstrukcją dojrzałości mechanizmów opisanych w źródłach publicznych.

Tab. 3. Autorska punktacja nadzoru epistemicznego według ramy JWG-AI (skala 0–3)

Przypadek	Trafność	Dowodowość	Kompletność	Kontekst	Aktualność	Normatywność	Średnia
IBM AskHR	2,5	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,58
BMW Offer Analyst	2,5	3,0	3,0	2,5	2,0	2,5	2,58
Morgan Stanley Assistant/Debrief	3,0	3,0	2,5	3,0	3,0	3,0	2,92
ConsumerIQ ELC	2,5	2,5	2,0	2,5	3,0	2,0	2,42
McKinsey Lilli	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0	2,75

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury i publicznych materiałów źródłowych wskazanych w bibliografii.

W syntetycznej ocenie porównawczej najwyżej oceniono przypadek Morgan Stanley. Wynik ten nie powinien być interpretowany jako dowód najwyższej efektywności ekonomicznej narzędzia. To po prostu konsekwencja najlepiej udokumentowanej (publicznie dostępnej) architektury kontroli jakości wiedzy – co więcej, w środowisku o podwyższonej wrażliwości regulacyjnej i decyzyjnej. O przewadze tego przypadku przesądza współwystępowanie kilku mechanizmów:

– ścisłego powiązania odpowiedzi ze źródłami wewnętrznymi,
– systematycznej ewaluacji jakości działania narzędzia,
– codziennych testów regresyjnych,
– podporządkowania procesu wymogom zgodności regulacyjnej oraz
– obowiązkowej weryfikacji treści przez doradcę przed ich użyciem w komunikacji z klientem.

Wysoki wynik McKinsey Lilli wynika z kolei z oparcia systemu na kuratorowanych zasobach wiedzy, obecności ról odpowiedzialnych za jakość i bezpieczeństwo danych, wskazywania źródeł oraz osadzenia narzędzia w profesjonalnym modelu pracy opartej na kapitale intelektualnym organizacji go reprezentującego. IBM AskHR i BMW Group Offer Analyst osiągają zbliżony poziom oceny, ale z odmiennych powodów. Otóż IBM wzmacnia jakość przez dostępność aktualnych polityk organizacyjnych, lokalne dopasowanie odpowiedzi i bezpieczeństwo normatywne procesów HR, natomiast

BMW – przez jawność kryteriów oceny oraz możliwość powiązania analizy zakupowej z dokumentacją źródłową. ConsumerIQ uzyskuje ocenę nieco niższą, ponieważ analityka wiedzy o rynku i konsumentach jest domeną mniej proceduralną, a bardziej interpretacyjną i narażoną na niejednoznaczność wnioskowania. Mimo że, co warte podkreślenia, narzędzie może znacząco skracać czas syntezy oraz wzmacniać aktualność rozpoznania trendów.

Ta komparatystyczna analiza prowadzi do wniosku, że jakość wiedzy generowanej przez GenAI nie podlega jednemu, uniwersalnemu wzorcowi oceny. Odpowiedź w obszarze HR nie jest tożsama z odpowiedzią w zakupach, doradztwie finansowym, marketingu czy konsultingu strategicznym. W HR szczególnego znaczenia nabiera zdolność systemu do rozpoznania sytuacji, w których automatyczna odpowiedź nie powinna zostać udzielona bez udziału człowieka. W zakupach zasadnicze stają się jawne kryteria porównania oraz możliwość wskazania fragmentów dokumentów, na których oparto ocenę danej oferty. W finansach jakość wymaga rekonstrukcji podstaw odpowiedzi, kontroli zgodności regulacyjnej i formalnej odpowiedzialności doradcy. Fundamentem w marketingu jest nie tylko szybkie porządkowanie rozproszonych danych, ale również odróżnienie trwałego trendu od szumu informacyjnego oraz wskazanie źródeł, z których wynika określony wniosek o rynku lub konsumencie. W doradztwie strategicznym system powinien nie tylko syntetyzować wiedzę. Ma ujawniać jej pochodzenie, ograniczenia, możliwe analogie oraz obszary, w których dostępny materiał nie pozwala na sformułowanie mocnej rekomendacji.

Z przeprowadzonej syntezy wyłaniają się zatem cztery mechanizmy o charakterze przekrojowym. Pierwszym jest merytoryczne porządkowanie posiadanego zasobu źródłowego. Wynika z niego pewna zasada – im większa waga decyzji, tym mniej wystarczające staje się korzystanie z otwartego, niekontrolowanego i niejednorodnego zasobu informacji. Drugim jest jawność podstaw źródłowych. Rozumie się przez to możliwość przejścia od wygenerowanej odpowiedzi do dokumentu, danych lub fragmentu korpusu wiedzy, na których oparto dane twierdzenie. Trzecim jest przełożenie zadania decyzyjnego na wyraźny układ kryteriów. Dzięki temu rekomendacja nie pozostaje ogólną sugestią modelu. Staje się tu wynikiem analizy prowadzonej według rozpoznawalnych i możliwych do zakwestionowania przesłanek. Czwartym mechanizmem jest ciągła ewaluacja działania systemu. Odpowiedzi GenAI powinny być testowane, porównywane, korygowane i ponownie oceniane w czasie. Jakość wiedzy generowanej przez AI nie jest jednorazową własnością modelu. Jest przecież rezultatem utrzymywanego procesu organizacyjnej kontroli.

Tab. 4. Przekrojowe mechanizmy kontroli jakości wiedzy generowanej przez systemy GenAI

Mechanizm kontroli jakości wiedzy	**Przypadki, w których mechanizm jest szczególnie widoczny**	**Znaczenie dla wiarygodności decyzji**	**Ryzyko w przypadku braku lub słabości mechanizmu**
Merytoryczne porządkowanie zasobu źródłowego	McKinsey Lilli, Morgan Stanley Debrief, IBM AskHR	Ogranicza materiał wykorzystywany przez system do dokumentów zatwierdzonych, aktualnych, opisanych i przydatnych w danej domenie organizacyjnej. Wzmacnia kontrolę nad tym, jakie źródła mogą stać się podstawą odpowiedzi.	Wykorzystanie treści nieaktualnych, nieuprawnionych albo niewłaściwych dla danej domeny, ryzyko naruszenia poufności, generowanie odpowiedzi niezgodnych z politykami organizacji.
Jawność podstaw źródłowych	Morgan Stanley Debrief, BMW Group Offer Analyst, ConsumerIQ, McKinsey Lilli	Pozwala powiązać twierdzenia systemu z dokumentami, danymi lub fragmentami repozytorium wiedzy. Umożliwia sprawdzenie odpowiedzi, odtworzenie jej podstaw oraz uzasadnienie decyzji wobec interesariuszy, klienta lub regulatora.	Odpowiedzi pozornie wiarygodne, lecz trudne do sprawdzenia, opóźnione wykrywanie błędów, brak możliwości obrony decyzji podjętej na podstawie rekomendacji systemu.
Przełożenie zadania na jawne kryteria oceny	BMW Group Offer Analyst, częściowo IBM AskHR i Morgan Stanley Debrief	Przekształca ogólne zapytanie w analizę prowadzoną według określonych warunków, wymagań lub kryteriów. Zwiększa porównywalność wariantów i ogranicza ryzyko pominięcia istotnej przesłanki.	Nadmiernie ogólna rekomendacja, arbitralność oceny, pominięcie warunku wykluczającego lub kryterium istotnego dla decyzji, fałszywe wrażenie kompletności analizy.
Ciągła ocena działania systemu i obieg informacji zwrotnej	Morgan Stanley Debrief, IBM AskHR	Umożliwia systematyczne sprawdzanie jakości odpowiedzi, identyfikowanie powtarzalnych błędów, porównywanie wyników w czasie oraz doskonalenie narzędzia na podstawie doświadczeń użytkowników.	Utrwalanie błędnych odpowiedzi, stopniowe pogarszanie jakości po zmianach modelu lub źródeł, brak wiedzy o granicach użyteczności systemu.

Mechanizm kontroli jakości wiedzy	Przypadki, w których mechanizm jest szczególnie widoczny	Znaczenie dla wiarygodności decyzji	Ryzyko w przypadku braku lub słabości mechanizmu
Przekazywanie przypadków nietypowych do oceny człowieka	IBM AskHR, Morgan Stanley Debrief	Chroni sprawy wymagające interpretacji eksperckiej, odpowiedzialności zawodowej lub oceny kontekstu, którego system nie powinien rozstrzygać samodzielnie. Wzmacnia rozróżnienie między sprawą rutynową a przypadkiem wrażliwym.	Automatyczne potraktowanie wyjątku jako sprawy standardowej, błędna decyzja w sytuacji wysokiej stawki, rozmycie odpowiedzialności za skutki odpowiedzi.
Oddzielenie syntezy wiedzy od decyzji menedżerskiej	McKinsey Lilli, ConsumerIQ, Morgan Stanley Debrief	Pozwala traktować system generatywnej sztucznej inteligencji jako narzędzie porządkowania i interpretowania materiału, a nie jako samodzielny podmiot decyzyjny. Utrzymuje odpowiedzialność po stronie użytkownika, eksperta lub właściwej funkcji organizacyjnej.	Podejmowanie decyzji na podstawie atrakcyjnej, lecz słabo udokumentowanej narracji, utożsamienie sprawnej syntezy z trafnością rekomendacji, przeniesienie odpowiedzialności na system.

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy przypadków IBM AskHR, BMW Group Offer Analyst, AI @ Morgan Stanley Assistant/Debrief, ConsumerIQ oraz McKinsey Lilli.

Od *human-in-the-loop*[12] do *epistemic accountability*[13]

Najważniejszy wniosek z tego badania jest następujący. Jakość wiedzy generowanej przez AI jest właściwością układu socjotechnicznego, a nie samego modelu. Model może zwiększać płynność, zakres syntezy i szybkość dostępu do treści, ale jakość decyzyjna pojawia się dopiero wtedy, kiedy wynik zostaje powiązany z korpusem, kryteriami, kontekstem,

[12] *Human-in-the-loop* (ang.) oznacza udział człowieka w pętli decyzyjnej, tj. taki sposób organizacji pracy z systemem AI, w którym wynik modelu podlega weryfikacji przez osobę posiadającą kompetencje, uprawnienie do interwencji i odpowiedzialność za jego użycie. Wytyczne Komisji Europejskiej [*Ethics Guidelines for Trustworthy AI*, 2019; art. 14 Regulation (EU) 2024/1689] dotyczące godnej zaufania AI wskazują, że nadzór może przyjmować postać *human-in-the-loop*, *human-on-the-loop* lub *human-in-command*, a AI Act wymaga, aby człowiek mógł rozumieć ograniczenia systemu, monitorować jego działanie, przeciwdziałać nadmiernemu zaufaniu do wyniku, interpretować odpowiedź, odrzucić ją lub zatrzymać działanie systemu.

[13] *Epistemic accountability* (ang.) to odpowiedzialność za wiarygodność wiedzy oznaczająca obowiązek uzasadnienia, dlaczego dane twierdzenie, rekomendacja lub synteza mogą zostać uznane za wiarygodną podstawę decyzji.

aktualnością i, wreszcie, odpowiedzialnością. To przesuwa dyskusję z poziomu „jak dobry jest model" na poziom „jak dobrze organizacja projektuje warunki użycia tego modelu".

Popularna formuła *human-in-the-loop* jest w tym kontekście zbyt uboga. Nie mówi, który człowiek ma być w pętli, na jakim etapie, z jakimi kompetencjami i wobec jakiego ryzyka. W analizowanych przypadkach można wyróżnić co najmniej pięć ról ludzkich. Pierwsza to właściciel korpusu, odpowiedzialny za jakość źródeł. Druga to projektant kryteriów, definiujący warunki oceny. Trzecia to użytkownik końcowy, który formułuje zapytanie i interpretuje odpowiedź. Czwarta to ekspert walidujący, który sprawdza trafność w zadaniach wysokiej stawki. Piąta to funkcja *governance/compliance*, która określa granice użycia, testy i procedury dalszej eskalacji.

Jeżeli te role zostaną sprowadzone do jednej ogólnej odpowiedzialności użytkownika, organizacja tworzy ryzyko moralnej i epistemicznej próżni. Użytkownik końcowy może nie mieć ani wiedzy o jakości korpusu, ani możliwości oceny tak zwanej metody *retrieval*, ani kompetencji prawnej do oceny skutków normatywnych. Stąd konieczność przejścia od *human-in-the-loop* do *epistemic accountability*, czyli jasnego przypisania odpowiedzialności za każdy etap produkcji i użycia wiedzy generowanej przez AI.

Wyniki studium prowadzą do pięciu propozycji teoretycznych. Można je ująć w następujący sposób:

- w zadaniach wysokiej stawki możliwość śledzenia dowodów będzie wyraźniej powiązana z użytecznością decyzyjną niż płynność językowa odpowiedzi,
- GenAI zwiększy jakość decyzji szczególnie wtedy, gdy zadanie zostanie przełożone na jawne kryteria oceny,
- w organizacjach regulowanych rutyny ewaluacyjne będą warunkiem adopcji, a nie jedynie narzędziem optymalizacji,
- skuteczność GenAI będzie zależała od zdolności organizacji do rozpoznawania granicy kompetencji systemu,
- narzędzia oparte na silnym korpusie wewnętrznym zwiększą spójność wiedzy, ale mogą także wzmacniać epistemiczny konserwatyzm.

Dla nauk o jakości szczególnie istotna jest propozycja czwarta. Jakość w środowisku GenAI nie jest stanem statycznym. Jest dynamicznym procesem kontroli błędu. Obejmuje projektowanie wejścia, ograniczenie przestrzeni generowania, widoczność źródeł, audyt odpowiedzi, feedback, aktualizację korpusu i uczenie użytkownika. To zbliża analizę GenAI do klasycznych problemów zarządzania jakością, czyli kontroli procesu, zapobiegania defektom, identyfikacji przyczyn źródłowych i ciągłego doskonalenia. Różnica polega na tym, że „defektem" nie jest wyłącznie wadliwy produkt, lecz wadliwa przesłanka decyzji.

Warto też zauważyć, że GenAI zmienia ekonomię wiedzy w organizacji. Dotychczas kosztem była często trudność dotarcia do wiedzy. Po wdrożeniu GenAI koszt przesuwa się w stronę oceny jakości wiedzy. Gdy dostęp jest łatwy, największym zagrożeniem staje się nie brak informacji, ale nadmiar przekonująco sformułowanych przesłanek. Organizacje dojrzałe będą więc różnić się zakresem adopcji AI. Różnicą tą będzie również zdolność do odsiewania odpowiedzi niepewnych, nieadekwatnych i nieudokumentowanych.

Implikacje praktyczne dla menedżerów i projektantów systemów jakości

Z praktycznego punktu widzenia artykuł prowadzi do wniosku, że wdrożenie GenAI powinno zaczynać się od mapy ryzyka decyzyjnego, a nie od wyboru narzędzia. Organizacja powinna najpierw ustalić, jakie szkody może spowodować błędna odpowiedź. Mogą to być szkody prawne, finansowe, reputacyjne, operacyjne, relacyjne albo poznawcze. Dopiero potem należy rozpocząć projektowanie poziomu dostępu do źródeł, widoczności cytowań, zakresu automatyzacji, eskalacji i obowiązków użytkownika.

W HR rekomendowane są: ograniczone domeny pytań, lokalizacja polityk, kontrola wersji, ścieżki eskalacji dla wyjątków i regularna analiza feedbacku. W zakupach istotne są natomiast: jawne kryteria oceny, macierze porównawcze, linkowanie odpowiedzi do fragmentów ofert i rozdzielenie analizy formalnej od decyzji strategicznej. W sektorach regulowanych, zwłaszcza w finansach, wiarygodność wiedzy generowanej przez GenAI zależy od zespolenia kilku warstw kontroli: cyklicznej oceny jakości odpowiedzi, testów regresyjnych, rejestrowania użycia systemu, ograniczenia przechowywania danych, weryfikacji eksperckiej oraz jednoznacznego informowania użytkownika o ograniczeniach narzędzia. W marketingu problem jakości ma inny charakter, ponieważ dotyczy nie tyle zgodności z ustaloną procedurą, ile rzetelności interpretacji rozproszonych sygnałów rynkowych. W tym przypadku konieczna jest kontrola różnorodności źródeł, dat ich powstania, lokalnego kontekstu danych oraz stopnia potwierdzenia formułowanych wniosków o konsumentach. W doradztwie strategicznym pierwszorzędne staje się natomiast instytucjonalne zarządzanie zasobami wiedzy. Ich selekcja, opis, aktualizacja, ochrona poufności i ocena przydatności to obszary dające temu nowy sens i jakość. GenAI nie powinna w tej domenie jedynie przywoływać podobnych przypadków z przeszłości. Przede wszystkim ma wskazywać, gdzie analogia jest niepełna, gdzie materiał źródłowy pozostaje zbyt ubogi, a gdzie rekomendacja wymaga dalszej oceny eksperckiej.

Projektowanie jakości wiedzy GenAI można ująć w pięciu krokach. Pierwszy krok to klasyfikacja zadań według stawki błędu. Drugi to przypisanie minimalnych wymogów dowodowych dla każdej klasy. Trzeci to zdefiniowanie kryteriów i checklist, które model ma obsługiwać. Czwarty to budowa pętli ewaluacyjnej: testy, regresja, feedback, monitoring jakości i korekty *retrieval*. Piąty to szkolenie użytkowników nie tylko z promptowania, ale przede wszystkim z kalibracji zaufania i rozpoznawania granic modelu.

Zarządzanie jakością GenAI nie może kończyć się na polityce użycia. Polityka ta jest konieczna, ale niewystarczająca. Potrzebne są tu konkretne artefakty jakościowe – od rejestru źródeł, karty ryzyka przypadku użycia, zestawu testów referencyjnych, checklisty walidacji informacji wychodzącej, katalogu przypadków eskalacji, metryki niezgodności, po procedurę wycofania lub korekty odpowiedzi. Dopiero taki zestaw praktyk zmienia GenAI z nieformalnego asystenta w element systemu zarządzania wiedzą i jakością – w służbie różnych branż i specjalizacji.

Ograniczenia badania

Badanie ma trzy główne ograniczenia. Po pierwsze, opiera się na publicznych materiałach organizacji i partnerów technologicznych. Źródła te pozwalają zrekonstruować architekturę wdrożeń, ale nie dają pełnego dostępu do danych operacyjnych, nieudanych odpowiedzi, incydentów jakościowych i wewnętrznych kosztów *governance*. Po drugie, punktacja JWG-AI ma charakter autorskiej oceny jakościowej. Jest przejrzysta, ale nie zastępuje niezależnego audytu ani pomiaru międzykoderowego. Po trzecie, przypadki pochodzą głównie z dużych organizacji o wysokich zasobach technologicznych i kompetencyjnych, dlatego nie można automatycznie przenosić wniosków na MŚP.

Ograniczenia te nie unieważniają wniosków, bardziej określają ich status. Artykuł nie dowodzi, że opisane wdrożenia poprawiły wszystkie decyzje menedżerskie. Pokazuje natomiast, jakie mechanizmy jakości są widoczne w najbardziej dojrzałych publicznie opisanych zastosowaniach i jak można je konceptualizować w języku nauk o zarządzaniu i jakości.

Podsumowanie

W epoce GenAI zasadniczym problemem zarządzania nie jest już samo wytwarzanie odpowiedzi. Problemem staje się rozstrzygnięcie, kiedy odpowiedź może stać się wiedzą, a wiedza – odpowiedzialną przesłanką decyzji. Przeprowadzone porównawcze studium przypadków pokazuje, że organizacje osiągają wyższą jakość nie przez nieograniczone oddanie decyzji modelowi, ale przez różne ograniczenia.

GenAI może wzmacniać osąd menedżerski, gdy skraca drogę do właściwych źródeł, porządkuje kryteria i ujawnia uzasadnienie. Może jednak również produkować pozór wiedzy – odpowiedzi eleganckie, szybkie i przekonujące. Epistemicznie będą jednak słabe. Wysoka jakość nie polega więc na tym, że model mówi pewniej. Polega na tym, że organizacja projektuje warunki, w których użytkownik może mniej naiwnie ufać, lepiej sprawdzać i odpowiedzialniej decydować.

Z perspektywy nauk o zarządzaniu i jakości proponowana rama JWG-AI pozwala przesunąć debatę od produktywności do wiarygodności. Wzrost szybkości jest ważny, ale nie stanowi samodzielnej miary wartości GenAI. W decyzjach menedżerskich najważniejsze pytanie brzmi, jaki jest koszt błędu, którego dzięki AI nie zauważono szybciej. Odpowiedź na to pytanie powinna wyznaczać przyszłe badania, projekty eksperymentalne i praktykę zarządzania systemami generatywnej sztucznej inteligencji.

Bibliografia

Agrawal A., Gans J., Goldfarb A. (2018), *Prediction Machines. The Simple Economics of Artificial Intelligence*, Boston: Harvard Business Review Press.

Alasuutari P., Qadir A. (2014), *Epistemic governance: an approach to the politics of policy-making*, „European Journal of Cultural and Political Sociology", vol. 1(1), s. 67–84, https://doi.org/10.1080/23254823.2014.887986

Alavi M., Leidner D.E. (2001), *Review: Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues*, „MIS Quarterly", vol. 25(1), s. 107–136.

Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0) (2023), https://www.nist.gov/publications/artificial-intelligence-risk-management-framework-ai-rmf-10 [dostęp: 15.05.2026].

Brynjolfsson E., Li D., Raymond L.R. (2025), *Generative AI at Work*, „The Quarterly Journal of Economics", vol. 140(2), s. 889–942, https://doi.org/10.1093/qje/qjae044

Csaszar F.A., Ketkar H., Kim H. (2024), *Artificial Intelligence and Strategic Decision-Making: Evidence from Entrepreneurs and Investors*, „Strategy Science", vol. 9(4), s. 322–345, https://doi.org/10.1287/stsc.2024.0190

Davenport T.H., Prusak L. (1998), *Working Knowledge. How Organizations Manage What They Know*, Boston: Harvard Business School Press.

Dell'Acqua F., McFowland III E., Mollick E., Lifshitz H., Kellogg K.C., Rajendran S., Krayer L., Candelon F., Lakhani K.R. (2026), *Navigating the Jagged Technological Frontier: Field Experimental Evidence of the Effects of Artificial Intelligence on Knowledge Worker Productivity and Quality*, „Organization Science", vol. 37(2), s. 403–423, https://doi.org/10.1287/orsc.2025.21838

Eisenhardt K.M. (1989), *Building theories from case study research*, „Academy of Management Review", vol. 14(4), s. 532–550, https://doi.org/10.5465/amr.1989.4308385

Eisenhardt K.M., Graebner M.E. (2007), *Theory building from cases: Opportunities and challenges*, „Academy of Management Journal", vol. 50(1), s. 25–32, https://doi.org/10.5465/amj.2007.24160888

ELC Partners With Microsoft to Create ConsumerIQ Tool for Data-Driven Insights (2025), https://www.elcompanies.com/en/news-and-media/newsroom/company-features/2025/elc-microsoft-consumer-iq [dostęp: 15.05.2026].

Ethics Guidelines for Trustworthy AI (2019), High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, Brussels: European Commission.

Faraj S., Pachidi S., Sayegh K. (2018), *Working and organizing in the age of the learning algorithm*, „Information and Organization", vol. 28(1), s. 62–70, https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2018.02.005

Gibbert M., Ruigrok W., Wicki B. (2008), *What passes as a rigorous case study?*, „Strategic Management Journal", vol. 29(13), s. 1465–1474, https://doi.org/10.1002/smj.722

Glikson E., Woolley A.W. (2020), *Human trust in artificial intelligence: Review of empirical research*, „Academy of Management Annals", vol. 14(2), s. 627–660, https://doi.org/10.5465/annals.2018.0057

Greater efficiency and productivity with artificial intelligence - generative AI in BMW Group Purchasing (2025), https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0450032EN/ [dostęp: 15.05.2026].

ISO/IEC 42001:2023. Information technology – Artificial intelligence – Management system (2023), https://www.iso.org/standard/42001 [dostęp: 15.05.2026].

Jarrahi M.H. (2018), *Artificial intelligence and the future of work: Human-AI symbiosis in organizational decision making*, „Business Horizons", vol. 61(4), s. 577–586, https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.03.007

Lee J.D., See K.A. (2004), *Trust in automation: Designing for appropriate reliance*, „Human Factors", vol. 46(1), s. 50–80.

Lee Y.W., Strong D.M., Kahn B.K., Wang R.Y. (2002), *AIMQ: A methodology for information quality assessment*, „Information & Management", vol. 40(2), s. 133–146, https://doi.org/10.1016/S0378-7206(02)00043-5

Meet Lilli, our generative AI tool that's a researcher, a time saver, and an inspiration (2023), https://www.mckinsey.com/about-us/new-at-mckinsey-blog/meet-lilli-our-generative-ai-tool [dostęp: 15.05.2026].

Morgan Stanley Research Announces AskResearchGPT Powered by OpenAI (2024), https://www.morganstanley.com/press-releases/morgan-stanley-research-announces-askresearchgpt [dostęp: 15.05.2026].

Morgan Stanley uses AI evals to shape the future of financial services (2025), https://openai.com/index/morgan-stanley/ [dostęp: 15.05.2026].

Morgan Stanley Wealth Management Announces Key Milestone in Innovation Journey with OpenAI (2023), https://www.morganstanley.com/press-releases/key-milestone-in-innovation-journey-with-openai [dostęp: 15.05.2026].

Morgan Stanley Wealth Management Announces Latest Game-Changing Addition to Suite of GenAI Tools (2024), https://www.morganstanley.com/press-releases/ai-at-morgan-stanley-debrief-launch [dostęp: 15.05.2026].

Nonaka I. (1994), *A dynamic theory of organizational knowledge creation*, „Organization Science", vol. 5(1), s. 14–37, https://doi.org/10.1287/orsc.5.1.14

Noy S., Zhang W. (2023), *Experimental evidence on the productivity effects of generative artificial intelligence*, „Science", vol. 381(6654), s. 187–192, https://doi.org/10.1126/science.adh2586

OECD AI Principles overview (2024), https://oecd.ai/en/ai-principles [dostęp: 15.05.2026].

Otis N.G., Clarke R., Delecourt S., Holtz D., Koning R. (2024), *The Uneven Impact of Generative AI on Entrepreneurial Performance*, https://www.hbs.edu/ris/Publication%20Files/24-042_567db548-5b24-4182-b703-9d5ef1328043.pdf [dostęp: 15.05.2026].

Raisch S., Krakowski S. (2021), *Artificial intelligence and management: The automation-augmentation paradox*, „Academy of Management Review", vol. 46(1), s. 192–210, https://doi.org/10.5465/amr.2018.0072

Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending Regulations (EC) No 300/2008, (EU) No 167/2013, (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 and (EU) 2019/2144 and Directives 2014/90/EU, (EU) 2016/797 and (EU) 2020/1828 (Artificial Intelligence Act).

Revamping procurement operations with generative AI-powered Offer Analyst solution on AWS (2024), https://aws.amazon.com/blogs/industries/revamping-procurement-operations-with-generative-ai/ [dostęp: 15.05.2026].

Shrestha Y.R., Ben-Menahem S.M., von Krogh G. (2019), *Organizational decision-making structures in the age of artificial intelligence*, „California Management Review", vol. 61(4), s. 66–83, https://doi.org/10.1177/0008125619862257

Simon H.A. (1979), *Rational decision making in business organizations*, „American Economic Review", vol. 69(4), s. 493–513, https://www.jstor.org/stable/1808698

Sperber D., Clément F., Heintz C., Mascaro O., Mercier H., Origgi G., Wilson D. (2010), *Epistemic Vigilance*, „Mind & Language", vol. 25(4), s. 359–393, https://doi.org/10.1111/j.1468-0017.2010.01394.x

The Estée Lauder Companies and Microsoft Copilot Studio transform intelligence (2025), https://www.microsoft.com/en/customers/story/23488-the-estee-lauder-companies-microsoft-copilot-studio [dostęp: 15.05.2026].

Transforming HR support with agentic AI (2025), https://www.ibm.com/case-studies/ibm-askhr [dostęp: 15.05.2026].

Wand Y., Wang R.Y. (1996), *Anchoring data quality dimensions in ontological foundations*, „Communications of the ACM", vol. 39(11), s. 86–95, https://doi.org/10.1145/240455.240479

Wang R.Y., Strong D.M. (1996), *Beyond accuracy: What data quality means to data consumers*, „Journal of Management Information Systems", vol. 12(4), s. 5–33, https://doi.org/10.1080/07421222.1996.11518099

Weick K.E. (1995), *Sensemaking in Organizations*, Thousand Oaks: Sage.

Yin R.K. (2018), *Case Study Research and Applications: Design and Methods*, 6th ed., Thousand Oaks: Sage.

O autorze

Bartosz Rzętkiewicz – mgr, wicekanclerz ds. rozwoju Wyższej Szkoły Biznesu i Nauk o Zdrowiu w Łodzi, dyrektor Instytutu Prawa i Kryminologii oraz Instytutu Bezpieczeństwa Wewnętrznego Wyższej Szkoły Biznesu i Nauk o Zdrowiu w Łodzi.

About the Author

Bartosz Rzętkiewicz – MA, Deputy Chancellor for Development at the Academy of Business and Health Sciences in Łódź, and Director of the Institute of Law and Criminology and the Institute of Internal Security.

Ten utwór jest dostępny na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe.

Open Access

Gabriel Kagankiewicz https://orcid.org/0009-0009-6649-8570
Wyższa Szkoła Biznesu i Nauk o Zdrowiu
e-mail: gabri3l.kagankiewicz@gmail.com

Wiktoria Urbańska https://orcid.org/0009-0005-8208-8708
Wyższa Szkoła Biznesu i Nauk o Zdrowiu
e-mail: wiktoriaurbanska277@gmail.com

Zarządzanie bezpieczeństwem informacji w instytucjach publicznych

Information security management in public institutions

https://doi.org/10.25312/ziwgib.906

Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie głównych założeń i mechanizmów zarządzania bezpieczeństwem informacji w instytucjach publicznych ze szczególnym uwzględnieniem aspektów organizacyjnych, prawnych i ludzkich. Analizę oparto na przeglądzie literatury przedmiotu, obowiązujących aktów prawnych, w tym ustawy o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa, rozporządzenia RODO i Krajowych Ram Interoperacyjności, normy ISO/IEC 27001 oraz przykładów rzeczywistych incydentów bezpieczeństwa informacji. W artykule omówiono znaczenie triady CIA, funkcjonowanie Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem Informacji (SZBI), analizę ryzyka, zarządzanie kryzysowe, plany ciągłości działania oraz zadania jednostek odpowiedzialnych za ochronę informacji w administracji publicznej. Przeprowadzona analiza wykazała, że skuteczność zarządzania bezpieczeństwem informacji zależy od integracji wymagań prawnych, organizacyjnych i technicznych z właściwym przygotowaniem pracowników. Szczególne znaczenie przypisano czynnikowi ludzkiemu, obejmującemu przestrzeganie procedur,

właściwe zarządzanie uprawnieniami oraz udział w szkoleniach podnoszących świadomość bezpieczeństwa. W rezultacie stwierdzono, że skuteczna ochrona informacji wymaga holistycznego modelu obejmującego zarządzanie ryzykiem, funkcjonowanie SZBI, rozwój kultury bezpieczeństwa, reagowanie na incydenty oraz zapewnianie ciągłości działania administracji publicznej.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo informacji, administracja publiczna, cyberbezpieczeństwo, triada CIA, zarządzanie kryzysowe, analiza ryzyka

Abstract

The aim of this article is to present the main principles and mechanisms of information security management in public institutions, with particular emphasis on organizational, legal, and human factors. The analysis is based on a review of the relevant literature, applicable legal regulations, including National Cybersecurity System Act, the General Data Protection Regulation (GDPR), the National Interoperability Framework, the ISO/IEC 27001 standard and examples of real information security incidents. The article discusses the significance of the CIA triad, the Information Security Management System (ISMS), risk assessment, crisis management, business continuity planning, and the responsibilities of organizational units responsible for information protection in public administration. The conducted analysis demonstrates that the effectiveness of information security management depends on the integration of legal, organizational, and technical requirements with appropriate employee preparation. Particular attention is paid to the human factor, including compliance with established procedures, proper privilege management, and participation in security awareness training. The findings indicate that effective information protection requires a holistic management model encompassing risk management, the operation of the Information Security Management System, the development of a security culture, incident response, and the maintenance of business continuity in public administration.

Keywords: information security, public administration, cybersecurity, CIA triad, crisis management, risk analysis

Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój technologii informacyjno-komunikacyjnych oraz postępująca cyfryzacja administracji publicznej sprawiają, że bezpieczeństwo informacji staje się jednym z kluczowych elementów funkcjonowania współczesnego państwa. Instytucje publiczne gromadzą, przetwarzają i udostępniają znaczne ilości danych, obejmujących zarówno dane osobowe obywateli, jak i informacje o istotnym znaczeniu dla realizacji zadań

publicznych. W związku z rosnącą liczbą cyberzagrożeń, takich jak ataki ransomware, phishing czy nieuprawniony dostęp do systemów teleinformatycznych, konieczne jest wdrażanie skutecznych mechanizmów ochrony informacji, uwzględniających aspekty organizacyjne, prawne, techniczne i ludzkie. Zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa wymaga nie tylko stosowania zabezpieczeń technicznych, ale również tworzenia odpowiednich struktur organizacyjnych, procedur zarządzania ryzykiem oraz podnoszenia świadomości pracowników. Szczególne znaczenie odgrywa System Zarządzania Bezpieczeństwem Informacji (SZBI), oparty na zasadach poufności, integralności i dostępności informacji oraz wspierany przez międzynarodowe normy z rodziny ISO/IEC 27000.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie podstawowych założeń zarządzania bezpieczeństwem informacji w instytucjach publicznych ze szczególnym uwzględnieniem roli Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem Informacji (SZBI), struktur organizacyjnych odpowiedzialnych za ochronę informacji, analizy ryzyka, zarządzania kryzysowego oraz czynnika ludzkiego w zapewnianiu bezpieczeństwa danych. Analizę oparto na opracowaniach naukowych dotyczących problematyki bezpieczeństwa informacji i aktach prawnych regulujących bezpieczeństwo informacji w administracji publicznej, w tym ustawie o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa, przepisach RODO, Krajowych Ramach Interoperacyjności oraz normie ISO/IEC 27001. Uzupełnieniem rozważań są wybrane przykłady rzeczywistych incydentów, ukazujące praktyczne znaczenie omawianych zagadnień. W kolejnych częściach opracowania omówiono podstawowe założenia bezpieczeństwa informacji, rolę instytucji publicznych oraz struktur organizacyjnych odpowiedzialnych za ochronę danych, zagadnienia związane z analizą ryzyka i zarządzaniem kryzysowym, znaczenie czynnika ludzkiego. Przyjęte podejście pozwala na kompleksową ocenę czynników wpływających na skuteczność zarządzania bezpieczeństwem danych w administracji publicznej.

Triada CIA

Triada CIA, znana również jako triada bezpieczeństwa informacji, jest podstawowym modelem w dziedzinie bezpieczeństwa informatycznego, który określa trzy główne cele ochrony danych: poufność, integralność i dostępność (*Co to jest Triada CIA i na czym polega?*, 2024).

Poufność (*Confidentiality*) to funkcja, która gwarantuje, że tylko osoby upoważnione, mające dostęp do danych ze względu na zakres swoich obowiązków służbowych, mają możliwość wykonywania na nich operacji. Inaczej mówiąc, nieuprawnione osoby nie powinny mieć żadnego dostępu do danych, co za tym idzie – nie należy ich im ujawniać bądź udostępniać. Dotyczy to osób zarówno z zewnątrz, jak i pracowników danej organizacji, którzy wykonują obowiązki bez dostępu do określonych informacji. Najbardziej znanym środkiem realizacji ochrony poufności jest kontrola dostępu, czyli między innymi loginy, hasła, uwierzytelnienie wieloskładnikowe. Ważnym zabezpieczeniem jest także szyfrowanie danych, na przykład podczas przesyłania komuś informacji oraz przechowywania.

Informacje dzielimy na tajne i poufne. Innym środkiem realizacji jest także polityka bezpieczeństwa i szkolenie pracowników w tym zakresie. Głównym celem poufności jest ochrona danych przed nieuprawnionym dostępem, co zapobiega ich wyciekowi, kradzieży lub nieautoryzowanemu ujawnieniu. Wdrażanie skutecznych środków ochrony poufności jest niezbędne dla zapewnienia prywatności użytkowników, zgodności z regulacjami prawnymi – na przykład RODO, czyli Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w sprawie ochrony osób fizycznych w związku z przetwarzaniem danych osobowych i w sprawie swobodnego przepływu takich danych oraz uchylenia dyrektywy 95/46/WE (ogólne rozporządzenie o ochronie danych) – oraz utrzymania zaufania klientów i partnerów biznesowych (*Incydenty bezpieczeństwa – definicja, przykłady i zarządzanie*, 2024). Poufność jest fundamentem bezpieczeństwa informacji, który chroni krytyczne dane przed zagrożeniami wewnętrznymi i zewnętrznymi. Dbałość o poufność jest kluczowa dla każdej organizacji, która przetwarza lub przechowuje wrażliwe informacje.

W dobie cyfryzacji i rosnącej zależności od technologii informatycznych kwestia bezpieczeństwa informacji nabiera szczególnego znaczenia. Incydenty bezpieczeństwa mogą mieć poważne konsekwencje dla organizacji, związane ze stratami finansowymi, utratą reputacji oraz naruszeniem przepisów prawnych. Wśród popularnych cyberzagrożeń wyróżniamy między innymi ataki ransomware, phishing, nieautoryzowany dostęp czy incydent bezpieczeństwa teleinformatycznego. Ataki typu ransomware polegają na tym, że przestępcy wykorzystują złośliwe oprogramowanie, aby zaszyfrować dane ofiary i żądają okupu za ich odblokowanie. Przykładem takiego incydentu jest atak WannaCry z 2017 roku, który dotknął setki tysięcy komputerów na całym świecie. Phishing to metoda polegająca na podszywaniu się pod zaufane podmioty w celu wyłudzenia poufnych informacji, takich jak hasła czy dane karty kredytowej. Przykładem może być kampania phishingowa, która miała miejsce w 2020 roku wycelowana w użytkowników platformy Office 365. Nieautoryzowany dostęp to naruszenie bezpieczeństwa polegające na uzyskaniu dostępu do systemów lub danych bez odpowiednich uprawnień. Przykładem może być incydent z 2018 roku, kiedy dane milionów użytkowników Facebooka zostały wykradzione przez firmę Cambridge Analytica. Incydent bezpieczeństwa teleinformatycznego odnosi się do naruszenia bezpieczeństwa systemów telekomunikacyjnych i informatycznych. Może obejmować zarówno fizyczne, jak i cyfrowe ataki na infrastrukturę IT. Przykładem może być atak DDoS (*Distributed Denial of Service*), który polega na przeciążeniu serwera lub sieci przez nadmiar fałszywych żądań, co prowadzi do niedostępności usług dla użytkowników (*Co to jest Triada CIA i na czym polega?*, 2024).

Drugim filarem triady jest integralność (*Integrity*), stanowiąca ochronę przed nieautoryzowanym modyfikowaniem danych. Gwarantuje, że informacje są dokładne i nie zostały zmienione w sposób nieautoryzowany. Integralność zapewnia, że dane są wiarygodne i niezmienione przez osoby nieuprawnione.

Do ochrony integralności służą różne środki, wśród których wyróżniamy sumy kontrolne (*Checksums*). Są to wartości wyliczane na podstawie danych, które pozwalają na weryfikację ich integralności. Jeśli dane zostaną zmienione, suma kontrolna również ulegnie zmianie, sygnalizując potencjalne naruszenie integralności. Podpisy cyfrowe

(*Digital Signatures*) używają kryptografii do weryfikacji autentyczności i integralności danych. Podpis cyfrowy jest generowany przy użyciu klucza prywatnego nadawcy i może być zweryfikowany przy użyciu jego klucza publicznego, co zapewnia, że dane nie zostały zmienione po ich podpisaniu. Mechanizmy Kontroli Wersji (*Version Control Mechanisms*) to systemy kontroli wersji, takie jak Git, które umożliwiają śledzenie zmian w plikach oraz przywracanie wcześniejszych wersji, co pomaga w zarządzaniu i zabezpieczaniu integralności kodu źródłowego oraz dokumentacji (*Co to jest Triada CIA i na czym polega?*, 2024). Systemy wykrywania i zapobiegania włamaniom (IDS/IPS) monitorują sieci i systemy pod kątem podejrzanych aktywności, które mogą wskazywać na próby nieautoryzowanego dostępu lub modyfikacji danych. IDS (*Intrusion Detection System*) wykrywa takie aktywności, a IPS (*Intrusion Prevention System*) podejmuje działania zapobiegawcze. Głównym celem integralności jest zapewnienie, że dane pozostają niezmienione i dokładne przez cały cykl ich życia, od momentu ich utworzenia do momentu wykorzystania. Integralność danych jest kluczowa dla podejmowania prawidłowych decyzji biznesowych, zachowania zgodności z regulacjami oraz utrzymania zaufania użytkowników i klientów. Ochrona integralności danych obejmuje zarówno zabezpieczenia techniczne, jak i procedury operacyjne, które mają na celu zapobieganie nieautoryzowanym modyfikacjom oraz szybkie wykrywanie i reagowanie na potencjalne naruszenia (*Co to jest Triada CIA i na czym polega?*, 2024).

Dostępność, znana również jako *availability*, jest trzecim filarem triady CIA, które definiują podstawowe cele bezpieczeństwa informacji. Dostępność koncentruje się na zapewnieniu, że informacje i systemy informatyczne są dostępne dla uprawnionych użytkowników w momencie, gdy są im potrzebne. Jest to kluczowe dla ciągłości działania organizacji i jej zdolności do realizacji zadań operacyjnych (*Co to jest Triada CIA i na czym polega?*, 2024).

Do środków ochrony dostępności zaliczamy redundancję systemów (*System Redundancy*). Jest to implementacja nadmiarowych systemów i komponentów, takich jak zasilanie awaryjne (UPS), zapasowe serwery i dyski, które mogą przejąć funkcje w przypadku awarii głównego systemu. Kolejnym środkiem są kopie zapasowe (*Backups*). Regularne tworzenie kopii zapasowych danych i systemów umożliwia ich szybkie przywrócenie w przypadku awarii, uszkodzenia lub utraty danych. Kopie zapasowe powinny być przechowywane w bezpiecznych, oddzielnych lokalizacjach. Planowanie ciągłości działania (*Business Continuity Planning*) to metoda mająca na celu opracowanie i wdrożenie planów ciągłości działania, które określają procedury i zasoby potrzebne do utrzymania operacyjności organizacji podczas incydentu i po jego wystąpieniu. Planowanie obejmuje analizę ryzyka, procedury awaryjne oraz testowanie planów. Z kolei systemy odporności na awarie (*Failover Systems*) automatycznie przełączają operacje na zapasowy sprzęt lub oprogramowanie w razie awarii, minimalizując przestoje i zapewniając ciągłość działania. Zabezpieczenia przeciwko atakom DDoS (*DDoS Protection*) polegają na implementacji rozwiązań chroniących przed atakami DDoS (*Distributed Denial of Service*), które mogą przeciążyć i unieruchomić systemy poprzez zalewanie ich ogromną liczbą fałszywych żądań. Zabezpieczenie tego typu może obejmować użycie firewalla, systemów detekcji i mitygacji DDoS oraz usług CDN (*Content Delivery Network*). Głównym celem

dostępności jest zapewnienie, że systemy, aplikacje i dane są dostępne dla uprawnionych użytkowników zawsze, gdy są potrzebne. Dostępność jest kluczowa dla zapewnienia nieprzerwanej działalności biznesowej, efektywności operacyjnej oraz zadowolenia klientów. Dbanie o dostępność wymaga nie tylko technologicznych rozwiązań, ale także procedur operacyjnych i zarządzania ryzykiem. Organizacje muszą być przygotowane na różnorodne zagrożenia, w tym awarie sprzętu, błędy ludzkie, ataki cybernetyczne oraz klęski żywiołowe. Zapewnienie wysokiego poziomu dostępności jest nieodzowne dla utrzymania stabilności i niezawodności systemów informatycznych, co przekłada się na efektywność i sukces organizacji (*Co to jest Triada CIA i na czym polega?*, 2024).

Rola instytucji publicznych w zarządzaniu bezpieczeństwem informacji

Instytucje publiczne spełniają najbardziej istotne zadania w zarządzaniu bezpieczeństwem informacji, ponosząc odpowiedzialność za gromadzenie, przetwarzanie i ochronę danych obywateli. Ich działalność w tym zakresie obejmuje zarówno stosowanie zabezpieczeń technicznych, jak i organizację procesów, podejmowanie decyzji oraz tworzenie właściwych struktur odpowiedzialnych za bezpieczeństwo informacji. Organy administracji pełnią zatem funkcje ustawodawcze, operacyjne, koordynacyjne oraz kontrolne, zapewniając ciągłość funkcjonowania państwa.

Podstawową rolą podmiotów państwowych jest stanowienie prawa, określającego zasady w obszarze bezpieczeństwa informacji. Regulacje, takie jak ustawa o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa, ustawa o informatyzacji działalności podmiotów realizujących zadania publiczne oraz przepisy formułujące normy w zakresie ochrony danych osobowych (RODO), wyznaczają ramy funkcjonowania instytucji publicznych w tym zakresie. Wymienione akty nakładają na podmioty administracyjne obowiązek zapewnienia odpowiedniego poziomu informacji poprzez wdrażanie środków organizacyjnych i technicznych adekwatnych do poziomu ryzyka (Włodyka, 2022: 301–306). Przy zarządzaniu tak pojętym zasobem pierwszorzędnym zadaniem staje się utrzymanie podstawowych atrybutów – poufności, integralności oraz dostępności (triada CIA). W instytucjach publicznych szczególne znaczenie przypisuje się typom danych informacyjnych, takim jak informacja publiczna, której udostępnienie stanowi obowiązek ustawowy, oraz informacja niejawna, wymagająca szczególnej ochrony ze względu na interesy państwa. Należy jednak podkreślić, że realizacja tych wymagań wykracza poza ramy ich formalnego spełniania i wiąże się z koniecznością przyjęcia odpowiedniego podejścia organizacyjnego oraz zarządczego (Kifner, 2016: 8–11).

System Zarządzania Bezpieczeństwem Informacji jako narzędzie ochrony danych

W celu zapewnienia skutecznej ochrony zasobów informatycznych organy administracji publicznej wdrażają SZBI – ustrukturyzowane podejście ochrony bezpieczeństwa informacyjnego, oparte na zarządzaniu ryzykiem, a także na wdrażaniu, monitorowaniu i doskonaleniu procedur związanych z bezpieczeństwem informacji. Stosowanie SZBI ma na celu zapewnienie ochrony przed zagrożeniami o różnej skali, minimalizując ryzyko strat, jednocześnie gwarantując autentyczność, rozliczalność i niezawodność danych. Identyfikacja ryzyka ocena zagrożeń i podatności umożliwiają dobranie odpowiednich zabezpieczeń, a także eliminowanie incydentów. SZBI jest ciągłym procesem, który bazuje na modelu PDCA – planuj, wykonuj, sprawdzaj, działaj. Etapy te obejmują kolejno: ustanowienie polityki bezpieczeństwa, wdrożenie zaplanowanych procedur i szkolenie kadry pracowniczej oraz mierzenie wydajności. W długofalowej perspektywie SZBI pozwala również na optymalizację kosztów związanych z usuwaniem awarii (Pietras, 2016: 22–24).

W instytucjach publicznych wdrożenie SZBI staje się szczególnie istotne ze względu na ochronę znacznej ilości danych osobowych. W Polsce podmioty realizujące zadania publiczne są do tego ustawowo zobowiązane, co wynika z Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 21 maja 2024 r. w sprawie Krajowych Ram Interoperacyjności, minimalnych wymagań dla rejestrów publicznych i wymiany informacji w postaci elektronicznej oraz minimalnych wymagań dla systemów teleinformatycznych (Dz.U. z 2024 r., poz. 773).

Istotnym elementem skutecznego zarządzania bezpieczeństwem informacji jest również stosowanie uznanych norm technicznych, które ujednolicają wymagania dotyczące ochrony informacji oraz wspierają organizacje w budowie dojrzałych systemów bezpieczeństwa. Szczególne znaczenie ma rodzina norm ISO/IEC 27000, stanowiąca międzynarodowy standard w zakresie bezpieczeństwa informacji i cyberbezpieczeństwa. Kluczową rolę odgrywa norma ISO/IEC 27001, określająca wymagania dotyczące wdrożenia, utrzymania i ciągłego doskonalenia Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem Informacji (SZBI). Uzupełnia ją norma ISO/IEC 27002, zawierająca zbiór praktyk oraz środków bezpieczeństwa wspierających zarządzanie ryzykiem. Wdrażanie norm z serii ISO/IEC 27000 pozwala instytucjom publicznym zwiększyć odporność na cyberzagrożenia, zapewnić zgodność z obowiązującymi regulacjami oraz budować zaufanie obywateli do sposobu przetwarzania i ochrony informacji. W praktyce normy te są obecnie uznawane za podstawowy międzynarodowy standard zarządzania bezpieczeństwem informacji i stanowią punkt odniesienia dla wielu krajowych oraz sektorowych regulacji dotyczących cyberbezpieczeństwa.

Struktura i znaczenie Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem Informacji dla zapewnienia ciągłości i zaufania do administracji publicznej

Wdrożenie SZBI w instytucjach publicznych pozwala na organizację i koordynację działań związanych z ochroną danych. Rzeczywiste stosowanie procedur, przy odpowiednio realizowanym systemie, wpływa bezpośrednio na zdolność instytucji do zachowania ciągłości działania organów państwowych. Prawidłowa realizacja działań publicznych przekłada się na poziom bezpieczeństwa obywateli, a także na stopień zaufania względem administracji (Pietras, 2016: 23–24).

Skuteczne zarządzanie bezpieczeństwem informacji w instytucjach publicznych implikuje potrzebę odpowiedniego ukształtowania struktury organizacyjnej, uwzględniającej wyspecjalizowane komórki, takie jak Pion Ochrony Informacji, Zespół Reagowania na Incydenty Bezpieczeństwa Informacji wraz z Zespołem Reagowania na Incydenty Bezpieczeństwa Komputerowego (*Computer Security Incident Response Team*, w skrócie CSIRT), Inspektor Ochrony Danych oraz audytorzy wewnętrzni. Określenie jednostek i ról organizacyjnych umożliwia sprawowanie nadzoru nad bezpieczeństwem informacji w oparciu o jednoznaczne przypisanie odpowiedzialności (Romaniuk, 2014: 11–15).

Poszczególne komórki organizacyjne realizują odmienne, lecz uzupełniające się zadania. W instytucjach przetwarzających informacje niejawne Pion Ochrony Informacji Niejawnych (w skrócie POIN) jest komórką o priorytetowym znaczeniu, która zarządzana jest przez kierownika jednostki i wyznaczonego pełnomocnika ochrony. POIN zajmuje się przede wszystkim zapewnianiem fizycznej ochrony informacji oraz nadzorem stref bezpieczeństwa i zabezpieczeń miejsc, w których przechowywane są informacje wyłączone z jawności. Do zasadniczych obszarów działalności opisywanej komórki organizacyjnej należy również ochrona sieci systemów wytwarzających i przetwarzających informacje niejawne (Jatkiewicz, 2016: 64). Zespół Reagowania na Incydenty Bezpieczeństwa Informacji (w skrócie ZRIBI) to grupa, której zadaniem jest bieżąca obsługa naruszeń bezpieczeństwa danych jednostek oraz koordynacja działań naprawczych. Zespół analizuje zgłoszenia oraz dokonuje klasyfikacji incydentów, a w przypadku ich stwierdzenia podejmuje działania naprawcze lub kryzysowe (Wołowski, Zawiła-Niedźwiecki, 2012: 145–151). Współpraca między wewnętrznymi ZRIBI a krajowymi grupami CSIRT stanowi podstawę do zarządzania ryzykiem na poziomie całego kraju. Wdrożenie sformalizowanych procedur zgłaszania incydentów do CSIRT wynika z Ustawy z dnia 5 lipca 2018 r. o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa (Dz.U. z 2018 r., poz. 1560 ze zm.). CSIRT stanowi zatem integralny element procedur operacyjnych ZRIBI, co przejawia się w postaci wczesnego ostrzegania podczas przekazywania komunikatów na temat zidentyfikowanych zagrożeń. Wymiana informacji oraz działania zespołów w zakresie gromadzenia dowodów umożliwiają analizę przypadków o ponadsektorowym charakterze (Włodyka, 2022: 304–311).

Powołanie Inspektora Ochrony Danych (w skrócie IOD) stanowi obowiązek dla wszystkich podmiotów sektora publicznego. Osoba pełniąca tę funkcję ponosi ogólną

odpowiedzialność za zapewnienie wdrożenia zabezpieczeń prywatności informacji oraz koordynację zgodności (*Narodowy Standard Cyberbezpieczeństwa NSC 800-12. Bezpieczeństwo informacji – wprowadzenie*, 2023). Wśród głównych zadań IOD znajduje się w szczególności monitorowanie przestrzegania przepisów o ochronie danych osobowych oraz wewnętrznych regulacji organizacji. Do jego obowiązków należy również prowadzenie działań audytowych oraz dbałość o realizację szkoleń podnoszących świadomość i kwalifikacje pracowników (Gerwatowski, 2019: 102–103). Z kolei rola audytorów w instytucjach publicznych jest istotna dla zapewnienia transparentności działania jednostki. Działalność podmiotu musi być niezależna i obiektywna, ponieważ audytorzy koncentrują się na nadzorze mechanizmów kontrolnych oraz ich prawidłowości względem ograniczania ryzyka.

Zadania i funkcje kluczowych jednostek odpowiedzialnych za bezpieczeństwo informacji

Zarządzanie bezpieczeństwem informacji w instytucjach publicznych wymaga systemowego podejścia, opartego na określonych strukturach, które posiadają jednoznacznie przypisany obszar odpowiedzialności. Znaczenia przy tym nabiera ciągłość doskonalenia przyjętych rozwiązań i dostosowywanie procedur do zmieniającej się specyfiki zagrożeń. W tym kontekście zasadniczym elementem skutecznego zarządzania bezpieczeństwem informacji staje się analiza i szacowanie ryzyka, a także przygotowanie organizacji do reagowania na sytuacje kryzysowe (Zawiła-Niedźwiecki, Rakoczy, 2018: 50–51).

Szacowanie i zarządzanie ryzykiem bezpośrednio determinują proces zarządzania bezpieczeństwem informacji w instytucjach publicznych. Stanowią podstawę do orzekania w tym obszarze, umożliwiając adekwatny dobór zabezpieczeń oraz funkcjonalne wykorzystanie zasobów. Analiza i szacowanie ryzyka to powiązane etapy jednego procesu, którego punktem wyjścia jest identyfikacja aktywów, zagrożeń oraz podatności systemu. Podczas analizy określa się prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń oraz ich potencjalnych skutków. Etap szacowania polega na nadaniu ryzyku wartości liczbowej lub jakościowej w celu porównania poszczególnych zagrożeń. Uzyskane rezultaty podlegają ewaluacji w odniesieniu do przyjętych kryteriów akceptowalności (Wiatrak, 2016: 117–120). Wyniki analizy ryzyka mają ścisłe przełożenie na formułowanie strategii bezpieczeństwa informacji. Zapewniają one stosowanie środków proporcjonalnych względem poziomu zagrożeń, co zapobiega zarówno nadmiernemu angażowaniu środków publicznych, jak i pozostawianiu niezgodności w obszarach szczególnie wrażliwych. Szacowanie ryzyka pozwala na hierarchizację działań – priorytety ustalane są poprzez identyfikację zasobów o głównym znaczeniu, których utrata naraziłaby instytucje na najbardziej katastrofalne skutki. W instytucjach publicznych proces ten ma dodatkowy wymiar, wynikający z uwarunkowań prawnych oraz społecznych. Szczególnego znaczenia nabiera konieczność uwzględnienia ryzyka naruszenia praw i wolności osób fizycznych, których dane są przetwarzane (Olender, 2020: 145–146).

Rola planów ciągłości działania i koordynacji w sytuacjach kryzysowych

Zarządzanie kryzysowe, obejmujące działania podejmowane w przypadku incydentów oraz zakłóceń funkcjonowania organizacji, jest koniecznością zabezpieczenia instytucji państwowych oraz przetwarzanych w nich informacji. Jego istotnym elementem są plany ciągłości działania, które określają sposób działania instytucji w przypadku wystąpienia nieprawidłowości (Bajor, Krakowiak, 2018: 652–654).

Aktywność współczesnej administracji jest w dużym stopniu uzależniona od sprawności systemów informatycznych. Podstawowym celem zarządzania kryzysowego jest utrzymanie ciągłości działania instytucji oraz szybkie przywrócenie ich biegłości w wykonywaniu zadań. Zasadniczo oznacza to konieczność przygotowania podmiotów publicznych do działania w warunkach zakłóceń, w których decyzje są podejmowane pod presją czasu oraz ograniczonego dostępu do informacji (Majchrzak, 2018: 39–42). W tym zakresie decydującą rolę odgrywają plany ciągłości działania. Obejmują one między innymi identyfikację procesów krytycznych, ocenę prawdopodobieństwa, a następnie działania związane z odtwarzaniem systemów, zapewnieniem alternatywnych kanałów komunikacji oraz organizacją pracy w warunkach awaryjnych. Skuteczność planów ciągłości działania zależy jednak od ich regularnego testowania oraz aktualizacji.

Istotnym elementem procesów zarządzania kryzysowego jest również zapewnienie sprawnego obiegu informacji. W sytuacjach nadzwyczajnych dostęp do aktualnych danych stanowi podstawę do podejmowania decyzji o rozwiązaniach kryzysu, a zakłócenia w przepływie informacji mogą doprowadzić do pogłębiania skutków incydentów. Zarządzanie kryzysowe w obszarze bezpieczeństwa informacji wymaga także koordynacji struktur organizacyjnych oraz współpracy pomiędzy zespołami reagowania. Skuteczność zharmonizowania podmiotów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo pozwala na szybsze wykrywanie zagrożeń oraz minimalizację ich skutków (Bajor, Krakowiak, 2018: 654–657). W konsekwencji reagowanie kryzysowe oraz instrukcje odnośnie do utrzymania procesów administracyjnych stanowią konieczny filar w zapewnianiu odporności instytucji publicznych, umożliwiając przejście od podejścia reaktywnego do proaktywnego zarządzania bezpieczeństwem informacji.

Rola ludzi w bezpieczeństwie informacji

Rola ludzi w bezpieczeństwie informacji jest często określana jako najważniejszy i jednocześnie najsłabszy element systemu ochrony danych. Wynika to z faktu, że człowiek podejmuje decyzje, działa pod presją czasu, bywa zmęczony i popełnia błędy. Dlatego skuteczne zarządzanie bezpieczeństwem musi uwzględniać nie tylko technologie, ale przede wszystkim zachowania i świadomość pracowników (Whitman, Mattord, 2021: 34–36).

Szkolenia jako fundament bezpieczeństwa

Aby zmniejszyć ryzyko związane z błędami ludzkimi, organizacje muszą inwestować w edukację i szkolenie swoich pracowników. Regularne programy szkoleń z zakresu bezpieczeństwa informatycznego pomagają zwiększyć świadomość na temat zagrożeń, takich jak phishing, ransomware czy zagrożenia związane z zarządzaniem hasłami (Stallings, Brown, 2019: 210–214).

Szkolenia nie powinny być jednorazowym wydarzeniem, lecz procesem ciągłym. W praktyce oznacza to: szkolenia wstępne (onboardingowe), okresowe, specjalistyczne oraz symulacje. Za sprawą szkolenia wstępnego każdy nowy pracownik powinien od początku wiedzieć, jakie dane są chronione, jakie są podstawowe zasady bezpieczeństwa, jakie konsekwencje mają naruszenia (Whitman, Mattord, 2021: 96–99). Szkolenia okresowe przypominają i aktualizują wiedzę, ponieważ zagrożenia stale się zmieniają. Szkolenia specjalistyczne przeznaczone są dla osób mających dostęp do wrażliwych danych lub systemów (na przykład finanse, HR, administracja IT). Symulacje (na przykład phishingowe) pozwalają sprawdzić reakcje pracowników w praktyce i uczą przez doświadczenie.

Największym problemem nie jest brak wiedzy, ale brak jej stosowania. Dlatego ważne jest budowanie kultury bezpieczeństwa. Przykładem codziennych sytuacji jest na przykład kliknięcie linku z podejrzanego e-maila, używanie tego samego hasła w wielu systemach czy zostawienie odblokowanego komputera. Świadomy pracownik zatrzyma się i pomyśli przed działaniem, zweryfikuje nadawcę wiadomości, zgłosi coś, co wydaje się „podejrzane" – nawet jeśli nie ma pewności.

Procedury i polityki – wsparcie dla ludzi

Procedury mają pomagać w pracy, a nie ją utrudniać. Jeśli są zbyt skomplikowane, pracownicy ignorują je, szukają „skrótów", obchodzą zabezpieczenia. Jakie powinny być dobre procedury – jasne i krótkie, odpowiadające na konkretne sytuacje („co zrobić, gdy…"), łatwo dostępne (na przykład intranet, checklisty) oraz regularnie aktualizowane (*Rola czynnika ludzkiego w bezpieczeństwie informatycznym*, b.r.).

Błędy ludzkie

Błędy w konfiguracji systemów i aplikacji. Nieprawidłowa konfiguracja systemów i aplikacji może prowadzić do poważnych luk w zabezpieczeniach. Wśród przykładów można wymienić pozostawienie domyślnych haseł, otwarte porty na serwerach czy niewłaściwie ustawione uprawnienia dostępu. W takich przypadkach nawet najbardziej zaawansowane technologie ochrony nie będą wystarczające, jeśli użytkownicy lub administratorzy nie zadbają o odpowiednią konfigurację. Błędne zarządzanie dostępem i uprawnieniami, czyli nieodpowiednie przypisanie uprawnień do systemów i zasobów może prowadzić do sytuacji, w której osoby nieautoryzowane uzyskują dostęp do wrażliwych danych.

Często spotykanym problemem jest nadawanie zbyt szerokich uprawnień, co zwiększa ryzyko wycieku lub modyfikacji danych (Stallings, Brown, 2019: 210–214).

Phishing i socjotechnika

Zdarzenia związane z phishingiem są jednym z najczęstszych sposobów, w jaki cyberprzestępcy zdobywają dostęp do systemów informatycznych. Użytkownicy mogą zostać oszukani i kliknąć link prowadzący do złośliwej strony, pobrać zainfekowane oprogramowanie lub ujawnić swoje dane logowania. Tego rodzaju ataki opierają się na manipulacji psychologicznej, a ich skuteczność zależy od poziomu świadomości użytkowników (*Rola czynnika ludzkiego w bezpieczeństwie informatycznym*, b.r.).

Zła praktyka w zakresie zarządzania hasłami

Niewłaściwe zarządzanie hasłami, takie jak używanie słabych haseł, powielanie haseł w różnych systemach czy ich zapisywanie w niechronionych miejscach, stanowi ogromne ryzyko. Użytkownicy często ignorują zasady dotyczące tworzenia silnych haseł lub zmieniają je zbyt rzadko, co stwarza przestrzeń dla ataków. Każdy pracownik powinien przede wszystkim przestrzegać zasad bezpieczeństwa, chronić dane (na przykład klientów, firmy), zgłaszać incydenty i podejrzane sytuacje oraz brać udział w szkoleniach. Czynnik ludzki ma ogromny wpływ na poziom bezpieczeństwa informacji. Nawet najbardziej zaawansowane technologie nie zastąpią świadomego użytkownika. Dlatego organizacje powinny inwestować w: edukację, budowanie nawyków, proste i skuteczne procedury, kulturę odpowiedzialności (Stallings, Brown, 2019: 112–115).

Analiza wybranych incydentów bezpieczeństwa informacji

Analiza rzeczywistych incydentów bezpieczeństwa informacji pozwala lepiej zrozumieć konsekwencje niewystarczających zabezpieczeń oraz znaczenie skutecznego zarządzania bezpieczeństwem informacji w administracji publicznej.

Atak ransomware na infrastrukturę Urzędu Marszałkowskiego Województwa Mazowieckiego (2022)

W grudniu 2022 roku doszło do ataku z wykorzystaniem złośliwego oprogramowania typu ransomware na infrastrukturę Węzła Regionalnego Urzędu Marszałkowskiego Województwa Mazowieckiego. W wyniku incydentu zaszyfrowane zostały pliki wykorzystywane przez systemy informatyczne obsługujące projekty realizowane wspólnie z jednostkami samorządu terytorialnego. Atak spowodował utratę dostępności części danych oraz czasowe zakłócenia w funkcjonowaniu usług elektronicznych. Urząd zgłosił incydent do CSIRT

NASK oraz Prezesa Urzędu Ochrony Danych Osobowych, a następnie rozpoczął proces odtwarzania systemów z kopii zapasowych. Przypadek ten pokazuje, że odpowiednie procedury reagowania na incydenty, wykonywanie kopii zapasowych oraz współpraca z krajowymi zespołami reagowania stanowią podstawowe elementy skutecznego Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem Informacji.

Atak WannaCry na brytyjską służbę zdrowia NHS (2017)

Jednym z najbardziej znanych incydentów cyberbezpieczeństwa był globalny atak ransomware WannaCry z maja 2017 roku, który objął ponad 200 tysięcy komputerów w ponad 150 państwach. Szczególnie dotkliwe skutki odnotowała brytyjska służba zdrowia (NHS), gdzie zablokowanie systemów informatycznych doprowadziło do odwołania zabiegów, utrudnień w dostępie do dokumentacji medycznej oraz zakłóceń w funkcjonowaniu placówek ochrony zdrowia. Analizy wykazały, że jedną z głównych przyczyn skuteczności ataku był brak instalacji wcześniej udostępnionych aktualizacji bezpieczeństwa systemów Windows. Przypadek WannaCry unaocznił znaczenie zarządzania podatnościami, regularnego aktualizowania oprogramowania, planów ciągłości działania oraz wdrażania standardów zarządzania bezpieczeństwem informacji, takich jak ISO/IEC 27001.

Zakończenie

Zarządzanie bezpieczeństwem informacji w instytucjach publicznych jest procesem złożonym i wielowymiarowym, który wymaga integracji działań na wielu płaszczyznach. Obejmuje ono zarówno tworzenie oraz stosowanie odpowiednich regulacji prawnych, wdrażanie rozwiązań technologicznych, jak i budowanie efektywnych struktur organizacyjnych odpowiedzialnych za ochronę danych. Szczególne znaczenie ma w tym kontekście System Zarządzania Bezpieczeństwem Informacji, który umożliwia systematyczne podejście do identyfikacji zagrożeń, analizy ryzyka oraz wdrażania adekwatnych środków ochrony. Niezwykle istotne jest także zapewnienie ciągłości działania instytucji poprzez odpowiednie przygotowanie na sytuacje kryzysowe oraz opracowanie i testowanie planów awaryjnych. Nie można jednak zapominać, że nawet najbardziej zaawansowane technologie nie są w stanie zagwarantować pełnego bezpieczeństwa bez udziału świadomych i odpowiednio przeszkolonych pracowników. Czynnik ludzki odgrywa kluczową rolę w całym systemie ochrony informacji, dlatego konieczne jest ciągłe podnoszenie kompetencji oraz budowanie kultury bezpieczeństwa w organizacjach publicznych. Tylko holistyczne podejście, łączące aspekty techniczne, organizacyjne i społeczne, pozwala na skuteczne przeciwdziałanie zagrożeniom oraz minimalizowanie skutków incydentów. W rezultacie właściwie zarządzane bezpieczeństwo informacji przyczynia się nie tylko do ochrony danych, lecz także do zwiększenia efektywności działania administracji oraz wzmacniania zaufania obywateli do instytucji publicznych.

Bibliografia

Bajor T., Krakowiak M. (2018), *Zarządzanie kryzysowe a bezpieczeństwo informacji*, „Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie. Technika, Informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa", t. 6, s. 649–659, https://doi.org/10.16926/tiib.2018.06.46

Co to jest Triada CIA i na czym polega? (2024), https://cyberthreat.pl/co-to-jest-triada-cia/ [dostęp: 13.04.2026].

Gerwatowski J. (2019), *Bezpieczeństwo informacyjne w jednostkach samorządu terytorialnego*, „Studia Prawnoustrojowe", nr 44, s. 89–106, https://doi.org/10.31648/sp.4897

Incydenty bezpieczeństwa – definicja, przykłady i zarządzanie (2024), https://nafalinauki.pl/incydenty-bezpieczenstwa/ [dostęp: 15.04.2026].

ISO/IEC 27001:2022 (2022), *Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Requirements*, Geneva: International Organization for Standardization (ISO).

Jatkiewicz P. (2016), *Zarządzanie bezpieczeństwem w jednostkach samorządowych*, [w:] T. Szatkowski (red.), *Bezpieczeństwo danych w sektorze publicznym*, Warszawa: Polskie Towarzystwo Informatyczne, s. 57–77.

Kifner T. (2016), *Elementy kultury organizacji IT wspomagające wdrażanie systemu bezpieczeństwa teleinformatycznego i bezpieczeństwa informacji*, [w:] T. Szatkowski (red.), *Bezpieczeństwo danych w sektorze publicznym*, Warszawa: Polskie Towarzystwo Informatyczne, s. 7–28.

Majchrzak D. (2018), *O zarządzaniu kryzysowym inaczej. Zarządzanie kryzysowe czy zarządzanie bezpieczeństwem?*, „Kwartalnik Bellona", nr 4, s. 39–61.

Narodowy Standard Cyberbezpieczeństwa NSC 800-12. Bezpieczeństwo informacji – wprowadzenie (2023), https://www.gov.pl/web/baza-wiedzy/narodowe-standardy-cyber [dostęp: 12.04.2026].

Olender A. (2020), *Analiza ryzyka i ocena skutków dla ochrony danych osobowych przetwarzanych w podmiotach sektora publicznego*, „Wschód Europy. Studia humanistyczno-społeczne", vol. 6(2), s. 145–157, https://doi.org/10.17951/we.2020.6.2.145-157

Pietras E. (2016), *Zagadnienia zarządzania bezpieczeństwem informacji w organizacji*, „Zarządzanie Przedsiębiorstwem", vol. 19, nr 1, s. 22–28.

Rola czynnika ludzkiego w bezpieczeństwie informatycznym (b.r.), https://cybersec24.pl/2025/02/rola-czynnika-ludzkiego-w-bezpieczenstwie-informatycznym/ [dostęp: 12.04.2026].

Romaniuk P. (2014), *Zarządzanie systemami bezpieczeństwa informacji w administracji publicznej z wykorzystaniem instytucji audytu wewnętrznego*, [w:] M. Sitek, I. Niedziółka, A. Ukleja (red.), *Wymiary ochrony informacji i polityki bezpieczeństwa. Państwo – Prawo – Społeczeństwo*, Józefów: Wydawnictwo Wyższej Szkoły Gospodarki Euroregionalnej im. Alcide De Gasperi w Józefowie, s. 7–22.

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w sprawie ochrony osób fizycznych w związku z przetwarzaniem danych osobowych i w sprawie swobodnego przepływu takich danych oraz uchylenia dyrektywy 95/46/WE (ogólne rozporządzenie o ochronie danych) (Dz.U. UE z 2019 r., L 119/1).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 21 maja 2024 r. w sprawie Krajowych Ram Interoperacyjności, minimalnych wymagań dla rejestrów publicznych i wymiany informacji w postaci elektronicznej oraz minimalnych wymagań dla systemów teleinformatycznych (Dz.U. z 2024 r., poz. 773).

Stallings W., Brown L. (2019), *Bezpieczeństwo systemów informatycznych. Zasady i praktyka*, t. 1, Gliwice: Helion.

Ustawa z dnia 5 lipca 2018 r. o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa (Dz.U. z 2018 r., poz. 1560 ze zm.).

Whitman M., Mattord H. (2021), *Principles of Information Security*, Boston: Cengage Learning.

Wiatrak L. (2016), *Zarządzanie ryzykiem wewnętrznym w organach administracji publicznej*, „Studia Ekonomiczne", vol. 298, s. 115–129.

Włodyka E.M. (2022), *Samorządowa administracja publiczna wobec cyberprzestrzeni: bezpieczeństwo informacji a praktyka zgłaszania w samorządzie terytorialnym osób do kontaktu z CSIRT NASK*, „Studia Gdańskie", t. XVIII, s. 301–314.

Wołowski F., Zawiła-Niedźwiecki J. (2012), *Bezpieczeństwo systemów informacyjnych. Praktyczny przewodnik zgodny z normami polskimi i międzynarodowymi*, Kraków: edu-Libri.

Zawiła-Niedźwiecki J., Rakoczy A. (2018), *Publiczne zarządzanie kryzysowe w działalności instytucji finansowych*, „Studia i Materiały", nr 1(26), s. 48–54, https://doi.org/10.7172/1733-9758.2018.26.4

O autorach

Gabriel Kagankiewicz – student drugiego roku studiów licencjackich na kierunku bezpieczeństwo wewnętrzne. Interesuje się zagadnieniami związanymi z cyberbezpieczeństwem oraz zarządzaniem systemami teleinformatycznymi w administracji publicznej. Jest członkiem Koła Naukowego „Jurysta".

Wiktoria Urbańska – studentka drugiego roku studiów licencjackich na kierunku bezpieczeństwo wewnętrzne. Interesuje się zagadnieniami związanymi z cyberbezpieczeństwem, kryminalistyką cyfrową oraz analizą incydentów. Jest członkinią Koła Naukowego „Jurysta".

About the Authors

Gabriel Kagankiewicz – a second-year undergraduate student in Internal Security. His interests include cybersecurity and the management of ICT systems in public administration. He is a member of the Research Club "Jurysta".

Wiktoria Urbańska – a second-year undergraduate student in Internal Security. Her interests include cybersecurity, digital forensics, and incident analysis. She is a member of the Research Club "Jurysta".

Ten utwór jest dostępny na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe.

Open Access

Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie nr 2(43)/2026
ISSN 2391-5129

Roksana Sztajnkowska https://orcid.org/0009-0007-3240-4770
Wyższa Szkoła Biznesu i Nauk o Zdrowiu w Łodzi
e-mail: sztajnkowska.roksana@gmail.com

Natalia Milczarczyk https://orcid.org/0009-0007-0187-7305
Wyższa Szkoła Biznesu i Nauk o Zdrowiu w Łodzi
e-mail: natalia.milczarczyk5@gmail.com

Zakład karny jako organizacja publiczna – wyzwania nowoczesnego zarządzania

Prison as a public organization: Challenges of modern management

https://doi.org/10.25312/ziwgib.907

Streszczenie

Celem artykułu jest identyfikacja najważniejszych wyzwań związanych z zarządzaniem zakładem karnym jako organizacją publiczną. Analizę przeprowadzono na podstawie literatury przedmiotu, aktów prawnych oraz dostępnych opracowań dotyczących funkcjonowania Służby Więziennej, w tym studium przypadku zarządzania Zakładem Karnym w Łowiczu. Zakres artykułu obejmuje zastosowanie wybranych założeń New Public Management, zarządzanie personelem, pozafinansowe motywowanie funkcjonariuszy, rolę dyrektora jednostki penitencjarnej oraz aspekty bezpieczeństwa związane z funkcjonowaniem zakładów karnych. Przeprowadzona analiza wskazuje, że do najważniejszych wyzwań zarządczych należą: łączenie hierarchicznego charakteru Służby Więziennej z bardziej partycypacyjnym stylem kierowania, przeciwdziałanie stresowi i wypaleniu zawodowemu funkcjonariuszy, zapewnienie skutecznej komunikacji wewnętrznej, reagowanie na zdarzenia nadzwyczajne, ograniczanie ryzyka korupcji i przemytu substancji niedozwolonych oraz modernizacja infrastruktury penitencjarnej. Istotnym wyzwaniem pozostaje również dostosowanie rozwiązań menedżerskich

wywodzących się z sektora prywatnego do specyfiki prawnej i społecznej jednostek penitencjarnych. Z analizy wynika, że skuteczne zarządzanie zakładem karnym wymaga łączenia sprawności organizacyjnej i bezpieczeństwa z zarządzaniem opartym na zaufaniu oraz rozwijaniu kompetencji personelu. Koncepcje menedżerskie mogą wspierać funkcjonowanie jednostek penitencjarnych, jednak powinny uzupełniać, a nie zastępować rozwiązania wynikające ze szczególnej funkcji publicznej i prawnej zakładu karnego.

Słowa kluczowe: zakład karny, organizacja publiczna, zarządzanie penitencjarne, Służba Więzienna, zarządzanie personelem, bezpieczeństwo

Abstract

This article identifies the main challenges associated with managing a prison as a public organization. It draws on relevant literature, legal regulations, and available studies concerning the functioning of the Polish Prison Service, including a case study of the management of the Prison in Łowicz. The article focuses on the application of selected New Public Management principles, personnel management, non-financial staff motivation, the role of prison directors, and security-related aspects of prison management. The analysis indicates that the main management challenges include combining the hierarchical structure of the Prison Service with a more participatory leadership style, preventing occupational stress and burnout among prison officers, ensuring effective internal communication, responding to extraordinary incidents, reducing the risk of corruption and the smuggling of prohibited substances and modernizing prison infrastructure. Another important challenge is adapting private-sector management solutions to the specific legal and social functions of penitentiary institutions. The findings demonstrate that effective prison management requires combining organizational efficiency and security with trust-based leadership and staff competence development. Managerial concepts may support the functioning of penitentiary institutions, but they should complement rather than replace management solutions arising from the specific public and legal responsibilities of prisons.

Keywords: prison, public organization, prison management, Prison Service, personnel management, security

Istota organizacji zakładu karnego

Istota zakładu karnego jako organizacji wynika zarówno z jego szczególnego charakteru instytucjonalnego, jak i ze ścisłego uregulowania prawnego. Zasady funkcjonowania tych jednostek określa Ustawa z dnia 6 czerwca 1997 r. – Kodeks karny wykonawczy, który w art. 68–78 reguluje ich podległość, rodzaje, typy, strukturę zarządzania oraz zasady

utrzymania porządku i bezpieczeństwa. Regulacje te sprawiają, że więzienie posiada cechy instytucji totalnej opisanej przez Ervinga Goffmana, ponieważ jest wyraźnie oddzielone od świata zewnętrznego, a codzienne życie osadzonych odbywa się pod stałym nadzorem i według ściśle określonych zasad. Codzienne życie w zakładzie karnym podlega licznym regulaminom, nakazom i zakazom, które określają szczegółowy porządek dnia, sposób wykonywania pracy oraz zasady funkcjonowania zarówno personelu, jak i osób pozbawionych wolności. Charakterystyczna jest również wysoka standaryzacja działań oraz stały nadzór i kontrola, które ograniczają prywatność i wprowadzają określoną schematyczność życia w tej instytucji. Struktura organizacyjna zakładu karnego opiera się na wyraźnym systemie hierarchicznym wynikającym z ustawowego umocowania Służby Więziennej jako formacji umundurowanej i uzbrojonej (Pomiankiewicz, 2021: 30). Obejmuje ona system stopni służbowych, stanowisk oraz jasno określone zależności służbowe pomiędzy przełożonymi i podwładnymi. Jednocześnie w obrębie więzienia funkcjonują dwie odrębne zbiorowości społeczne: personel penitencjarny oraz osoby pozbawione wolności. Między tymi grupami występują wyraźne różnice kulturowe i społeczne, a ich relacje często cechuje wzajemny dystans i ograniczone zaufanie. Skazani nierzadko wykazują niechęć wobec instytucji i jej przedstawicieli, natomiast funkcjonariusze zachowują ostrożność i podejrzliwość wynikającą z ryzyka zawodowego oraz konieczności pracy z osobami skazanymi za różnego rodzaju przestępstwa. Mimo tych napięć obie grupy tworzą wspólne środowisko społeczne funkcjonujące w ramach organizacji więziennej i pozostają wobec siebie w relacji wzajemnej zależności. Istotną cechą funkcjonowania zakładu karnego w państwie demokratycznym jest również rozbudowany system kontroli i nadzoru instytucjonalnego. Działalność jednostek penitencjarnych podlega między innymi nadzorowi sądowemu, kontroli Rzecznika Praw Obywatelskich, komisji parlamentarnych oraz organizacji krajowych i międzynarodowych zajmujących się ochroną praw człowieka. Ważną rolę odgrywa także udział czynnika społecznego, przejawiający się między innymi w działalności wolontariuszy czy opiece duszpasterskiej nad osobami pozbawionymi wolności. Jednocześnie należy podkreślić, że badania nad funkcjonowaniem więziennictwa jako organizacji są stosunkowo trudne do prowadzenia, co wynika przede wszystkim z hermetycznego charakteru tej instytucji oraz ograniczonego dostępu do danych i źródeł (Pomiankiewicz, 2021: 31).

Wykorzystanie NPM (New Public Managment) w zakładach karnych

Koncepcja Nowego Zarządzania Publicznego stanowi model zarządzania w sektorze publicznym, który zakłada wykorzystanie metod i narzędzi stosowanych w sektorze prywatnym w celu zwiększenia efektywności działania instytucji publicznych. Powstała ona jako odpowiedź na ograniczenia tradycyjnego, biurokratycznego modelu administracji, który koncentrował się głównie na procedurach i formalnych regułach działania. W podejściu NPM większy nacisk kładzie się natomiast na osiąganie konkretnych rezultatów, racjonalne gospodarowanie środkami publicznymi oraz poprawę jakości usług świadczonych

przez instytucje państwowe. Charakterystyczne dla tego modelu jest również wprowadzenie menedżerskiego stylu zarządzania, decentralizacja decyzji, jasno określone cele organizacyjne oraz ocena działalności instytucji na podstawie mierzalnych wskaźników efektywności, zgodnie z zasadą oszczędności, efektywności i skuteczności (tzw. 3E) (Krynicka, 2006: 196–202). Zastosowanie założeń NPM może być także rozważane w odniesieniu do funkcjonowania zakładów karnych jako instytucji publicznych. W praktyce oznaczałoby to między innymi większe ukierunkowanie zarządzania jednostkami penitencjarnymi na osiąganie określonych rezultatów, takich jak skuteczność oddziaływań resocjalizacyjnych, poprawa bezpieczeństwa czy racjonalne wykorzystanie zasobów organizacyjnych. W praktyce oznacza to, że kierownictwo jednostek penitencjarnych powinno koncentrować się na właściwym wyznaczaniu celów działania, monitorowaniu wyników, ustalaniu standardów pracy oraz wykorzystywaniu sprawdzonych rozwiązań organizacyjnych, takich jak benchmarking czy systematyczna ewaluacja efektów podejmowanych działań. Wdrożenie elementów menedżerskiego stylu zarządzania wymaga jednocześnie zmian w kulturze organizacyjnej instytucji, większego ukierunkowania na pracę zespołową oraz umiejętności podejmowania decyzji w warunkach wysokiej odpowiedzialności i presji. Należy jednak podkreślić, że adaptacja koncepcji NPM w systemie penitencjarnym powinna uwzględniać specyfikę funkcjonowania zakładów karnych jako instytucji o szczególnym znaczeniu społecznym. Zakład karny nie jest bowiem przedsiębiorstwem nastawionym na zysk, lecz instytucją realizującą zadania państwa związane z zapewnieniem bezpieczeństwa publicznego oraz oddziaływaniem resocjalizacyjnym wobec osób skazanych. Dlatego też stosowanie menedżerskich metod zarządzania musi pozostawać w zgodzie z zasadą humanitaryzmu i poszanowania godności osób pozbawionych wolności. Nowoczesne zarządzanie w więziennictwie powinno zatem łączyć efektywność organizacyjną i racjonalne gospodarowanie zasobami z realizacją celów resocjalizacyjnych oraz dbałością o prawa człowieka (Janus, 2023: 123–125).

Na gruncie polskim koncepcja menedżeryzmu została szerzej spopularyzowana między innymi przez Andrzeja K. Koźmińskiego, który wskazywał, że skuteczne zarządzanie organizacją wymaga od liderów takich cech, jak przedsiębiorczość, zdolność podejmowania inicjatywy oraz umiejętność przewidywania ryzyka. Współczesne badania nad przywództwem pokazują, że zarządzanie organizacjami staje się coraz bardziej złożone i wymaga od kadry kierowniczej rozwiniętych kompetencji przywódczych. Do najważniejszych z nich zalicza się kompetencje wartościotwórcze, związane z kształtowaniem norm i standardów działania w organizacji, kompetencje antycypacyjne polegające na przewidywaniu przyszłych wyzwań, kompetencje autorefleksyjne umożliwiające uczenie się na podstawie wcześniejszych doświadczeń, kompetencje wizjonerskie związane z tworzeniem długofalowej wizji rozwoju oraz kompetencje mobilizacyjne, które pozwalają angażować innych pracowników w realizację wyznaczonych celów. W praktyce zarządzania liderzy muszą jednocześnie mierzyć się z wieloma ograniczeniami, wśród których najczęściej wskazuje się bariery polityczne, informacyjne, kulturowe czy instytucjonalne, wpływające na sposób podejmowania decyzji w organizacji (Janus, 2023: 127–128). Współczesne podejście do menedżeryzmu podkreśla również rosnącą rolę specjalistów, którzy, choć nie zawsze pełnią formalne funkcje kierownicze, uczestniczą w procesach planowania,

analizowania i podejmowania decyzji organizacyjnych. Oznacza to, że skuteczne zarządzanie instytucjami publicznymi wymaga współpracy między kadrą kierowniczą a zespołem ekspertów posiadających wyspecjalizowaną wiedzę. Jednocześnie w literaturze zwraca się uwagę na rozróżnienie między zarządzaniem a przywództwem. Zarządzanie odnosi się głównie do organizowania procesów i realizacji zadań, natomiast przywództwo polega na zdolności do wyznaczania kierunków rozwoju organizacji, budowania wizji przyszłości oraz zdobywania autorytetu wśród współpracowników (Janus, 2023: 128–129). W tym ujęciu współczesny menedżer powinien nie tylko sprawnie kierować instytucją, lecz także inspirować innych do zaangażowania i wspólnego realizowania celów organizacji. W odniesieniu do instytucji publicznych, w tym również zakładów karnych, oznacza to konieczność łączenia kompetencji organizacyjnych z odpowiedzialnością społeczną oraz dążeniem do tworzenia wartości istotnych zarówno dla samej instytucji, jak i dla otoczenia społecznego, w którym ona funkcjonuje.

Zbadanie praktycznego wymiaru NPM w Zakładzie Karnym w Łowiczu

Anna Janus w artykule *Menedżeryzm a nowoczesne zarządzanie jednostką penitencjarną – spojrzenie na zarządzanie Zakładem Karnym w Łowiczu* wskazuje na badanie oparte na wywiadzie z dyrektorem Zakładu Karnego w Łowiczu, które zostało wykorzystane do przedstawienia praktycznych aspektów stosowania koncepcji menedżeryzmu w zarządzaniu jednostką penitencjarną (Janus, 2023: 136). Autorka opisuje w nim zarówno specyfikę funkcjonowania samej jednostki, jak i doświadczenia osoby kierującej zakładem karnym, co pozwala na ukazanie realnych wyzwań związanych z zarządzaniem instytucją o charakterze penitencjarnym. Przedstawiona została między innymi charakterystyka Zakładu Karnego w Łowiczu. Początki tej jednostki sięgają 1974 roku, kiedy na obrzeżach miasta powstał Ośrodek Zewnętrzny Aresztu Śledczego w Łodzi. W początkowym okresie osadzeni mieszkali w barakach kolejowych i wykonywali pracę na rzecz PKP, jednocześnie uczestnicząc w budowie infrastruktury przyszłego zakładu karnego, który w 1977 roku uzyskał status samodzielnej jednostki penitencjarnej. W latach osiemdziesiątych, w czasie stanu wojennego, funkcjonowało tam miejsce odosobnienia dla internowanych działaczy NSZZ „Solidarność". Obecnie jednostka funkcjonuje jako zakład karny typu półotwartego, który obejmuje także areszt śledczy oraz oddział terapeutyczny przeznaczony dla osób uzależnionych od środków odurzających i psychotropowych. Od 2017 roku działa tam również oddział przeznaczony dla recydywistów penitencjarnych odbywających karę w warunkach zakładu typu zamkniętego o zwiększonym stopniu zabezpieczeń techniczno-ochronnych. Pojemność zakładu wynosi 713 miejsc zakwaterowania, a jednostka zatrudnia kilkuset pracowników, w tym znaczną liczbę funkcjonariuszy Służby Więziennej (Janus, 2023: 137–138). Artykuł prezentuje także sposób zarządzania jednostką przez jej dyrektora. Wskazano na stosowanie połączenia stylu demokratycznego i autorytarnego, co wynika zarówno ze specyfiki instytucji penitencjarnej, jak i z oczekiwań pracowników, którzy w większości preferują uporządkowaną strukturę organizacyjną oraz

jasno określone zasady działania. W relacji podkreślono również znaczenie budowania tożsamości instytucjonalnej jednostki oraz stosowania różnorodnych form motywowania pracowników, zwłaszcza motywatorów pozapłacowych. W zarządzaniu ważną rolę odgrywa także docenianie specjalistycznych kompetencji funkcjonariuszy i pracowników cywilnych oraz wspieranie ich w podnoszeniu kwalifikacji zawodowych i rozwijaniu kompetencji społecznych, takich jak wrażliwość społeczna, empatia czy umiejętność budowania relacji interpersonalnych.

W badaniu zwrócono ponadto uwagę na działania modernizacyjne oraz innowacyjne rozwiązania wprowadzane w Zakładzie Karnym w Łowiczu. Jednostka uczestniczyła między innymi w pilotażowym programie „Motywator", realizowanym we współpracy z norweską służbą więzienną, którego celem było zwiększenie motywacji osadzonych do konstruktywnej zmiany postaw i zachowań. Wprowadzono tam także jedno z pierwszych w Polsce rozwiązań umożliwiających kontakt osadzonych z rodzinami za pośrednictwem komunikatorów internetowych. Liczne programy readaptacji społecznej, w których uczestniczą setki osadzonych, obejmują działania z zakresu aktywizacji zawodowej, rozwijania kompetencji społecznych, przeciwdziałania przemocy oraz terapii uzależnień. Istotnym elementem funkcjonowania jednostki jest także zatrudnianie osadzonych w ramach programu „Praca dla więźniów", w tym w hali produkcyjnej działającej na terenie zakładu oraz w podmiotach zewnętrznych (Janus, 2023: 138–140).

W wywiadzie odniesiono się również do wyzwań zarządczych, z jakimi musi mierzyć się kierownictwo jednostki penitencjarnej. Wskazuje się między innymi na znaczenie analizowania różnych wariantów decyzji organizacyjnych, wykorzystywania współpracy z podmiotami zewnętrznymi w ramach outsourcingu oraz konieczność szybkiego reagowania na sytuacje kryzysowe. Szczególnym sprawdzianem dla zarządzania jednostką był okres pandemii COVID-19, który wymagał wprowadzenia nowych procedur sanitarnych, reorganizacji funkcjonowania zakładu oraz zapewnienia bezpieczeństwa zarówno pracownikom, jak i osobom pozbawionym wolności. W takich warunkach szczególnego znaczenia nabierały kompetencje charakterystyczne dla menedżeryzmu, takie jak elastyczność w planowaniu działań, szybkie reagowanie na pojawiające się incydenty, krytyczna analiza napływających informacji oraz sprawne organizowanie pracy personelu. Kluczową rolę odgrywała również zdolność do zapewnienia wsparcia pracownikom i utrzymania stabilności funkcjonowania jednostki w sytuacji kryzysowej. Przykład ten pokazuje, że menedżeryzm w zarządzaniu jednostką penitencjarną przejawia się nie tylko w planowaniu strategicznym czy wdrażaniu innowacyjnych rozwiązań, lecz także w umiejętności skutecznego reagowania na nagłe i trudne sytuacje, wymagające szybkich decyzji, odporności psychicznej oraz sprawnej koordynacji działań całej organizacji (Janus, 2023: 140–141).

Przedstawiona analiza pozwala dostrzec, że koncepcja menedżeryzmu może stanowić istotny element nowoczesnego zarządzania jednostką penitencjarną, jednak jej zastosowanie wymaga ostrożnej i krytycznej oceny. Przykład Zakładu Karnego w Łowiczu wskazuje na potencjalne korzyści wynikające z wprowadzania rozwiązań charakterystycznych dla menedżerskiego stylu zarządzania, takich jak elastyczność w podejmowaniu decyzji, rozwijanie kompetencji pracowników czy wdrażanie innowacyjnych programów

organizacyjnych i resocjalizacyjnych. Jednocześnie należy zauważyć, że przedstawione wnioski opierają się przede wszystkim na perspektywie kierownictwa jednostki, co może ograniczać pełny obraz funkcjonowania organizacji. Ponadto przenoszenie koncepcji zarządczych wywodzących się z sektora prywatnego na grunt instytucji penitencjarnych wymaga uwzględnienia ich szczególnej roli społecznej, związanej nie tylko z zapewnieniem bezpieczeństwa, lecz także z realizacją celów resocjalizacyjnych i poszanowaniem praw osób pozbawionych wolności. W związku z tym menedżeryzm w zarządzaniu więziennictwem powinien być traktowany raczej jako uzupełnienie tradycyjnych modeli zarządzania niż ich bezpośrednie zastąpienie, a jego skuteczność wymaga dalszych badań obejmujących szersze spektrum jednostek penitencjarnych.

Motywacja pozapłacowa funkcjonariuszy służby więziennej

Motywowanie pracowników stanowi jeden z kluczowych elementów skutecznego zarządzania organizacją, niezależnie od jej charakteru. W instytucjach publicznych, w tym w jednostkach penitencjarnych, zagadnienie to nabiera szczególnego znaczenia ze względu na specyfikę wykonywanej pracy oraz odpowiedzialność spoczywającą na funkcjonariuszach. Służba Więzienna realizuje zadania związane z zapewnieniem bezpieczeństwa jednostek penitencjarnych, wykonywaniem orzeczeń sądowych oraz prowadzeniem oddziaływań resocjalizacyjnych wobec osób pozbawionych wolności. Charakter tej służby wiąże się z dużym obciążeniem psychicznym, koniecznością pracy w warunkach stresu oraz częstym kontaktem z osobami skazanymi za poważne przestępstwa. W takich warunkach szczególnego znaczenia nabiera odpowiednie motywowanie funkcjonariuszy, które wpływa nie tylko na ich efektywność zawodową, lecz także na stabilność funkcjonowania całej organizacji. W literaturze przedmiotu podkreśla się, że system motywacyjny w instytucjach publicznych nie może opierać się wyłącznie na czynnikach finansowych. W wielu przypadkach równie istotną rolę odgrywają motywatory pozapłacowe, takie jak możliwość rozwoju zawodowego, poczucie bezpieczeństwa zatrudnienia, uznanie przełożonych czy budowanie pozytywnych relacji w środowisku pracy. Czynniki te wpływają na poziom satysfakcji zawodowej funkcjonariuszy oraz na ich identyfikację z instytucją, w której pełnią służbę. W przypadku Służby Więziennej motywacja pozapłacowa może być szczególnie ważna, ponieważ sprzyja wzmacnianiu poczucia misji i odpowiedzialności za realizację zadań związanych z ochroną społeczeństwa oraz procesem readaptacji społecznej skazanych. W systemie motywowania funkcjonariuszy Służby Więziennej obecnie stosuje się motywację opartą na karze, która ma charakter motywacji zewnętrznej. Polega ona na stosowaniu środków dyscyplinarnych w sytuacji naruszenia obowiązków służbowych lub zasad wynikających z przepisów prawa i złożonego ślubowania. Karanie pełni przede wszystkim funkcję korygującą i zapobiegawczą, ponieważ jego celem jest eliminowanie niepożądanych zachowań oraz utrzymanie wysokiego poziomu dyscypliny w formacji mundurowej (Szewczyk, 2021: 45–46).

Odpowiedzialność dyscyplinarna funkcjonariuszy Służby Więziennej regulowana jest przez ustawę o Służbie Więziennej, która określa zarówno katalog przewinień dyscyplinarnych, jak i możliwe sankcje. Do najważniejszych naruszeń zalicza się między innymi niewykonanie poleceń przełożonych, niedopełnienie obowiązków służbowych, przekroczenie uprawnień, niehumanitarne traktowanie osób pozbawionych wolności czy stawienie się do służby pod wpływem alkoholu. W przypadku stwierdzenia przewinienia przełożony dyscyplinarny może zastosować jedną z przewidzianych prawem kar, takich jak nagana, ostrzeżenie o niepełnej przydatności do służby, wyznaczenie na niższe stanowisko, obniżenie stopnia służbowego lub w skrajnych przypadkach wydalenie ze służby. System kar dyscyplinarnych ma na celu utrzymanie porządku organizacyjnego i odpowiedzialności funkcjonariuszy, a świadomość konsekwencji niewłaściwego wykonywania obowiązków stanowi jeden z elementów oddziaływania motywacyjnego w strukturach Służby Więziennej (Szewczyk, 2021: 47–48). System motywowania funkcjonariuszy nie ogranicza się wyłącznie do wynagrodzenia czy stosowania kar dyscyplinarnych, lecz obejmuje również szeroki katalog motywatorów pozapłacowych. Choć odpowiednia polityka płacowa jest istotnym narzędziem oddziaływania na pracowników, to bez wsparcia dodatkowymi formami motywowania może okazać się niewystarczająca. Dlatego w procesie zarządzania personelem w jednostkach penitencjarnych wykorzystuje się różnorodne środki odwołujące się do potrzeb społecznych, aspiracji zawodowych oraz poczucia uznania funkcjonariuszy.

W ustawie o Służbie Więziennej wskazano katalog wyróżnień, które mogą być przyznawane funkcjonariuszom szczególnie sumiennie wykonującym obowiązki służbowe, przejawiającym inicjatywę lub podnoszącym swoje kwalifikacje zawodowe. Do takich form motywowania należą między innymi:

- pochwała przełożonego,
- nagrody pieniężne lub rzeczowe,
- krótkoterminowy urlop,
- przyznanie odznaki za zasługi w pracy penitencjarnej,
- mianowanie na wyższe stanowisko służbowe,
- przedterminowe nadanie wyższego stopnia,
- przedstawienie do odznaczenia państwowego.

Szczególne znaczenie wśród tych instrumentów mają nagrody oraz awanse, które nie tylko wzmacniają poczucie docenienia pracy funkcjonariusza, lecz także wpływają na jego dalszy rozwój zawodowy. Motywatory te sprzyjają budowaniu pozytywnej atmosfery w środowisku służby, zwiększają zaangażowanie oraz integrację pracowników z instytucją, a jednocześnie stanowią ważny element zarządzania personelem w strukturach Służby Więziennej (Szewczyk, 2021: 50–51). Taka konstrukcja systemu motywacyjnego odpowiada specyfice służb mundurowych, w których utrzymanie wysokiego poziomu dyscypliny oraz jasno określonych zasad funkcjonowania stanowi warunek prawidłowej realizacji zadań instytucji. Jednocześnie nadmierne eksponowanie motywacji opartej na karze może prowadzić do ograniczenia motywacji wewnętrznej funkcjonariuszy oraz osłabienia ich poczucia autonomii i satysfakcji zawodowej. W praktyce oznacza to, że system motywacyjny powinien zachowywać równowagę pomiędzy instrumentami

dyscyplinującymi a narzędziami wzmacniającymi pozytywne postawy pracowników. W tym kontekście znaczenie mają motywatory pozapłacowe, które pozwalają budować poczucie uznania, przynależności do instytucji oraz identyfikacji z jej misją. Jednocześnie katalog przewidzianych prawem wyróżnień, choć stanowi ważny element systemu motywacyjnego, może okazać się niewystarczający, jeśli nie będzie wspierany odpowiednią kulturą organizacyjną oraz stylem zarządzania opartym na dialogu i docenianiu kompetencji funkcjonariuszy. W literaturze zwraca się uwagę, że skuteczność motywowania w organizacjach publicznych zależy nie tylko od formalnych narzędzi przewidzianych w przepisach, lecz także od sposobu ich stosowania przez kadrę kierowniczą oraz od jakości relacji panujących w środowisku pracy. Z tego względu system motywowania funkcjonariuszy Służby Więziennej powinien być postrzegany z jednej strony jako zbiór regulacji prawnych i instrumentów organizacyjnych, a z drugiej – jako element szerszego procesu zarządzania zasobami ludzkimi. Dopiero właściwe połączenie mechanizmów dyscyplinujących, nagród, możliwości rozwoju zawodowego oraz budowania pozytywnej atmosfery pracy może przyczynić się do zwiększenia zaangażowania funkcjonariuszy oraz poprawy efektywności funkcjonowania jednostek penitencjarnych.

Przywództwo dyrektora zakładu karnego – między hierarchią a zarządzaniem humanistycznym

Ważnym aspektem nowoczesnego zarządzania zakładem karnym jest rola dyrektora jednostki penitencjarnej, który pełni funkcję nie tylko formalnego przełożonego, lecz także organizatora pracy, koordynatora oddziaływań penitencjarnych oraz lidera odpowiedzialnego za funkcjonowanie całej jednostki. Specyfika tego stanowiska wynika z faktu, że zakład karny pozostaje organizacją silnie zhierarchizowaną, sformalizowaną i podporządkowaną procedurom. W literaturze wskazuje się, że system penitencjarny cechuje paramilitarność, centralizacja, depolityzacja oraz realizacja ustawowo określonego celu, jakim jest ochrona społeczeństwa przed sprawcami przestępstw (Skuza, Modzelewska, Kotowska, 2021: 286). Jednocześnie sama jednostka penitencjarna funkcjonuje jako organizacja zamknięta, w której istotną rolę odgrywają regulaminy, zależności służbowe i formalne kanały komunikacji. W tradycyjnym ujęciu zarządzanie więzieniem może być kojarzone z modelem mechanistycznym, opartym na hierarchii, centralizacji decyzji, formalizacji działań oraz dominacji autorytetu wynikającego z zajmowanego stanowiska. Taki model jest zrozumiały w instytucji, której podstawowym zadaniem jest zapewnienie bezpieczeństwa, porządku i praworządnego wykonywania kary pozbawienia wolności. Autorzy badań nad zarządzaniem w jednostkach Służby Więziennej wskazują, że w więzieniach występują cechy organizacji mechanistycznej, takie jak wysoka specjalizacja zadań, szczegółowe procedury, hierarchiczna komunikacja oraz duże znaczenie autorytetu formalnego (Skuza, Modzelewska, Kotowska, 2021: 287–288). Nie oznacza to jednak, że współczesne kierowanie jednostką penitencjarną może opierać się wyłącznie na wydawaniu poleceń i kontroli ich wykonania.

Z badań pilotażowych przeprowadzonych wśród dyrektorów zakładów karnych i aresztów śledczych wynika, że współczesne zarządzanie jednostką penitencjarną coraz częściej łączy elementy hierarchicznego kierowania z podejściem relacyjnym. Badani dyrektorzy podkreślali znaczenie praktyki, doświadczenia, znajomości procedur, ale również umiejętności budowania zespołu, rozmowy z pracownikami i wzmacniania zaufania. Hierarchia była przez nich postrzegana jako naturalna cecha Służby Więziennej, jednak jednocześnie wskazywali oni, że skuteczne zarządzanie nie może ograniczać się do administrowania i wydawania poleceń. Istotne staje się także budowanie wspólnoty celów, dobrej atmosfery oraz poczucia odpowiedzialności za jednostkę (Skuza, Modzelewska, Kotowska, 2021: 295–300). Szczególne znaczenie ma tutaj zaufanie, które w warunkach więziennych pełni funkcję nie tylko organizacyjną, ale również bezpieczeństwa. Dyrektorzy wskazywali, że zarządzanie jednostką wymaga znajomości kompetencji pracowników, umiejętności korzystania z ich doświadczenia oraz szybkiego reagowania na konflikty i sytuacje kryzysowe. W praktyce oznacza to, że dyrektor nie może być wyłącznie administratorem, ale powinien pełnić funkcję lidera zdolnego do podejmowania decyzji, słuchania zespołu i utrzymywania stabilności organizacyjnej. Badania wskazują, że istotnymi cechami dyrektora są decyzyjność, sprawiedliwość, konsekwencja, odporność na stres, umiejętność motywowania pracowników oraz dawanie przykładu własnym zachowaniem (Skuza, Modzelewska, Kotowska, 2021: 300–304).

W kontekście nowoczesnego zarządzania szczególnie ważna jest obserwowana zmiana stylów kierowania. Autorzy badań zauważają, że żaden z badanych dyrektorów nie określił swojego stylu jako czysto autokratycznego. Większość z nich akcentowała znaczenie rozmowy, pracy zespołowej, uwzględniania opinii pracowników oraz elastyczności w podejmowaniu decyzji. Oznacza to stopniowe odchodzenie od zarządzania opartego wyłącznie na autorytecie formalnym w kierunku modelu bardziej partycypacyjnego i humanistycznego, w którym człowiek oraz relacje interpersonalne stają się ważnym elementem sprawnego funkcjonowania organizacji (Skuza, Modzelewska, Kotowska, 2021: 304–306). Nie oznacza to całkowitego odejścia od hierarchii, ponieważ w zakładzie karnym nadal konieczne jest zachowanie dyscypliny, sprawnego systemu poleceń i jasnego podziału odpowiedzialności. Nowoczesne zarządzanie polega raczej na umiejętnym łączeniu porządku formalnego z kompetencjami miękkimi kadry kierowniczej. Dyrektor jednostki penitencjarnej musi więc działać w granicach przepisów i procedur, ale jednocześnie powinien dbać o komunikację, motywację, zaufanie i dobrostan funkcjonariuszy. Ma to szczególne znaczenie w środowisku pracy narażonym na stres, wypalenie zawodowe, rotację kadr oraz sytuacje kryzysowe. W tym ujęciu dyrektor zakładu karnego staje się jednym z kluczowych ogniw nowoczesnego zarządzania publicznego w więziennictwie. Jego rola nie polega wyłącznie na utrzymaniu porządku i nadzorze nad wykonywaniem zadań, lecz także na kształtowaniu kultury organizacyjnej jednostki. Skuteczne przywództwo w zakładzie karnym wymaga zatem równowagi między stanowczością a otwartością, między kontrolą a zaufaniem oraz między formalnym autorytetem a osobistymi kompetencjami lidera. To właśnie ta równowaga stanowi jedno z najważniejszych wyzwań nowoczesnego zarządzania jednostką penitencjarną.

Wyzwania organizacyjne i bezpieczeństwa w zarządzaniu jednostką penitencjarną

Nowoczesne zarządzanie zakładem karnym nie może być analizowane wyłącznie przez pryzmat struktury organizacyjnej, stylu kierowania czy motywowania funkcjonariuszy. Istotne znaczenie mają również konkretne problemy, które występują w codziennym funkcjonowaniu jednostek penitencjarnych i bezpośrednio wpływają na skuteczność zarządzania. Zakład karny jest bowiem organizacją szczególną: działa w warunkach izolacji, wysokiego poziomu formalizacji, stałego ryzyka zdarzeń nadzwyczajnych oraz kontaktu z osobami pozbawionymi wolności. Bartosz Zając wskazuje, że złożoność więziennictwa wynika między innymi z wielopoziomowej struktury zarządzania, różnorodności działów, wielu sprzecznych interesów, zróżnicowanych statusów osób osadzonych oraz konieczności wykonywania licznych, czasem kolizyjnych zadań, takich jak resocjalizacja, leczenie, kontrola, dyscyplinowanie, dokumentowanie czy zapewnianie bezpieczeństwa (Zając, 2022: 64). Z tej perspektywy zakład karny można postrzegać jako organizację funkcjonującą w stanie ciągłego napięcia między celami ochronnymi, administracyjnymi i resocjalizacyjnymi. Z jednej strony musi zapewniać bezpieczeństwo społeczeństwa oraz porządek wewnętrzny, z drugiej zaś powinien umożliwiać skazanym readaptację społeczną i przygotowanie do życia po opuszczeniu jednostki. Problem polega na tym, że warunki izolacji więziennej same w sobie mogą utrudniać realizację celów resocjalizacyjnych. Ograniczenie kontaktów społecznych, funkcjonowanie w silnie kontrolowanej przestrzeni oraz wpływ podkultury więziennej mogą prowadzić do pogłębiania postaw niepożądanych zamiast ich osłabiania. Zając zwraca uwagę, że w literaturze pojawiają się zarzuty dotyczące sprzeczności między celami kary a środkami jej wykonywania, ponieważ więzienie może jednocześnie chronić społeczeństwo i tworzyć warunki utrudniające powrót skazanego do prawidłowego funkcjonowania społecznego (Zając, 2022: 65).

Jednym z poważnych wyzwań zarządczych jest zagrożenie korupcją. Wynika ono z samej specyfiki relacji między funkcjonariuszami a osobami pozbawionymi wolności. Funkcjonariusze mają wpływ na wiele aspektów życia osadzonych, w tym na kwestie zakwaterowania, opiniowania, przepustek czy codziennego funkcjonowania w jednostce. Tworzy to sytuacje, w których osadzeni mogą próbować wywierać nacisk, oferować korzyści lub budować nieformalne zależności. Korupcja w zakładzie karnym jest więc nie tylko problemem etycznym, lecz także zagrożeniem dla bezpieczeństwa jednostki i autorytetu całej formacji (Zając, 2022: 66). Z punktu widzenia zarządzania oznacza to konieczność wzmacniania kontroli wewnętrznej, odpowiedniej selekcji kandydatów do służby, budowania kultury organizacyjnej opartej na odpowiedzialności oraz szybkiego reagowania na sygnały naruszeń.

Kolejnym problemem jest przedostawanie się na teren jednostek penitencjarnych narkotyków i innych substancji psychoaktywnych. Zając podkreśla, że środki odurzające pełnią w warunkach izolacji więziennej różne funkcje: adaptacyjne, psychologiczne, społeczne i ekonomiczne. W praktyce oznacza to, że narkotyki mogą stawać się elementem nieformalnego obiegu, wpływać na relacje między osadzonymi, wzmacniać podkulturę

więzienną oraz generować konflikty i zależności (Zając, 2022: 67). Dla kadry zarządzającej jest to wyzwanie szczególnie trudne, ponieważ wymaga jednoczesnego stosowania środków ochronnych, kontroli osobistej i technicznej, działań profilaktycznych oraz terapeutycznych. Sama represja nie wystarcza, jeżeli nie towarzyszy jej rozpoznanie przyczyn uzależnień i mechanizmów funkcjonowania nieformalnego rynku więziennego.

Istotną kategorię problemów stanowią również zdarzenia nadzwyczajne, takie jak bójki, pobicia, ujawnienia przedmiotów niedozwolonych, pożary, zagrożenia miejscowe czy inne sytuacje naruszające bezpieczeństwo jednostki. Autor wskazuje, że w latach 2016–2020 w Służbie Więziennej odnotowano ponad 11 tysięcy zdarzeń o charakterze nadzwyczajnym, przy czym ich liczba i kwalifikacja zależały także od zmian w przepisach wewnętrznych oraz sytuacji epidemiologicznej (Zając, 2022: 67–68). Z perspektywy zarządzania ważne jest nie tylko reagowanie na takie zdarzenia, ale również ich analiza, wyciąganie wniosków i budowanie procedur ograniczających ryzyko ich powtarzania się. Każde zdarzenie nadzwyczajne jest bowiem testem sprawności organizacyjnej jednostki, jakości komunikacji między działami oraz przygotowania funkcjonariuszy do działania pod presją.

Ważnym problemem organizacyjnym pozostaje także przeludnienie jednostek penitencjarnych. Choć samo pojęcie przeludnienia może być różnie definiowane, jego skutki są odczuwalne zarówno przez osadzonych, jak i przez personel. Zbyt duże zagęszczenie w celach zwiększa ryzyko konfliktów, utrudnia utrzymanie porządku, ogranicza prywatność i pogarsza warunki odbywania kary. Dla funkcjonariuszy oznacza natomiast trudniejsze wykonywanie obowiązków, większe obciążenie psychiczne i wyższą liczbę sytuacji wymagających interwencji. Zając wskazuje, że przeludnienie wpływa negatywnie również na proces resocjalizacji, ponieważ utrudnia prowadzenie skutecznych oddziaływań wobec skazanych (Zając, 2022: 68–69). W tym kontekście zarządzanie zakładem karnym wymaga nie tylko sprawnej organizacji przestrzeni, ale także racjonalnego planowania rozmieszczenia osadzonych, przeciwdziałania konfliktom oraz zapewnienia minimalnych standardów humanitarnego wykonywania kary.

Na funkcjonowanie jednostki penitencjarnej wpływa również społeczny i medialny obraz Służby Więziennej. Problem polega na tym, że praca funkcjonariuszy rzadko staje się przedmiotem zainteresowania opinii publicznej wtedy, gdy jednostka działa prawidłowo. Media zwykle koncentrują się na sytuacjach kryzysowych, takich jak ucieczki, śmierć osadzonego, zarzuty korupcyjne czy inne zdarzenia nadzwyczajne. Tymczasem sukces więziennictwa często polega właśnie na tym, że „nic złego się nie dzieje": nie dochodzi do ucieczek, poważnych naruszeń bezpieczeństwa, buntów czy tragedii. Taki sukces jest jednak trudny do pokazania medialnie (Zając, 2022: 69). Z punktu widzenia nowoczesnego zarządzania oznacza to potrzebę świadomego budowania wizerunku jednostki, komunikacji z otoczeniem społecznym oraz pokazywania pozytywnych aspektów pracy funkcjonariuszy, takich jak działania resocjalizacyjne, edukacyjne, pomocowe czy współpraca ze środowiskiem lokalnym.

Szczególnie ważnym wyzwaniem wewnętrznym są stres, wypalenie zawodowe, mobbing i nepotyzm. Praca funkcjonariusza Służby Więziennej wiąże się z wysokim poziomem napięcia psychicznego, odpowiedzialnością, kontaktem z agresją, szantażem,

manipulacją oraz możliwością pomówień ze strony osadzonych. Źródłem stresu jest także sama organizacja służby: hierarchiczność, dyspozycyjność, autokratyczny styl zarządzania czy trudne relacje interpersonalne. Zając wskazuje, że te czynniki mogą prowadzić do wypalenia zawodowego i obniżenia jakości wykonywania obowiązków (Zając, 2022: 70). W tym obszarze nowoczesne zarządzanie powinno obejmować nie tylko egzekwowanie dyscypliny, ale także przeciwdziałanie przeciążeniu pracowników, rozwijanie komunikacji wewnętrznej, reagowanie na konflikty oraz tworzenie mechanizmów wsparcia psychologicznego i organizacyjnego.

Odrębnym, lecz równie istotnym problemem jest infrastruktura techniczna. Część polskich jednostek penitencjarnych funkcjonuje w budynkach starych, niekiedy poklasztornych, które generują wysokie koszty utrzymania i utrudniają dostosowanie warunków do współczesnych standardów wykonywania kary. Przestarzała infrastruktura może negatywnie wpływać na bezpieczeństwo, warunki bytowe osadzonych, organizację pracy funkcjonariuszy oraz możliwości prowadzenia oddziaływań resocjalizacyjnych. Modernizacja infrastruktury jest więc nie tylko kwestią techniczną, ale także zarządczą i humanitarną (Zając, 2022: 71–72).

Program „Nowoczesne Więziennictwo" jako kierunek reformy systemu penitencjarnego

Współczesne zarządzanie jednostkami penitencjarnymi w Polsce nie ogranicza się wyłącznie do zapewnienia izolacji sprawców przestępstw, lecz coraz częściej obejmuje działania o charakterze systemowym, ukierunkowane na modernizację całego modelu wykonywania kary pozbawienia wolności. Jednym z najważniejszych przejawów takiego podejścia jest program reform „Nowoczesne Więziennictwo", który stanowi próbę dostosowania polskiego systemu penitencjarnego do współczesnych realiów społecznych, technologicznych oraz standardów międzynarodowych. Program ten ma charakter kompleksowy, obejmuje zarówno zmiany legislacyjne, jak i organizacyjne oraz infrastrukturalne. Jego głównym celem jest zwiększenie efektywności wykonywania kary pozbawienia wolności poprzez połączenie funkcji izolacyjnej z funkcją resocjalizacyjną. W tym ujęciu kara przestaje być wyłącznie środkiem represji, a staje się instrumentem oddziaływania na sprawcę przestępstwa, zmierzającym do ograniczenia ryzyka powrotu do przestępczości oraz przygotowania skazanego do funkcjonowania w społeczeństwie (*Program reform „Nowoczesne Więziennictwo"*, 2022). Istotnym elementem programu jest rozwój infrastruktury penitencjarnej, obejmujący zarówno budowę nowych jednostek, jak i modernizację istniejących zakładów karnych. Działania te mają na celu poprawę warunków bytowych osadzonych oraz zwiększenie możliwości prowadzenia skutecznych oddziaływań resocjalizacyjnych. Poprawa infrastruktury wpływa również na bezpieczeństwo jednostek penitencjarnych oraz warunki pracy funkcjonariuszy Służby Więziennej, co ma istotne znaczenie z punktu widzenia sprawności całego systemu (*Wszystkie przepisy programu „Nowoczesne Więziennictwo" już obowiązują*, 2022).

Kolejnym kluczowym obszarem reformy jest rozwój technologii, w tym w szczególności systemu dozoru elektronicznego. Program „Nowoczesne Więziennictwo" zakłada rozszerzenie jego zastosowania jako alternatywy dla tradycyjnej izolacji więziennej. Dozór elektroniczny umożliwia wykonywanie kary w warunkach wolnościowych przy jednoczesnym zachowaniu kontroli nad skazanym, co sprzyja realizacji celów resocjalizacyjnych oraz ogranicza negatywne skutki izolacji penitencjarnej (Nawój-Śleszyńska, 2025: 76–77). Jednocześnie rozwiązanie to przyczynia się do zmniejszenia kosztów wykonywania kary oraz racjonalizacji polityki karnej państwa (*Program reform „Nowoczesne Więziennictwo"*, 2022).

Program reform kładzie również duży nacisk na zwiększenie poziomu bezpieczeństwa w jednostkach penitencjarnych. Obejmuje to wdrażanie nowoczesnych systemów monitoringu, kontroli oraz zarządzania ryzykiem, które pozwalają na skuteczniejsze zapobieganie zagrożeniom oraz szybsze reagowanie na sytuacje kryzysowe. W praktyce oznacza to odejście od modelu reaktywnego na rzecz modelu prewencyjnego, w którym kluczową rolę odgrywa analiza zagrożeń i ich minimalizowanie na wczesnym etapie (*Wszystkie przepisy programu „Nowoczesne Więziennictwo" już obowiązują*, 2022).

Nie mniej istotnym elementem programu jest rozwój oddziaływań resocjalizacyjnych wobec osadzonych. Zakłada się zwiększenie dostępności programów edukacyjnych, terapeutycznych oraz zawodowych, które mają na celu przygotowanie skazanych do powrotu do społeczeństwa. Szczególne znaczenie przypisuje się indywidualizacji oddziaływań, polegającej na dostosowaniu środków resocjalizacyjnych do potrzeb i cech konkretnego skazanego. Podejście to wpisuje się w nowoczesne koncepcje polityki karnej, które podkreślają znaczenie pracy nad czynnikami ryzyka recydywy (Nawój-Śleszyńska, 2025: 86–88).

Program „Nowoczesne Więziennictwo" odnosi się również do sytuacji funkcjonariuszy Służby Więziennej, zakładając poprawę warunków pracy oraz rozwój systemów szkoleniowych. Wzmacnianie kompetencji kadry penitencjarnej stanowi istotny element profesjonalizacji systemu oraz zwiększenia jego efektywności. W kontekście wysokiego poziomu stresu zawodowego oraz odpowiedzialności związanej z pełnieniem służby działania te mają szczególne znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania całego systemu penitencjarnego (*Wszystkie przepisy programu „Nowoczesne Więziennictwo" już obowiązują*, 2022). W szerszej perspektywie program wpisuje się w tendencję odchodzenia od dominacji kar izolacyjnych na rzecz stosowania środków alternatywnych. Rozwój dozoru elektronicznego oraz innych form wykonywania kary poza zakładem karnym stanowi realizację postulatów organizacji międzynarodowych, które wskazują na konieczność ograniczania stosowania izolacji więziennej oraz poszukiwania bardziej efektywnych metod oddziaływania na sprawców przestępstw (Nawój-Śleszyńska, 2025: 92–93).

Podsumowanie

Artykuł ukazuje zakład karny jako złożoną organizację publiczną, funkcjonującą na styku funkcji izolacyjnej, bezpieczeństwa oraz oddziaływań resocjalizacyjnych. Podkreślono,

że jego specyfika wynika z wysokiego stopnia sformalizowania, hierarchicznej struktury oraz występowania odrębnych grup społecznych, co wpływa na sposób zarządzania. Wskazano, że współczesne podejścia, w tym koncepcja New Public Management, mogą zwiększać efektywność działania jednostek penitencjarnych, jednak ich implementacja wymaga uwzględnienia humanitarnego charakteru instytucji. Analiza praktyczna na przykładzie Zakładu Karnego w Łowiczu pokazuje, że menedżeryzm może wspierać rozwój organizacyjny, ale nie powinien zastępować tradycyjnych modeli zarządzania. Istotnym elementem skutecznego funkcjonowania organizacji penitencjarnej jest odpowiedni system motywowania funkcjonariuszy, oparty nie tylko na sankcjach, lecz także na motywatorach pozapłacowych i kulturze organizacyjnej. Szczególną rolę odgrywa przywództwo dyrektora, który musi łączyć formalną hierarchię z podejściem relacyjnym i humanistycznym. Artykuł identyfikuje również liczne wyzwania, takie jak przeludnienie, korupcja, stres zawodowy czy zdarzenia nadzwyczajne, które wpływają na skuteczność zarządzania. Całość wskazuje, że nowoczesne zarządzanie zakładem karnym wymaga równowagi między efektywnością organizacyjną, bezpieczeństwem a realizacją celów resocjalizacyjnych.

Bibliografia

Janus A. (2023), *Menedżeryzm a nowoczesne zarządzanie jednostką penitencjarną – spojrzenie na zarządzanie Zakładem Karnym w Łowiczu*, „The Prison Systems Review", nr 119, s. 123–141.

Krynicka H. (2006), *Koncepcja nowego zarządzania w sektorze publicznym (New Public Management)*, http://bibliotekacyfrowa.pl/Content/34636/PDF/014.pdf [dostęp: 13.04.2026].

Nawój-Śleszyńska A. (2025), *Realizacja celów wykonywania kary pozbawienia wolności poza zakładem karnym w systemie dozoru elektronicznego*, „Probacja", nr 1, s. 71–102, https://doi.org/10.5604/01.3001.0055.0601

Pomiankiewicz J. (2021), *Podstawy zarządzania organizacją – specyfika więziennictwa (wybrane zagadnienia)*, [w:] M. Strzelec, W. Kołodziejczyk (red.), *Zarządzanie dynamiczne w Służbie Więziennej – podręcznik refleksyjnej praktyki*, Warszawa: Wydawnictwo DiG, s. 30–31.

Program reform „Nowoczesne Więziennictwo" (2022), https://www.gov.pl/web/sprawiedliwosc/program-reform-nowoczesne-wieziennictwo [dostęp: 24.04.2026].

Skuza S., Modzelewska A., Kotowska J. (2021), *Zarządzanie w jednostkach organizacyjnych Służby Więziennej – wyniki badań pilotażowych*, „Resocjalizacja Polska", nr 21, s. 285–311, https://doi.org/10.22432/pjsr.2021.21.17

Szewczyk M. (2021), *Czy kara może motywować? Wybrane aspekty systemu motywacji pozapłacowej w Służbie Więziennej*, [w:] M. Strzelec, W. Kołodziejczyk (red.), *Zarządzanie dynamiczne w Służbie Więziennej – podręcznik refleksyjnej praktyki*, Warszawa: Wydawnictwo DiG, s. 45–51.

Ustawa z dnia 6 czerwca 1997 r. – Kodeks karny wykonawczy (t.j. Dz.U. z 2025 r., poz. 911).

Wszystkie przepisy programu „Nowoczesne Więziennictwo" już obowiązują (2022), https://www.sw.gov.pl/aktualnosc/centralny-zarzad-sluzby-wieziennej-wszystkie-przepisy-programu-nowoczesne-wieziennictwo-juz-obowiazuja [dostęp: 24.04.2026].

Zając B. (2022), *Wybrane problemy współczesnego więziennictwa w Polsce*, „Kortowski Przegląd Prawniczy", nr 1, s. 63–74, https://doi.org/10.31648/kpp.7769

O autorkach

Roksana Sztajnkowska – studentka pierwszego roku studiów magisterskich na kierunku kryminologia. Rozwija zainteresowania z zakresu nauk społecznych, nowych form przestępczości oraz kryminalistyki. Jest członkinią Koła Naukowego „Jurysta".

Natalia Milczarczyk – studentka pierwszego roku studiów magisterskich na kierunku kryminologia. Interesuje się analizą nowych form przestępczości, procesem karnym oraz zagadnieniami związanymi z profilowaniem przestępstw i motywacją sprawców. Jest członkinią Koła Naukowego „Jurysta".

About the Authors

Roksana Sztajnkowska – a first-year master's student in Criminology. Her academic interests include social sciences, new forms of crime, and forensic science. She is a member of the Research Club "Jurysta".

Natalia Milczarczyk – a first-year master's student in Criminology. Her academic interests include the analysis of new forms of crime, criminal procedure, and issues related to criminal profiling and offenders' motivations. She is a member of the Research Club "Jurysta".

Kacper Minda https://orcid.org/0009-0005-6152-5016
Wyższa Szkoła Biznesu i Nauk o Zdrowiu, Instytut Prawa i Kryminologii
e-mail: kacperminda@wp.pl

Sebastian Seliga https://orcid.org/0009-0009-7061-5450
Wyższa Szkoła Biznesu i Nauk o Zdrowiu, Instytut Prawa i Kryminologii
e-mail: seligasebastian@gmail.com

Innowacyjne podejście do zarządzania bezpieczeństwem państwa w walce z terroryzmem

An innovative approach to state security management in the fight against terrorism

https://doi.org/10.25312/ziwgib.904

Streszczenie

Cyfryzacja i sieciowy charakter współczesnego terroryzmu zwiększają znaczenie elastycznego oraz zintegrowanego zarządzania bezpieczeństwem państwa. Celem artykułu jest określenie roli innowacyjnych rozwiązań organizacyjnych i technologicznych w zapobieganiu zagrożeniom terrorystycznym oraz ograniczaniu ich skutków. Opracowanie ma charakter przeglądowo-analityczny i opiera się na jakościowej analizie literatury naukowej, raportów oraz dokumentów instytucjonalnych dotyczących terroryzmu, cyberbezpieczeństwa i zarządzania kryzysowego. Analizie poddano wykorzystanie narzędzi analitycznych, ochronę infrastruktury krytycznej, przeciwdziałanie finansowaniu i propagandzie, koordynację międzyinstytucjonalną, współpracę międzynarodową oraz współdziałanie sektora publicznego i prywatnego. Ustalono, że sama implementacja nowych technologii nie przesądza o skuteczności systemu. Kluczowe są jakość danych, nadzór człowieka, sprawny przepływ informacji, jasny podział kompetencji, interoperacyjność służb oraz przygotowanie wszystkich faz zarządzania kryzysowego. Innowacyjne zarządzanie bezpieczeństwem zwiększa zdolność

państwa do wcześniejszego rozpoznawania zagrożeń i szybszego reagowania, pod warunkiem połączenia technologii z rozwiązaniami organizacyjnymi, społecznymi i prawnymi oraz poszanowaniem praw jednostki.

Słowa kluczowe: terroryzm, zarządzanie bezpieczeństwem, cyberbezpieczeństwo, infrastruktura krytyczna, zarządzanie kryzysowe, nowe technologie, współpraca międzyinstytucjonalna

Abstract

Digitalization and the networked nature of contemporary terrorism increase the importance of flexible and integrated state security management. This article aims to determine the role of organizational and technological innovation in preventing terrorist threats and mitigating their consequences. It adopts a review-based analytical approach and draws on a qualitative analysis of academic literature, institutional reports, and documents concerning terrorism, cybersecurity, and crisis management. The study examines analytical tools, critical infrastructure protection, countering terrorist financing and propaganda, interinstitutional coordination, international cooperation, and public-private partnerships. The findings show that technology alone does not determine the effectiveness of counter-terrorism systems. Data quality, human oversight, efficient information exchange, clear allocation of responsibilities, interoperability, and preparedness across all phases of crisis management are equally important. Innovative security management improves the state's capacity to detect threats earlier and respond more rapidly, provided that technological solutions are integrated with organizational, social, and legal measures and implemented with respect for individual rights.

Keywords: terrorism, security management, cybersecurity, critical infrastructure, crisis management, new technologies, interinstitutional cooperation

Wprowadzenie i podstawa analizy

Współczesny terroryzm rozwija się równolegle z cyfryzacją życia społecznego, globalizacją przepływów finansowych oraz upowszechnieniem technologii komunikacyjnych. Organizacje i pojedynczy sprawcy mogą dzięki nim docierać do odbiorców ponad granicami państw, prowadzić propagandę, rekrutować sympatyków, pozyskiwać informacje, organizować finansowanie i przygotowywać działania bez konieczności tworzenia rozbudowanych struktur hierarchicznych. Państwo nie może zatem opierać systemu bezpieczeństwa wyłącznie na tradycyjnych działaniach policyjnych, wywiadowczych lub wojskowych. Konieczne staje się łączenie rozpoznania zagrożeń, analizy informacji,

cyberbezpieczeństwa, ochrony infrastruktury krytycznej, zarządzania kryzysowego i współpracy wielu podmiotów (Benjamin, 2008: 5).

Innowacyjne zarządzanie bezpieczeństwem oznacza w tym ujęciu nie tylko zakup nowoczesnego sprzętu. Obejmuje również zmiany organizacyjne, rozwój zdolności analitycznych, usprawnienie obiegu informacji, wykorzystywanie symulacji i ćwiczeń, tworzenie partnerstw publiczno-prywatnych oraz zdolność instytucji do uczenia się na podstawie wcześniejszych zdarzeń. Jest to szczególnie ważne wobec zagrożeń asymetrycznych, których sprawcy wybierają słabo chronione elementy systemu i dostosowują metody działania szybciej niż rozbudowane struktury administracyjne (Żebrowski, 2012: 24).

Celem artykułu jest określenie, jakie elementy innowacyjnego zarządzania zwiększają zdolność państwa do przeciwdziałania terroryzmowi oraz jakie ograniczenia towarzyszą stosowaniu nowych technologii. Opracowanie ma charakter przeglądowo-analityczny. Zastosowano jakościową analizę treści literatury naukowej, raportów i dokumentów instytucjonalnych dotyczących terroryzmu, wykorzystania internetu, cyberbezpieczeństwa, ochrony infrastruktury krytycznej oraz zarządzania kryzysowego. Analiza nie stanowi badania empirycznego ani studium konkretnego zamachu. Jej przedmiotem są rozwiązania organizacyjne i technologiczne, które mogą wspierać prewencję, przygotowanie, reagowanie i odbudowę.

Punktem wyjścia jest założenie, że współczesne organizacje terrorystyczne często funkcjonują jako sieci luźno powiązanych komórek i sympatyków. Taki model utrudnia identyfikację ośrodka decyzyjnego, a jednocześnie pozwala sprawcom szybko zmieniać kanały komunikacji i metody działania. Tradycyjne, silnie hierarchiczne systemy bezpieczeństwa mogą reagować z opóźnieniem, jeżeli informacje są rozproszone pomiędzy instytucjami albo przekazywane wyłącznie drogą wielostopniowej procedury. Dlatego przewaga państwa zależy w coraz większym stopniu od zdolności łączenia danych, współdziałania służb i szybkiego podejmowania decyzji (Newman, Clarke, 2008: 12).

Technologie, analiza informacji i przeciwdziałanie finansowaniu terroryzmu

Jednym z podstawowych obszarów innowacji jest rozwój systemów analizy informacji. Służby bezpieczeństwa i organy ścigania korzystają z danych wywiadowczych, informacji finansowych, rejestrów podróży, materiałów z monitoringu oraz danych pochodzących z otwartych źródeł. Połączenie rozproszonych informacji może ujawnić relacje, które pozostają niewidoczne przy analizie pojedynczego zbioru. Umożliwia to tworzenie profili ryzyka, identyfikowanie sieci kontaktów oraz kierowanie zasobów do obszarów wymagających pogłębionej weryfikacji (Santamato, Beumler, 2013: 36).

Znaczenie zyskują algorytmy uczenia maszynowego i narzędzia służące do analizy dużych zbiorów danych. Mogą one wspierać wykrywanie anomalii, porządkowanie materiału i wybór informacji wymagających oceny analityka. Nie powinny jednak być przedstawiane jako systemy samodzielnie „przewidujące" terroryzm. Ich wyniki zależą od jakości danych, przyjętych kryteriów oraz sposobu interpretacji. Błędy, niepełne dane

lub uprzedzenia zapisane w modelu mogą prowadzić do fałszywych wskazań, dlatego niezbędne są kontrola człowieka, możliwość weryfikacji wyniku i jasno określona odpowiedzialność za decyzję.

Podobne korzyści i ryzyka wiążą się z monitoringiem miejskim, analizą metadanych oraz technologiami rozpoznawania twarzy. Rozwiązania te mogą przyspieszać identyfikację osób poszukiwanych, odtwarzanie przebiegu zdarzeń i ochronę obiektów szczególnie zagrożonych. Jednocześnie zwiększają zakres gromadzenia informacji o osobach, które nie są podejrzane o popełnienie przestępstwa. Skuteczne zarządzanie bezpieczeństwem wymaga więc zachowania proporcjonalności, ograniczenia dostępu do danych, określenia czasu ich przechowywania oraz kontroli legalności wykorzystywania narzędzi nadzorczych (Schneier, 2015: 31–34).

Nowoczesne technologie są wykorzystywane także w szkoleniu służb. Symulacje komputerowe i środowiska wirtualne pozwalają ćwiczyć reakcję na atak w obiekcie transportowym, na imprezie masowej lub w budynku użyteczności publicznej bez narażania uczestników i zakłócania działania rzeczywistej infrastruktury. Wartość takich szkoleń polega przede wszystkim na sprawdzaniu komunikacji, podziału zadań i procesu decyzyjnego. Technologia jest narzędziem, natomiast rzeczywistym celem ćwiczenia pozostaje wykrycie luk organizacyjnych oraz przygotowanie służb do współpracy pod presją czasu (Bielecka, Nowacki, 2017: 33–38).

Odrębny obszar stanowi przeciwdziałanie finansowaniu terroryzmu. Organizacje terrorystyczne korzystają zarówno z tradycyjnych transferów, gotówki i działalności gospodarczej, jak i z nowych usług płatniczych oraz narzędzi utrudniających ustalenie beneficjenta. Analiza transakcji może pomóc w identyfikowaniu nietypowych przepływów, powiązań między podmiotami oraz źródeł finansowania. Nie polega ona jednak wyłącznie na wykrywaniu wysokich kwot. Działalność terrorystyczna bywa finansowana licznymi, pozornie zwyczajnymi operacjami o niewielkiej wartości, co wymaga łączenia informacji finansowych z wiedzą operacyjną i kontekstem zachowania (*FATF Report. Terrorist Financing Risk Assessment Guidance*, 2019: 14).

Skuteczność tego obszaru zależy od współpracy organów państwa z bankami, operatorami płatności i innymi instytucjami obowiązanymi. Podmioty prywatne dysponują danymi transakcyjnymi, natomiast służby posiadają informacje o osobach, miejscach i zdarzeniach istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa. Dopiero odpowiednio uregulowana wymiana informacji pozwala połączyć oba rodzaje wiedzy. Ustalenie to potwierdza szerszą prawidłowość: innowacja technologiczna przynosi efekt wtedy, gdy jest osadzona w sprawnym modelu współpracy i jasnych procedurach postępowania.

Cyberterroryzm, wykorzystanie internetu i ochrona infrastruktury krytycznej

Internet jest wykorzystywany przez podmioty terrorystyczne do propagandy, radykalizacji, rekrutacji, finansowania, szkolenia, planowania i komunikacji. Nie każde takie działanie powinno być jednak automatycznie określane mianem cyberterroryzmu. Publikowanie

treści propagandowych lub kontaktowanie się z sympatykami stanowi wykorzystanie internetu do celów terrorystycznych, natomiast pojęcie cyberterroryzmu powinno być odnoszone przede wszystkim do ataków na systemy informatyczne, których motywacja i skutki odpowiadają istocie terroryzmu. Rozróżnienie to ogranicza pojęciowy chaos i pozwala właściwie dobierać środki reakcji (*The Use of the Internet for Terrorist Purposes*, 2012: 3–12).

Media społecznościowe i komunikatory umożliwiają szybkie rozpowszechnianie przekazów ideologicznych, instrukcji i materiałów gloryfikujących przemoc. Ich zasięg ułatwia kontakt z odbiorcami, którzy wcześniej pozostawaliby poza bezpośrednim wpływem organizacji. Działania przeciwdziałające nie mogą ograniczać się do usuwania treści, ponieważ materiały są łatwo kopiowane i przenoszone między platformami. Potrzebne są równocześnie działania operacyjne, analiza sieci rozpowszechniania, edukacja medialna, przeciwdziałanie radykalizacji i tworzenie wiarygodnych komunikatów alternatywnych. Reakcja wyłącznie techniczna usuwa pojedynczy materiał, lecz nie likwiduje mechanizmu jego oddziaływania (Ferrag, Kantzavelou, Maglaras, 2024: 28).

Cyfryzacja zwiększa również podatność infrastruktury krytycznej. Systemy energetyczne, transportowe, telekomunikacyjne, finansowe, wodociągowe i medyczne są ze sobą powiązane, a zakłócenie jednego sektora może wywołać następstwa w kolejnych. Atak na system sterowania, sieć łączności albo usługi dostawcy zewnętrznego nie musi powodować fizycznego zniszczenia, aby poważnie utrudnić funkcjonowanie państwa. Skutkiem może być brak dostępu do usług, paraliż transportu, przerwanie komunikacji, utrata zaufania lub chaos informacyjny (Bąk, 2010: 77–78).

Ochrona infrastruktury nie może ograniczać się do zabezpieczania pojedynczych urządzeń. Wymaga identyfikacji zależności pomiędzy sektorami, oceny podatności dostawców, tworzenia kopii zapasowych, segmentacji sieci, planów ciągłości działania i regularnego testowania procedur. Istotną rolę odgrywają zespoły reagowania na incydenty, które monitorują zagrożenia, wspierają wymianę informacji i koordynują działania naprawcze. W praktyce odporność systemu zależy nie tylko od możliwości powstrzymania ataku, lecz także od zdolności utrzymania podstawowych usług oraz ich szybkiego odtworzenia (Żebrowski, 2012: 364–367, 404–411).

Współczesne cyberzagrożenia mają często charakter hybrydowy. Atak techniczny może być połączony z dezinformacją, presją polityczną, sabotażem lub działaniami prowadzonymi przez podmioty trudne do jednoznacznego przypisania. Z punktu widzenia zarządzania oznacza to konieczność wspólnej analizy incydentów przez specjalistów technicznych, służby bezpieczeństwa, administrację i operatorów infrastruktury. Rozdzielenie tych środowisk może prowadzić do błędnej oceny zdarzenia jako wyłącznie awarii technicznej albo przeciwnie, do nadmiernego przypisywania zwykłemu cyberprzestępstwu charakteru terrorystycznego (Skomra, Wojtasik, 2025: 13–18).

Znaczna część infrastruktury teleinformatycznej należy do przedsiębiorstw prywatnych. Państwo nie posiada więc pełnej kontroli nad zasobami, od których zależy ciągłość podstawowych usług. Partnerstwa publiczno-prywatne powinny obejmować wymianę informacji o zagrożeniach, wspólne standardy, ćwiczenia, procedury zgłaszania incydentów i określenie odpowiedzialności za odtworzenie usług. Sama deklaracja współpracy

jest niewystarczająca. W sytuacji kryzysowej liczą się wcześniej przetestowane kanały komunikacji, osoby uprawnione do podejmowania decyzji oraz zgodność procedur poszczególnych podmiotów (Newman, Clarke, 2008: 56–57).

Zarządzanie kryzysowe i współdziałanie instytucji

Innowacyjne podejście do bezpieczeństwa wymaga odejścia od modelu wyłącznie reaktywnego. Państwo powinno ograniczać prawdopodobieństwo zamachu, przygotowywać zasoby, reagować na zdarzenie i odtwarzać funkcjonowanie instytucji po kryzysie. Zarządzanie kryzysowe obejmuje zatem cztery powiązane fazy: zapobieganie, przygotowanie, reagowanie oraz odbudowę (Bąk, 2010: 83; Wilińska, 2015: 131–132). Pominięcie którejkolwiek z nich osłabia cały system. Skuteczna reakcja nie zrekompensuje braku zabezpieczeń, a rozbudowana prewencja nie zastąpi planów pomocy poszkodowanym i przywracania usług.

Zapobieganie obejmuje analizę ryzyka, rozpoznanie zagrożeń, ochronę obiektów i przeciwdziałanie finansowaniu, rekrutacji oraz radykalizacji. Przygotowanie polega na opracowaniu planów, zapewnieniu zasobów, szkoleniu personelu i prowadzeniu ćwiczeń. Reagowanie wymaga szybkiego dowodzenia, ratowania życia, neutralizacji zagrożenia, zabezpieczenia miejsca zdarzenia i rzetelnej komunikacji. Odbudowa obejmuje naprawę infrastruktury, pomoc społeczną, odtworzenie zdolności instytucji, ocenę strat oraz analizę wniosków. Właśnie ostatni element decyduje o tym, czy system potrafi się uczyć i zmniejszać podatność na kolejne zdarzenia (Makowska, 2016: 112–113).

Zagrożenie terrorystyczne angażuje jednocześnie policję, służby specjalne, administrację rządową i samorządową, straż pożarną, ratownictwo medyczne, wojsko oraz operatorów infrastruktury. Każda instytucja ma inne kompetencje, procedury i systemy łączności. Brak wspólnego obrazu sytuacji może prowadzić do dublowania działań, opóźnień albo pominięcia istotnej informacji. Dlatego jednym z głównych kryteriów nowoczesności systemu jest interoperacyjność, rozumiana jako zdolność różnych podmiotów do współpracy mimo odmienności organizacyjnych.

Interoperacyjność wymaga jasnego podziału odpowiedzialności. Przed wystąpieniem kryzysu należy ustalić, kto prowadzi analizę zagrożenia, kto podejmuje decyzje strategiczne, kto dowodzi na miejscu zdarzenia, kto odpowiada za komunikację publiczną, a kto utrzymuje ciągłość kluczowych usług. W wielopoziomowym systemie administracji ważne jest również połączenie decyzji centralnych z działaniami wojewódzkimi, powiatowymi i gminnymi. Nawet prawidłowo opracowana strategia pozostanie dokumentem bez znaczenia, jeżeli nie zostanie przełożona na wykonalne zadania i znane wcześniej procedury (Żebrowski, 2012: 203, 210–212).

Szczególne znaczenie mają regularne ćwiczenia międzyinstytucjonalne. Pozwalają one zweryfikować realny czas przekazywania informacji, działanie systemów łączności, dostępność zasobów i zgodność procedur. Ćwiczenie powinno kończyć się analizą błędów, przypisaniem działań naprawczych oraz kontrolą ich wykonania. Bez takiego mechanizmu szkolenie może stać się wydarzeniem formalnym, które nie zwiększa odporności państwa.

Innowacyjność organizacyjna polega zatem na tworzeniu pętli uczenia się: planowaniu, testowaniu, ocenie i aktualizacji rozwiązań.

Współpraca międzynarodowa jest konieczna ze względu na transgraniczny charakter komunikacji, finansowania i przemieszczania się sprawców. Obejmuje wymianę informacji wywiadowczych, pomoc prawną, wspólne szkolenia, ochronę granic i koordynację działań operacyjnych. W podejściu NATO wskazuje się na wzajemne powiązanie świadomości zagrożeń, zdolności do działania oraz zaangażowania partnerów. Model ten podkreśla, że posiadanie sprzętu i wyspecjalizowanych jednostek nie wystarcza bez aktualnej wiedzy o zagrożeniu i zdolności współpracy (Santamato, Beumler, 2013: 18–20).

W systemie krajowym równie istotna jest współpraca ze strukturami lokalnymi. Samorządy, lokalna policja, zarządcy transportu, szkoły, placówki medyczne i organizacje społeczne znają specyfikę przestrzeni oraz grup narażonych na radykalizację. Mogą wcześniej dostrzegać zmiany zachowania, konflikty i podatności konkretnych miejsc. Nie oznacza to przenoszenia zadań służb specjalnych na społeczność, lecz budowanie kanałów zgłaszania zagrożeń i wzajemnego zaufania. Państwo działające wyłącznie na poziomie centralnym może dysponować zaawansowanymi narzędziami, a jednocześnie nie posiadać wiedzy o lokalnym kontekście (Newman, Clarke, 2008: 5–6).

Wymiar społeczny, komunikacja i skutki terroryzmu

Terroryzm jest nakierowany nie tylko na bezpośrednie ofiary. Jego celem jest wywołanie lęku, presji politycznej i poczucia, że państwo nie potrafi zapewnić bezpieczeństwa. Dlatego zarządzanie zagrożeniem musi obejmować komunikację społeczną. Po zdarzeniu obywatele potrzebują szybkich, jasnych i wiarygodnych informacji o skali zagrożenia, zalecanym zachowaniu i dostępnej pomocy. Brak komunikatu albo sprzeczne wypowiedzi instytucji tworzą przestrzeń dla plotek, dezinformacji i paniki.

Komunikacja kryzysowa powinna być przygotowywana przed zdarzeniem. Należy ustalić podmiot odpowiedzialny za przekaz, kanały publikacji, procedurę potwierdzania informacji oraz sposób prostowania fałszywych wiadomości. Szczególne znaczenie mają media społecznościowe, ponieważ umożliwiają szybkie dotarcie do obywateli, ale jednocześnie przyspieszają rozpowszechnianie niesprawdzonych treści. Wiarygodność komunikacji zależy od jej regularności, spójności i zgodności z rzeczywistymi działaniami służb.

Do społecznych skutków terroryzmu należą długotrwały lęk, trauma, spadek zaufania do instytucji oraz wzrost uprzedzeń wobec grup utożsamianych ze sprawcami. Reakcja państwa skoncentrowana wyłącznie na represji może pogłębiać podziały i wzmacniać narrację organizacji ekstremistycznych. Programy przeciwdziałania radykalizacji powinny zatem łączyć działania służb z edukacją, pomocą psychologiczną, pracą lokalną i wzmacnianiem odporności społecznej. Ich celem nie jest zastępowanie odpowiedzialności karnej, lecz ograniczanie warunków sprzyjających rekrutacji.

Terroryzm wywołuje również skutki gospodarcze. Państwo ponosi koszty ochrony obiektów, zabezpieczenia wydarzeń, rozwoju monitoringu, szkolenia służb i odbudowy infrastruktury. Przedsiębiorstwa mogą doświadczać przestojów, spadku ruchu klientów,

utraty danych lub wzrostu kosztów ubezpieczenia. Największe straty nie zawsze wynikają z samego zamachu, lecz z długotrwałego zakłócenia transportu, usług publicznych i zaufania do bezpieczeństwa danego miejsca. Z tego względu analiza kosztów powinna obejmować zarówno bezpośrednie szkody, jak i następstwa organizacyjne oraz społeczne.

Ograniczanie skutków wymaga budowania odporności społecznej. Oznacza ona zdolność obywateli i instytucji do zachowania podstawowych funkcji, korzystania z wiarygodnych źródeł informacji i powrotu do normalnego działania. Nie polega na bagatelizowaniu zagrożenia, lecz na przygotowaniu procedur i zasobów, które zmniejszają podatność na wywoływanie paniki. W tym sensie edukacja, komunikacja i pomoc poszkodowanym są równie ważnymi elementami zarządzania bezpieczeństwem, jak technologie wykrywania zagrożeń.

Wnioski końcowe

Przeprowadzona analiza wskazuje, że innowacyjne zarządzanie bezpieczeństwem państwa ma charakter systemowy. Jego skuteczność nie wynika z zastosowania pojedynczej technologii, lecz z połączenia zdolności analitycznych, ochrony infrastruktury krytycznej, zarządzania kryzysowego, współpracy międzynarodowej, partnerstw publiczno-prywatnych oraz działań społecznych. Nowoczesne narzędzia zwiększają szybkość przetwarzania informacji i umożliwiają dostrzeganie relacji w rozproszonych danych, ale nie zastępują oceny człowieka, prawidłowego dowodzenia ani odpowiedzialności instytucjonalnej.

Najważniejszym ustaleniem jest to, że główne bariery skuteczności mają często charakter organizacyjny, a nie techniczny. Należą do nich niepełny przepływ informacji, niejasny podział kompetencji, brak interoperacyjności, niesprawdzone procedury oraz niewystarczająca współpraca z operatorami prywatnymi. Zakup kolejnych systemów bez usunięcia tych ograniczeń może zwiększać ilość danych i złożoność systemu, nie poprawiając realnie bezpieczeństwa.

Drugie ustalenie dotyczy konieczności objęcia działaniami całego cyklu zarządzania kryzysowego. Państwo powinno równocześnie zapobiegać, przygotowywać się, reagować i odbudowywać zdolności po zdarzeniu. Ochrona przed terroryzmem nie kończy się wraz z neutralizacją sprawców. Obejmuje odtworzenie usług, pomoc poszkodowanym, komunikację społeczną i analizę doświadczeń, które powinny prowadzić do aktualizacji procedur.

Trzecim ustaleniem jest potrzeba zachowania równowagi między bezpieczeństwem a prawami jednostki. Rozbudowane systemy monitoringu i analizy danych mogą wspierać działania antyterrorystyczne, ale wymagają proporcjonalności, kontroli legalności, zabezpieczenia danych i możliwości weryfikacji decyzji. Brak tych mechanizmów może osłabić zaufanie społeczne, które stanowi ważne źródło informacji i warunek współpracy obywateli z instytucjami.

Innowacyjne zarządzanie bezpieczeństwem zwiększa zdolność państwa do wcześniejszego rozpoznawania zagrożeń, szybszego reagowania i ograniczania skutków terroryzmu. Warunkiem jest jednak traktowanie technologii jako elementu spójnego systemu, a nie jako celu samego w sobie. Najbardziej odporny model łączy nowoczesne narzędzia

z kompetentnym personelem, jasnymi procedurami, współpracą wielu sektorów i regularnym uczeniem się na podstawie ćwiczeń oraz rzeczywistych zdarzeń.

Bibliografia

Bąk T. (2010), *Zarządzanie kryzysowe w przypadku zamachu terrorystycznego*, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Oficerskich Wojsk Lądowych", nr 3(157), s. 76–96.

Benjamin D. (2008), *Strategic Counterterrorism*, Washington: The Brookings Institution.

Bielecka J., Nowacki G. (2017), *Służby specjalne w zwalczaniu zagrożeń terrorystycznych w Polsce i na świecie*, „Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe", nr 9, s. 33–38.

FATF Report. Terrorist Financing Risk Assessment Guidance (2019), Paris: FATF.

Ferrag M.A., Kantzavelou I., Maglaras L. (2024), *Hybrid Threats, Cyberterrorism and Cyberwarfare*, Boca Raton: CRC Press.

Makowska J. (2016), *Rola zarządzania kryzysowego w systemie zarządzania bezpieczeństwem narodowym*, „De Securitate", nr 1(2), s. 111–113.

Newman G.R., Clarke R.V. (2008), *Policing Terrorism: An Executive's Guide*, Washington: Office of Community Oriented Policing Services.

Santamato S., Beumler M.-T. (2013), *The New NATO Policy Guidelines on Counterterrorism: Analysis, Assessments, and Actions*, Washington: National Defense University Press.

Schneier B. (2015), *Data and Goliath: The Hidden Battles to Collect Your Data and Control Your World*, New York: W.W. Norton & Company.

Skomra W., Wojtasik K. (2025), *Infrastruktura krytyczna jako cel działań hybrydowych. Studia przypadków ataków na obiekty i systemy IK*, „Terroryzm! Studia, Analizy, Prewencja", wydanie specjalne, s. 13–34, https://doi.org/10.4467/27204383TER.25.001.21504

The Use of the Internet for Terrorist Purposes (2012), New York: United Nations.

Wilińska M. (2015), *Zarządzanie kryzysowe w systemie bezpieczeństwa państwa*, „Obronność. Zeszyty Naukowe", nr 3(15), s. 127–136.

Żebrowski A. (2012), *Zarządzanie kryzysowe elementem bezpieczeństwa Rzeczypospolitej Polskiej*, Kraków: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Pedagogicznego.

O autorach

Kacper Minda – student pierwszego roku studiów magisterskich na kierunku kryminologia, wiążący swoją przyszłość zawodową ze służbą w Policji; obecnie funkcjonariusz Policji oraz członek Koła Naukowego „Jurysta".

Sebastian Seliga – student pierwszego roku studiów magisterskich na kierunku kryminologia, zainteresowany procesem karnym oraz nowymi formami przestępczości; członek Koła Naukowego „Jurysta".

About the Authors

Kacper Minda – a first-year master's student in criminology who plans to pursue a career in the police. He currently works as a junior debt collection advisor and is a member of the Research Club "Jurysta".

Sebastian Seliga – a first-year master's student in criminology interested in criminal procedure and emerging forms of crime. He is a member of the Research Club "Jurysta".

Ten utwór jest dostępny na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe.

Open Access

Łukasz Żoczek https://orcid.org/0009-0005-8104-3524
AQUA S.A.
e-mail: lukasz.zoczek@aqua.com.pl

Arkadiusz Kocot
AQUA S.A.
e-mail: arkadiusz.kocot@aqua.com.pl

Klaudiusz Grübel https://orcid.org/0000-0002-0787-9324
Uniwersytet Bielsko-Bialski
e-mail: kgrubel@ubb.edu.pl

Efektywność ekonomiczna branży wodociągowo-kanalizacyjnej w aspekcie zrównoważonego rozwoju

Economic efficiency of the water supply and sewerage industry in the context of sustainable development

https://doi.org/10.25312/ziwgib.902

Streszczenie

Celem pracy było przedstawienie analizy efektywności ekonomicznej wprowadzenia rozwiązania technologicznego w pełnej skali technicznej, służącego do redukcji metali ciężkich ze ścieków, na przykładzie sektora wodociągowo-kanalizacyjnego w kontekście koncepcji zrównoważonego rozwoju. W artykule przedstawiono specyfikę branży, metody oceny efektywności inwestycji oraz zależności między efektywnością ekonomiczną, społeczną i środowiskową. Wykazano, że współczesne podejście do efektywności ekonomicznej wykracza poza klasyczne wskaźniki finansowe i obejmuje także długookresowe efekty ekologiczne oraz społeczne. Przedstawiona analiza kosztów i korzyści zawiera symulację

kosztochłonności oraz możliwego zwrotu inwestycji dotyczącej redukcji metali ciężkich ze ścieków przemysłowych w funkcjonującej stacji utylizacji emulsji olejowych. Przedstawiona analiza przeprowadzona na podstawie danych technologicznych i ekonomicznych (wycena inwestycji oraz koszt eksploatacji) wskazuje, że projekt ten należy traktować nie tylko jako modernizację technologiczną, lecz jako instrument zarządzania efektywnością ekonomiczną, ryzykiem środowiskowym oraz wartością strategiczną przedsiębiorstwa. Uwzględniając koszt inwestycyjny, analiza wykazała, że zwrot z inwestycji będzie możliwy po okresie pięciu lat.

Słowa kluczowe: efektywność ekonomiczna, gospodarka wodno-kanalizacyjna, zrównoważony rozwój, infrastruktura komunalna, analiza kosztów i korzyści, gospodarka obiegu zamkniętego

Abstract

The aim of this article is to present an analysis of the economic efficiency of introducing a full-scale technological solution for the reduction of heavy metals from wastewater, based on the example of the water supply and sewage sector in the context of the concept of sustainable development. The article outlines the specifics of the industry, the methods used to assess investment effectiveness, and the relationship between economic, social, and environmental efficiency. It demonstrates that the modern approach to economic efficiency extends beyond traditional financial metrics to encompass long-term ecological and social impacts. The cost-benefit analysis presented here includes a simulation of cost intensity and potential return on investment for reducing heavy metals in industrial wastewater at an operating oil emulsion utilisation station. The analysis, which is based on technological and economic data (investment valuation and operating costs), indicates that this project should be considered not only as technological modernisation, but also as a means of managing economic efficiency, environmental risk, and the company's strategic value. Taking the investment cost into account, the analysis showed that a return on investment would be possible after five years.

Keywords: economic efficiency, water and wastewater management, sustainable development, municipal infrastructure, cost-benefit analysis, circular economy

Wstęp

Gospodarka wodociągowo-kanalizacyjna stanowi jeden z kluczowych elementów infrastruktury technicznej państwa. Zapewnienie dostępu do wody pitnej oraz odpowiedniego systemu odprowadzania i oczyszczania ścieków jest warunkiem rozwoju społeczno-gospodarczego oraz ochrony środowiska naturalnego (Pogłódek, 2024).

Przedsiębiorstwa branży wodociągowo-kanalizacyjnej odgrywają kluczową rolę w funkcjonowaniu nowoczesnego społeczeństwa, odpowiadając za zaopatrzenie w wodę pitną oraz odbiór i oczyszczanie ścieków. Działalność ta ma fundamentalne znaczenie dla zdrowia publicznego, ochrony środowiska i rozwoju gospodarczego. Współcześnie sektor ten stoi w obliczu bezprecedensowych wyzwań: zmian klimatycznych, takich jak powodzie czy susze, rosnących wymagań prawnych, określonych między innymi przez Ramową Dyrektywę Wodną UE czy Dyrektywę Ściekową, presji na racjonalizację kosztów oraz oczekiwań społecznych dotyczących jakości usług i transparentności działania. Dodatkowo rosnące koszty energii oraz zaostrzające się regulacje środowiskowe powodują konieczność redefinicji pojęcia efektywności ekonomicznej. Obecnie nie ogranicza się ona jedynie do minimalizacji kosztów, lecz obejmuje również długookresowe oddziaływanie na środowisko i społeczeństwo (Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej).

W odpowiedzi na te wyzwania koncepcja zrównoważonego rozwoju staje się koniecznym modelem zarządzania. Dotychczas inwestycje prośrodowiskowe postrzegano wyłącznie jako źródło kosztów obciążających budżet przedsiębiorstwa i prowadzących do wzrostu taryf dla odbiorców. Jednak coraz więcej dowodów i praktyk wskazuje, że strategiczne wdrażanie zasad zrównoważonego rozwoju może generować realne, wymierne korzyści ekonomiczne. Mogą one przejawiać się poprzez obniżenie kosztów operacyjnych, takich jak energia czy straty wody, stworzenie nowych strumieni przychodów – sprzedaż energii, odzysk surowców, ograniczenie ryzyka prawnego i wizerunkowego.

W literaturze zwraca się uwagę na potrzebę traktowania usług wodno-ściekowych jako elementu tak zwanej niebieskiej gospodarki (*blue economy*), w której ocena efektywności obejmuje zarówno produktywność ekonomiczną jednostki wody, jak i poziom presji na zasoby oraz stopień tak zwanego zazielenienia działalności. Proponowane podejścia łączą klasyczne wskaźniki finansowe z miernikami ekologicznej efektywności wykorzystania wody oraz stopnia wdrożenia innowacji środowiskowych (Khumarova, Mahats, Kakabadze, 2025).

Celem pracy jest przedstawienie analizy efektywności ekonomicznej wprowadzenia rozwiązania technologicznego w pełnej skali technicznej, służącego do redukcji metali ciężkich ze ścieków na przykładzie sektora wodociągowo-kanalizacyjnego w kontekście koncepcji zrównoważonego rozwoju. Przedstawiona analiza kosztów i korzyści zawiera symulację kosztochłonności oraz możliwego zwrotu inwestycji dotyczącej redukcji metali ciężkich ze ścieków przemysłowych w funkcjonującej stacji utylizacji emulsji olejowych.

Integracja efektywności ekonomicznej i zrównoważonego rozwoju

Skuteczne oczyszczanie ścieków ogranicza presję na naturalne zasoby wodne, zwiększa dostępność wody o jakości odpowiedniej do ponownego wykorzystania oraz redukuje koszty związane z degradacją środowiska i zdrowia publicznego. Dotychczasowe

doświadczenia pokazują, że nowoczesne systemy oczyszczania i ponownego użycia ścieków wspierają zrównoważone zarządzanie zasobami poprzez poprawę podaży wody, odzysk energii oraz wsparcie produkcji rolnej (Rani i in., 2022; Khumarova, Mahats, Kakabadze, 2025).

Z perspektywy ekonomicznej zanieczyszczenie wód obniża dostępność zasobu, zwiększa koszty uzdatniania wody dla odbiorców komunalnych i przemysłowych oraz podnosi ryzyko zakłóceń w łańcuchach dostaw. Modelowe scenariusze do 2030 roku wskazują, że jedynie połączenie poprawy jakości wody oraz efektywności jej wykorzystania pozwala istotnie (o około 20%) zmniejszyć globalne ryzyko gospodarcze związane z wodą (Rani i in., 2022). Ekonomicznie uzasadnione są więc inwestycje w oczyszczanie i ponowne użycie ścieków, nawet przy istotnych nakładach początkowych, o ile uwzględnia się zewnętrzne korzyści – uniknięcie kosztów zanieczyszczeń, oszczędność energii, nowe strumienie przychodów (Fu i in., 2025; Riediger i in., 2025).

Koncepcja gospodarki obiegu zamkniętego redefiniuje oczyszczalnie ścieków z podmiotów utylizujących odpady w instalacje wytwarzające zasoby: wodę, energię i surowce. Zakłady te mogą produkować wodę do ponownego wykorzystania, biogaz, nawozy oraz inne produkty rynkowe, co poprawia ich wyniki ekonomiczne poprzez nowe przychody i redukcję kosztów zakupu energii i nawozów (Masi, Rizzo, Regelsberger, 2017; Hernández-Chover i in., 2023).

Zaawansowane modele efektywności pokazują, że wiele oczyszczalni usuwa stężenia zanieczyszczeń wyższe niż wymagane przepisami, co generuje dodatkowe zasoby dla społeczeństwa, na przykład większy potencjał odzysku składników biogennych. Jednocześnie rozwój technologii odzysku energii ze ścieków, na przykład fermentacja beztlenowa, procesy pozyskiwania energii, stwarza możliwość przekształcenia sektora wodno-ściekowego z konsumenta energii w nettoproducenta, wspierając cele neutralności klimatycznej i ograniczając koszty operacyjne (Rani i in., 2022).

W przypadku małoskalowych systemów wiejskich, takich jak instalacje typu off-grid lub mikroinstalacje, które pozwalają na niezależność od krajowej sieci elektroenergetycznej, uwzględnienie w analizie kosztów i korzyści (redukcja emisji, wartość ponownego wykorzystania wody, poprawa zdrowia) istotnie poprawia ekonomiczną opłacalność rozwiązań o wyższych nakładach inwestycyjnych, dając dodatnią wartość bieżącą netto nawet przy wysokich stopach dyskontowych. Oznacza to, że pełna, zrównoważona kalkulacja efektywności ekonomicznej powinna włączać zarówno koszty, jak i korzyści środowiskowe oraz społeczne (Fu i in., 2025).

W literaturze podkreśla się rosnącą rolę innowacyjnych technologii oczyszczania ścieków (membrany, zaawansowane procesy utleniania, układy hybrydowe, fotokataliza) oraz rozwiązań zdecentralizowanych jako narzędzi poprawy efektywności środowiskowej przy akceptowalnych kosztach. Przykładowo zastosowanie fotokatalizatorów magnetytowych, analizowane z wykorzystaniem oceny techniczno-ekonomicznej, pozwala powiązać redukcję zanieczyszczeń z celami społecznymi, ekonomicznymi i środowiskowymi oraz ocenić skalowalność i opłacalność takich rozwiązań (Zhang i in., 2022).

Z kolei przeglądy technologii oczyszczania ścieków przemysłowych wskazują, że systemy innowacyjne, takie jak zerowy zrzut cieczy, systemy zintegrowane, mogą

przynosić znaczące oszczędności w zużyciu wody i ograniczeniu ładunku zanieczyszczeń, a jednocześnie wspierać odzysk zasobów oraz tworzenie miejsc pracy. Analizy koncepcji *net-zero-carbon water sector*, która dąży do zrównoważenia emisji gazów cieplarnianych w branży wodnej poprzez drastyczne ich ograniczenie, a nawet wyeliminowanie, przywracając wodę do środowiska o tej samej ilości i jakości, podkreślają cztery kluczowe strategie: poprawę efektywności energetycznej procesów, maksymalizację produkcji i wykorzystania energii odnawialnej oraz biogazu, odzysk energii z oczyszczonych ścieków oraz rozwój zdecentralizowanych jednostek woda–energia. Wszystkie te kierunki modyfikują strukturę kosztów jednostek wodno-ściekowych, przesuwając je w stronę wyższych nakładów inwestycyjnych, ale niższych kosztów operacyjnych i większej odporności na ryzyka regulacyjne i cenowe (Rani i in., 2022).

Wpływ strategii zrównoważonego rozwoju na wybrane aspekty efektywności ekonomicznej

Analizy międzysektorowe wskazują, że przedsiębiorstwa z branży wodociągowo-ściekowej – często naturalne monopole – charakteryzują się znaczącą presją na zasoby wodne przy relatywnie niskiej produktywności ekonomicznej na jednostkę zużytej lub zanieczyszczonej wody. Na przykład w warunkach ukraińskich sektor ten odpowiada za około 72% objętości ścieków zanieczyszczonych i ponad jedną trzecią poboru wody, osiągając najniższe wartości produktywności wody (0,29 USD/m^3) i produktywności ekonomicznej na jednostkę ścieków zanieczyszczonych (1,85 USD/m^3). Jednocześnie przedsiębiorstwa te przeznaczają wysoki udział nakładów środowiskowych (około 60%) na oczyszczanie ścieków, co wskazuje na strategiczne znaczenie inwestycji w modernizację i innowacje dla poprawy efektywności (Khumarova, Mahats, Kakabadze, 2025).

Wdrożenie rozwiązań z zakresu gospodarki o obiegu zamkniętym (odzysk energii, składników odżywczych, wody) prowadzi do przekształcenia struktury kosztów poprzez wzrost nakładów inwestycyjnych i spadek kosztów operacyjnych, zwłaszcza energii (Hernández-Chover i in., 2023). Przykłady modernizacji oczyszczalni w regionach suchych pokazują, że integracja odnawialnych źródeł energii i efektywne wykorzystanie biogazu może zapewnić niemal połowę niezależności energetycznej, znacząco ograniczając ślad węglowy i koszty zakupu energii (Al-Khatib, Al-Hanaktah, 2025). Z ekonomicznego punktu widzenia przekłada się to na większą stabilność finansową w warunkach rosnących cen energii i zaostrzających się regulacji klimatycznych.

Zrównoważone inwestycje w sektor wodno-ściekowy mają potencjał generowania bezpośrednich i pośrednich korzyści gospodarczych. W badaniach modernizacji oczyszczalni ścieków w Jordanii wykazano, że poprawa bezpieczeństwa wodnego i infrastruktury sanitarnej wspiera wzrost zatrudnienia, zwiększa atrakcyjność inwestycyjną regionu oraz przyczynia się do rozwoju zrównoważonej urbanizacji. Zastosowanie wody odzyskanej w rolnictwie i przemyśle podnosi produktywność tych sektorów, a powiązane inwestycje w infrastrukturę i ekosystemy, na przykład sztuczne tereny podmokłe, tereny rekreacyjne, generują dodatkowe strumienie przychodów, między innymi z turystyki (Al-Khatib, AlHanaktah, 2025).

Na poziomie makroekonomicznym poprawa efektywności wykorzystania wody i zmniejszenie ryzyk związanych z niedoborem wody redukują potencjalne straty PKB wynikające z susz, degradacji jakości wód oraz zakłóceń w handlu międzynarodowym. Analizy śladu wodnego i powiązań między sektorami w Chinach pokazują, że zintegrowane zarządzanie wodą w rolnictwie, przemyśle, sektorze ekologicznym oraz handlu jest kluczowe dla łagodzenia konfliktów między rozwojem gospodarczym a ochroną zasobów (Yang i in., 2024).

Zrównoważony rozwój sektora wodno-ściekowego wiąże się również z obniżeniem ryzyka regulacyjnego i finansowego. Rosnące wymagania dotyczące jakości ścieków, efektywności energetycznej i emisyjności sektora będą wymuszały modernizację infrastruktury, której opóźnianie może skutkować koniecznością realizacji kosztownych, szybkich dostosowań w przyszłości. Doświadczenia przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych wskazują, że wdrażanie strategii budżetowania, prognozowania finansowego oraz optymalizacji struktury kosztów w połączeniu z wykorzystaniem zielonych instrumentów finansowych może wzmocnić odporność finansową jednostek i jednocześnie przyspieszyć transformację w kierunku zrównoważonego rozwoju (Rani i in., 2022).

Związek między zrównoważonym rozwojem a efektywnością ekonomiczną w sektorze wodno-ściekowym ma charakter dwukierunkowy i systemowy. Z jednej strony strategie zrównoważonego rozwoju – w tym oczyszczanie i ponowne wykorzystanie ścieków, gospodarka o obiegu zamkniętym, innowacje technologiczne oraz zielone finansowanie – umożliwiają poprawę efektywności zasobowej, redukcję kosztów zewnętrznych, dywersyfikację przychodów i wzmocnienie stabilności finansowej przedsiębiorstw. Z drugiej strony odpowiedni poziom rozwoju gospodarczego i jakości zarządzania finansowego warunkuje zdolność sektora do ponoszenia nakładów inwestycyjnych niezbędnych do realizacji celów zrównoważonego rozwoju (Rani i in., 2022).

W świetle przytoczonych badań kluczowe wydaje się wdrażanie zintegrowanych systemów wskaźników, które łączą tradycyjne mierniki finansowe z indeksami efektywności ekologicznej i innowacyjności, a także pełna internalizacja korzyści i kosztów środowiskowych w analizach ekonomicznych. Tak ujęta efektywność ekonomiczna staje się spójna z paradygmatem zrównoważonego rozwoju, wzmacnia odporność gospodarki wodno-ściekowej na szoki zewnętrzne oraz sprzyja realizacji krajowych i globalnych celów środowiskowych, jak też społecznych.

Powyższe praktyki stanowią użyteczne punkty odniesienia. Pozwalają uzasadnić, że inwestycje proekologiczne mogą być neutralne lub korzystne dla efektywności ekonomicznej, jeśli są analizowane w zamyśle pełnych kosztów cyklu życia, stabilności strumieni przychodów oraz unikniętych kosztów i ryzyk.

Wybrane problemy obecności metali ciężkich w ściekach

Obecność metali ciężkich w ściekach stanowi poważny problem środowiskowy i zdrowotny. Metale ciężkie są trwałe, toksyczne i mogą się kumulować w środowisku oraz organizmach żywych, prowadząc do długotrwałych skutków.

Metale ciężkie to pierwiastki, które charakteryzują się wysoką trwałością w środowisku. Ponadto mają one działanie toksyczne oraz zdolność do bioakumulacji w tkankach żywych organizmów (Qayoom i in., 2022). Niektóre z nich, na przykład kadm, chrom, nikiel czy ołów, wykazują właściwości rakotwórcze (Espinoza-Guillen i in., 2022). Nadmierna akumulacja metali ciężkich w środowisku wiąże się także z możliwością jego wtórnego zanieczyszczenia tymi pierwiastkami. Dotyczy to przede wszystkim środowiska gruntowo-wodnego. W przypadku przeniknięcia do łańcucha pokarmowego pierwiastki te mogą powodować negatywne efekty zdrowotne, takie jak uszkodzenia organów wewnętrznych, układu odpornościowego czy endokrynnego, choroby układy nerwowego, a także nowotwory (Zhang i in., 2020).

Z tych powodów metale ciężkie obecne w ściekach mogą stanowić zagrożenie zarówno w wymiarze ekologicznym, jak i zdrowotnym. Obecność tej grupy substancji zanieczyszczających, obok skażenia mikrobiologicznego, stanowi zatem jedno z podstawowych kryteriów decydujących o możliwości wykorzystania ścieków i osadów ściekowych w rolnictwie przemysłowym lub rekultywacji (You i in., 2021).

Źródła metali ciężkich

Wśród głównych źródeł metali ciężkich w ściekach i osadach ściekowych można wymienić:

1. Ścieki przemysłowe (na przykład hutnicze, garbarskie, lakiernicze) i bytowe (w tym farmaceutyki, środki czyszczące czy kosmetyki), jak również, spływy powierzchniowe oraz korozję przewodów kanalizacyjnych. Wiele branż przemysłowych, takich jak przemysł chemiczny, metalurgiczny czy elektroniczny, generuje odpady zawierające metale ciężkie (na przykład ołów, kadm, rtęć). Warto nadmienić, że w 2023 roku funkcjonowało w Polsce 2040 zakładów przemysłowych generujących ścieki zawierające metale ciężkie, z których 1149 nie posiadało przyzakładowych oczyszczalni ścieków (*Baza Danych Lokalnych (BDL)*, 2023). Oznacza to, że cały strumień wytwarzanych ścieków odprowadzany był bezpośrednio do systemu kanalizacji miejskiej. Niewątpliwie skład tych ścieków wywiera istotny wpływ na zawartość metali ciężkich w powstających osadach ściekowych.
2. Rolnictwo, w którym używane są nawozy i pestycydy, które mogą zawierać metale ciężkie oraz odpady z obiektów hodowlanych. Stosowanie środków ochrony roślin może mieć niekorzystny wpływ na środowisko, jako że mogą one stanowić zagrożenie dla jakości wód gruntowych i powierzchniowych, jakości gleby, różnorodności biologicznej i ekosystemów. Mogą stanowić również zagrożenie dla zdrowia ludzi, między innymi z powodu pozostałości w produktach spożywczych. Pestycydy rozpylane na polach przenikają do gleby i wód w okolicy.
3. Transport, w którym odnotowuje się emisje z pojazdów, a generowane metale ciężkie najczęściej są odprowadzane i kumulowane w ściekach i wodach deszczowych.

4. Domowe źródła, takie jak odpady z gospodarstw domowych, w tym zużyte baterie, farby czy środki czyszczące, mogą również przyczyniać się do zanieczyszczenia.

Zważywszy na fakt, że metale ciężkie różnią się między sobą właściwościami, poziomem toksyczności oraz zakresem stężeń w środowisku, należy mieć na uwadze, że samo odniesienie ich ogólnej zawartości w ściekach i osadach ściekowych do przepisów prawa jest niewystarczające. Wynika to z faktu, że ogólna zawartość metali w ściekach i osadach ściekowych pozwala jedynie na ocenę stopnia ich zanieczyszczenia, natomiast nie jest jednoznaczna z możliwością uwolnienia tych pierwiastków do środowiska czy ich biodostępnością (Gawdzik, 2012). Czynnikiem warunkującym mobilność metali jest ich forma fizyczna lub chemiczna (You i in., 2021). Metale w ściekach i osadach ściekowych występują w różnej postaci (rozpuszczonej, wytrąconej, współstrącania z tlenkami metali, zaadsorbowane bądź zasocjowane na cząstkach resztek biologicznych), co wpływa na zróżnicowanie ich form chemicznych (Gawdzik, 2012).

Zarządzanie i minimalizacja źródeł metali ciężkich w ściekach są kluczowe dla ochrony środowiska i zdrowia publicznego. Dla poprawy jakości wód ważne jest również monitorowanie i stosowanie technologii oczyszczania skutecznie usuwających te zanieczyszczenia.

Metody usuwania metali ciężkich

Procesy stosowane w oczyszczalniach ścieków nie gwarantują całkowitego usuwania metali ciężkich, co stanowi bezpośrednią przyczynę kumulowania się tych zanieczyszczeń w osadach ściekowych. Od 50% do 80% metali ciężkich, które trafiają do oczyszczalni ścieków wraz ze ściekami surowymi, jest kumulowanych w osadach ściekowych. Dzieje się to na drodze fizykochemicznych i biologicznych interakcji. Warto jednak zauważyć, że istnieją metody przeznaczone do usuwania metali ze ścieków i osadów ściekowych – chemiczne, fizyczne oraz biologiczne (Geng i in., 2020). Często stosuje się również kombinacje tych metod. Wybór metody zależy od rodzaju i składu ścieków przemysłowych, formy i stężenia metali ciężkich oraz wymaganego stopnia oczyszczenia (Krishnan i in., 2021). Wśród technologii oczyszczania wyróżnia się adsorpcję, wytrącanie, biosorpcję, odwróconą osmozę, wymianę jonową, elektrodializę, separację membranową wspomaganą wymianą jonową oraz metody elektrochemiczne (Żoczek, Dudziak, 2022).

Jedną z metod chemicznych stosowanych do usuwania metali ciężkich jest również flokulacja, która służy do oddzielania określonych grup substancji od mieszaniny płynnych odpadów przemysłowych. Stanowi ona kolejny etap procesu koagulacji, polegającego na wytrącaniu osadów z zawiesiny. W uproszczeniu we flokulacji dochodzi do łączenia się (agregacji) małych grup cząstek w większe duże zespoły. Proces ten wymaga zastosowania flokulantów – substancji o wysokiej masie cząsteczkowej, rozpuszczalnych w wodzie. Ich działanie polega na adsorpcji na powierzchni cząstek oraz zwiększeniu ich wzajemnego przyciągania do siebie (tak zwane mostkowanie). W efekcie powstają makroagregaty, które są znacznie łatwiejsze do odfiltrowania.

W procesie usuwania metali ciężkich ze ścieków stosowane są flokulanty mineralne (glinokrzemiany), które są reaktywnymi środkami sorpcyjno-flokującymi charakteryzującymi się wysoko rozwiniętą powierzchnią aktywną. Dzięki swoim właściwościom sorpcyjnym oraz specjalnym modyfikacjom i aktywacji znacząco poprawiają proces flokulacji, przyspieszając tworzenie makroagregatów i w rezultacie intensywniejsze i efektywniejsze opadanie osadów. Zastosowanie tych preparatów w dużym stopniu poprawia proces oczyszczania ścieków oraz klarowność wody. Dodatkowo glinokrzemiany wpływają na redukcję wielu kluczowych parametrów oraz uzyskanie lepszej suchej masy osadu, a także korzystnie oddziałują na pracę urządzeń filtracyjnych. Jednym z zastosowań jest też adsorpcja kationów metali ciężkich, takich jak cynk, oraz adsorpcja rtęci, fenolu, niektórych pestycydów, nitroetanu, aniliny i jonów chromu (VI) (Camargo i in., 2016).

Studium przypadku wdrożenia procesu strącania metali ciężkich ze ścieków przemysłowych pochodzących ze stacji utylizacji emulsji olejowych (SUEO) działającej na Oczyszczalni Ścieków (OŚ) AQUA S.A.

Realizacja celów środowiskowych oraz utrzymanie długoterminowej efektywności ekonomicznej przedsiębiorstw z branży wodociągowo-kanalizacyjnej wymagają podejmowania działań wykraczających poza standardowe procesy oczyszczania ścieków. Jednym z takich działań jest wdrożenie instalacji redukującej stężenia metali ciężkich, których nadmierne poziomy w ściekach należą do kluczowych problemów ujętych w Ramowej Dyrektywie Wodnej 2000/60/WE i krajowych programach ochrony wód, między innymi Krajowym Programie Oczyszczania Ścieków Komunalnych.

Poniżej zaprezentowano uproszczoną analizę opłacalności ekonomicznej planowanego na lata 2026–2027 wdrożenia procesu strącania metali ciężkich ze specyficznych ścieków przemysłowych pochodzących ze stacji utylizacji emulsji olejowych (SUEO) działającej na Oczyszczalni Ścieków (OŚ) AQUA S.A. W analizie uwzględniono zarówno wymiar finansowy, jak i ekologiczny oraz regulacyjny. Analiza została oparta na danych operacyjnych przedsiębiorstwa za rok 2024, obejmujących masę przetworzonych odpadów, ilości powstających ścieków, przychody, koszty oraz prognozowane parametry eksploatacyjne instalacji. Dane empiryczne pochodzą z rzeczywistych pomiarów i zestawień uzyskanych z SUEO AQUA S.A. Na ich podstawie zaprezentowano wyniki ilościowe, analizę ekonomiczną oraz implikacje dla praktyki AQUA S.A. jako przedsiębiorstwa funkcjonującego w realiach regulacyjnych UE i Polski.

Dane te stanowią podstawę do oceny potencjalnych korzyści środowiskowych i ekonomicznych wynikających z implementacji technologii usuwania metali ciężkich, przy czym interpretacja i wnioski odnoszone są do realiów funkcjonowania AQUA S.A.

Analiza ekonomiczno-finansowa

Analiza ekonomiczno-finansowa wdrożenia instalacji neutralizacji i strącania metali ciężkich została przeprowadzona w oparciu o dane empiryczne zestawione w tabeli 1, obejmujące rzeczywiste wolumeny odpadów i ilości powstających ścieków.

Uwzględniając dane ekonomiczne, dokonano poniższej analizy, która jest zgodna z rekomendacjami literatury z zakresu ekonomii środowiska i zasobów naturalnych oraz analizy projektów infrastrukturalnych, według których ocena efektywności ekonomicznej powinna bazować na rzeczywistych danych operacyjnych, a nie wyłącznie na wartościach normatywnych lub teoretycznych (Boardman i in., 2018).

Zgodnie z posiadanymi danymi łączna ilość odpadów przyjętych do utylizacji w 2024 roku wyniosła 11 992,79 Mg, natomiast ilość ścieków powstających w procesie utylizacji emulsji olejowych osiągnęła 11 785 m³/rok. Skala ta jednoznacznie potwierdza przemysłowy charakter analizowanej instalacji oraz istotny potencjał oddziaływania środowiskowego i kosztowego, co jest typowe dla obiektów przetwarzania odpadów ciekłych o średniej i dużej przepustowości (Tchobanoglous, Burton, Stensel, 2014).

Struktura przychodów w analizowanym okresie obejmowała przychody netto z utylizacji odpadów w wysokości 3 157 958,18 PLN/rok oraz przychody netto ze sprzedaży odzyskanego oleju na poziomie 366 302,00 PLN/rok, co łącznie dało 3 524 260,18 PLN/rok. Jednocześnie należy wskazać, że w procesie utylizacji emulsji olejowych powstają szlamy wymagające zagospodarowania przez wyspecjalizowane firmy zewnętrzne. W 2024 roku koszt netto ich utylizacji wyniósł 86 592,00 PLN/rok, co stanowi stały element kosztów operacyjnych i jest zgodne z obserwacjami literatury dotyczącymi gospodarki osadowej w instalacjach przemysłowych.

Zgodnie z danymi roczna ilość ścieków podlegających procesowi neutralizacji wynosi 11 785 m³. Na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych (Chrapczyńska i in., 2025a; 2025b) oraz analizy projektowej wykonanej przez firmę zewnętrzną określono zapotrzebowanie na odczynniki chemiczne, skalę instalacji oraz intensywność procesu. Pozwoliło to na oszacowanie jednostkowego kosztu neutralizacji na poziomie 65 PLN/m³.

Przyjęta wartość pozostaje spójna z danymi, jakie znaleźć można w literaturze przedmiotu. Jak wskazują Kurniawan i in. (2006), koszty chemicznej obróbki ścieków zawierających metale ciężkie kształtują się w przedziale 60–150 PLN/m³ w zależności od składu ścieków, doboru reagentów oraz skali instalacji. Umiejscowienie analizowanej instalacji w dolnym zakresie tego przedziału potwierdza racjonalność kosztową zaprojektowanego rozwiązania. W konsekwencji roczny koszt neutralizacji metali ciężkich wynosi 11 785 m³ × 65 PLN/m³ = 766 025 PLN/rok.

Jest to nowy, dodatkowy koszt operacyjny (OPEX), wynikający bezpośrednio z realizacji wymogów środowiskowych i regulacyjnych. Literatura przedmiotu jednoznacznie wskazuje, że technologie chemicznego strącania metali ciężkich, mimo relatywnej prostoty technologicznej, generują istotne koszty eksploatacyjne związane głównie ze zużyciem reagentów i energii oraz ze zwiększoną ilością osadów. Wyniki uzyskane dla analizowanej spółki są zatem zgodne z dominującymi trendami sektorowymi.

Tab. 1. Dane dotyczące przyjmowanych odpadów oraz powstających ścieków w stacji utylizacji odpadów przemysłowych w roku 2024

	Odpady przyjmowane do stacji utylizacji emulsji olejowych (SUEO) według klasyfikacji														
	070101*	070104*	070604*	110113*	120109*	120110*	120301*	130105*	130208*	130507*	130802*				
Limit roczny (Mg)	**100**	**2000**	**150**	**3500**	**8000**	**100**	**3500**	**2000**	**50**	**1500**	**200**				
styczeń	0,00	0,00	0,80	150,00	940,93	0,00	123,59	8,80	0,00	63,02	0,00	Suma	1287,14	Ilość generowanych ścieków z procesu utylizacji emulsji olejowych (m^3)	1085
luty	2,00	0,00	0,40	162,30	778,09	0,00	106,10	8,20	0,00	62,26	0,00		1119,34		1015
marzec	0,00	0,00	0,80	144,22	719,23	0,20	84,10	4,00	0,00	279,34	0,00		1231,89		1085
kwiecień	0,00	0,00	0,80	170,40	760,49	0,00	56,80	28,16	6,60	163,14	9,46		1195,85		1050
maj	0,00	0,00	0,80	130,00	492,64	0,00	126,01	22,49	0,00	23,60	18,82		814,36		1085
czerwiec	0,00	0,00	0,40	159,96	736,69	0,00	91,79	15,27	0,00	58,22	0,00		1062,33		1050
lipiec	0,00	0,00	0,80	196,62	926,39	0,00	43,50	18,52	0,00	24,35	8,68		1218,86		1085
sierpień	0,00	0,00	0,80	179,90	825,90	0,00	41,03	5,50	0,00	49,03	0,00		1102,16		1085
wrzesień	0,00	0,00	0,80	194,41	519,26	0,00	105,99	16,74	0,00	118,52	0,00		955,73		1050
październik	0,00	0,00	1,20	189,60	717,62	0,00	89,06	16,18	0,00	47,02	0,00		1060,68		1085
listopad	0,00	6,82	0,40	150,00	429,05	0,00	27,17	0,00	0,00	20,75	0,00		634,19		730
grudzień	0,00	0,00	0,40	120,00	118,50	0,00	67,00	0,00	0,00	4,36	0,00		310,26		380
Suma (Mg)	**2,00**	**6,82**	**8,40**	**1947,41**	**7964,80**	**0,20**	**962,15**	**143,86**	**6,60**	**913,60**	**36,96**		11992,79		11785
Procent (%)	**0,02**	**0,06**	**0,07**	**16,24**	**66,41**	**0,00**	**8,02**	**1,20**	**0,06**	**7,62**	**0,31**				

070101* – Odpady z produkcji, przygotowania, obrotu i stosowania podstawowych produktów przemysłu chemii organicznej. Wody popłuczne i ługi macierzyste.
070104* – Odpady z produkcji, przygotowania, obrotu i stosowania podstawowych produktów przemysłu chemii organicznej. Inne rozpuszczalniki organiczne, roztwory z przemywania i ciecze macierzyste.
070604* – Odpady z produkcji, przygotowania, obrotu i stosowania tłuszczów, natłustek, mydeł, detergentów, środków dezynfekujących i kosmetyków. Inne rozpuszczalniki organiczne, roztwory z przemywania i ciecze macierzyste.
110113* – Odpady z chemicznej obróbki i powlekania powierzchni metali oraz innych materiałów i z procesów hydrometalurgii metali nieżelaznych. Odpady z odtłuszczania zawierające substancje niebezpieczne.
120109* – Odpady z kształtowania oraz fizycznej i mechanicznej obróbki powierzchni metali i tworzyw sztucznych. Odpadowe emulsje i roztwory z obróbki metali niezawierające chlorowców.

120110* – Odpady z kształtowania oraz fizycznej i mechanicznej obróbki powierzchni metali i tworzyw sztucznych. Syntetyczne oleje z obróbki metali.
120301* – Odpady z kształtowania oraz fizycznej i mechanicznej obróbki powierzchni metali i tworzyw sztucznych. Wodne ciecze myjące.
130105* – Oleje odpadowe i odpady ciekłych paliw (z wyłączeniem olejów jadalnych oraz grup 05, 12 i 19). Emulsje olejowe niezawierające związków chlorowcoorganicznych.
130208* – Odpadowe oleje silnikowe, przekładniowe i smarowe. Inne oleje silnikowe, przekładniowe i smarowe.
130507* – Odpady z odwadniania olejów w separatorach. Zaolejona woda z odwadniania olejów w separatorach.
130802* – Odpady olejowe nieujęte w innych podgrupach. Inne emulsje.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych SUEO AQUA S.A.

Z perspektywy ekonomii środowiska racjonalnym mechanizmem ograniczania wpływu nowych kosztów operacyjnych jest częściowy transfer kosztów na wytwórców odpadów. Obecne ceny odbioru emulsji olejowych kształtują się w przedziale 200–400 PLN/Mg netto i są ustalane indywidualnie. Uwzględniając rosnące wymagania środowiskowe oraz poprawę jakości świadczonej usługi, przyjęto założenie wzrostu ceny odbioru o około 10%, co odpowiada średnio 30 PLN/Mg. Przy rocznym wolumenie odpadów wynoszącym 11 992,79 Mg oznacza to wzrost przychodów o 359 783,79 PLN/rok.

Takie rozwiązanie jest zgodne z zasadą „zanieczyszczający płaci", stanowiącą fundament unijnej polityki środowiskowej oraz kluczowy element teorii internalizacji kosztów zewnętrznych w ekonomii środowiska (Tietenberg, Lewis, 2018).

Po uwzględnieniu zwiększonych przychodów oraz kosztów utylizacji szlamów przychód netto przedsiębiorstwa (przed doliczeniem kosztów neutralizacji) wynosi 3 784 463,17 PLN/rok, natomiast po uwzględnieniu kosztów neutralizacji metali ciężkich kształtuje się na poziomie 3 031 426,97 PLN/rok.

Dodatkowo należy uwzględnić wzrost ilości szlamów powstających w procesie strącania metali ciężkich. Na podstawie badań laboratoryjnych oszacowano, że ilość ta wzrośnie o około 15% w stosunku do roku bazowego, co generuje dodatkowy koszt: 86 592,00 PLN × 15% = 12 988,80 PLN/rok. Zjawisko to jest powszechnie opisywane w literaturze jako typowa konsekwencja procesów chemicznego strącania metali (Alloway, 2013).

Wdrożenie instalacji usuwania metali ciężkich wiąże się z jednorazowym nakładem inwestycyjnym (CAPEX) w wysokości 1 000 000 PLN, zgodnie z wyceną sporządzoną w ramach projektu technologicznego przez firmę zewnętrzną. W analizie przyjęto pięcioletni horyzont czasowy, bez stosowania dyskonta, co jest podejściem często stosowanym w analizach infrastrukturalnych o charakterze regulacyjnym i operacyjnym (Boardman i in., 2018). Koszty eksploatacyjne neutralizacji w okresie pięciu lat wynoszą: 5 × 766 025 PLN = 3 830 125 PLN, natomiast całkowity koszt inwestycji (CAPEX + OPEX) w tym okresie osiąga 4 830 125 PLN.

Należy zaznaczyć, że analizowana inwestycja nie generuje bezpośrednich dodatkowych przychodów, co odpowiada charakterystyce *compliance-driven investments*, czyli inwestycji realizowanych w celu zapewnienia zgodności z regulacjami prawnymi, normami środowiskowymi oraz standardami ESG – ang. *Environmental*, *Social*, *Governance* (środowisko, społeczna odpowiedzialność, ład korporacyjny) (Eccles, Serafeim, Ioannou, 2014). W literaturze podkreśla się, że tego typu projekty należy oceniać przede wszystkim

przez pryzmat redukcji ryzyka prawnego, finansowego i reputacyjnego, a nie wyłącznie krótkookresowej maksymalizacji zysku.

Łączne przychody przedsiębiorstwa w analizowanym okresie pięcioletnim wynoszą: 5 × 3 031 426,97 PLN = 15 157 134,85 PLN.

Po uśrednieniu kosztów inwestycyjnych:

- CAPEX/rok = 200 000 PLN,
- całkowity koszt roczny (CAPEX + OPEX) = 966 025 PLN.

W przeliczeniu na jednostki operacyjne daje to:

- 81,97 PLN/m³ ścieków,
- 80,55 PLN/Mg odpadów.

Uzyskane wartości jednoznacznie potwierdzają, że instalacja – mimo istotnego kosztu początkowego – nie powoduje spadku rentowności przedsiębiorstwa poniżej poziomu opłacalności operacyjnej, co jest kluczowe z perspektywy efektywności ekonomicznej przedsiębiorstwa rozumianej jako zdolność do trwałego generowania dodatniego wyniku finansowego (Samuelson, Nordhaus, 2010). Relatywnie niski poziom kosztów jednostkowych wskazuje ponadto, że inwestycja ta pełni funkcję stabilizującą działalność przedsiębiorstwa, umożliwiając jednoczesną realizację celów ekonomicznych, środowiskowych i regulacyjnych w średnim oraz długim horyzoncie czasowym.

Podsumowanie i wnioski

Planowane wdrożenie procesu strącania metali ciężkich ze ścieków przemysłowych pochodzących ze stacji utylizacji emulsji olejowych (SUEO), funkcjonującej przy Oczyszczalni Ścieków AQUA S.A., stanowi rozwiązanie wielowymiarowe. Analiza przeprowadzona na podstawie danych technologicznych i ekonomicznych wskazuje, że projekt ten należy traktować nie tylko jako modernizację technologiczną, lecz jako instrument zarządzania efektywnością ekonomiczną, ryzykiem środowiskowym oraz wartością strategiczną przedsiębiorstwa.

Przeprowadzona analiza ekonomiczna jednoznacznie potwierdza, że realizacja tej inwestycji – pomimo istotnych nakładów początkowych o charakterze inwestycyjnym – nie prowadzi do obniżenia rentowności przedsiębiorstwa poniżej poziomu opłacalności operacyjnej. Jest to wniosek kluczowy z punktu widzenia oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia oraz jego zgodności z długookresową stabilnością finansową spółki. Przedsięwzięcie to będzie generowało mierzalne korzyści finansowe, środowiskowe i regulacyjne, a jednocześnie wzmocni długoterminową wartość strategiczną i wizerunkową spółki. Co istotne, efekty te mogą być systematycznie monitorowane przy użyciu wskaźników finansowych i ESG, opartych na danych już dostępnych w sprawozdawczości technicznej i finansowej przedsiębiorstwa. Tym samym projekt ten potwierdza tezę, że zrównoważony rozwój w sektorze wodno-ściekowym może stanowić realne źródło efektywności ekonomicznej, a nie wyłącznie koszt regulacyjny.

W szczególności należy podkreślić, że koszty początkowe związane z zaprojektowaniem i uruchomieniem instalacji (nakłady inwestycyjne, koszty adaptacji infrastruktury,

wydatki na aparaturę i automatykę procesową) mają charakter jednorazowy, podczas gdy korzyści ekonomiczne generowane przez instalację ujawniają się w horyzoncie wieloletnim. Analiza przepływów finansowych wykazała, że wzrost kosztów operacyjnych wynikający z prowadzenia procesu neutralizacji i strącania metali ciężkich (między innymi zużycie reagentów chemicznych, energia, obsługa technologiczna, zagospodarowanie osadów) pozostaje kontrolowalny i proporcjonalny do skali działalności stacji utylizacji emulsji olejowych.

Jednocześnie wdrożenie instalacji pozwala na ograniczenie kosztów pośrednich i potencjalnych strat finansowych, które w scenariuszu braku inwestycji mogłyby wystąpić w dłuższej perspektywie. Dotyczy to w szczególności ryzyka:

- przekroczeń dopuszczalnych stężeń metali ciężkich w ściekach kierowanych do dalszego oczyszczania,
- wzrostu opłat środowiskowych lub kar administracyjnych,
- konieczności kosztownych działań interwencyjnych lub modernizacyjnych w przyszłości,
- pogorszenia parametrów technologicznych pracy głównej oczyszczalni ścieków.

Z perspektywy finansowej kluczowym efektem wdrożenia procesu strącania metali ciężkich będzie zwiększenie przewidywalności kosztów operacyjnych oraz poprawa efektywności ekonomicznej segmentu usług przemysłowych. Koszty neutralizacji i strącania metali ciężkich, ponoszone w sposób bezpośredni i możliwe do alokacji do konkretnego strumienia ścieków, mogą być traktowane jako koszty zmienne przypisane do działalności odpadowej. Umożliwi to bardziej precyzyjną kalkulację rentowności usług oraz ograniczy ryzyko przenoszenia kosztów na pozostałe obszary działalności spółki.

Z punktu widzenia strategii rozwoju AQUA S.A. wdrożenie procesu strącania metali ciężkich wzmocni pozycję spółki jako innowacyjnego i odpowiedzialnego operatora infrastruktury krytycznej. Projekt ten może być traktowany jako przykład materialnej realizacji strategii ESG, co – zgodnie z badaniami – pozytywnie wpływa na reputację przedsiębiorstw sektora użyteczności publicznej oraz ich zdolność do pozyskiwania finansowania zewnętrznego.

Bibliografia

Al-Khatib L.A., Al-Hanaktah A.M. (2025), *Wastewater Treatment Plant Upgrade and Its Interlinkages with the Sustainable Development Goals*, „Resources", https://www.researchgate.net/publication/390693243_Wastewater_Treatment_Plant_Upgrade_and_Its_Interlinkages_with_the_Sustainable_Development_Goals [dostęp: 12.08.2026].

Alloway B.J. (2013), *Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (3rd ed.)*, Dordrecht: Springer.

Baza Danych Lokalnych (BDL) (2023), Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.

Boardman A.E., Greenberg D.H., Vining A.R., Weimer D.L. (2018), *Cost–benefit analysis: Concepts and practice (5th ed.)*, Cambridge: Cambridge University Press.

Camargo F.P., Tonello P.S., dos Santos A.C.A., Duarte I.C.S. (2016), *Removal of toxic metals from sewage sludge through chemical, physical, and biological treatments – a review*, „Water, Air, & Soil Pollution", vol. 227(12), art. 433, https://doi.org/10.1007/s11270-016-3141-3

Chrapczyńska A., Chandzlik M., Kosior A., Nikiel K., Puchalik A., Szufłat D., Jurzak M., Żoczek Ł., Grübel K. (2025a), *Wpływ wartości pH oraz czasu mieszania na neutralizację i strącanie metali ciężkich w ściekach przemysłowych pochodzących z przetworzenia emulsji olejowych*, „Gaz, Woda, Technika Sanitarna", nr 7–8, s. 23–28, https://doi.org/10.15199/17.2025.7-8.4

Chrapczyńska A., Chandzlik M., Kosior A., Nikiel K., Puchalik A., Szufłat D., Jurzak M., Żoczek Ł., Grübel K. (2025b), *The possibility of the neutralisation and precipitation of heavy metals in industrial wastewater from oil emulsion processing*, „Journal of Ecological Engineering", vol. 26(6), s. 402–409, https://doi.org/10.12911/22998993/202752

Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzienniki-UE/dyrektywa-2000-60-we-ustanawiajaca-ramy-wspolnotowego-dzialania-w-dziedzinie-67427579 [dostęp: 12.08.2026].

Eccles R., Serafeim G., Ioannou I. (2014), *The Impact of Corporate Sustainability on Organizational Processes and Performance*, „Management Science", vol. 60(11), s. 2835–2857, https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.1984

Espinoza-Guillen J.A., Alderete-Malpartida M.B., Gallegos-Huaman R.L., Paz-Rosales Y.M., Dommguez-Vivar R.M., Bujaico-León C. (2022), *Ecological risk assessment and identification of sources of heavy metals contamination in sewage sludge from municipal wastewater treatment plants in the Metropolitan Area of Lima-Callao*, „Environment, Development and Sustainability", vol. 26(10), s. 1559–1590, https://doi.org/10.1007/s10668-022-02774-w

Fu B., Wu J., Chen S., Cheng J., Zheng Z., Zhang Y., Lin X., Xiao L. (2025), *Does resource recovery and utilization improve environmental and economic performance of rural wastewater treatment plants? A case study in Xiamen, China*, „Water Research", vol. 283(1), 121734, https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123791

Gawdzik J. (2012), *Mobilność wybranych metali ciężkich w osadach ściekowych*, Kielce: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej.

Geng H., Xu Y., Zheng L., Gong H., Dai L., Dai X. (2020), *An overview of removing heavy metals from sewage sludge: Achievements and perspectives*, „Environmental Pollution", vol. 266(2), art. 115375, https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115375

Hernández-Chover V., Castellet-Viciano L., Fuentes R., & Hernández-Sancho F. (2023), *Circular economy and efficiency to ensure the sustainability in the wastewater treatment plants*, „Journal of Cleaner Production", vol. 384(9), art. 135994, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135563

Khumarova N., Mahats N., Kakabadze G. (2025), *Assessment of Economic Greening Efficiency in Water Resource Management*, „Economics Ecology Socium", vol. 9(1), s. 1–15, https://doi.org/10.61954/2616-7107/2025.9.1-1

Krishnan S., Zulkapli N.S., Kamyab H., Taib S.M., Din M.F.B.M., Majid Z.A., Chaiprapat S., Kenzo I., Ichikawa Y., Nasrullah M., Chelliapan S., Othman N. (2021), *Current technologies for recovery of metals from industrial wastes: An overview*, „Environmental Technology & Innovation", vol. 22, art. 101525, https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101525

Kurniawan T.A., Chan G.Y.S., Lo W.H., Babel S. (2006), *Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals*, „Chemical Engineering Journal", vol. 118(1–2), s. 83–98, https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.01.015

Masi F., Rizzo A., Regelsberger M. (2017), *The role of constructed wetlands in a new circular economy, resource oriented, and ecosystem services paradigm*, „Journal of Environmental Management", vol. 216, s. 275–284, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.086

Pogłódek A. (2024), *Dostęp do wody jako podstawowe prawo człowieka: otoczenie prawa międzynarodowego oraz funkcjonowanie instrumentów krajowych*, https://iws.gov.pl/wp-content/uploads/PDF/2024/PRAWA%20PODSTAWOWE/2024_PrawaP_A_Poglodek_Dostep_do_wody_jako_podstawowe_prawo_czlowieka.pdf [dostęp: 14.02.2026].

Qayoom U., Bhat S.U., Ahmad I., Kumar A. (2022), *Assessment of potential risks of heavy metals from wastewater treatment plants of Srinagar city*, „International Journal of Environmental Science and Technology", vol. 19, s. 9027–9046, https://doi.org/10.1007/s13762-021-03612-8

Rani A., Snyder S., Kim H., Lei Z., Pan S. (2022), *Pathways to a net-zero-carbon water sector through energy-extracting wastewater technologies*, „Clean Water", vol. 5(1), s. 1–17, https://doi.org/10.1038/s41545-022-00197-8

Riediger P.I., Marques G., Dalcin A.P., Frediani Jardin P., Magalhães Filho F.M., Persson K.M. (2025), *Improving sanitation strategies through coordinated investment on wastewater treatment reuse and water supply at the watershed scale: A Brazilian view of water security*, „Water Policy", vol. 27(2), s. 182–203, https://doi.org/10.2166/wp.2025.168

Samuelson P.A., Nordhaus W.D. (2010), *Ekonomia*, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.

Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H.D. (2014), *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery*, New York–Columbus: McGraw-Hill Education.

Tietenberg T., Lewis L. (2018), *Environmental and natural resource economics*, New York: Routledge.

Yang J., Li J., van Vliet M.T.H., Jones E., Huang Z., Liu M., Bi J. (2024), *Economic risks hidden in local water pollution and global markets: A retrospective analysis (1995–2010) and future perspectives on sustainable development goal 6*, „Water Research", vol. 244, art. 120627, https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121216

You M., Hu Y., Yan Y., Yao J. (2021), *Speciation Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Municipal Sludge of Huainan, China*, „Molecules", vol. 26(21), art. 6711, https://doi.org/10.3390/molecules26216711

Zhang H., Huang Y., Zhou S., Wei L., Guo Z., Li J. (2020), *Pollution level and risk assessment of heavy metals in sewage sludge from eight wastewater treatment plants in Wuhu City, China*, „Spanish Journal of Agricultural Research", vol. 18(2), art. e1103, https://doi.org/10.5424/sjar/2020182-15796

Zhang Y., Khan S., Swallow B., Liu W., Zhao M. (2022), *Coupling coordination analysis of China's water resources utilization efficiency and economic development level*, „Journal of Cleaner Production", vol. 357, art. 131897, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133874

Żoczek Ł., Dudziak M. (2022), *Types and valorization of sludge generated in water treatment processes*, „Architecture Civil Engineering Environment", vol. 15(1), s. 115–121, https://doi.org/10.21307/ACEE-2022-010

O autorach

Łukasz Żoczek – wieloletni pracownik spółki wodociągowo-kanalizacyjnej AQUA S.A. Absolwent studiów Executive Doctor of Business Administration i Executive Master of Business Administration Wydziału Nauk Ekonomicznych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie. Absolwent Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Bielsko-Bialskiego. Dziedziny badawcze: technologie oczyszczania wody i ścieków, zrównoważony rozwój. Współautor artykułów w czasopismach naukowych.

Arkadiusz Kocot – prezes AQUA S.A., z branżą wodno-kanalizacyjną związany od 2007 roku. Absolwent Wyższej Szkoły Bankowej w Poznaniu, magister zarządzania finansami przedsiębiorstw. Od 1992 roku sprawował funkcje w zarządach i radach nadzorczych spółek z udziałem kapitału prywatnego, komunalnego i Skarbu Państwa.

Klaudiusz Grübel – doktor habilitowany w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplina inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Profesor Uczelni w Uniwersytecie Bielsko-Bialskim. Dziedziny badawcze: technologia wody i ścieków, zaawansowane metody usuwania zanieczyszczeń. Autor wielu artykułów w czasopismach naukowych i monografiach.

About the Authors

Łukasz Żoczek – a long-standing employee of AQUA S.A., a water and wastewater utility company. A graduate of the Executive Doctor of Business Administration and Executive Master of Business Administration programmes at the Faculty of Economic Sciences of the Polish Academy of Sciences in Warsaw. He also graduated from the Faculty of Management at the University of Bielsko-Biala. His research interests include water and wastewater treatment technologies and sustainable development. He is a co-author of articles published in academic journals.

Arkadiusz Kocot – President of the Management Board of AQUA S.A., associated with the water and wastewater sector since 2007. A graduate of the WSB University in Poznań, with a master's degree in corporate financial management. Since 1992, he has held positions on the management and supervisory boards of companies with private and state-owned companies.

Klaudiusz Grübel – holder of a postdoctoral degree in engineering and technology, in the discipline of environmental engineering, mining and energy. University Professor at the University of Bielsko-

-Biala. His research interests include water and wastewater technology and advanced pollutant removal methods. He is the author of numerous articles published in academic journals and contributions to monographs.

Ten utwór jest dostępny na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe.



Open Access

Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie nr 2(43)/2026
ISSN 2391-5129

Krzysztof Rabiej
Independent scholar
e-mail: kr.rabiej@gmail.com

The use of artificial intelligence in business management

Wykorzystanie sztucznej inteligencji w zarządzaniu przedsiębiorstwem

https://doi.org/10.25312/ziwgib.890

Abstract

This article provides a synthetic literature review on the use of Artificial Intelligence (AI) in Business Management (BM). The study examines the evolution of AI definitions – ranging from the 1950 Turing test to contemporary approaches emphasizing energy efficiency and autonomous data synthesis. Author organizes the typology of intelligent systems, distinguishing between analytical, functional, interactive, text, and visual AI, while highlighting their specific roles in automating decision-making and cognitive processes. In the section dedicated to business management, classic managerial functions (POAC) and the "Triple Bottom Line" concept are addressed, emphasizing the increasing importance of data analytics in establishing competitive advantages. The paper also presents modern AI models, such as Mistral Forge and Microsoft Copilot, discussing their practical implementations, including the strategic partnership between ASML and Mistral AI. The article concludes with an analysis of advantages (increased precision, cost optimization) and challenges (algorithmic bias, lack of transparency, hallucinations), stating that in 2026, the manager's role is evolving toward that of a critical supervisor of intelligent ecosystems.

Keywords: artificial intelligence, business management, algorithms, optimisation

Streszczenia

Artykuł stanowi syntetyczny przegląd literatury poświęconej wykorzystaniu sztucznej inteligencji (AI) w zarządzaniu biznesowym (BM). W pracy przeanalizowano ewolucję definicji AI – od testu Turinga z 1950 roku po współczesne ujęcia kładące nacisk na efektywność energetyczną i autonomiczną syntezę danych. Autor przedstawia typologię systemów inteligentnych, wyróżniając AI analityczną, funkcjonalną, interaktywną, tekstową oraz wizualną, wskazując na ich specyficzne role w automatyzacji procesów decyzyjnych i kognitywnych . W części poświęconej zarządzaniu biznesowemu przywołano klasyczne funkcje zarządcze (POAC) oraz koncepcję „Triple Bottom Line", podkreślając rosnącą rolę analizy danych w budowaniu przewagi konkurencyjnej. Praca prezentuje również nowoczesne modele AI, takie jak Mistral Forge czy Microsoft Copilot, oraz omawia ich praktyczne wdrożenia, m.in. w strategicznym partnerstwie ASML i Mistral AI. Artykuł zamyka analiza korzyści (wzrost precyzji, optymalizacja kosztów) oraz zagrożeń (stronniczość algorytmiczna, brak przejrzystości, halucynacje). Autor konkluduje, że w 2026 roku rola menedżera ewoluuje w stronę krytycznego nadzorcy ekosystemów inteligentnych.

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, zarządzanie biznesowe, algorytmy, optymalizacje

Introduction

The contemporary economic landscape is at a turning point triggered by the rapid penetration of Artificial Intelligence (AI) technologies, which have significantly disrupted the global economy and the operational modalities of modern organizations. The development of AI has evolved from humble beginnings into a field of global impact, becoming a "moving target" for researchers – a domain whose definition constantly shifts alongside advancements in computing power; what was considered a breakthrough yesterday is treated as a standard algorithm today. This article is a review paper aimed at systematizing and organizing knowledge regarding the integration of AI within Business Management (BM). Management, traditionally understood as the process of planning, organizing, directing, and controlling resources – human, financial, or informational – must now confront a paradigm of machines capable of autonomous decision-making and market prediction generation. This work analyses the conceptual evolution of AI, its functional typology, and contemporary models utilized in BM, juxtaposing them with practical market examples and ethical-legal challenges, such as the "black box" problem or the hallucinations of large language models.

Definition of artificial intelligence

The evolution of the concept of Artificial Intelligence (AI) in the subject literature is characterized by high dynamics and the lack of a fixed denotative framework, which allows this term to be referred to as a "moving target" – a field typically encompassing those cognitive processes that contemporary computational systems are not yet able to fully replicate. The theoretical foundations of the discipline were formulated in the mid-20th century, starting with Alan Turing's seminal 1950 paper, in which he proposed the operationalization of machine intelligence through a test of mimicking human conversational behaviour, thereby avoiding vague definitions of "thinking" in favour of measurable activity (Bartneck et al., 2021: 8–9). The formal constitution of AI as an independent field of research took place in 1955, when Professor John McCarthy and his team defined the principles of a scientific approach to the problem of learning machines and problem-solving using heuristic modelling (Zúñiga, Goyanes, Durotoye, 2023: 318). In the course of the development of AI sciences, two fundamental classificatory currents emerged: "Weak AI", limited to the execution of precisely defined, narrow tasks such as image recognition or playing chess, and "Strong AI", which postulates the creation of systems possessing consciousness and mental states identical to those of humans. Although contemporary systems have not yet reached the level of Artificial General Intelligence (AGI), they have evolved toward advanced intelligent agents that receive stimuli (percepts) from the environment and take optimal actions relative to given goals, while demonstrating flexibility and the ability to learn from previous experiences (Bartneck et al., 2021: 8, 10).

The contemporary research perspective (2025–2026) places particular emphasis on integrated AI operationalization, taking into account two key parameters: the level of performance and the level of autonomy. This performance manifests itself through the ability of systems to simultaneously perform tasks, make decisions, and generate predictions, where the level of technological complexity grows along with the intensity of mutual coupling between these functions (Zúñiga, Goyanes, Durotoye, 2023: 320, 321). Updated academic definitions from the turn of 2025, including those by Dr. Georgios Fradelos, redefine AI as software capable of routinely generating analysis or synthesis results that exceed the competence of the average specialist in a given professional culture, regardless of energy costs, or achieving comparable results in less time and at a lower energy cost. A significant novelty in this approach is the introduction of a scientific comparison of energy costs, taking into account the caloric expenditure of the human metabolism in comparison with the energy consumption of computing units, which constitutes an objective measure of technological progress (Fradelos, 2025: 1, 2). At the same time, the dynamic expansion of generative models (Generative AI), such as ChatGPT or DALL-E, has enabled the creation of high-dimensional data based on simple linguistic commands, which shifts the AI paradigm from the role of a simple information mediator to the position of an autonomous creator and intelligent communication partner (Zúñiga, Goyanes, Durotoye, 2023: 320, 325). Consequently, systemic intelligence in 2026 is no longer evaluated solely through the prism of algorithmic correctness, but primarily through the ability to independently generate sub-tasks, flexibly adapt to dynamic market

conditions, and consistently deliver results of high substantive quality with limited human intervention (Bartneck et al., 2021: 8; Fradelos, 2025: 1, 2).

Types of artificial intelligence

The transition from theoretical definitions of artificial intelligence toward its systematic classification requires an understanding that AI is not a monolith, but a collection of diverse, evolving technologies whose role and significance depend on the specific sector (Khan, 2021: 1; Oleiwi, Jawad, Alzubaidi, 2023: 80). Contemporary academic literature proposes a multi-dimensional approach to AI typology, based on its cognitive competencies, degree of functionality, and specific applications in the business ecosystem (Khan, 2021: 7; Oleiwi, Jawad, Alzubaidi, 2023: 81, 84). The most fundamental division, determined by the degree of intelligence in relation to the capabilities of the human brain, distinguishes three stages: Artificial Narrow Intelligence (ANI), Artificial General Intelligence (AGI), and Artificial Superintelligence (ASI) (Khan, 2021: 2; Oleiwi, Jawad, Alzubaidi, 2023: 84). Currently, the dominant and only realistically implemented form is ANI, also referred to as "Weak AI", which specializes in performing precisely defined tasks without possessing self-awareness. In turn, AGI, which is the goal of future research, assumes the creation of systems capable of learning and reasoning at a human level across a wide spectrum of fields, while ASI represents a hypothetical concept of an intellect surpassing the best human minds in almost every sphere of life (Khan, 2021: 2, 4; Chaudhari, 2024: 49).

Parallel to the classification based on intellectual potential, the subject literature, referring among others to the work of Professor Arend Hintze, identifies four types of systems differing in data processing and memory mechanisms. The simplest form is represented by reactive machines, which lack the ability to store memories or learn from mistakes, reacting only to current impulses within a strictly defined logic. More advanced AI with Limited Memory can already use historical data to build temporary knowledge bases and generate predictions, which forms the foundation of modern Deep Learning. Subsequent stages, such as "theory of mind" – the ability to recognize and predict human emotions – and full systemic self-awareness, remain subjects of intensive developmental work in 2026, not yet reaching operational maturity (Khan, 2021: 5, 6; Chaudhari, 2024: 50).

In the pragmatics of business management, functional classifications are particularly important, dividing AI tools according to their direct utility: analytical, functional, interactive, textual, and visual. Analytical AI is used for data-driven decision-making, covering areas such as inventory optimization or demand forecasting, while functional AI focuses on direct action, e.g., within IoT solutions. Interactive systems, including intelligent assistants and chatbots, redefine customer communication by mimicking a natural way of conversation, and textual and visual AI automate the processes of content and image recognition as well as material generation. From a process perspective, management utilizes AI to automate cognitive processes, build Cognitive Insight through the analysis

of purchasing trends, and engage customers in real-time (Cognitive Engagement) (Khan, 2021: 7–11).

The technological backbone of all these forms are Machine Learning (ML) techniques, which constitute a fundamental component of AI. Classic ML architecture is based on supervised learning (using labelled data), unsupervised learning (discovering hidden patterns), and reinforcement learning, where an agent learns through a system of rewards and penalties. However, the most dynamic development is observed in the field of Deep Learning, based on multi-layered neural networks, and Transfer Learning, which allows for the use of previously acquired knowledge in new, related domains, significantly accelerating the innovation implementation process with limited data resources (Oleiwi, Jawad, Alzubaidi, 2023: 80, 81, 85–86).

In summary, it should be stated that artificial intelligence in its current form (ANI) is a collection of specialized computational tools which, despite the lack of self-awareness features, demonstrate unprecedented efficiency in solving precisely defined analytical problems (Khan, 2021: 2; Chaudhari, 2024: 49). AI is often described in the literature as a "moving target" because it encompasses cognitive processes that computer systems are unable to fully replicate at any given moment. The foundation that distinguishes these systems from traditional algorithms is their ability to actively learn from historical data and imitate human cognitive heuristics for autonomous adaptation to variable operational conditions (Bartneck et al., 2021: 8, 11; Oleiwi, Jawad, Alzubaidi, 2023: 80). In the era of digital transformation, these technologies are becoming an immanent element of organizational structures, requiring rigorous strategic operationalization to avoid the risk of inefficiency resulting from improper integration with existing business processes. Understanding the nature of AI as a dynamic technological partner is a necessary starting point for the analysis of modern business management, which must evolve toward models based on deep data analytics and systemic flexibility (Portovaras et al., 2024: 1–2).

Definition of business management

Business Management (BM) is defined in the subject literature as a systematic process of planning, organizing, directing, and controlling an organization's resources – including human, financial, material, and informational capital – in order to realize set goals in an effective and efficient manner. Classical theoretical approaches, represented by researchers such as George R. Terry or Mary Parker Follett, perceive management as the "art of getting things done through people", which is reflected in the fundamental managerial functions identified by the acronym POAC: Planning, Organizing, Actuating (motivating/leading), and Controlling (Fattah et al., 2025: 1–2). The foundations of this discipline, laid by Henri Fayol and Frederick Taylor, originally focused on scientific methods of labour organization and process standardization. Nevertheless, contemporary reflection goes beyond this technocratic paradigm, introducing dimensions such as the manager's participation in core processes, responsiveness to dynamic environmental

challenges, and the constitution of meaning in business operations as a condition for their effectiveness (Blok, 2020: 175–176, 179).

The effective exercise of managerial functions is inextricably linked to the continuous analysis of the managerial environment, which is divided into internal factors – organizational structure, culture, finance, and human resources – and external forces, encompassing political, economic, social, legal, and technological conditions (Fattah et al., 2025: 9–12). In the era of globalization, business management becomes a key instrument for building competitive advantage, particularly in the Small and Medium-Sized Enterprise (SME) sector, which generates a significant portion of GDP and new jobs (Sabil et al., 2022: 113). Modern strategies emphasize the sustainable development model, integrating the pursuit of profit with social and environmental responsibility, which redefines the manager's role as a leader caring for the long-term stability of the organization (Sabil et al., 2022: 117; Fattah et al., 2025: 67). The effectiveness of BM today is determined by the ability to absorb advanced analytical methods, including Big Data and AI, which enable precise trend forecasting and supply chain optimization (Portovaras et al., 2024: 4–6).

Synthesis of information to date

The synthesis of the concepts of artificial intelligence and business management leads to the formulation of an integrated definition of AI in BM, which goes beyond treating technology merely as an auxiliary tool, positioning it as an autonomous agency system[1] within organizational structures. Artificial intelligence in business management can be defined as the systemic ability of software to correctly interpret external data, learn from it, and use these cognitive processes to achieve specific goals and managerial tasks through flexible adaptation. In the operational dimension, this means the integration of computing technologies with classical management functions, such as planning, organizing, directing, and controlling (POAC), in order to optimize organizational resources and obtain lasting strategic benefits. A key differentiator of system intelligence understood in this way is its ability to routinely generate analysis and synthesis results at a level exceeding the average specialist or achieving comparable results with significantly lower investment of time and energy.

AI operationalization in BM is based on two fundamental axes: the level of performance and the degree of agency autonomy. In the context of performance, intelligent management manifests itself through the synergy of three processes: task automation (performing tasks), decision support (taking decisions), and the generation of precise market predictions (making predictions). The complexity of this system increases when systems make decisions autonomously based on their own forecasts, which directly affects the operational and strategic efficiency of the organization. AI autonomy in management is, in turn, determined by the scope of the machine's agency in relation to the degree of necessary

[1] The authors deliberately did not call the tool an entity, which could have additional legal or philosophical implications.

human intervention, which shifts the manager's role from a direct supervisor of processes toward a designer of the environment in which intelligent agents operate (essentially without routine external interference).

The contemporary approach to AI in management also places strong emphasis on cognitive aspects, dividing implementations into three main forms: process automation, building cognitive insight (Cognitive Insight), and cognitive engagement (Cognitive Engagement). While automation reduces human errors in routine office operations, Cognitive Insight systems use algorithms to detect complex patterns in large data sets, enabling the prediction of consumer trends or the identification of credit risks. In turn, cognitive engagement redefines interaction with stakeholders through intelligent assistants capable of personalizing communication in real time. In this view, AI ceases to be a passive optimization system and becomes an active participant in the value creation process, which – in accordance with the "Triple Bottom Line" concept – must balance economic efficiency with social and ethical responsibility.

Ultimately, the synthesis of AI and BM leads to the paradigm of assisted management (AI-Augmented Management), in which machine intelligence serves to expand human analytical competencies rather than replace them entirely. Software intelligence in business is recognized as measurable and significant only when it realistically contributes to time savings, improvement in the quality of substantive results, or reduction in the energy costs of the management process. In 2026, AI in BM is therefore understood as an integrated digital architecture that, through the interpretation of large volumes of data and autonomous adaptation, actively shapes organizational order and supports the realization of long-term strategic goals in a dynamic market environment.

Artificial intelligence models used in business management

The contemporary market for intelligent technologies in 2026 is dominated by solutions offering deep personalization for corporate needs and tight integration with existing work ecosystems. The implementation of specific AI models in business management (BM) is no longer limited to a simple choice of software but constitutes a strategic decision to build a "digital brain" of the enterprise that internalizes institutional knowledge (Mistral, n.d.).

In contrast to cloud models, Ollama has gained popularity in management as a tool dedicated primarily to the automation of operational tasks. Although its architecture is simpler, a key advantage in BM is the ability to run models locally, which ensures total data isolation and compliance with security policies. It is an ideal solution for small and medium-sized enterprises (SMEs) striving to automate routine activities while maintaining low infrastructural costs.

Meanwhile, Microsoft has dominated the sphere of interactive artificial intelligence (Interactive AI) through the deep integration of assistants with Office suite tools. Thanks to Microsoft 365 Copilot, natural language becomes a powerful productivity tool, allowing managers to automatically generate texts, market analyses, or communication

templates for recruited employees. In the context of BM, Microsoft introduced the concept of "Frontier Firms" – companies that, through the full adoption of AI, achieve returns on investment three times higher than organizations implementing technology with a delay. According to the company, currently (as of the first quarter of 2026), about 68% of firms use AI solutions, but only 22% qualify as transformation leaders. Additionally, tools such as Copilot Studio and Microsoft Foundry enable the construction of proprietary, multimodal generative solutions that directly support the level of performance and autonomy of machines within corporate structures (Microsoft, n.d.).

Currently, success in management depends on creating synergy between ready-made assistants (like Copilot) and models deeply tailored to a specific company's data (like those created in Mistral Forge), while automating processes (thanks to Ollama), which allows for savings in time and energy while simultaneously improving the quality of results – analytical, performance-related, and financial.

Advantages, disadvantages, and challenges of using AI in BM

The integration of artificial intelligence into business management processes brings a range of fundamental benefits that redefine the operational and strategic efficiency of modern enterprises. The main advantage of intelligent technologies is the ability to process and analyse vast datasets with speed and precision unattainable by humans, allowing for workflow optimization and a significant reduction in operating costs. In sectors such as materials science or energy, AI enables the creation of smarter and safer processes while accelerating the acquisition of refined analytical results. The application of predictive modelling allows managers to estimate the probability of future market events and make decisions based on precise data forecasts, which constitutes a significant competitive advantage. Additionally, AI supports interdisciplinary collaboration by improving knowledge exchange and coordinating activities between different departments of an organization, which fosters innovation (Pangandaman, 2024: 1709, 1711–1713). These technologies also allow for the automation of time- and labour-intensive tasks, such as literature reviews, content synthesis, or patient qualification for research, which frees up human resources for conceptual activities. It is also worth mentioning the role of virtual simulations, which enable staff to improve their skills in a controlled, safe environment before their practical application (Mazloum, Shahin, 2024: 2, 4).

On the other hand, the revolutionary integration of AI in BM involves many critical challenges that can negatively affect the reliability of management processes. One of the most serious issues is so-called algorithmic bias, which results from training models on inadequate or biased data, potentially leading to the unfair treatment of social groups, for example, in recruitment processes (Mazloum, Shahin, 2024: 6; Pangandaman, 2024: 1713). An equally important challenge is the lack of transparency and the "black box" problem – complex deep learning algorithms often do not allow for the reconstruction of the chain of reasoning leading to a specific decision, making their verification and

building trust among stakeholders difficult (Karasinski, Bez Birolo Candiotto, 2024: 2; Mazloum, Shahin, 2024: 6). This phenomenon is linked to "enchantment determinism", where systems are presented as superhuman oracles, even though their operation is merely mathematical optimization based on historical data. This leads to a "dictatorship of the past", in which AI automatically imposes old patterns and taxonomies onto the present, limiting the organization's ability to recognize genuinely new and unique events (Karasinski, Bez Birolo Candiotto, 2024: 10–12). Another risk involves AI hallucinations, manifested by the generation of substantively incorrect information or non-existent bibliographic references, which, in the absence of critical validation by an expert, threatens the quality of business analyses. Excessive enthusiasm for these tools can additionally trigger the Dunning-Kruger effect, leading users to the false belief that valuable content is created effortlessly (Salvagno, Taccone, Gerli, 2023: 1–2). Ethical issues related to data privacy protection and concerns about job displacement cannot be overlooked either, requiring organizations to invest in educational programs that develop skills complementary to AI (Mazloum, Shahin, 2024: 7; Pangandaman, 2024: 1715).

Conclusion

Artificial intelligence has ceased to be merely a technological addition, It has become an integral component of modern business management that redefines the classic POAC management functions. The evolution from the theoretical Turing test to contemporary "frontier" class systems shows that AI is a "moving target" that constantly pushes the boundaries of what we consider intelligent processes in business. A key conclusion from the literature analysis is the fact that an organization's success today depends on the effective operationalization of AI in two dimensions: substantive performance, measured by savings in time and energy, and agency autonomy, which allows systems to routinely generate results exceeding the capabilities of the average specialist.

In the era of digital transformation, the modern manager faces the task of building the "digital brain" of the enterprise, which in practice means moving away from simple cloud solutions in favour of deep personalization of models. The synergy between productivity-supporting assistants, such as Microsoft 365 Copilot, and systems internalizing unique institutional knowledge, such as Mistral Forge, creates a new class of so-called "Frontier Firms". These organizations achieve returns on investment three times higher than companies implementing technology with a delay, confirming that AI-Augmented Management is currently the most effective strategy for building competitive advantage. At the same time, the automation of operational tasks through local tools, such as Ollama, allows for the maintenance of data sovereignty and security, which is crucial in the management of the SME sector.

However, it must be emphasized that the implementation of AI involves rigorous challenges that require a "smart questioners" attitude from the management staff. Problems such as a lack of algorithmic transparency (black box), the occurrence of hallucinations, or the risk of bias (algorithmic bias) impose an obligation on managers to critically

verify output data. The greatest cognitive threat remains the "dictatorship of the past", i.e., the tendency of AI to automatically replicate historical patterns, which can lead to the annihilation of authentic innovation within the organization. Business management must therefore evolve toward a model in which AI provides powerful analytics and predictions, but the ultimate ethical and strategic judgment – taking into account social norms and the long-term vision of sustainable development (Triple Bottom Line) – remains the responsibility of the human.

References

Bartneck C., Lütge C., Wagner A., Welsh S. (2021), *An Introduction to Ethics in Robotics and AI*, Cham: Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-030-51110-4

Blok V. (2020), *What is (business) management? Laying the ground for a philosophy of management*, "Philosophy of Management", vol. 19, no. 2, pp. 173–189, https://doi.org/10.1007/s40926-019-00126-9

Chaudhari T. (2024), *Artificial intelligence, its types and application in various fields*, "International Journal of Commerce and Management Research", vol. 10(6), pp. 49–51.

Fattah V., Tamsah H., Frianto A., Rizal M., Santorry Kesuma M., Siahaan M., Darmo I. (2025), *Business Management*, Klang: Mawadra Lestari Enterprise.

Fradelos G. (2025), *Updated Definition of Artificial Intelligence*, https://www.researchgate.net/publication/398672183_Updated_Definition_of_Artificial_Intelligence [accessed: 18.03.2026].

Karasinski M., Bez Birolo Candiotto K. (2024), *AI's black box and the supremacy of standards*, "Filosofia Unisinos", vol. 25(1), article no. e25113, pp. 1–13, https://doi.org/10.4013/fsu.2024.251.13

Khan H. (2021), *Types of AI | Different Types of Artificial Intelligence Systems*, https://www.researchgate.net/publication/355021812_Types_of_AI_Different_Types_of_Artificial_Intelligence_Systems_fossgurucomtypes-of-ai-different-types-of-artificial-intelligence-systems [accessed: 18.03.2026].

Mazloum T., Shahin B. (2024), *AI and research: Benefits and challenges*, "Clinical Oral Science and Dentistry", vol. 6, no. 2, pp. 1–10, https://researchnovelty.com/management_research/article_pdf/1714981806Finalized%20Article_RA190424..pdf [accessed: 18.03.2026].

Microsoft (n.d.), https://www.microsoft.com/en-us/ai/ai-business-value-and-benefits [accessed: 23.10.2026].

Mistral (n.d.), https://mistral.ai/products/forge [accessed: 23.10.2026].

Oleiwi S.H., Jawad Z.S., Alzubaidi Y.T. (2023), *Literature review on the variety kinds of AI and ML technologies classifications and limitations*, "European Journal of Interdisciplinary Research and Development", vol. 17, pp. 80–95.

Pangandaman H.K. (2024), A*dvantages and challenges in using AI (artificial intelligence) in research: A literature review*, "Scope", vol. 14, no. 2, pp. 1709–1721, https://doi.org/10.5281/zenodo.18653936

Portovaras T., Kovalenko N., Kaplina A., Kyrychenko N., Zaloha Z. (2024), *Current trends and future prospects in business management analysis integration*, "Multidisciplinary Reviews", vol. 7, article no. e2024spe005, https://doi.org/10.31893/multirev.2024spe005

Sabil S., Djakasaputra A., Bangkara B.A., Manullang S.O., Hendriarto P. (2022), *Understanding business management strategies in enhancing profitable and sustainable SMEs*, "Jurnal Manajemen Industri dan Logistik", vol. 6, no. 1, pp. 112–131, https://doi.org/10.30988/jmil.v6i1.989

Salvagno M., Taccone F.S., Gerli A.G. (2023), *Artificial intelligence hallucinations*, "Critical Care", vol. 27, article no. 180, pp. 1–2, https://doi.org/10.1186/s13054-023-04473-y

Zúñiga H., Goyanes M., Durotoye T. (2023), *A scholarly definition of artificial intelligence (AI): Advancing AI as a conceptual framework in communication research*, "Political Communication", pp. 317–334, https://doi.org/10.1080/10584609.2023.2290497

About the Author

Krzysztof Rabiej – graduate of the DrBA program, graduate of Wrocław University of Science and Technology in electronics and telecommunications (Master of Science in Engineering). Since 2008 he has been involved in technological and integration projects, and currently serves as Project Manager and Chief of Staff in the Strategic Sourcing department at ASML. He has over a decade of experience in managing highly complex projects, including in international environments. He specializes in process architecture, team building, and the implementation of sourcing strategies that support organizational transformation.

O autorze

Krzysztof Rabiej – absolwent programu DrBA, absolwent Politechniki Wrocławskiej na kierunku elektronika i telekomunikacja (magister inżynier). (Od 2008 roku związany z projektami technologicznymi i integracyjnymi, obecnie pełni funkcję kierownika projektu oraz szefa zespołu w dziale strategicznego zaopatrzenia w firmie ASML. Ma ponad dziesięcioletnie doświadczenie w prowadzeniu złożonych projektów, także w środowisku międzynarodowym. Specjalizuje się w architekturze procesów, budowaniu zespołów oraz wdrażaniu strategii zakupowych wspierających transformacje organizacyjne.

Ten utwór jest dostępny na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe.

Open Access

CZĘŚĆ II
LOGISTYKA I ZARZĄDZANIE TRANSPORTEM

Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie nr 2(43)/2026
ISSN 2391-5129

Jan Fudali https://orcid.org/0000-0002-7061-154X
University of Lodz
e-mail: janfudali.poczta@gmail.com

Optimizing cargo space utilization in road transport with non time-dependent constraints

Optymalizacja wykorzystania przestrzeni ładunkowej w transporcie drogowym z uwzględnieniem ograniczeń niezależnych od czasu

https://doi.org/10.25312/ziwgib.900

Abstract

This article evaluates the effectiveness of a two-stage optimization algorithm supporting cargo space utilization in international road transport under non-time-dependent physical constraints. The algorithm maximizes freight value by consolidating compatible additional loads within weight and volume limits and then determines the optimal delivery sequence. A theoretical–empirical approach was applied using a case study of a transport operation from Madrid (Spain) to Warsaw (Poland). The methodology combines a multidimensional Knapsack Problem to select feasible loads based on a maximum payload of 24 tons and a capacity of 33 Euro-pallets with the nearest neighbour algorithm (Travelling Salesperson Problem, TSP) to identify the shortest route. Economic performance was assessed using the freight-to-distance ratio (EUR/km). The results demonstrate that the proposed approach prevents overloading and cubing out while achieving 97% volume utilization and 64.5% weight utilization. The optimal scenario increased profitability to 1.22 EUR/km, representing a 22% improvement over the baseline value of 1.00 EUR/km. The findings confirm that integrating Knapsack and TSP algorithms under structural vehicle constraints can improve transport profitability and resource efficiency without fleet expansion.

Keywords: road transport, cargo space optimization, transport management, sustainable logistics

Streszczenie

Celem badania jest ocena skuteczności dwuetapowego algorytmu optymalizacyjnego wspomagającego planowanie przestrzeni ładunkowej w międzynarodowym transporcie drogowym z uwzględnieniem fizycznych ograniczeń niezależnych od czasu. Algorytm maksymalizuje wartość przewożonego frachtu poprzez konsolidację kompatybilnych ładunków dodatkowych w granicach limitów masy i objętości oraz wyznacza optymalną kolejność dostaw. Zastosowano podejście teoretyczno-empiryczne oparte na studium przypadku przewozu z Madrytu (Hiszpania) do Warszawy (Polska). Metodologia łączy wielowymiarowy problem plecakowy (Knapsack Problem), służący do wyboru dopuszczalnych ładunków przy maksymalnej ładowności 24 ton i pojemności 33 europalet, z algorytmem najbliższego sąsiada (problem komiwojażera – TSP) wyznaczającym najkrótszą trasę. Efektywność ekonomiczną oceniono za pomocą wskaźnika EUR/km. Wyniki wykazały, że algorytm skutecznie eliminuje ryzyko przeciążenia i zjawiska „cubing out", osiągając wykorzystanie 97% objętości oraz 64,5% ładowności. Optymalny wariant zwiększył rentowność do 1,22 EUR/km, czyli o 22% względem wartości bazowej 1,00 EUR/km. Uzyskane wyniki potwierdzają, że integracja algorytmów problemu plecakowego i TSP zwiększa rentowność transportu oraz efektywność wykorzystania zasobów bez konieczności rozbudowy floty.

Słowa kluczowe: transport drogowy, optymalizacja przestrzeni ładunkowej, zarządzania transportem, logistyka zrównoważona

Introduction

Road freight transport remains the indispensable backbone of European supply chains, yet the sector operates under unprecedented economic and environmental pressures. Fluctuating fuel costs, chronic driver shortages, and tightening regulatory frameworks aimed at reducing greenhouse gas emissions – such as the European Green Deal – force transport enterprises to seek internal operational reserves (Piecyk, McKinnon, 2010; The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2019) 640 final, 2019). Maximizing the utilization of existing transport assets has emerged as one of the most effective strategies to protect profit margins and meet sustainability targets without requiring capital-intensive fleet expansions (Fajczak-Kowalska, Tokarski, 2023).

While temporal requirements often dictate the rhythm of modern supply chains, the ultimate limits of transport efficiency are rigidly defined by physical and spatial boundaries (McKinnon et al., 2015). In road freight operations, ignoring non time-dependent constraints – such as weight limits, volumetric capacity, cargo geometry, and stackability – frequently leads to the phenomenon of "cubing out" (running out of space before reaching the weight limit) or overloading.

In everyday operational practice, particularly within the Less-than-Truckload (LTL) and partial load segments, dispatchers frequently rely on intuition, manual calculations, and heuristic experience to match base loads with supplementary freight. However, human-driven consolidation processes struggle to process multidimensional variables efficiently (Crainic, Laporte, 1997). This often results in suboptimal vehicle fill rates, unutilized cargo space, and missed revenue opportunities, inadvertently contributing to the high percentage of empty or partially empty miles in European transport networks (Savy, Burnham, 2013).

The optimization of cargo space without the strict pressure of delivery time windows shifts the operational focus from scheduling to advanced multi-dimensional space management, which has become a critical element in the sustainable development of modern manufacturing and logistics enterprises (Tokarski, Łuczak, 2023). In this context, decision-makers face a variation of the classic Knapsack Problem, where the objective is to maximize the total freight value by consolidating compatible additional loads, strictly within the legal and technical limits of the vehicle (Martello, Toth, 1990; Crainic, 2000).

This paper addresses the challenge of maximizing the utilization of standard heavy goods vehicles (HGV) by applying algorithmic selection of partial loads based on weight, Euro-pallet (EP) volume, and subsequent route sequencing to minimize the total distance. By combining a multi-dimensional Knapsack algorithm with the Travelling Salesperson Problem (TSP), this study provides a practical, data-driven framework that bridges the gap between theoretical operations research and daily dispatching tasks, proving that relatively simple mathematical models can yield significant economic and environmental dividends.

Methodology

The methodological foundations, including the basic optimization model and the research environment, have been thoroughly presented in the first part of this study (Fudali, 2026). Therefore, this section directly introduces the extension of the model to account for non time-dependent constraints, such as vehicle weight capacity and spatial dimensions.

The optimization process in this phase is divided into two distinct algorithms:

1. **The Selection Phase (Multi-dimensional Knapsack Problem):** The algorithm evaluates a pool of potential partial loads. The objective is to maximize the total financial value of the cargo (c_i), subject to the absolute constraints of the vehicle's maximum payload ($W_{\max}$) and volumetric capacity ($Q_{\max}$). For a standard European semi-trailer, the constraints are defined as $W_{\max} = 24$ tons and $Q_{\max} = 33$ EP. The selection is mathematically governed by the following conditions:

$$\sum_{i=1}^{n} c_i x_i \rightarrow \max \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i x_i \leq W\max \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{n} q_i x_i \leq Q \max \tag{3}$$

(where w_i is the weight, q_i is the volume in EP, and x_i $\{0,1\}$ is the binary decision variable).

2. **The Routing Phase (Travelling Salesperson Problem – TSP):** Once the optimal set of loads is selected, the algorithm determines the shortest possible sequence connecting the loading and unloading points (Dantzig, Fulkerson, Johnson, 1954). Because time windows are ignored in this variant, the routing sequence is heavily influenced by physical cargo handling constraints, particularly the LIFO (Last In, First Out) rule, to minimize the need to unload and reload cargo during transit.

The integration of these two phases creates a comprehensive decision-support framework. While the selection phase guarantees that the vehicle's structural and legal boundaries are not breached, the routing phase ensures the operational feasibility of the transport task. Ultimately, the effectiveness of this combined approach is assessed using the freight-to-distance profitability indicator (EUR/km), which serves as the primary metric for comparing the optimized consolidation against a baseline single-load scenario in the subsequent analysis.

Results

The application of the two-stage algorithm to the empirical dataset yielded significant operational improvements. The algorithm evaluated a diverse pool of clients and identified an optimal consolidation variant that included the main load (Gerber) and supplementary loads (Lello, Jardin, Parmentier, Europalleten), rejecting loads that would violate physical constraints (e.g., Multiusos, which alone required **24 t** and **33 EP**). The detailed selection process is presented in table 1.

Tab. 1. Logistics parameters and optimization results for main and supplementary loads

Client	Order value (€)	Weight (t)	Volume (EP)	Selection status
Lello	1000	5.0	4	Selected (1)
Getafe	1200	8.0	18	Rejected (0)
Multiusos	2500	24.0	33	Rejected (0)
Reze	1000	15.0	15	Rejected (0)
Jardin	400	2.0	5	Selected (1)
Parmentier	650	1.0	10	Selected (1)
Europalleten	300	1.5	5	Selected (1)
Aegi	500	9.0	9	Rejected (0)
Nasser	750	12.0	13	Rejected (0)
Posnania	200	8.0	10	Rejected (0)

Client	Order value (€)	Weight (t)	Volume (EP)	Selection status
Aurora	400	4.0	7	Rejected (0)
ABC	400	13.0	15	Rejected (0)
Gerber (Main)	2875	6.0	8	Selected (1)
TOTAL / LIMIT	5225	15.5 / 24.0 t	32 / 33 EP	Constraints met

Source: own elaboration.

The consolidation process resulted in the following utilization metrics:

- **Weight Utilization:** The total loaded mass reached **15.5 t** out of the maximum **24 t** (64.5% utilization).
- **Volume Utilization:** The total cargo space occupied reached **32 EP** out of the maximum **33 EP** (97.0% utilization).

This indicates that in this specific transport scenario, the volumetric capacity (EP) acted as the critical bottleneck, rather than the physical weight.

Subsequently, the nearest neighbour algorithm was applied to determine the shortest feasible route connecting all selected nodes. The progression of the route optimization is detailed in table 2, while the final operational synthesis is presented in table 3.

Tab. 2. Iteration matrix of the nearest neighbour routing algorithm

Parameter / Iteration	I	II	III	IV	V	VI
Base node (i)	S	1	5	6	O	7
Node S	x	x	x	x	x	x
Node 1	566	x	x	x	x	x
Node 5	799	1105	x	x	x	x
Node 6	1271	1577	680	x	x	x
Node 7	1771	2077	1163	623	256	x
Node F	2875	3182	2267	1607	1360	1139
Node O	1517	1823	908	527	x	x
Current route (T)	[S, 1]	[S, 1, 5]	[S, 1, 5, 6]	[S, 1, 5, 6, O]	[S, 1, 5, 6, O, 7]	[S, 1, 5, 6, O, 7, F]
Accumulated dist.	566	1671	2351	2878	3134	4273

Source: own elaboration.

As demonstrated in table 2, the nearest neighbour algorithm sequentially builds the optimal route by systematically selecting the unvisited node with the minimum distance from the current location. Starting from Madrid (S), the algorithm successfully plotted a logical geographical progression across the Iberian Peninsula and France, incorporating the mandatory customs clearance in Mulhouse (O), before heading through Germany to the final destination in Warsaw (F).

It is crucial to emphasize that this specific sequence strictly adheres to the LIFO principle, which is a fundamental non time-dependent constraint in cargo handling. Because the selected vehicle is a standard semi-trailer accessible only from the rear doors, the loads collected last (e.g., in Stuttgart) are naturally positioned nearest to the doors, making them ready for the initial unloading phases at the destination hub. This sequencing eliminates the highly inefficient practice of unloading and reloading cargo mid-transit just to access deeper pallets. To synthesize these geographical, logistical, and operational parameters into a coherent overview, a comprehensive route roadmap has been developed and is presented in table 3.

Tab. 3. Route roadmap: Synthesis of operational, logistical, and geographical parameters

Parameter / Stage	**Stop 1 (S)**	**Stop 2 (1)**	**Stop 3 (5)**	**Stop 4 (6)**	**Stop 5 (O)**	**Stop 6 (7)**	**Stop 7 (F)**
1. Client/ Point	Gerber	Lello	Jardin	Parmentier	Gebruder	Europalleten	ALLEGRO
2. Role in system	Start/ Load	Load	Load	Load	Customs	Load	Finish/ Unload
3. City	Madrid	Porto	Toulouse	Paris	Mulhouse	Stuttgart	Warsaw
4. Country	Spain	Portugal	France	France	France	Germany	Poland
5. Coordinates	40.42, -3.71	41.15, -8.61	43.57, 1.45	48.81, 2.37	47.75, 7.31	48.78, 9.20	52.20, 21.16
6. Cargo value (€)	2875	1000	400	650	0	300	0
7. Weight (t)	6.0	5.0	2.0	1.0	0.0	1.5	15.5 (Total)
8. Volume (EP)	8	4	5	10	0	5	32 (Total)
9. Segment dist.	0	566	1105	680	527	256	1139
10. Total dist.	0	566	1671	2351	2878	3134	4273

Source: own elaboration.

The financial and operational impacts of the algorithmic consolidation are summarized by comparing the baseline scenario (main load only) with the optimized scenario (tab. 4).

- **Baseline Scenario:** Transporting only the main load generated a revenue of **2875 EUR** over a direct distance of **2875 km**, resulting in a baseline profitability indicator of **1.00 EUR/km**.
- **Optimized Scenario:** The strategic addition of partial loads increased the total freight value to **5225 EUR**. While the inclusion of additional loading points

extended the total route distance to **4273 km**, the final profitability indicator improved significantly to **1.22 EUR/km**.

Tab. 4. Comparison of economic efficiency indicators before and after optimization

Scenario	Total revenue (€)	Total distance (km)	Profitability indicator (€/km)
Baseline (main load only)	2875	2875	1.00
Optimized (with additional loads)	5225	4273	1.22

Source: own elaboration.

This **22% increase in revenue per kilometre** clearly demonstrates that the marginal cost of extending the route (additional distance) is vastly outweighed by the marginal revenue generated by filling the previously empty cargo space. Specifically, an analysis of the marginal values reveals that the additional 1398 kilometres driven to collect the supplementary loads generated an extra 2350 EUR. This translates to an impressive marginal profitability of 1.68 EUR/km for the diverted segments alone, which strongly pulls up the average profitability of the entire route.

Furthermore, this consolidation strategy significantly improves the absorption of fixed transport costs, such as driver wages, vehicle depreciation, and insurance, distributing them over a substantially larger revenue pool. Beyond the direct financial gains, maximizing the volumetric and weight fill rates directly reduces the carbon footprint per ton-kilometre. By preventing the dispatch of additional, partially empty vehicles to collect these supplementary loads, the optimized scenario strongly aligns with the principles of sustainable logistics and European environmental directives.

Conclusion

The findings of this study confirm that optimizing cargo space utilization through the rigorous application of non time-dependent constraints generates substantial economic benefits. By focusing on the structural limits of the vehicle (weight and volume) rather than delivery schedules, transport companies can significantly increase their revenue per kilometre without expanding their fleets. Specifically, the empirical case study demonstrated a 22% improvement in the core profitability indicator, elevating the average revenue from the baseline 1.00 EUR/km to 1.22 EUR/km, while successfully maximizing the volumetric fill rate to 97%.

The algorithmic approach successfully prevents operational errors, such as exceeding the legal Gross Vehicle Weight (GVW) or miscalculating pallet space, which are common in manual dispatching. Furthermore, the analysis highlights that in typical consumer goods transport, volume (cube) is exhausted much faster than weight, emphasizing the need for tools that evaluate both parameters simultaneously. Additionally, by explicitly incorporating physical cargo handling principles – such as the LIFO rule – during the routing

phase, the model eliminates inefficient mid-transit reloading, thereby reducing labor costs, loading dock times, and the risk of cargo damage.

Ultimately, integrating Knapsack and TSP algorithms into Transportation Management Systems (TMS) allows logistics operators to transition from intuition-based planning to data-driven profitability, directly supporting both enterprise margins and the broader goals of resource efficiency and sustainable transport (Ivanov, Dolgui, Sokolov, 2019; Tokarski, Bielecki, 2024). This digital transition is fully aligned with the evolving logistics paradigms of industrial revolutions, where e-logistics tools become mandatory for operational survival (Bielecki, Galińska, Tokarski, 2024). From a managerial perspective, automating these complex, multidimensional calculations relieve dispatchers from tedious manual tasks, empowering them to focus on higher-value activities such as strategic network planning, exception management, and proactive customer relations.

Despite the significant operational improvements demonstrated, this study acknowledges certain limitations that outline avenues for future research. The current model operates under deterministic assumptions and assumes static spatial constraints (standard Euro-pallets). Future studies should aim to integrate the non time-dependent physical constraints explored in this paper (weight, volume, LIFO) with the time-dependent variables analysed in the previous phase of this research (strict delivery windows), creating a holistic Vehicle Routing Problem with Time Windows and 3D Loading Constraints (3L-CVRPTW) (Iori, Salazar-González, Vigo, 2007; Gendreau et al., 2008). Furthermore, incorporating stochastic elements – such as real-time order variations, fluctuating traffic conditions, or non-standard cargo geometries – would further bridge the gap between theoretical operations research and the dynamic reality of modern supply chains (Ritzinger, Puchinger, Hartl, 2016).

References

Bielecki M., Galińska B., Tokarski D. (2024), *Determinants and trends of logistics paradigms in industrial revolutions*, "Economics and Environment", vol. 90(3), pp. 1–14, https://doi.org/10.34659/eis.2024.90.3.780

Crainic T.G. (2000), *Service network design in freight transportation*, "European Journal of Operational Research", vol. 122(2), pp. 272–288, https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00233-7

Crainic T.G., Laporte G. (1997), *Planning models for freight transportation*, "European Journal of Operational Research", vol. 97(3), pp. 409–438, https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00298-6

Dantzig G., Fulkerson R., Johnson S. (1954), *Solution of a large-scale traveling-salesman problem*, "Journal of the Operations Research Society of America", vol. 2(4), pp. 393–410, https://doi.org/10.1287/opre.2.4.393

The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2019) 640 final (2019).

Fajczak-Kowalska A., Tokarski D. (2023), *Analysis of transport efficiency in Poland on the example of cargo transport*, "Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series", vol. 188, pp. 57–73, https://doi.org/10.29119/1641-3466.2023.188.5

Fudali J. (2026), *Optimizing cargo space utilization in road transport with time-dependent constraints*, "Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie", nr 1(42), pp. 129–141, https://doi.org/10.25312/ziwgib.867

Gendreau M., Iori M., Laporte G., Martello S. (2008), *A Tabu search heuristic for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints*, "Networks", vol. 51(1), pp. 4–18, https://doi.org/10.1002/net.20192

Iori M., Salazar-González J.J., Vigo D. (2007), *An exact approach for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints*, "Transportation Science", vol. 41(2), pp. 253–264, https://doi.org/10.1287/trsc.1060.0169

Ivanov D., Dolgui A., Sokolov B. (2019), *The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics*, "International Journal of Production Research", vol. 57(3), pp. 829–846, https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1488086

Martello S., Toth P. (1990), *Knapsack problems: Algorithms and computer implementations*, Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

McKinnon A., Browne M., Whiteing A., Piecyk M. (2015), *Green logistics: Improving the environmental sustainability of logistics*, London: Kogan Page.

Piecyk M.I., McKinnon A.C. (2010), *Forecasting the carbon footprint of road freight transport in 2020*, "International Journal of Production Economics", vol. 128(1), pp. 31–42, https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.08.027

Ritzinger U., Puchinger J., Hartl R.F. (2016), *A survey on dynamic and stochastic vehicle routing problems*, "International Journal of Production Research", vol. 54(1), pp. 215–231, https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1043403

Savy M., Burnham J. (2013), *Freight transport and the modern economy*, New York: Routledge

Tokarski D., Bielecki M. (2024), *Conditions and possibilities of using e-logistics in manufacturing enterprises*, "Economics and Environment", vol. 88(1), pp. 1–11, https://doi.org/10.34659/eis.2024.88.1.725

Tokarski D., Łuczak Ł. (2023), *Optimization of logistics processes in the sustainable development of manufacturing enterprises*, "Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series", vol. 178, pp. 683–692, https://doi.org/10.29119/1641-3466.2023.178.37

About the Author

Jan Fudali – holds a master's degree in logistics in the economy from the Faculty of Economics and Sociology, University of Lodz.

O autorze

Jan Fudali – absolwent studiów magisterskich na kierunku logistyka w gospodarce, na Wydziale Ekonomiczno-Socjologicznym Uniwersytetu Łódzkiego.

Ten utwór jest dostępny na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe.

Open Access

Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie nr 2(43)/2026
ISSN 2391-5129

Damian Kociemba https://orcid.org/0000-0002-6604-858X
Independent scholar
e-mail: kociemba.damian.kd@gmail.com

Practical implementation of an AI model (Ministral 3B) in the logistics of dangerous goods

Praktyczne wdrożenie modelu sztucznej inteligencji Ministral 3B w logistyce towarów niebezpiecznych

https://doi.org/10.25312/ziwgib.888

Abstract

This article analyses the practical implementation of a local large language model (Ministral 3B) supported by Retrieval-Augmented Generation (RAG) in dangerous goods logistics, with a focus on verifying ADR exemptions, reducing AI hallucinations, and maintaining data privacy. The study uses a critical literature review and an empirical case study. The model was tested locally under stringent parameter constraints, including temperature 0.1 and strict system instructions. The analysis covered one comprehensive query concerning the transport of goods packed in limited quantities (LQ). Model responses were assessed for substantive compliance with ADR regulations and the commentary of a Dangerous Goods Safety Adviser (DGSA), comparing outputs generated with and without RAG. The results indicate that the RAG-supported model synthesized legal information more accurately and substantially reduced hallucinations in the analysed case compared with the raw model, which fabricated non-existent legal structures. However, conservative parameter settings may cause the omission of minor technical nuances. The findings suggest that local LLMs combined with RAG can support DGSA work, but only as auxiliary tools subject to continuous expert verification.

Keywords: artificial intelligence, Large Language Models (LLM), Retrieval-Augmented Generation (RAG), ADR Agreement, dangerous goods logistics, AI hallucinations

Streszczenie

Celem artykułu jest analiza praktycznego wdrożenia lokalnego dużego modelu językowego (Ministral 3B) wspieranego architekturą RAG (Retrieval-Augmented Generation) w logistyce towarów niebezpiecznych, z naciskiem na weryfikację wyłączeń z przepisów umowy ADR przy jednoczesnym ograniczeniu zjawiska halucynacji AI i zachowaniu pełnej prywatności danych. W pracy zastosowano krytyczny przegląd literatury oraz metodę empirycznego studium przypadku. Model przetestowano w środowisku lokalnym przy rygorystycznych ograniczeniach parametrów (temperatura 0.1, ścisłe instrukcje systemowe). W ramach badania przeanalizowano jedno kompleksowe zapytanie dotyczące przewozu towarów pakowanych w ilościach ograniczonych (LQ). Odpowiedzi modelu oceniano pod kątem zgodności merytorycznej z przepisami ADR i komentarzem doradcy ds. bezpieczeństwa ADR (DGSA), porównując warianty z RAG i bez niego. Eksperyment wykazał, że model wspierany przez RAG skutecznie syntetyzuje informacje prawne, niemal całkowicie eliminując zjawisko halucynacji, któremu uległ model „surowy" (fabrykujący nieistniejące struktury prawne). Zauważono jednak, że bardzo zachowawcze ustawienia parametrów mogą prowadzić do pomijania drobnych niuansów technicznych przez algorytm. Integracja lokalnych modeli LLM z architekturą RAG stanowi bezpieczne, tanie i wysoce użyteczne narzędzie wspierające pracę doradców ds. bezpieczeństwa. Niemniej, ze względu na rygorystyczny charakter przepisów transportowych, sztuczna inteligencja musi pozostać jedynie narzędziem pomocniczym, podlegającym stałej, merytorycznej weryfikacji przez wykwalifikowany personel.

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, duże modele językowe (LLM), Retrieval-Augmented Generation (RAG), umowa ADR, logistyka towarów niebezpiecznych, halucynacje AI

Introduction

In an era of widespread fascination with Large Language Models (LLMs) such as GPT-4 or Claude, researchers often overlook the fact that in rigorously regulated areas – to which the logistics of dangerous goods undoubtedly belongs – the key factor for success is not the model's "creativity", but its deterministic precision. For dangerous goods safety advisers (DGSAs) and employees involved in operations related to the movement of dangerous goods, the priority is not generating multi-page essays, but obtaining an instantaneous and error-free answer to a specific question regarding the regulations contained in the ADR Agreement.

This article analyses the practical implementation of the Ministral 3B model as an assistant in the process of verifying conditions for exemptions from regulations. The choice of a model with a relatively small scale (3 billion parameters) was dictated by pragmatism – the desire to maintain full locality of the process on standard office hardware. This solution is dedicated to logistics companies that focus primarily on administrative and

operational tasks and do not possess advanced computing infrastructure, while simultaneously prioritizing data security.

The following research hypothesis is formulated in this article: the use of the Ministral 3B language model in combination with RAG (Retrieval-Augmented Generation) architecture and rigorous parameter configuration allows for a tool with high substantive utility that effectively limits the phenomenon of AI hallucinations in the interpretation of fragments of ADR Agreement regulations, while maintaining full privacy of user data.

To verify the formulated hypothesis, a set of tools was used to run the model in a local environment. A key aspect was the configuration of the model's "decision variables" to maximally reduce its tendency to confabulate in favour of a faithful synthesis of the provided material. These variables, along with a description of the tools, are included in the final section of the publication.

To verify the research hypothesis and provide a reliable approach to the issues discussed, this work utilizes a critical analysis of the literature and the empirical case study method. The structure of the article is designed to clearly guide the reader from theoretical foundations to conclusions from practical implementation. First, the evolution of artificial intelligence and its inherent weaknesses (such as the phenomenon of hallucinations) are outlined. Next, contemporary applications of AI in the logistics industry are discussed, serving as a starting point for the main research part of the study, which presents the test environment and conducts a comparative analysis of the results generated by the model supported by RAG architecture versus the model deprived of this context. The whole concludes with an evaluation of the obtained results.

The evolution of artificial intelligence

The fascination with machines mimicking human thought dates back to ancient times; however, it was Aristotle who laid the foundations for modern logic by introducing the concept of syllogisms (Rai, 2024: 2). The formal birth of the field of artificial intelligence (AI) is dated to 1956, when during the Dartmouth Conference, American computer scientist John McCarthy first used this term (Alalaq, 2024: 3; Rai, 2024: 5–6). Over the following decades, the development of AI was primarily based on symbolic systems and so-called expert systems, such as the chemical DENDRAL or medical MYCIN from the turn of the 1960s and 1970s (Singh, Banerjee, Gosh, 2025: 4–5). These required rigorous, manual coding of thousands of decision rules, which made them useful in strictly defined areas, yet extremely rigid and incapable of independently understanding the nuances of natural language.

To realize the dynamics of contemporary technological progress, it is worth looking back just a few years. In an article published in 2019, the author of this article analysed the implementation of artificial neural networks in the process of creating autonomous vehicles. At that time, commercial applications of AI in transport and logistics were based on so-called Narrow Artificial Intelligence (Weak AI). These systems focused on mathematical machine learning – the laborious selection of weights for artificial

neurons to process sensory signals. Their task was to trigger pre-defined reactions, such as maintaining the vehicle in its lane or activating emergency brake assist (EBA). The research problems of that period centred on technical limitations of algorithms and the lack of legal regulations for machines making decisions on the road (Kociemba, 2019: 171, 176, 178–179, 185). These tools, although revolutionary, remained "blind" to complex context – the machine was able to stop a truck in front of an obstacle, but depending on the training of the algorithm (i.e., the presentation of a given event to the algorithm during the learning stage), independent and safe avoidance of said obstacle was not always possible.

The turning point that moved artificial intelligence from the era of simple image analysis and rigid algorithms to the era of fluent text understanding was the introduction of the Transformer architecture. The "self-attention" mechanism used within it allowed models to analyse vast portions of text in parallel and understand the context of words regardless of their position in a sentence. This discovery led to an unprecedented explosion of so-called Large Language Models (LLMs). In 2020, the GPT-3 model was presented with a scale of 175 billion parameters, which proved the ability for "zero-shot" learning – it was able to generate text, translate, and solve logical problems without the necessity of previously programming specific rules for it. The release of ChatGPT at the end of 2022 proved, in turn, that these models are capable of fluently conducting multi-turn conversations and reasoning in the face of ambiguity (Alalaq, 2024: 6; Rai, 2024: 18; Singh, Banerjee, Gosh, 2025: 6, 17–18, 21–22, 25).

Equally important, the years 2023–2024 brought a flood of powerful open-source models, such as the LLaMA or Mistral families, to which the Ministral 3B model analysed in this study belongs. They offered performance close to technological giants, but with drastically lower demand for computing power and the possibility of full control over data privacy (Singh, Banerjee, Gosh, 2025: 26, 29–30).

Thanks to this very evolution – from narrow algorithms physically controlling a vehicle in 2019 to lightweight, open (and constantly developed) generative models – it became possible to realize the implementation described in this article. Personnel involved in operations related to the transport of dangerous goods can gain an innovative supporting tool that optimizes the manual document search process. However, as further analysis will show, this technology – although it reduces cognitive debt and drastically shortens regulation verification time – does not eliminate the human factor, remaining a supporting tool that requires constant substantive verification by trained personnel.

Contemporary problems related to the development of AI

Entering the world of artificial intelligence, it is easy to succumb to initial fascination. This phenomenon is perfectly illustrated by what researchers describe as an adapted Dunning-Kruger effect in the context of using AI. Initially, the user is full of enthusiasm, believing that thanks to AI, they will achieve immediate and error-free results. Over time, however, they hit a wall – wasting time on verification, receiving fabricated data,

and beginning to understand the technology's limitations. Only overcoming this "trough of disillusionment" leads to a conscious and mature treatment of the model simply as another tool (Salvagno, Taccone, Gerli, 2023: 1–2).

The most serious problem of generative artificial intelligence (LLMs) is so-called hallucinations. These occur when the model generates false, misleading, or entirely fabricated information, yet presents it with immense confidence and impeccable linguistic fluency (Joshi, 2025: 38). These are not mere typos. Models can create coherent-sounding but completely non-existent bibliographic references, fabricating well-known authors and publication titles (Salvagno, Taccone, Gerli, 2023: 1). In specialized fields such as law or medicine, the rates of such hallucinations can reach double digits. This problem stems from the architecture of the models themselves. LLMs are, by design, powerful statistical engines that generate text token-by-token (word-by-word), attempting to predict what should come next without true, human "understanding". They lack grounding in reality. When faced with uncertainty, the model prefers to fill knowledge gaps with "plausible-sounding" information, prioritizing linguistic fluency over factual truth (Joshi, 2025: 39).

One must keep in mind that AI models are only as good as the data on which they were trained. In industrial and logistics applications, insufficient, noisy, or incorrect data fed into the model can lead to erroneous predictions, which in turn risks operational disruptions (Sinha, Lee, 2024: 4). At this point, researchers draw attention to an extremely intriguing aspect: AI hallucinations are largely an extension of "human hallucinations". LLMs learn from massive datasets from the Internet, simultaneously absorbing human biases, stereotypes, cognitive errors, and even deliberate misinformation. An AI model simply serves as a digital mirror of human imperfection. If we provide it with a contaminated knowledge base, it will perpetuate and automate that imperfection (Tlili, Burgos, 2025: 68–69).

Additionally, artificial intelligence is exposed to so-called data drift and concept drift. Regulations, the working environment, and technologies are constantly changing. A model trained on static, historical data loses its precision over time because statistical relationships between variables no longer correspond to the new reality (Sinha, Lee, 2024: 7). The absence of mechanisms for continuous learning and adaptation means that an expert can quickly become a dilettante.

Given the above limitations – from the tendency to confabulate and the "inheritance" of human errors to the susceptibility to obsolescence – one might conclude that artificial intelligence is a tool too unpredictable for the business environment. Meanwhile, as researchers note, a complete rejection of this technology in the face of growing market pressure would be a mistake (Sinha, Lee, 2024: 1). The transport and logistics industry, operating on massive volumes of data and under constant pressure to optimize time and costs, now treats AI not as an optional curiosity but as a strategic necessity (Sadiku, Ajayi, Sadiku, 2026: 171, 172). The key to success is therefore not expecting absolute infallibility from algorithms, but building systems that mitigate the risks described above. Awareness of these technical "traps" constitutes the foundation for the proper design and implementation of solutions based on artificial intelligence.

Using AI in logistics

Although AI still struggles with problems, the benefits of its implementation in logistics are invaluable. Skilful risk management allows translating theory into measurable optimization.

Contemporary logistics relies on complex information systems. AI models are becoming a key element of these architectures, taking them to a higher level of efficiency (Dyczkowska, Olkiewicz, Królikowski, 2025: 5199–5202, 5204; Sadiku, Ajayi, Sadiku, 2026: 173–174):

- Supply Chain Management (SCM): these systems are evolving from reactive tools into intelligent, predictive networks. Machine learning (ML) allows for more accurate demand forecasting and delivery time optimization by analysing historical data while taking into account external factors, such as weather or the geopolitical situation. As a result, logistics managers can make more proactive decisions;
- Warehouse Management System (WMS): AI and ML drastically reduce operational errors and optimize resource utilization in the warehouse. Advanced algorithms can continuously modify the warehouse structure and the roadmap for equipment (e.g., forklifts or autonomous robots) to minimize so-called "empty runs". The system can intelligently group products that are frequently ordered together and place them in the same zone, which significantly accelerates the order picking process;
- Enterprise Resource Planning (ERP): implementing AI modules in ERP systems automates, among other things, accounting processes and procurement management, reducing the risk of human error. Algorithms also monitor user behavior, warning of unauthorized access attempts.

Another major application of artificial intelligence in transport is route optimization. AI analyses gigantic volumes of data from satellite navigation and road sensors, determining the most cost-effective (in terms of time and money) and ecological routes. This streamlines the "last mile" – the most expensive segment of the logistics chain (Dyczkowska, Olkiewicz, Królikowski, 2025: 5199; Sadiku, Ajayi, Sadiku, 2026: 173).

AI also plays a massive role in predictive maintenance. Instead of reacting to a failure or relying solely on a servicing schedule, algorithms – based on data flowing directly from machines and trucks – predict the moment when a part is most likely to fail. Such a strategy significantly lowers repair costs and minimizes the risk of unexpected downtime (Sadiku, Ajayi, Sadiku, 2026: 174).

Artificial intelligence is changing the way clients and employees communicate with companies. Fast-reacting chatbots – based on natural language processing (NLP) – not only provide information about a shipment or carrier, but are also capable of solving simple problems, thereby relieving office personnel (Dyczkowska, Olkiewicz, Królikowski, 2025: 5200; Sadiku, Ajayi, Sadiku, 2026: 174).

Since models based on natural language processing (NLP) successfully automate processes and support communication, the natural next step is adapting them to one of

the most demanding operational areas – the interpretation of rigorous legal regulations. The implementation of such a "digital expert" in the specific environment of dangerous goods transport (ADR) does not, however, have to involve multi-million investments in cloud infrastructure or the risk of leaking sensitive operational data. The experiment presented in the following section serves as a bridge between the general capabilities of AI and pragmatic practice, proving that with appropriate configuration, precise analysis of legal texts can be conducted entirely locally.

Description and conclusions from the experiment

In accordance with the assumption of using standard office equipment, the tests were conducted on a computer equipped with 16 GB of RAM, which, as mentioned in the introduction, is intended to prove the accessibility of AI technology for an average transport enterprise.

The software layer consisted of: (1) LM Studio: a runtime environment for the Ministral 3B model, providing control over the processes of loading model layers into memory, and (2) LLMStudio: a program responsible for indexing the content of Volume 1 of the ADR Agreement and dynamically providing relevant text fragments to the model at the time of asking a question. This program contains a RAG mechanism, the task of which is to provide the model running in the LM Studio environment with ADR Agreement regulations, from which the model selects appropriate paragraphs (most often containing appropriate keywords), and then, based on them, synthesizes the answer.

In the process of implementing the AI assistant, rigorous system instructions were applied. The model was instructed on its function as a "specialist in the field of the ADR Agreement" with the following restrictions:

- Source exclusivity: the model received a categorical ban on using general (pre-training) knowledge if the answer was found in the provided document;
- Temperature (0.1): this parameter was set to the minimum level to "freeze" the model's creativity. In the logistics of dangerous goods, where an error in interpretation can result in massive losses or financial sanctions, predictability of the answer is a paramount value;
- Missing data management: the model was instructed that in the absence of precise information in the source text, it should provide the answer: "No legal basis found in the provided fragment of the ADR Agreement", instead of attempting extrapolation.

The above settings are, in fact, technical "muzzles" imposed to protect the verification process against the algorithm's innate creativity and hallucinations. Understanding the weaknesses and challenges outlined earlier – the tendency to fabricate facts, sensitivity to data quality, and unpredictability resulting from the "black box" problem – fully justifies the use of such strict rigors. The extremely low temperature and forcing the use exclusively of the provided PDF files via the RAG architecture were a necessary condition

for artificial intelligence to even be considered as useful support for a DGSA, rather than merely a stochastic text generator.

An important measure was the deliberate selection of data. The model was provided only with a truncated version of Volume 1 of the ADR Agreement. Extensive tables were removed from it (including: tables in part one relating to the list of high consequence dangerous goods, tables in classes: 1 (explosives), 2 (gases), 3 (flammable liquids), 4.1 (self-reactive substances), 5.2 (organic peroxides), and 7 (radioactive material), as well as the dangerous goods list under 3.2). This decision stemmed from the desire to optimize the model's work – providing an excessive amount of text (including Volume 2, which does not contain regulations crucial for this study) could negatively affect the precision of the answers. In the RAG architecture, it is crucial to provide only relevant fragments so as not to "distract" the algorithm's attention. The author's experience gained during the work on this publication indicates that small language models can exhibit difficulties in interpreting data from columns and rows, which poses a risk of incorrectly citing weight limits or UN numbers. Focusing on descriptive (textual) fragments allowed for a higher quality of synthesis. However, it is worth noting that when using more powerful computing units and larger models, including tables in the knowledge base would be desirable, provided it is preceded by a process of optimizing their loading format (e.g., conversion to an appropriate format or applying an Optical Character Recognition (OCR) layer, since some of them are low-quality screenshots).

To verify the effectiveness of these settings, the following section presents a comparison of the results generated by the "raw" model and the RAG-fed model, using the example of regulations regarding exemptions for limited quantities (LQ).

To verify the formulated hypothesis, the model was asked the question: "Based on the provisions of the ADR Agreement, provide all technical conditions for the LQ exemption". The table below compares the model's output with the commentary of an ADR adviser (DGSA).

Tab. 1. AI model response and author's comment

AI model response (removed excess formatting, original spelling preserved)	**Author's comment**
Based on Chapter 3.4 of the ADR Agreement (Volume 1) the technical conditions for the exemption of goods in limited quantities (LQ) are as follows: --- 1. Basic verification – Check Column (7a) of Table A – a value of "0" indicates a prohibition of the LQ exemption for a given substance. ---	1. The model correctly addressed the logic of action in the case of transport of dangerous goods (paraphrased 3.4.1).

AI model response (removed excess formatting, original spelling preserved)	Author's comment
2. Gross mass limits of a package – Packages (inner packagings within an outer packaging): Maximum 30 kg. – Shrink-wrapped or stretch-wrapped trays: Maximum 20 kg. ---	2. The model correctly addressed the maximum limits (paraphrased from 3.4.2)
3. Packaging requirements – Class 8 liquid substances (packing group II): – In glass/porcelain packagings, they must be enclosed in rigid intermediate packagings. – Fragile inner packagings (glass, ceramics, stoneware): – Must be secured against breakage within the outer packaging, in accordance with construction requirements (e.g., 6.1.4 ADR). ---	3. The model correctly provided packaging requirements by referring to the provisions in 3.4.4, 3.4.3 and 3.4.1, but omitted the information that for aerosols and small gas receptacles the use of inner packaging is not necessary.
4. Marking of parcels – Diamond mark (square shape set at a 45° angle): – Top and bottom portions and the border line – black. – Central area – white or contrasting. – Minimum dimentions – 100 × 100 mm, minimum width of the border line = 2 mm. – Possibility of reduction to 50 × 50 mm (1 mm line) if the mark remains clearly visible. ---	4. The model correctly described the marking of packages, referring to 3.4.7 (the model uses the terminology "parcel" as a synonym for "package", which is semantically acceptable, although it does not appear explicitly in 3.4). Note that the model used the word "dimentions" instead of "dimensions".
5. Overpacks – Additional marking: – The inscription "OVERPACK" (letter height ≥ 12 mm). – If the marks on the packages inside are not visible, the LQ diamond mark must be placed on the overpack. ---	5. The model correctly described the marking of overpacks (i.e. packaging in which multiple items are placed – e.g. on a pallet) using the information provided in 3.4.11, but omitted the requirement to use the official language of the country of origin and (if required) English, French or German.

AI model response (removed excess formatting, original spelling preserved)	Author's comment
6. Fees and transport obligations – The consignor must provide the carrier with documented information on the total gross mass of LQ goods before the start of the transport. – Transport units >12 t: – Marking on the front and rear (250 × 250 mm diamonds) only when the mass of LQ goods exceeds 8 tonnes gross per unit.	6. The model introduced an artifact – the use of the word "fees" is a hallucination – the ADR Agreement does not define them. The information provided below is generally correct; the model correctly used the information provided in 3.4.12, but did not supplement it with container markings (two fronts and two sides).

Source: own study based on the AI model and the Government Statement of 13 March 2023 on the entry into force of amendments to Annexes A and B to the Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR), done at Geneva on 30 September 1957.

It should be noted that the above result was the effect of multiple iterations and parameter tuning.

To definitively confirm the effectiveness of the RAG architecture, the author conducted a control test. After obtaining a satisfactory response, the knowledge base in the form of ADR Agreement regulations was "detached", leaving only the same general system instructions. The identical question was asked, to which the model replied: "There are no unambiguous, general technical conditions for exemption for the (LQ) category in the ADR Agreement […]. According to ANNEX III and ANNEX IV, there are general rules for hazardous liquids". This result is a hallucination (and partially a confabulation). The model fabricated a structure of annexes that the ADR Agreement does not use in this context. This proves that without an "external memory" in the form of RAG, an advanced language model is not useful in operational practice.

The conducted experiment yields promising conclusions for entities involved in operations handling dangerous goods:

– The use of RAG is a "ready-to-use" solution. In contrast to time-consuming and costly model fine-tuning, RAG allows for an instantaneous update of the knowledge base with every change in the ADR regulations (which occurs cyclically every 2 years);
– Obtaining a reliable assistant does not require large financial outlays or specialized programming knowledge.

Despite promising results, the implementation of the AI model demonstrated a tendency to omit detailed requirements, such as linguistic nuances in marking or specific technical details regarding transport units. It should be noted, however, that the observed deficits may not result from the inherent limitations of the Ministral 3B model, but from the conservative configuration strategy adopted in this study. The use of technical "safeguards" in the form of minimum temperature and restrictive instructions intended to protect against hallucinations may have paradoxically limited the algorithm's ability to synthesize

regulations scattered throughout the text. This technological compromise between precision and the ability to connect facts further justifies the necessity for constant supervision by an ADR adviser and qualified personnel over the process of generating and verifying answers. In their current form, LLM models should be treated solely as a supplementary tool, the main task of which is to reduce the time spent manually searching the extensive documentation of the ADR Agreement.

Directions for future research and development perspectives

The case study presented in this paper is merely an introduction to a broader discussion on the implementation of local language models in the logistics of dangerous goods. The promising results of the experiment pave the way for further stages of research and development, among which the following should be prioritized:

- Optimization of structured data processing: further research should focus on testing methods for integrating extensive tables (e.g., Table A from Chapter 3.2 of the ADR Agreement) with the RAG knowledge base. This requires investigating the effectiveness of advanced OCR (Optical Character Recognition) techniques and converting tables into formats semantically understandable to LLM models;
- Improvement of vectorization and chunking techniques: to eliminate the problem of omitting information scattered throughout the text (such as language requirements for overpacks), it is necessary to test other text splitting algorithms (so-called chunking) and apply hybrid search (combining semantic search with keyword search);
- Evolution from an assistant to an agent: a forward-looking direction is the transition from a passive model (answering questions) to agentic systems that will be capable of proactive action – for example, the automatic verification of the correctness of a generated transport document based on an uploaded scan of a waybill.

The implementation of artificial intelligence in logistics (not only of dangerous goods) is no longer a thing of the distant future, but a technological reality. The democratization of access to AI tools means that the barrier to entry for these innovations has drastically decreased. The real challenge for the industry today is not access to technology, but the skilful and responsible management of it. AI will not replace experts – it will only replace those experts who do not know how to use AI.

References

Alalaq A. (2024), *The History of the Artificial Intelligence Revolution and the Nature of Generative AI Work*, "DS Journal of Artificial Intelligence and Robotics", vol. 2(4), pp. 1–24.

Dyczkowska J., Olkiewicz M., Królikowski T. (2025), *The use of artificial intelligence in logistics information systems*, "Procedia Computer Science", no. 270, pp. 5198–5206.

Government Statement of 13 March 2023 on the entry into force of amendments to Annexes A and B to the Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR), done at Geneva on 30 September 1957 (Oświadczenie rządowe z dnia 13 marca 2023 r. w sprawie wejścia w życie zmian do załączników A i B do Umowy dotyczącej międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR), sporządzonej w Genewie dnia 30 września 1957 r.).

Joshi S. (2025), *Comprehensive Review of AI Hallucinations: Impacts and Mitigation Strategies for Financial and Business Applications*, "International Journal of Computer Applications Technology and Research", vol. 14(6), pp. 38–50.

Kociemba D. (2019), *Wykorzystanie metod sztucznej inteligencji w tworzeniu pojazdów autonomicznych*, "Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie", vol. 28(1), pp. 171–188.

Rai D. (2024), *Artificial Intelligence Through Time: A Comprehensive Historical Review*, Tribhuvan University, Institute of Science and Technology, https://www.researchgate.net/profile/Dilli-Hang-Rai/publication/385939923_Artificial_Intelligence_Through_Time_A_Comprehensive_Historical_Review/links/676fb15600aa3770e0c2516f/Artificial-Intelligence-Through-Time-A-Comprehensive-Historical-Review.pdf [accessed: 13.10.2026].

Sadiku M., Ajayi S., Sadiku J. (2026), *Artificial Intelligence in Logistics*, "International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)", vol. 10(1), pp. 171–178.

Salvagno M., Taccone F., Gerli A. (2023), *Artificial intelligence hallucinations*, "Critical Care" vol. 27, articele no. 180.

Singh G., Banerjee T., Ghosh N. (2025), *Tracing the evolution of artificial intelligence: A review of tools, frameworks, and technologies (1950–2025)*, preprint, https://doi.org/10.31224/5802

Sinha S., Lee Y. (2024), *Challenges with developing and deploying AI models and applications in industrial systems*, "Discover Artificial Intelligence", vol. 4, article no. 55.

Tlili A., Burgos D. (2025), *AI Hallucinations? What About Human Hallucination?! Addressing Human Imperfection Is Needed for an Ethical AI*, "International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence", vol. 9(2), pp. 68–71.

About the Author

Damian Kociemba – graduate of engineering studies in transport and master's studies in management. He is the co-author and author of several academic and specialist publications in the fields of logistics, safety, and optimization. He holds a safety advisor certificate for the transport of dangerous goods by road (ADR).

O autorze

Damian Kociemba – absolwent studiów inżynierskich na kierunku transport oraz magisterskich na kierunku zarządzanie. Współautor i autor kilkunastu publikacji naukowych i specjalistycznych z zakresu logistyki, bezpieczeństwa i optymalizacji. Posiadacz świadectwa doradcy ds. bezpieczeństwa przewozu towarów niebezpiecznych w transporcie drogowym (ADR).

Ten utwór jest dostępny na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe.

Open Access

Iryna Babets
Determinants of Poland's economic growth in the context of inbound tourism: Linear regression modelling

Bartosz Rzętkiewicz
Problem jakości wiedzy generowanej przez AI w decyzjach menedżerskich

Gabriel Kagankiewicz, Wiktoria Urbańska
Zarządzanie bezpieczeństwem informacji w instytucjach publicznych

Roksana Sztajnkowska, Natalia Milczarczyk
Zakład karny jako organizacja publiczna – wyzwania nowoczesnego zarządzania

Kacper Minda, Sebastian Seliga
Innowacyjne podejście do zarządzania bezpieczeństwem państwa w walce z terroryzmem

Łukasz Żoczek, Arkadiusz Kocot, Klaudiusz Grübel
Efektywność ekonomiczna branży wodociągowo-kanalizacyjnej w aspekcie zrównoważonego rozwoju

Krzysztof Rabiej
The use of artificial intelligence in business management

Jan Fudali
Optimizing cargo space utilization in road transport with non time-dependent constraints

Damian Kociemba
Practical implementation of an AI model (Ministral 3B) in the logistics of dangerous goods

WYDAWNICTWO
AKADEMII HUMANISTYCZNO-EKONOMICZNEJ
W ŁODZI