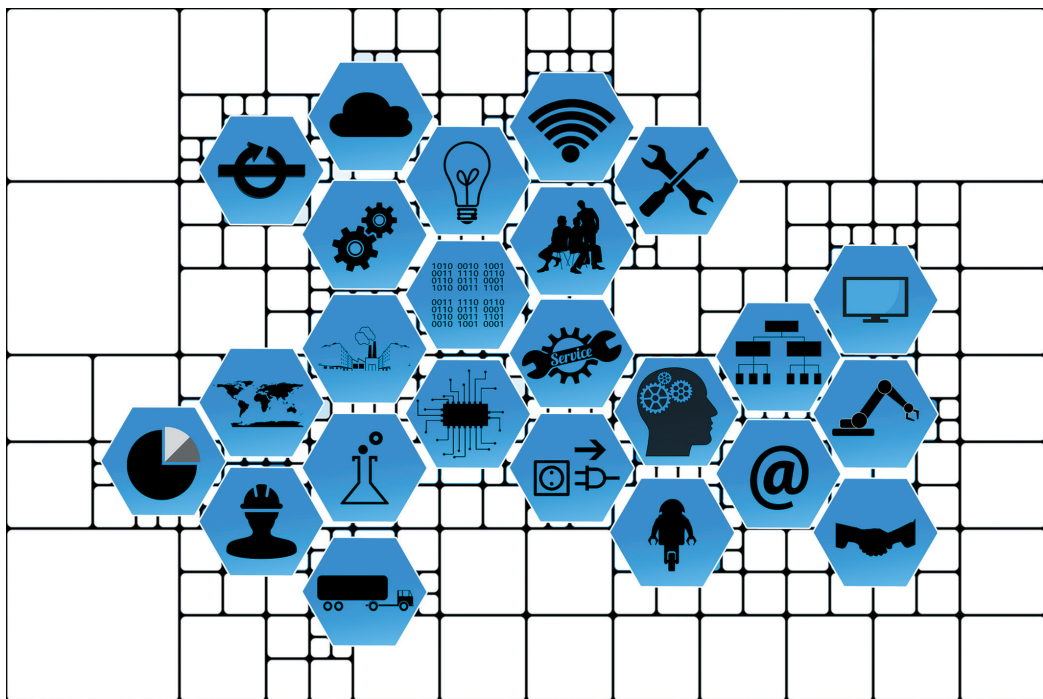


Monografia naukowa



TRANSPORT I LOGISTYKA W DOBIE INŻYNIERII MECHANICZNEJ

Tom IV

pod redakcją
prof. dr hab. Macieja Kubonia

Kraków 2025

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

**TRANSPORT I LOGISTYKA
W DOBIE INŻYNIERII MECHANICZNEJ
TOM IV**

MONOGRAFIA

pod redakcją
prof. dr hab. Macieja Kubonia

Kraków, 2025

Wydawca: Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej

Opracowanie redakcyjne:

Mgr inż. Elżbieta Olech

Recenzenci:

Dr hab. inż. Stanisław Parafiniuk prof. Uczelni

– UP Lublin

Dr hab. inż. Jakub Sikora, prof. URK

– URK Kraków

Korekta, łamanie oraz projekt okładki:

Zbigniew Szpila

© Copyright by Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków 2025

Wydanie I

ISBN 978-83-64377-73-0

Redakcja nie odpowiada za treść i formę materiałów nadesłanych.

Opinie wyrażone w artykułach są wyłącznymi opiniami ich autorów.

Wszelkie prawa zastrzeżone.

Rozpowszechnianie i kopiowanie całości lub części publikacji zabronione bez pisemnej zgody autorów

Druk i oprawa:

NOVA SANDEC

ul. Lwowska 143, 33-300 Nowy Sącz

tel. +48 (18) 441 02 88

e-mail: biuro@novasandec.pl; <http://www.novasandec.pl>

Ark. wyd. 16,5; ark. Druk. 15

Nakład: 100 egz.



Wydawnictwo „INŻYNIERIA ROLNICZA”

ul. Balicka 116B

30-149 Kraków

<https://agriceng.org>; e-mail: redakcja@ptir.org

Spis treści

Bialik A., Olech E., Kornas R., Kwaśniewski D., Kuboń M., Malaga-Toboła U., Gródek-Szostak Z.: Zarządzanie niezgodnościami w aspekcie jakości produktu końcowego	5
Bońdos K., Olech E., Hebda T.: Ocena organizacji dystrybucji produktów w wybranej firmie	21
Cupiał M., Ponikiewicz M., Faber Ł.: Cyberbezpieczeństwo w obszarze logistyki	41
Gródek-Szostak Z., Olech E., Gajda J. S., Furyk-Grabowska K.: Logistyka produkcji jako narzędzie wspierające realizację celów zrównoważonego rozwoju	51
Kielbasa P., Pysz P., Zagórda M., Łojas N.: Identyfikacja stopnia koncentracji uwagi kierowcy samochodu osobowego na wybranym trakcie górskim	63
Klepacki B.: Agrologistyka jako specyficzny rodzaj działalności logistycznej	91
Krakowiak-Bal A., Baster S.: Wybrane metody zarządzania zapasami – empiryczna weryfikacja	105
Kuboń M., Korpala R., Dudziak A., Zając G., Słowik T.: Identyfikacja i ocena ryzyka na przykładzie łańcucha dostaw	121
Malaga-Toboła U., Putkowski B., Grodecki M., Kuboń M., Kwaśniewski D.: Sezonowość i zmienność wolumenu towarów jako determinanty innowacyjnego zarządzania przepływem logistycznym	145
Ormian M., Topczewska J., Augustyńska-Prejsnar A.: Procesy logistyczne w wybranych przedsiębiorstwach przetwórstwa mięsnego na Podkarpaciu	159
Putkowska E., Olech E., Hebda T., Kornas R., Brzywczyk B.: Uwarunkowania organizacyjno-techniczne przewozu ładunków specjalnych – studium przypadku	169
Pysz P., Kielbasa P., Zagórda M.: Ocena dostępności transportu publicznego w logistyce miejskiej z wykorzystaniem map izochronicznych i wskaźników syntetycznych	185
Trzyniec K., Kozłowski M.: Analiza i ocena poziomu hałasu wewnątrz różnych rodzajów pojazdów	199
Zagórda M., Pysz P., Kielbasa P.: Bezzałogowe statki powietrzne w logistyce	213
Żurek W., Kwaśniewski D., Kuboń M., Malaga-Toboła U., Olech E.: Ocena organizacji i kosztów transportu całopojazdowego i częściowego w wybranej firmie	241

ZARZĄDZANIE NIEZGODNOŚCIAMI W ASPEKcie JAKOŚCI PRODUKTU KOŃCOWEGO

**Aleksandra Bialik¹, Elżbieta Olech², Rafał Kornas^{2,4}, Dariusz Kwaśniewski²,
Maciej Kuboń^{2,3}, Urszula Malaga-Tobola², Zofia Gródek-Szostak⁵**

¹ Dyplomantka w Katedrze Inżynierii Produkcji Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

² Katedra Inżynierii Produkcji Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

³ Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyśle

⁴ Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chelmie

⁵ Katedra Ekonomiki i Organizacji Przedsiębiorstw, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie

Wstęp

Współczesne przedsiębiorstwa produkcyjne działają w warunkach konkurencji oraz rosnących wymagań rynkowych. Muszą one nie tylko zadbać o zgodność produktu z wymaganiami technicznymi oraz regulacyjnymi – muszą też skutecznie i szybko reagować na niezgodności, które mogą się pojawiać na różnych etapach produkcji, ale też podczas kontroli jakości. Niezgodność – rozumiana jako odstępstwo od wymagań – stanowi jedno z głównych zagrożeń dla jakości produktu końcowego oraz zaufania klienta^{1,2,3}.

W praktyce zarządzanie niezgodnościami obejmuje szereg działań. Można o nim mówić od wykrycia przez analizę przyczyn, wdrożenie działań korygujących i zapobiegawczych, kończąc na weryfikacji skuteczności tych działań. Można to realizować wykorzystując normy. W normie ISO 9001:2015 wymaga się, by organizacje identyfikowały i kontrolowały produkty niezgodne, aby zapobiegać ich niezamierzonemu dostarczeniu lub wykorzystaniu. Ponadto standard zachęca do podejścia systemowego, gdzie analiza trendów niezgodności oraz działania naprawcze stają się elementem ciągłego doskonalenia systemu jakości⁴.

¹ Ravoy D., Parmet Y., NC 4.0, a Novel Approach to Nonconformities Management: Prioritizing Events With Risk Management Tools, *Frontiers in Artificial Intelligence*, 2021

² Hoyer, R. W. & Hoyer, B. B. Y., What is quality?, *Quality Progress*, 34(7), 2001

³ Gołębiewska E., Zarządzanie w XXI wieku. Menedżer innowacyjnej organizacji Część II, *Przedsiębiorczość i zarządzanie t. XIV*, zeszyt 12, Łódź 2013

⁴ ISO 9001:2015 — wymagania dotyczące nadzoru nad produktami niezgodnymi i ciągłego doskonalenia systemu jakości

Literatura z ostatnich lat przejawia także nowoczesne podejścia, które integrują koncepcje Przemysłu 4.0, a także analityki danych z zarządzaniem niezgodnościami. Dobrym przykładem może być koncepcja NC 4.0, w której stosuje się metody automatycznego wykrywania odchyłeń i priorytetyzacji działań korekcyjnych na podstawie ryzyka⁵. Także w sektorze przemysłowym opracowano narzędzia cyfrowe, takie jak Auto-Quality Matrix, mające na celu wesprzeć wizualizację niezgodności oraz śledzić stan jakości w czasie rzeczywistym⁶. Połączenie Systemu Zarządzania narzucanego przez normę ISO 9001 oraz narzędzi pozwalających na zarządzanie niezgodnościami w celu ich eliminacji przynosi organizacji zalety ekonomiczne, zarówno na etapie wytwarzania jak i może prowadzić do zwiększenia sprzedaży produktów i/lub usług^{7,8}.

Celem tego opracowania jest przedstawienie systemowego podejścia do zarządzania niezgodnościami w kontekście jakości produktu końcowego, z uwzględnieniem najnowszych trendów i narzędzi. Analiza literaturowa oraz przykłady praktyczne pozwolą na wyciągnięcie wniosków dotyczących rekomendowanych praktyk zarządzania jakością w warunkach dynamicznych rynków.

Identyfikacja i klasyfikacja niezgodności

Efektywne zarządzanie niezgodnościami wiąże się z ich precyzyjną identyfikacją oraz prawidłową klasyfikacją. Stanowi to punkt wyjścia do analizy przyczyn i planowania działań korygujących. W systemach zarządzania jakością identyfikacja oznacza wykrycie odchyłeń od ustalonych wymagań jakościowych, technologicznych lub organizacyjnych. Natomiast klasyfikacja polega na przyporządkowaniu niezgodności do odpowiedniej kategorii - według charakteru, źródła lub poziomu istotności^{9,10}.

Proces identyfikacji obejmuje działania reaktywne - wykrywanie niezgodności podczas kontroli jakości, audytów czy reklamacji oraz proaktywne - zapobieganie ich wystąpieniu dzięki monitorowaniu procesów, analizie trendów i ocenie ryzyka¹¹. Zgodnie z ISO 9001:2015, każda organizacja powinna zapewnić systemowe mechanizmy rejestracji i oceny niezgodności zanim produkt zostanie przekazany klientowi¹². Najważniejsze w Zarządzaniu Jakością jest zaspokajanie potrzeb klientów i wzbudzanie ich

⁵ Ravoy D., Parmet Y., et al. 2021

⁶ Ibidem

⁷ Karthi, S., Devadasan, S. R. & Muruges, R., Integration of lean six-sigma with ISO 9001:2008 standard. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(4), 2011

⁸ Chiarini, A., Risk management and cost reduction of cancer drugs using Lean Six Sigma tools. *Leadership in Health Services*, 25(4), 2012

⁹ Glevitzky M., Glevitzky I., Mucea-Stef P., Popa M., The "Daily Challenge" Tool: A Practical Approach for Managing Non-Conformities in Industry, Sustainability, 17(13), 5918, 2025

¹⁰ Hoyle, D., *Quality Management Essentials*. London: Routledge, 2011

¹¹ Kumar S., Gopi T., Harikeerthana N., Grupta M., Gaur V., Grolczyk G., Machine learning techniques in additive manufacturing: a state of the art review on design, processes and production control, *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 34, 2022

¹² JiJu A., McDermott O., Sony M., Quality 4.0 conceptualisation and theoretical understanding: a global exploratory qualitative study, *TQM Journal*, 2021

zadowolenia. Klient jest ostatecznym powodem, dla którego organizacja istnieje, a zatem lojalność i satysfakcja klienta powinny być najważniejszym miernikiem dla firm¹³.

W praktyce przemysłowej coraz częściej wykorzystuje się technologie cyfrowe, takie jak systemy MES, czujniki IoT czy zintegrowane bazy danych jakościowych, umożliwiające automatyczne wykrywanie odchyłeń w czasie rzeczywistym¹⁴. Zastosowanie analizy przyczyn źródłowych (RCA) oraz uczenia maszynowego umożliwia nie tylko wykrywanie, ale i prognozowanie potencjalnych niezgodności na etapie przetwarzania danych procesowych¹⁵.

W wielu przedsiębiorstwach klasyfikacja niezgodności wspierana jest przez systemy informatyczne, które umożliwiają ich automatyczne kategoryzowanie na podstawie zgłoszeń, raportów audytowych i danych procesowych. Rozwiązania te zwiększają transparentność systemu jakości, skracają czas reakcji i pozwalają analizować trendy długookresowe¹⁶.

Hoyle¹⁷ dzieli niezgodności na trzy kategorie w zależności od ich wagi. Te kategorie to:

- niezgodność krytyczna (ang. *critical nonconformity*), co znaczy, że produkt nie nadaje się do użytku,
- niezgodność poważna (ang. *major nonconformity*) - produkt nie spełnia wymagań zawartych w umowie lub wymagań, specyfikacji klienta,
- drobna niezgodność (ang. *minor nonconformity*) - produkt nie spełnia wymagań nieuwzględnionych w umowie lub specyfikacji klienta.

Natomiast Savino i in.¹⁸ wskazują, że krytyczność niezgodności powinna być oceniana za pomocą czterech atrybutów: kosztu, częstotliwości występowania, stopnia poważności niezgodności (lub konsekwencji) oraz momentu wykrycia. Niezgodności powinny być kategoryzowane i priorytetyzowane zgodnie z tymi atrybutami.

Zarządzanie niezgodnościami w systemie jakości

Zarządzanie niezgodnościami stanowi integralny element systemu zarządzania jakością. Jego celem jest utrzymanie zgodności procesów, produktów i usług z wymaganiami norm, przepisów oraz oczekiwaniami klientów. W świetle normy ISO 9001:2015 działania w tym obszarze powinny obejmować przede wszystkim: identyfikację i rejestrację niezgodności, analizę ich przyczyn, określenie niezbędnych działań korygujących oraz weryfikację skuteczności wdrożonych rozwiązań¹⁹. Tak ujęty proces tworzy logiczny cykl

¹³ Holie D., et al. 2011

¹⁴ Juran J., Godfrey A.B., Juran's Quality Handbook, McGraw-Hill, New York 2019

¹⁵ AIAG & VDA, FMEA Handbook – Failure Mode and Effects Analysis, Southfield 2019

¹⁶ Sharmile N., Chowdhury R.R., Desai S., A Comprehensive Review of Quality Control and Reliability Research in Micro–Nano Technology, Technologies, 2025

¹⁷ Hoyle, D., Automotive quality systems handbook: ISO/TS 16949:2002. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005

¹⁸ Savino, M., Brun, A., Mazza, A., Assessing Non-Conformities in Quality Management Systems from Customer Perspective and Firm Perspectiv, Proceedings of the 18th International Working Seminar on Production Economics, 1-8, 2014

¹⁹ ISO 9001:2015, Quality Management Systems – Requirements, ISO, Geneva 2018

doskonalenia – *Plan–Do–Check–Act (PDCA)* – będący fundamentem współczesnych systemów jakości²⁰.

W praktyce przemysłowej najczęściej stosuje się znormalizowane procedury postępowania. Ich celem jest szybkie odtworzenie przyczyn źródłowych oraz zapewnienie trwałego usunięcia problemu. Podstawowym zestawem działań są CAPA (*Corrective and Preventive Actions*). Obejmują zarówno reakcję na występujące niezgodności, jak i zapobieganie ich ponownemu pojawieniu się²¹. Skuteczność tego procesu zależy od rzetelności analizy przyczyn, właściwego doboru środków naprawczych i oceny efektywności ich wdrożenia²².

Po zidentyfikowaniu źródłowych przyczyn niezgodności należy opracować szczegółowy plan działań CAPA. Oznacza to, że planowane jest wdrożenie działań naprawczych i zapobiegawczych w celu znalezienia rozwiązań, które mają za zadanie skorygować niezgodność i zapobiec jej ponownemu wystąpieniu. Działania korygujące są reaktywne i ukierunkowane bezpośrednio na niezgodności, które już wystąpiły, podczas gdy działania zapobiegawcze są proaktywne i koncentrują się na eliminowaniu potencjalnych przyszłych niezgodności poprzez wyeliminowanie przyczyn źródłowych²³. Plan działań CAPA powinien obejmować co najmniej^{24,25}:

- akcje - działania zaplanowane w celu skorygowania i zapobiegania niezgodnościom,
- plan wdrożenia,
- harmonogram,
- odpowiedzialności - osoby odpowiedzialne powinny posiadać kompetencje do wdrożenia planowanych działań,
- plan działań monitorujących - plan śledzenia i pomiaru skuteczności podjętych działań.

Jednym z najbardziej rozpowszechnionych narzędzi analitycznych jest metoda 8D (*Eight Disciplines Problem Solving*). Prowadzi ona (w sposób usystematyzowany) zespół przez etapy rozwiązywania problemów jakościowych. Dzieje się to od utworzenia zespołu, przez opis i izolację niezgodności, analizę przyczyn, wdrożenie działań korygujących, aż po ocenę skuteczności i ustandaryzowanie rozwiązania²⁶. Z kolei techniki 5Why

²⁰ Pyzdek A., Keller P., *The Six Sigma Handbook*, McGraw-Hill, New York 2022

²¹ Ajit C.P., Bhagwat A., Prabhakar A., CAPA: An important concept of Quality Assurance in Pharmaceutical Industry, *Asian Journal of Research in Chemistry*, 2021

²² Ibidem

²³ Motschman, T. L. & Moore, S. B., Corrective and preventive action. *Transfusion Science*, 21, 1999

²⁴ Claver, E., Tarí, J. J. & Molina, J. F., Critical factors and results of quality management: An empirical study. *Total Quality Management & Business Excellence*, 14, 2013

²⁵ Majanoja, A. M., Linko, L. & Leppänen, V., Global corrective action preventive action process and solution: insights at the Nokia Devices operation unit. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 20, 2017

²⁶ Sharma M., Sharma S., Sahni S., Structured Problem Solving: combined approach using 8D and Six Sigma case study, *Engineering Management in Production and Services*, vol. 12, 2020

i diagram Ishikawy umożliwiają logiczne rozłożenie problemu na czynniki składowe, pozwalając na dokładną identyfikację pierwotnych źródeł niezgodności^{27,28}.

Nowoczesne podejścia łączą klasyczne narzędzia z cyfrowym wsparciem analitycznym. W tym przypadku z systemami QMS (*Quality Management System*). Integrują one dane z obszarów produkcji, kontroli i audytów²⁹. Systemy te umożliwiają automatyczne przypisanie priorytetu działaniom korygującym, śledzenie ich realizacji oraz raportowanie efektywności. Według badań Kamble³⁰, cyfrowa integracja procesów CAPA skraca czas zamykania niezgodności nawet o 25–30%.

W praktyce stosuje się macierze decyzyjne, które pozwalają przypisać wagę poszczególnym czynnikom (częstotliwość, wykrywalność, znaczenie skutków). Ułatwia to ustalenie priorytetów działań. Dodatkowo wykorzystuje się także metodę FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*). To systematyczna, proaktywna metoda stosowana w zarządzaniu jakością do identyfikacji i oceny potencjalnych awarii w procesie, produkcji lub systemie. Celem FMEA jest zapobieganie awariom poprzez przewidywanie, co może pójść nie tak, ocenę potencjalnego wpływu tych awarii i ustalenie priorytetów działań naprawczych w celu złagodzenia lub wyeliminowania związanego z nimi ryzyka³¹. Dzięki niej możliwe jest określenie tzw. *Action Priority* (AP) – wskaźnika, który wskazuje na konieczność natychmiastowego podjęcia działań w przypadku niezgodności o najwyższym ryzyku³².

Zarządzanie niezgodnościami jest ściśle związane z procesem audytów wewnętrznych, które pełnią funkcję prewencyjną oraz kontrolną. Zgodnie z normą ISO 19011:2018, audyty powinny nie tylko potwierdzać zgodność z wymaganiami, ale również oceniać skuteczność procesów korygowania i zapobiegania niezgodnościom³³. Dobrze zaprojektowany system audytowy umożliwia wykrywanie powtarzalnych problemów, analizę trendów oraz dostarczanie danych do przeglądów zarządzania. Wdrożenie takiego podejścia pozwala lepiej wykorzystać zasoby audytowe i skoncentrować działania na obszarach krytycznych dla jakości końcowego produktu.

²⁷ Aravindan, S. & Maiti, J., A framework for integrated analysis of quality defects in supply chain. *Quality Management Journal*, 19, 2012

²⁸ Holie D., et al. 2011

²⁹ Majanoja et. al. 2017

³⁰ Kamble S., Gunasekaran A., Dhone N.C., Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies, *International Journal of Production Research*, vol. 58, 2020

³¹ Cauchick Miguel, P.A. & Pontel, S., Assessing quality costs of external failures (warranty claims). *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21, 2004

³² AIAG & VDA, et al. 2019

³³ Monteiro A., Machado Valej.a., Cepeda C., Leite E., Internal Control System Quality and Decision-Making Success: The Role of the Financial Information Quality, *Universal Journal of Accounting and Finance* 9, 2021

Metodyka pracy

Celem publikacji jest analiza zarządzania niezgodnościami w obszarze produkcyjnym w kontekście jakości produktu końcowego. Analizy dokonano z uwzględnieniem oceny liczby niezgodności oraz reklamacji w różnych fazach wdrożenia Systemu Zarządzania Jakością zgodnego z normą ISO 9001:2015. Przedstawione wyniki badań opierały się na analizie danych zbieranych przez okres czterech lat w zakładzie produkcyjnym – hucie szkła. Źródła skupiają się w głównej mierze na dwóch kluczowych dla pracy wskaźnikach: miesięcznych wynikach liczby niezgodności oraz miesięcznych wynikach reklamacji. Przedstawione dane rozróżniane są na trzy główne okresy:

- okres przed wdrożeniem certyfikacji (dwa lata przed rozpoczęciem wdrażania systemu zgodnego z ISO 9001),
- okres wdrażania certyfikacji (rok implementacji systemu zarządzania ISO 9001),
- okres po uzyskaniu certyfikacji (rok po pozytywnym zakończeniu procesu certyfikacji).

Dane do analizy pochodziły z dwóch głównych zbiorów:

- raporty przedstawiające miesięczną sumę niezgodności - dane o ilości oraz rodzaju niezgodności gromadzone były w ramach wewnętrznych systemów kontroli jakości - rejestrowano wszelkie odchylenia od oczekiwań lub standardów jakościowych - występowały one na różnych etapach procesu produkcji, takich jak: przygotowanie surowców, wytwarzanie, kontrola jakości, pakowanie i magazynowanie, transport wewnętrzny,
- raporty dotyczące miesięcznych wyników reklamacji.

Dane o wynikach zgłoszeń reklamacyjnych pochodziły z działu odpowiedzialnego za obsługę klienta, gdzie odnotowywano wszystkie zgłoszenia reklamacyjne. Każda reklamacja była klasyfikowana według: rodzaju problemu (np. wady estetyczne, funkcjonalne, mechaniczne) oraz źródła (np. klient indywidualny, partner biznesowy).

Gromadzenie danych realizowane było każdorazowo, w momencie wykrycia niezgodności. Osoba, która zauważyła dane odstępstwo była zobowiązana do natychmiastowego poinformowania technologa szkła oraz przedstawiciela działu jakości obecnego na zmianie.

Reklamacje klientów były przyjmowane przez dział obsługi klienta i na bieżąco rejestrowane, na początku we wcześniej przygotowanym raporcie (MS Excel), a następnie w systemie CRM. System automatycznie generował miesięczne raporty uwzględniające liczbę zgłoszeń, ich klasyfikację oraz status.

Dane obejmowały okres 24 miesięcy, co pozwoliło na analizę długoterminową oraz na identyfikację trendów sezonowych. Przedsiębiorstwo w trakcie zbierania danych przechodziło transformacje - restrukturyzowali swój system zarządzania na System Zarządzania Jakością zgodny z wymaganiami normy ISO 9001:2015.

Metodyka obliczeń

Analiza danych została przeprowadzona w kilku etapach z wykorzystaniem metod statystycznych i narzędzi do przetwarzania danych. Celem obliczeń było zidentyfikowanie zależności między liczbą niezgodności a liczbą reklamacji oraz określenie potencjalnych trendów w czasie. Wykonano konsolidacje i czyszczenie danych, a także standaryzacje danych.

Natomiast na podstawie obliczeń statystycznych określono:

- średnią miesięczną liczbę niezgodności oraz średnią miesięczną liczbę reklamacji,
- odchylenie standardowe,
- korelację między zmiennymi,
- analizę trendów czasowych,
- analizę sezonowości.

Dla każdego miesiąca obliczono średnią liczbę niezgodności i reklamacji w badanym okresie, aby zidentyfikować ewentualne wzorce sezonowe.

Charakterystyka przedsiębiorstwa

Podmiotem badawczym był zakład przemysłowy zajmujący się produkcją oraz przetwórstwem wysokiej jakości szkła na użytek domowy, tj. szklanki, szklane kubki, wazon, miski itp. Zakład zlokalizowany jest w środkowo-wschodniej części Polski. Fabryka działa od ponad 30 lat, specjalizuje się w produkcji cienkościennych artykułów wytwarzanych przy użyciu technologii „Press-Blow” (ang. prasowanie i dmuchanie) i „Press” (ang. prasowanie), co pozwala na oferowanie produktów o wyjątkowej trwałości i estetyce.

Huta zajmuje powierzchnię około 20 hektarów. Na jej obszar składa się: hala produkcyjna, magazyn surowców, magazyn wyrobów gotowych, laboratorium kontroli jakości, malarnia oraz biurowiec. Firma zatrudnia około 600 pracowników. Główną część stanowią pracownicy produkcyjni, magazynowi oraz kontrolerzy jakości. Grupa ta pracuje w systemie trzyzmianowym. Wynika to z charakteru produkcji, wymagającego nieprzerwanego procesu produkcyjnego. Druga grupa pracowników - zespół zarządzający, technologowie, inżynierowie oraz pracownicy administracyjno-biurowi zatrudnieni w ramach umowy o pracę, na jedną zmianę, od poniedziałku do piątku. Zakład wyposażony jest w nowoczesny piec szklarski typu „U płomienny”. Taki piec charakteryzuje się wysoką wydajnością - maksymalny potencjał przetwórstwa wynosi do 250 ton szkła na godzinę.

Proces produkcyjny stosowany w hucie został przedstawiony poniżej:



Rysunek 1. Proces przetwórstwa szkła

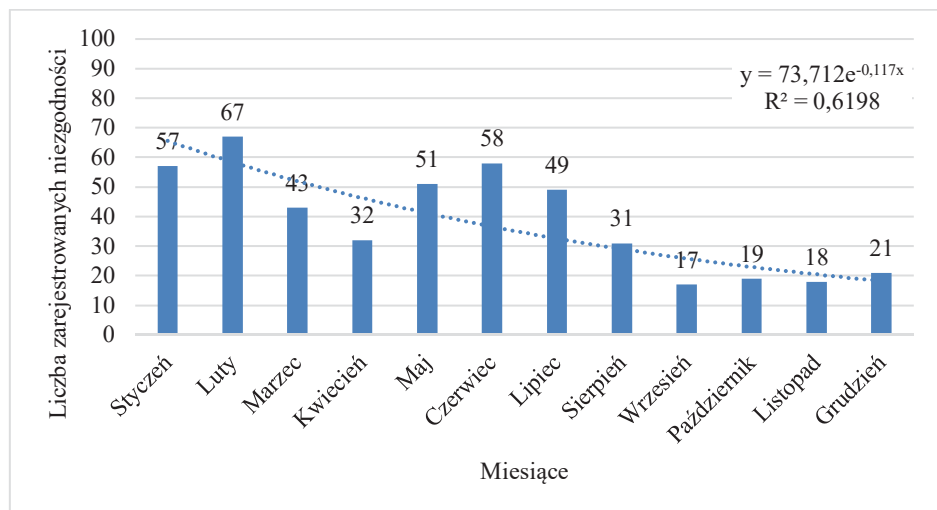
Huta z przyczyn biznesowych oraz potrzeb swoich klientów, wdrożyła system zarządzania jakością oraz przystąpiła do certyfikacji zgodnie z ISO 9001:2015.

Wyniki badań

W celu przeprowadzenia analizy zarządzania niezgodnościami w aspekcie jakości produktu końcowego zostały wzięte pod uwagę dwie wielkości: liczba zarejestrowanych niezgodności oraz liczba przyjętych reklamacji. Wielkości te zostały przeanalizowane na przestrzeni 24 miesięcy.

W pierwszej kolejności dokonano analizy wielkości wybranych parametrów z pierwszego okresu – to jest przed wdrożeniem certyfikacji. Przedsiębiorstwo nie miało wdrożonego Systemu Zarządzania Jakością. Zasady, którymi się kierowało były poparte latami doświadczenia oraz wspólnie wypracowanego systemu pracy.

Rysunek 2 przedstawia liczbę zarejestrowanych niezgodności w trakcie produkcji.



Rysunek 2. Liczba zarejestrowanych niezgodności w ciągu roku

Liczba niezgodności w poszczególnych miesiącach różni się znacząco. Obserwuje się „rozrzutowość wyników” - jednego miesiąca liczba zarejestrowanych niezgodności jest bardzo wysoka, a następnego spada prawie dwukrotnie. Największa liczba zarejestrowanych niezgodności występowała w miesiącu luty (67), a najmniejsza we wrześniu (17). Całkowita średnia roku wynosi, w zaokrągleniu 39 zarejestrowanych niezgodności.

W tabeli 1 przedstawiono pięć najczęstszych przyczyn zarejestrowania niezgodności.

Tabela 1. Rodzaje rejestrowanych niezgodności produkcyjnych

Lp.	Rodzaj niezgodności	Liczba oraz udział zarejestrowanych niezgodności (szt./%)
1	Smugi na szkle	273 / 58,96
2	Nierówna powierzchnia na szkle	78 / 16,84
3	Nie zgodny kolor	52 / 11,23
4	Zadrapania na szkle	19 / 4,10
5	Błąd podawania surowców	4 / 0,86

Główną przyczyną występowania zarejestrowanych niezgodności w danym roku było wystąpienie smug na szkle. Można to zaobserwować w miesiącach styczeń – luty oraz maj – lipiec. Powodem jej wystąpienia było trafienie metalowego przedmiotu do pieca hutniczego.

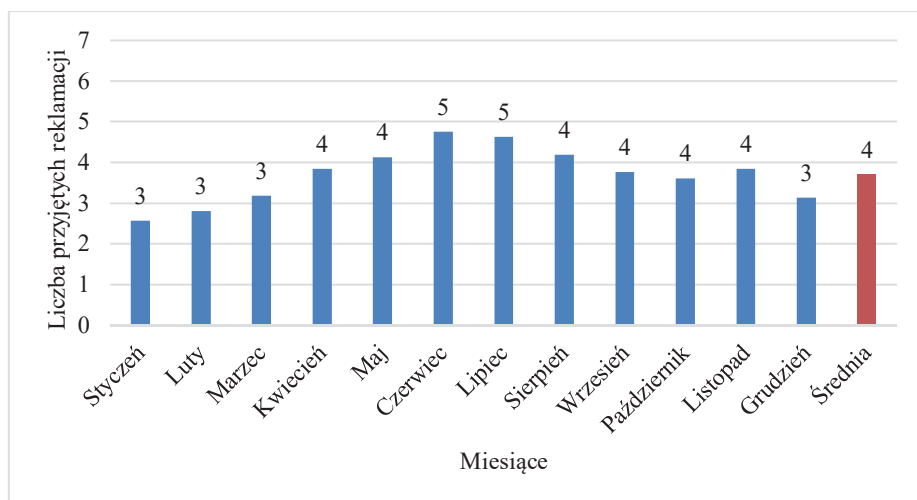
W styczniu w fabryce realizowano wymianę zasobnika przy piecu hutniczym. Dokonywali jej pracownicy z firmy zewnętrznej. Podczas sprzątania wpadł do zasobnika metalowy przyrząd do przetrzucania gorącej masy szklanej. Ze względów bezpieczeństwa, wyciągnięcie przyrządu nie było możliwe. Pomimo możliwości wystąpienia poważnych konsekwencji zarówno dla jakości wytwarzanego produktu, jak i dla bezpieczeństwa procesu, technolog podjął decyzję o przetopieniu metalowego przyrządu.

W ramach akcji zaradczych przedsiębiorstwo zaczęło od analizy skali problemu, a następnie skorzystało z metody Six Sigma, celem wyeliminowania wad oraz zabezpieczenia procesu produkcyjnego. Powołano zespół, któremu przewodniczył technolog procesu. Zdefiniowano problem oraz wdrożono rozwiązania takie jak:

- zwiększona kontrola jakości masy szklanej,
- kontrole termiczne w piecu,
- wprowadzenie dodatkowych testów wytrzymałościowych szkła.

Wyniki wprowadzonych akcji były monitorowane na dziennych spotkaniach zespołu wraz z Dyrektorem zakładu. Niestety nie były one dokumentowane w sposób trwały. Nie wprowadzono też żadnych akcji, które minimalizowałyby ryzyko powtórzenia się zdarzenia.

Następnie przeanalizowano niezgodności produktu wydanego już do klienta. Rysunek 3 przedstawia liczbę zarejestrowanych reklamacji w badanym okresie.



Rysunek 3. Liczba zarejestrowanych reklamacji w ciągu roku

Wyniki reklamacyjne przedsiębiorstwa przedstawiają na poziomie 4 zgłoszeń w miesiącu. W przeciwieństwie do zarejestrowanych niezgodności (rys. 2), wyniki zgłoszeń reklamacyjnych nie różnią się znacząco.

Pomimo poważnego problemu technologicznego występującego na obszarze produkcyjnym – smug na szkle, główną przyczyną zgłoszeń reklamacyjnych były uszkodzenia podczas transportu. Jednakże nie wykazano żadnych działań zaradczych wynikających z analizy zgłoszeń reklamacyjnych.

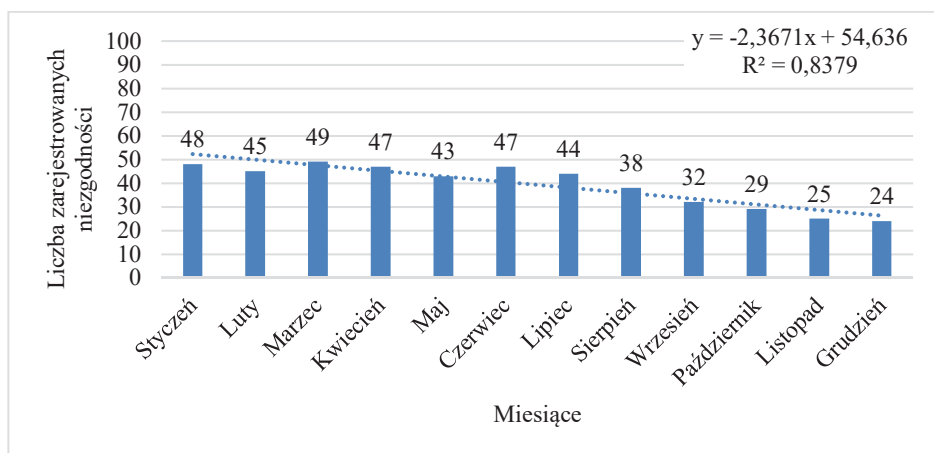
Można powiedzieć, że brak przyjętych reklamacji odnośnie największego problemu produkcyjnego występującego w tamtym okresie świadczy o wysokim poziomie wykrywalności niezgodności w czasie jej wystąpienia oraz o efektywnej kontroli jakości. Z drugiej strony, biorąc pod uwagę brak wykazania jakichkolwiek akcji naprawczych

w przedsiębiorstwie względem zgłaszanych reklamacji, świadczy o niskiej świadomości, braku ukierunkowania na klienta.

Kolejna analiza dotyczyła już okresu wdrożenia systemu. Zmiany na rynku oraz przyczyny biznesowe doprowadziły badane przedsiębiorstwo do podjęcia decyzji o wdrożeniu Systemu Zarządzania Jakością opartego o wymogi ISO 9001:2015. Dla firmy, implementacja takiego systemu wiązała się z przejściem poważnej transformacji. Przede wszystkim wystąpiła konieczność ustrukturyzowania oraz zmapowania kluczowych procesów, określenie konkretnych ról i odpowiedzialności pracowników oraz wdrożenie systemu polegającego na ciągłym monitorowaniu i doskonaleniu jakości. Firma zmierzyła się z koniecznością wprowadzenia procedur nadzoru nad dokumentacją, zarządzania ryzykiem oraz obsługi reklamacji i niezgodności, celem zwiększenia przejrzystości i powtarzalności procesów. Konieczne były także szkolenia pracowników, aby zapewnić ich zaangażowanie w cały proces transformacji przedsiębiorstwa i zrozumienie nowych wymagań.

Pod kątem procesów jakościowych pierwszą z akcji przyczyniających się do wdrożenia SZJ było zmapowanie oraz ustrukturyzowanie procesu zarządzania niezgodnościami. Zostały określone konkretne wymagania dla procesu, oraz zaplanowane zostały szkolenia dla pracowników.

Efekty tego procesu są widoczne na rysunku 4, który przedstawia liczbę zarejestrowanych niezgodności w okresie wdrażania SZJ.



Rysunek 4. Liczba zarejestrowanych niezgodności w ciągu roku

Względem wyników poprzedniej analizy, pierwszym nasuwającym się wnioskiem jest to, że wyniki nie są tak różne wielkościowo względem siebie w poszczególnych miesiącach. Wartości są do siebie zbliżone, a dopiero od drugiej połowy roku ich liczba maleje. Wynika to z rosnącej świadomości pracowników na temat potrzeby zgłaszania niezgodności oraz zmiany sposobu rejestrowania niezgodności.

W tabeli 2 przedstawiono pięć najczęstszych przyczyn zarejestrowania niezgodności.

Tabela 2. Rodzaje rejestrowanych niezgodności produkcyjnych

Lp.	Rodzaj niezgodności	Liczba oraz struktura zarejestrowanych niezgodności (szt./%)
1	Zmiana barwy	173 / 36,73
2	Odpryski i pęknięcia	160 / 33,97
3	Kontrola temperatury na piecu	75 / 15,91
4	Uszkodzenia podczas transportu wewnętrznego	59 / 12,52
5	Błąd podawania surowców	22 / 4,67

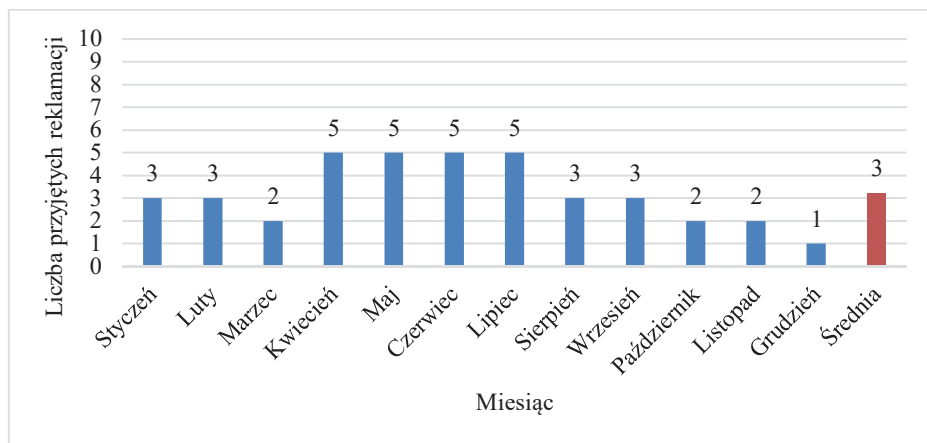
W ramach dokumentowania procesów, został założony tzw. „Rejestr Niezgodności”, w którym pracownicy zgłaszający niezgodność byli zobowiązani do bardziej szczegółowego udokumentowania problemu, co następnie przyczyniało się do lepszej analizy danych.

Jednym z większych projektów wprowadzonych w danym okresie było powołanie grupy odpowiedzialnej za analizę FMEA, która:

- zidentyfikowała elementy wyrobu oraz procesu w kolejności technologicznej,
- sporządziła wykaz wystąpienia możliwych wad wyrobu/błędów w procesie,
- sporządziła wykaz prawdopodobnych skutków tych wad/błędów,
- sporządziła wykaz listy przyczyn możliwych wad wyrobu/błędów,
- przeanalizowała potencjalne wady/błędy,
- oceniła ryzyko popełnienia wad/błędów,
- zaplanowała działania zapobiegawcze,
- wdrożyła działania zapobiegawcze i badała ich skuteczność.

Porównując zgłoszenia reklamacyjne zgłaszane w trakcie wdrażania SZJ, a zgłoszenia w okresie przed wdrożeniem, można zauważyć, że średnia liczba zgłoszeń w miesiącu zmalała. Warto zwrócić uwagę, że zgłoszenia wzrosły w okresie kwiecień – lipiec, a następnie zmalały, osiągając wartość 1 w grudniu. Stało się tak za sprawą dokładniejszej analizy zgłoszeń reklamacyjnych.

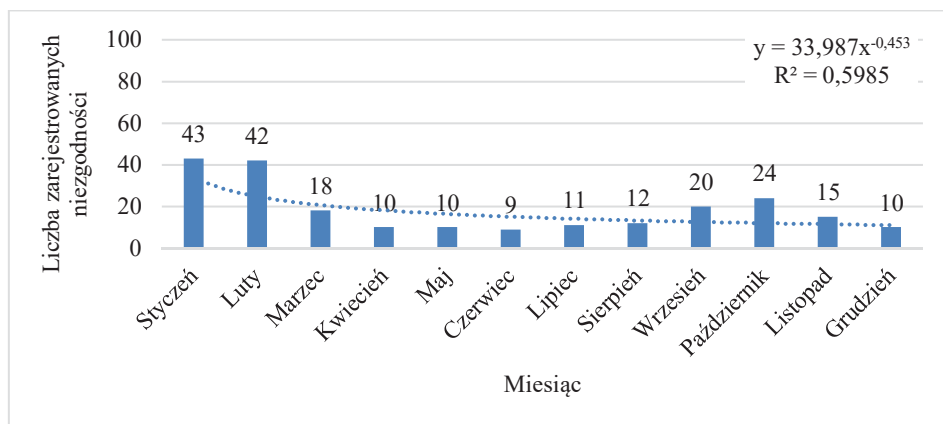
Reklamacje stały się regularnym tematem na spotkaniach miesięcznych, w ramach których przedstawiane były wyniki za poprzedni miesiąc. Na spotkaniach, grupa zarządzająca fabryką dokonywała analizy zgłoszeń wprowadzając odpowiednie akcje zaradcze. Spotkania odbywały się w stylu modelu PDCA, co pomagało utrzymywać dyscyplinę dokumentowania działań oraz weryfikacji ich skuteczności.



Rysunek 5. Liczba zarejestrowanych reklamacji w ciągu roku

Ostatnia analiza – rok po wdrożeniu systemu. Wdrożenie przez firmę SZJ zgodnego z ISO 9001:2015 oraz pomyślne przejście certyfikacji, miało znaczący wpływ na proces zarządzania niezgodnościami. Rok po audycie przez firmę zewnętrzną zauważono wyraźny postęp zarówno w zarządzaniu niezgodnościami, jak i znacznie obniżoną liczbę reklamacji. Takie wartości wskaźników mogą świadczyć o skuteczności oraz efektywności podjętych przez przedsiębiorstwo działań, a także o zadowoleniu klientów.

Rysunek 6 przedstawia liczbę zarejestrowanych niezgodności na rok po wdrożeniu SZJ.



Rysunek 6. Liczba zarejestrowanych niezgodności w ciągu roku

Analizując wyniki na rysunku można zauważyć znaczącą różnicę w wynikach względem poprzednich lat. Przede wszystkim wyraźnie widać, w jakim okresie przedsiębiorstwo zmagало się ze znaczącymi problemami jakościowymi oraz czas, w którym wprowadzono akcje zaradcze i korygujące, dzięki czemu liczba niezgodności się obniżyła.

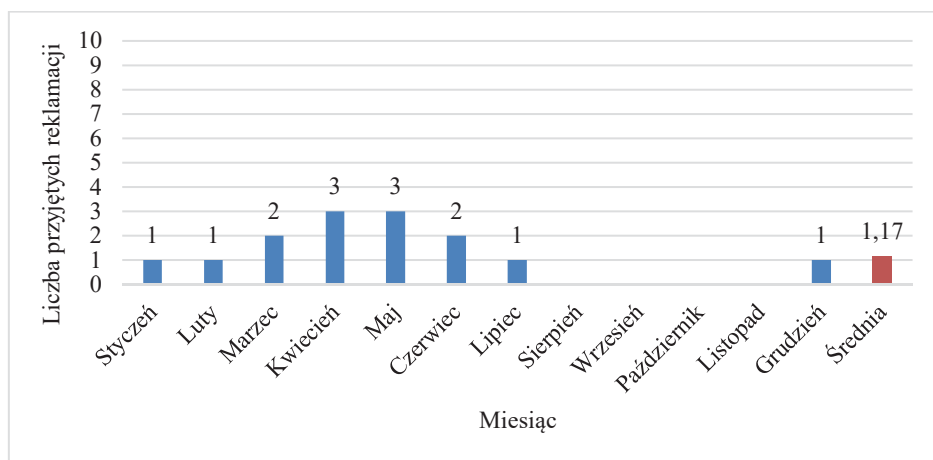
Tabela 3 przedstawia pięć najczęstszych przyczyn zarejestrowania niezgodności.

Tabela 3. Rodzaje rejestrowanych niezgodności produkcyjnych

Lp.	Rodzaj niezgodności	Liczba oraz struktura zarejestrowanych niezgodności (szt./%)
1	Awaria zasilacza	67 / 29,91
2	Niska gęstość kropli szkła	42 / 18,75
3	Błędne etykiety na paletach	35 / 15,62
4	Za wysoka temperatura w magazynie produktu końcowego	12 / 5,35
5	Kontrola temperatury na piecu	5 / 2,23

Najwięcej zgłoszonych problemów w danym okresie wynikało z przyczyn mechanicznych, a nie jakościowych. Co warto zaznaczyć, podczas wprowadzania procesu zarządzania niezgodnościami, przedsiębiorstwo nie wyznaczyło sobie celu zmniejszenia liczby zgłaszanych niezgodności. Jest to efekt uboczny działania takiego procesu.

Istotny rezultat słuszności wprowadzenia SZJ zgodnego z ISO 9001:2015 oraz wynik ciężkiej pracy pracowników widoczny jest na rysunku 7.



Rysunek 7. Liczba zarejestrowanych reklamacji w ciągu roku

Liczba zarejestrowanych reklamacji w okresie po wdrożeniu SZJ znacząco różni się od poprzednich wyników reklamacyjnych. Osiągnięty wynik wskaźnika – średnio jedno zgłoszenie w miesiącu jest naprawdę imponujący i świadczy o skuteczności wprowadzonych działań. Mimo chwilowego wzrostu zgłoszeń reklamacji w okresie marzec – czerwiec, wprowadzenie działań korygujących skutkowało znaczącym zmniejszeniem liczby reklamacji.

Porównując wyniki z badanych okresów, odnotowano zmniejszenie liczby zgłoszeń reklamacyjnych o blisko 71%.

Podsumowanie

Zarządzanie niezgodnościami w aspekcie jakości produktu końcowego stanowi kluczowy element funkcjonowania nowoczesnych systemów zarządzania jakością. Skuteczne identyfikowanie, analizowanie oraz eliminowanie niezgodności umożliwia nie tylko utrzymanie stabilności procesów produkcyjnych, lecz także zapewnienie powtarzalności i przewidywalności wyników jakościowych. Wdrożenie rozwiązań opartych na normie ISO 9001:2015 pozwala na budowanie kultury organizacyjnej opartej na odpowiedzialności i ciągłym doskonaleniu.

Przeprowadzone badania potwierdziły, że wdrożenie Systemu Zarządzania Jakością zgodnego z normą ISO 9001:2015 wywarły istotny wpływ na doskonalenie zarządzania niezgodnościami w badanym przedsiębiorstwie. W okresie sprzed certyfikacji organizacja charakteryzowała się niskim poziomem kultury jakościowej, brakiem formalnych procedur, słabą analizą ryzyka oraz ograniczonym nadzorem nad procesami. Implementacja wymagań normy przyczyniła się do standaryzacji procesów, zwiększenia przejrzystości odpowiedzialności oraz rozwoju systemów monitorowania jakości.

W pierwszym roku po wdrożeniu odnotowano wzrost liczby zgłoszonych niezgodności, co interpretowano jako efekt wzrostu świadomości i zaangażowania pracowników. W kolejnym okresie ich liczba uległa istotnemu zmniejszeniu, co wynikało z wdrożenia działań korygujących i zapobiegawczych opartych na metodach 5Why, diagramie Ishikawy, cyklu PDCA, a także FMEA i SPC.

Uzyskane efekty obejmowały redukcję reklamacji o 70,75%, poprawę komunikacji wewnętrznej, integrację zgłoszeń klientów z systemem CAPA oraz wzrost skuteczności analiz jakościowych. Wdrożenie systemu ISO 9001:2015 znacząco podniosło efektywność procesów i stabilność jakości produktu końcowego.

Dzięki konsekwentnemu stosowaniu metod jakościowych, przedsiębiorstwo zwiększa odporność procesów na błędy, a jednocześnie redukuje koszty. W efekcie rośnie wiarygodność organizacji na rynku oraz zaufanie klientów, dla których stabilna jakość produktu końcowego stanowi podstawowe kryterium oceny partnera biznesowego. Zarządzanie niezgodnościami staje się zatem nie tylko narzędziem kontroli, lecz także strategicznym czynnikiem rozwoju i przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa.

Bibliografia

- AIAG & VDA, FMEA Handbook – Failure Mode and Effects Analysis, Southfield 2019
- Ajit C.P., Bhagwat A., Prabhakar A., CAPA: An important concept of Quality Assurance in Pharmaceutical Industry, Asian Journal of Research in Chemistry, 2021
- Aravindan, S. & Maiti, J., A framework for integrated analysis of quality defects in supply chain. Quality Management Journal, 19, 2012
- Cauchick Miguel, P.A. & Pontel, S., Assessing quality costs of external failures (warranty claims). International Journal of Quality & Reliability Management, 21, 2004
- Chiarini, A., Risk management and cost reduction of cancer drugs using Lean Six Sigma tools. Leadership in Health Services, 25(4), 2012
- Claver, E., Tarí, J. J. & Molina, J. F., Critical factors and results of quality management: An empirical study. Total Quality Management & Business Excellence, 14, 2013

- Glevitzky M., Glevitzky I., Mucea-Stef P., Popa M., The “Daily Challenge” Tool: A Practical Approach for Managing Non-Conformities in Industry, *Sustainability*, 17(13), 5918, 2025
- Gołębiowska E., Zarządzanie w XXI wieku. Menedżer innowacyjnej organizacji Część II, Przedsiębiorczość i zarządzanie t. XIV, zeszyt 12, Łódź 2013
- Hoyle, D., *Automotive quality systems handbook: ISO/TS 16949:2002*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005
- Hoyle, D., *Quality Management Essentials*. London: Routledge, 2011
- Hoyer, R. W. & Hoyer, B. B. Y., What is quality?, *Quality Progress*, 34(7), 2001
- ISO 9001:2015, *Quality Management Systems – Requirements*, ISO, Geneva 2018
- ISO 9001:2015 — wymagania dotyczące nadzoru nad produktami niezgodnymi i ciągłego doskonalenia systemu jakości
- JiJu A., McDermott O., Sony M., Quality 4.0 conceptualisation and theoretical understanding: a global exploratory qualitative study, *TQM Journal*, 2021
- Juran J., Godfrey A.B., *Juran’s Quality Handbook*, McGraw-Hill, New York 2019
- Kamble S., Gunasekaran A., Dhong N.C., Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies, *International Journal of Production Research*, vol. 58, 2020
- Karthi, S., Devadasan, S. R. & Muruges, R., Integration of lean six-sigma with ISO 9001:2008 standard. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(4), 2011
- Kumar S., Gopi T., Harikeerthana N., Grupta M., Gaur V., Grolczyk G., Machine learning techniques in additive manufacturing: a state of the art review on design, processes and production control, *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 34, 2022
- Majanoja, A. M., Linko, L. & Leppänen, V., Global corrective action preventive action process and solution: insights at the Nokia Devices operation unit. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 20, 2017
- Monteiro A., Machado Valej.a., Cepeda C., Leite E., Internal Control System Quality and Decision-Making Success: The Role of the Financial Information Quality, *Universal Journal of Accounting and Finance* 9, 2021
- Motschman, T. L. & Moore, S. B., Corrective and preventive action. *Transfusion Science*, 21, 1999
- Pyzdek A., Keller P., *The Six Sigma Handbook*, McGraw-Hill, New York 2022
- Ravoy D., Parmet Y., NC 4.0, a Novel Approach to Nonconformities Management: Prioritizing Events With Risk Management Tools, *Frontiers in Artificial Intelligence*, 2021
- Savino, M., Brun, A., Mazza, A., Assessing Non-Conformities in Quality Management Systems from Customer Perspective and Firm Perspectiv, *Proceedings of the 18th International Working Seminar on Production Economics*, 2014
- Sharma M., Sharma S., Sahni S., Structured Problem Solving: combined approach using 8D and Six Sigma case study, *Engineering Management in Production and Services*, vol. 12, 2020
- Sharmile N., Chowdhury R.R., Desai S., A Comprehensive Review of Quality Control and Reliability Research in Micro–Nano Technology, *Technologies*, 2025

Adres do korespondencji: maciej.kubon@urk.edu.pl

ORCID: Elżbieta Olech 0000-0003-4405-701X

ORCID: Rafał Kornas 0000-0001-8808-7849

ORCID: Dariusz Kwaśniewski 0000-0002-1873-1456

ORCID: Maciej Kuboń 0000-0003-4847-8743

ORCID: Urszula Malaga-Toboła 0000-0001-7918-8699

ORCID: Zofia Gródek-Szostak 0000-0001-6283-6952

OCENA ORGANIZACJI DYSTRYBUCJI PRODUKTÓW W WYBRANEJ FIRMIE

Karina Bońdos¹, Elżbieta Olech², Tomasz Hebda³

¹ Dyplomantka w Katedrze Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

² Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

³ Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wstęp

Dystrybucja produktów stanowi jeden z kluczowych elementów systemu logistycznego przedsiębiorstwa, decydując zarówno o poziomie obsługi klienta, jak i o efektywności ekonomicznej całego łańcucha dostaw^{1,2}. W warunkach rosnącej konkurencji rynkowej, skracania cykli życia produktów oraz wzrastających oczekiwań odbiorców w zakresie terminowości i niezawodności dostaw, właściwa organizacja procesów dystrybucyjnych nabiera szczególnego znaczenia³. Dystrybucja przestaje być postrzegana wyłącznie jako operacyjna funkcja logistyczna, a coraz częściej traktowana jest jako istotne narzędzie budowania przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa⁴.

Organizacja dystrybucji obejmuje zespół powiązanych ze sobą działań, takich jak planowanie kanałów dystrybucji, zarządzanie zapasami, organizacja transportu, obsługa zamówień oraz wykorzystanie systemów informatycznych wspierających przepływ informacji i towarów^{5,6}. Skuteczność tych działań zależy nie tylko od zastosowanych rozwiązań technicznych, lecz również od struktury organizacyjnej, kompetencji pracowników oraz stopnia integracji dystrybucji z pozostałymi obszarami logistyki i zarządzania przedsiębiorstwem⁷. Niewłaściwa organizacja procesów dystrybucyjnych może

¹ Blaik P.: Logistyka. Koncepcja zintegrowanego zarządzania, PWE, Warszawa, 2019

² Christopher M.: Logistics & Supply Chain Management, Pearson Education, Harlow, 2016

³ Ciesielski M.: Logistyka w biznesie, PWE, Warszawa 2018.

⁴ Kisperska-Moroń D., Plączek E., Piniński R.: Zarządzanie logistyczne w firmach usługowych, Prace Naukowe/Akademia Ekonomiczna w Katowicach, 2003

⁵ Kadłubek M.: Zarządzanie procesami dystrybucji w przedsiębiorstwie cz. 1, Logistyka, 5, 2012.

⁶ Pfohl H.-Ch., Logistiksysteme, Springer Gabler, Wiesbaden, 2020.

⁷ Blaik P. op. cit.

prowadzić do wzrostu kosztów logistycznych, wydłużenia czasu realizacji zamówień oraz obniżenia poziomu satysfakcji klientów⁸.

W literaturze przedmiotu podkreśla się, że ocena organizacji dystrybucji powinna mieć charakter kompleksowy i uwzględniać zarówno kryteria ilościowe, jak i jakościowe^{9,10}. Do najczęściej stosowanych mierników zalicza się m.in. czas realizacji zamówień, poziom niezawodności dostaw, koszty dystrybucji, elastyczność systemu oraz zdolność przedsiębiorstwa do reagowania na zmiany popytu^{11,12}. Coraz częściej wskazuje się również na znaczenie narzędzi informatycznych, takich jak systemy ERP, WMS czy TMS, które wspierają koordynację procesów dystrybucyjnych i umożliwiają bieżący monitoring ich efektywności^{13,14}.

Celem opracowania jest ocena organizacji dystrybucji produktów w wybranej firmie, ze szczególnym uwzględnieniem analizy wskaźników wykorzystanych do oceny dystrybucji produktów w firmie zajmującej się handlem wodą źródłaną. Wykonano analizę działalności przedsiębiorstwa, analizę podmiotów współpracujących z firmą oraz obliczenie wskaźników wykorzystanych do oceny dystrybucji.

Organizacja jako fundament funkcjonowania przedsiębiorstwa

Organizacja przedsiębiorstwa stanowi kluczowy czynnik warunkujący jego sprawne funkcjonowanie, rozwój oraz zdolność do utrzymania konkurencyjnej pozycji na rynku w warunkach dynamicznych zmian otoczenia gospodarczego. Jest ona definiowana jako uporządkowany system działań integrujący ludzi, zasoby i procesy w celu realizacji określonych celów, oparty na jasno określonych zasadach i procedurach¹⁵. Do podstawowych funkcji organizacji należą podział pracy i kompetencji, koordynacja działań, zapewnienie efektywnej komunikacji wewnętrznej oraz optymalizacja wykorzystania zasobów, co przekłada się na redukcję kosztów i wzrost produktywności.

Skuteczne zarządzanie organizacją wymaga strategicznego planowania, efektywnego zarządzania zasobami ludzkimi, finansowymi i technologicznymi oraz wykorzystania nowoczesnych narzędzi informatycznych wspierających procesy decyzyjne i operacyjne¹⁶. Istotną rolę odgrywają także komunikacja wewnętrzna, delegowanie odpowiedzialności oraz podejmowanie decyzji w oparciu o analizy danych. Współczesne przedsiębiorstwa muszą ponadto inwestować w innowacje, cyfryzację i automatyzację procesów, a także monitorować efektywność działań przy użyciu wskaźników KPI oraz systemów raportowania.

Integralnym elementem organizacji przedsiębiorstwa jest struktura organizacyjna, która determinuje efektywność zarządzania, przepływ informacji oraz realizację celów

⁸ Rutkowski K., Zarządzanie łańcuchem dostaw w XXI wieku w poszukiwaniu nowych źródeł przewagi konkurencyjnej, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, 2018

⁹ Kisperska-Moroń D., i in. op. cit.

¹⁰ Szymonik A., Nowak I.: Współczesna logistyka, Difin, 2018

¹¹ Christopher M. op. cit.

¹² Waters D., Supply Chain Risk Management, Kogan Page, London, 2017

¹³ Pfohl H.-Ch., op. cit.

¹⁴ Witkowski J., Zarządzanie łańcuchem dostaw, PWE, Warszawa, 2020

¹⁵ Stoner J.A.F., Freeman E.R., Gilbert D.R.: Kierowanie. PWE, Warszawa, 1998

¹⁶ Griffin, R. W.: Podstawy zarządzania organizacjami. PWN, Warszawa, 2004

strategicznych. W praktyce stosowane są różne modele struktur, m.in. hierarchiczne, funkcjonalne, procesowe oraz sieciowe, z których każdy charakteryzuje się określonymi zaletami i ograniczeniami¹⁷. Dobór odpowiedniej struktury powinien uwzględniać specyfikę działalności, wielkość przedsiębiorstwa oraz dynamikę otoczenia rynkowego, przy czym coraz częściej stosowane są rozwiązania hybrydowe. Efektywna organizacja i struktura przedsiębiorstwa sprzyjają elastyczności działania, poprawie koordynacji procesów oraz długoterminowemu rozwojowi.

Organizacja fizycznego przepływu towarów w przedsiębiorstwie rozpoczyna się od wyboru najbardziej efektywnego sposobu dostarczenia produktów od miejsca ich wytworzenia do odbiorcy końcowego. Przedsiębiorstwo funkcjonuje jako system otwarty, współdziałający z otoczeniem poprzez przepływy towarów i informacji, co wymaga odpowiedniego zaprojektowania rozwiązań logistycznych. Głównym celem projektowania kanałów dystrybucji jest przezwyciężenie barier przestrzennych i czasowych oraz zapewnienie spójnej współpracy wszystkich uczestników kanału, co ma kluczowe znaczenie dla planowania, zarządzania i kontroli procesów dystrybucyjnych.

Kanał dystrybucji może być rozpatrywany zarówno w ujęciu podmiotowym, jako zbiór współpracujących organizacji, jak i procesowym, obejmującym działania generujące strumienie rzeczowe, informacyjne i finansowe. Szczególną rolę odgrywają strumienie informacyjne, które warunkują skuteczną komunikację pomiędzy uczestnikami kanału dystrybucji¹⁸.

Projektowanie kanałów dystrybucji polega na modyfikacji istniejących rozwiązań lub tworzeniu nowych struktur w celu lepszego dopasowania oferty do oczekiwań klientów oraz efektywnego rozmieszczenia produktów na rynku. Proces ten, realizowany najczęściej przez producenta, obejmuje m.in. określenie celów dystrybucyjnych, wybór intensywności dystrybucji, identyfikację i ocenę kanałów oraz dobór pośredników handlowych¹⁹.

W literaturze wyróżnia się trzy podstawowe strategie dystrybucji różniące się stopniem intensywności: dystrybucję intensywną, selektywną oraz wyłączną²⁰. Dystrybucja intensywna opiera się na maksymalnym zasięgu rynkowym i jest stosowana głównie w przypadku produktów często kupowanych. Dystrybucja selektywna zakłada współpracę z ograniczoną liczbą pośredników, co pozwala na redukcję kosztów i lepszą kontrolę rynku. Dystrybucja wyłączna natomiast zapewnia producentowi najwyższy poziom kontroli nad produktem i marką, znajdując zastosowanie przede wszystkim w przypadku dóbr luksusowych i specjalistycznych.

Mierniki i wskaźniki efektywności dystrybucji

Sprawne funkcjonowanie logistyki dystrybucji ma kluczowe znaczenie dla efektywności przedsiębiorstwa oraz poziomu obsługi klienta, dlatego coraz większą rolę odgrywa kontrola realizowanych procesów. W tym celu stosuje się różnorodne mierniki

¹⁷ Stoner J.A.F. i in. op. cit.

¹⁸ Śliwczyński, B., Koliński A.: Organizacja i monitorowanie procesów dystrybucji. Instytut Logistyki i magazynowania, Poznań, 2015.

¹⁹ Biniasz D.: Logistyka dystrybucji u dostawcy przemysłowego. Logistyka, Poznań, 2015

²⁰ Rutkowski K. (praca zbiorowa): Logistyka dystrybucji. Wyd. Difin, Warszawa, 2000

i wskaźniki, których analiza pozwala ocenić stan systemu dystrybucji oraz identyfikować obszary wymagające doskonalenia.

Wskaźniki logistyki dystrybucji odnoszą się do czynników wpływających na skuteczność systemu, takich jak m.in. terminowość i kompletność dostaw, czas realizacji zamówień, zdolność do obsługi pilnych zleceń, dostępność środków transportu, kompetencje pracowników oraz wykorzystanie systemów informatycznych. Jedną z podstawowych grup są mierniki strukturalne, umożliwiające ocenę organizacji i skali działalności dystrybucyjnej przedsiębiorstwa²¹. Obejmują one m.in. liczbę obsługiwanych klientów, średnią sprzedaż i wartość zamówień, częstotliwość dostaw, obszar dystrybucji, poziomy magazynowania oraz koszty dostaw i reklamacji.

Kolejną grupę stanowią wskaźniki produktywności, służące do oceny efektywności procesów dystrybucyjnych, takie jak liczba i wartość dostaw przypadających na pracownika, łączny oraz średni czas realizacji zamówień. Istotne znaczenie mają również wskaźniki ekonomiczne, które pozwalają określić udział kosztów dystrybucji w kosztach całkowitych i przychodach przedsiębiorstwa, a także porównać opłacalność dystrybucji realizowanej własnymi zasobami z outsourcingiem²².

Ostatnią grupę stanowią wskaźniki jakościowe, odzwierciedlające poziom obsługi klienta i jakość współpracy z odbiorcami. Obejmują one m.in. gotowość i niezawodność dostaw, udział opóźnionych i niekompletnych zamówień, liczbę reklamacji i zwrotów, elastyczność dostaw oraz pewność realizacji zamówień zgodnie z oczekiwaniami klientów. Wysokie wartości tych wskaźników przekładają się na satysfakcję klientów, reputację firmy i możliwość długoterminowej współpracy.

Skuteczność stosowania wskaźników zależy od ich systematycznego monitorowania oraz porównywania wyników w czasie. Należy przy tym podkreślić, że nie istnieje uniwersalny zestaw mierników odpowiedni dla wszystkich przedsiębiorstw – każda organizacja powinna dostosować system wskaźników do specyfiki swojej działalności, aby uzyskiwane wyniki były miarodajne i użyteczne decyzyjnie²³.

Cel, zakres i metodyka pracy

Celem pracy była analiza wskaźników dystrybucji produktów w firmie X, prowadzącej działalność w zakresie handlu wodą źródlaną, ze szczególnym uwzględnieniem oceny efektywności funkcjonującego systemu dystrybucji. Analiza miała na celu określenie poziomu sprawności realizowanych procesów dystrybucyjnych oraz identyfikację kluczowych parametrów charakteryzujących organizację dostaw w badanym przedsiębiorstwie.

Zakres pracy obejmował analizę działalności przedsiębiorstwa oraz podmiotów współpracujących z firmą, a także obliczenie reprezentatywnej wartości miesięcznej dostawy, przyjętej jako średnia arytmetyczna wyznaczona na podstawie danych obejmujących cały rok obrachunkowy. W ramach opracowania dokonano obliczeń wybranych wskaźników dystrybucji, pozwalających na ilościową ocenę systemu dystrybucyjnego. Analizie poddano m.in. zasięg dystrybucji, liczbę klientów, wielkość sprzedaży i liczbę

²¹ Śliwczyński, B., Koliński A.: op. cit.

²² Ibidem

²³ Frankowska M., Jedliński M.: Efektywność systemu dystrybucji. PWE, Warszawa, 2011

dostaw w określonych jednostkach czasu, przeciętną sprzedaż na jednego klienta, średnią wielkość zamówienia oraz całkowity i przeciętny czas realizacji zamówień.

Metodyka pracy obejmowała zastosowanie zarówno wskaźników ilościowych, jak i jakościowych, co umożliwiło kompleksowe ujęcie badanego zagadnienia. W części ilościowej wykorzystano dane liczbowe dotyczące realizowanych dostaw, sprzedaży oraz obsługi klientów, na podstawie których obliczono wskaźniki dystrybucyjne, takie jak przeciętny czas realizacji dostawy, gotowość i niezawodność dostaw, udział dostaw opóźnionych, niekompletnych i powtórnych, a także pewność i elastyczność dostaw. Wskaźniki te zostały wyznaczone przy użyciu standardowych zależności matematycznych, umożliwiających porównywalną ocenę efektywności procesów dystrybucyjnych.

Część jakościowa badania opierała się na wywiadach przeprowadzonych z pracownikami przedsiębiorstwa, w tym z magazynierem oraz dostawcą, których celem było pozyskanie informacji dotyczących organizacji pracy magazynu, przebiegu procesów logistycznych, realizacji dostaw oraz napotykanych problemów operacyjnych. Dane niezbędne do przeprowadzenia analiz ilościowych zostały udostępnione przez kierownika firmy i obejmowały m.in. faktury sprzedaży, zestawienia sprzedażowe oraz raporty magazynowe.

W ramach przeprowadzonej analizy wskaźników dystrybucji badaniu poddano sześciu klientów biznesowych oraz sześciu klientów indywidualnych. Dobór próby miał na celu uzyskanie reprezentatywnego obrazu działalności przedsiębiorstwa, uwzględniającego zróżnicowanie lokalizacji, częstotliwości dostaw oraz wielkości realizowanych zamówień.

Przedmiot badań

Firma X to przedsiębiorstwo działające na rynku od ponad 20 lat, z siedzibą zlokalizowaną w województwie małopolskim. Specjalizuje się w dystrybucji wody źródlanej na obszarze południowej Polski. Woda pozyskiwana jest z ujęć głębinowych zlokalizowanych w miejscowości Sopotnia Wielka koło Żywca. Charakteryzuje się niską mineralizacją oraz zawartością cennych składników, takich jak wapń, potas i magnez. Jakość dostarczanej wody jest stale kontrolowana przez Państwowy Zakład Higieny oraz Terenową Stację Sanitarno-Epidemiologiczną, co gwarantuje jej bezpieczeństwo i przydatność do spożycia.

W 2018 roku przedsiębiorstwo przeszło istotną zmianę właścicielską – zostało sprzedane osobie, która do tej pory pełni funkcję kierownika operacyjnego. Nowy właściciel, posiadający wieloletnie doświadczenie w branży oraz znajomość struktury organizacyjnej firmy, kontynuuje rozwój działalności, wdrażając rozwiązania usprawniające logistykę dystrybucji oraz obsługę klienta.

Przedsiębiorstwo specjalizuje się w dostarczaniu wody źródlanej w 19-litrowych butlach, zapewniając stały dostęp do wysokiej jakości wody dla klientów indywidualnych oraz biznesowych. Oprócz samej dystrybucji wody, firma prowadzi również sprzedaż i dzierżawę dystrybutorów, dostosowanych do różnych potrzeb użytkowników – dane techniczne podane w tabelach 1 i 2. Dzięki kompleksowej ofercie obejmującej zarówno dostawę wody, jak i obsługę techniczną dystrybutorów, przedsiębiorstwo zapewnia

klientom wygodne, ekonomiczne i ekologiczne rozwiązania w zakresie dystrybucji wody pitnej.

Tabela 1. Dane techniczne dystrybutora wody HC97LS WHITE / BLACK HOD

Zasilanie (V)	Moc chłodzenia (W)	Moc grza- nia (W)	Maksymak- symalna moc (W)	Wydajność wody zimnej 5-12°C (l/h)	Wydajność wody gorącej 89-95°C (l/h)	Masa bez modułu wody (kg)	Wymiary w Mm (wys., szer., głęb.)
220-240	85	500	585	2	5	16	980/340/340

Tabela 2. Dane techniczne dystrybutora wody HC66L WHITE / INOX HOD

Zasila- nie (V)	Moc chłodzenia (W)	Moc grzania (W)	Maksy- maksy- malna moc (W)	Wydaj- ność wody zimnej 5-12°C (l/h)	Wydaj- ność wody gorącej 89-95°C (l/h)	Masa bez modułu wody (kg)	Wymiary w Mm (wys., szer., głęb.)
220-240	85	500	585	2	5	16	980/340/340

Zamówienia przyjmowane są codziennie za pośrednictwem formularza dostępnego na stronie internetowej przedsiębiorstwa oraz drogą telefoniczną. Realizacja dostaw odbywa się pięć razy w tygodniu, przy czym średni dzienny czas pracy wynosi około 8 godzin, w zależności od liczby oraz wielkości zamówień. Harmonogram dostaw jest elastyczny i uzależniony od bieżących potrzeb klientów, co wpływa na czas przygotowania oraz wydania towaru z magazynu.

Przedsiębiorstwo dysponuje własnym magazynem o powierzchni 170 m², zlokalizowanym w krakowskiej dzielnicy Nowa Huta. Magazyn zaopatrywany jest z różną częstotliwością w zależności od sezonu – w okresie letnim dostawy odbywają się 3-4 razy w miesiącu, natomiast zimą z reguły dwa razy w miesiącu. Każda dostawa obejmuje średnio od 520 do 560 butli. Firma realizuje dystrybucję towaru zarówno samodzielnie, jak i we współpracy z zewnętrznymi podmiotami. Posiada własną flotę pojazdów – samochodów osobowych i dostawczych – które wykorzystywane są przez kierowców i dostawców działających na terenie województwa. Dodatkowo, przedsiębiorstwo współpracuje z firmami transportowymi oraz pośredniczącymi w sprzedaży, co zwiększa elastyczność realizacji dostaw.

Czas sprzedaży produktu jest silnie uzależniony od sezonowości popytu. W okresie letnim średni czas sprzedaży jednej dostawy wynosi od 4 do 6 dni, natomiast zimą, proces ten wydłuża się do około 8-12 dni. Dostawy do klientów realizowane są zgodnie z ustalonym wcześniej harmonogramem, który uwzględnia termin, godzinę oraz ilość zamówionego towaru.

Cena produktu ustalana jest indywidualnie, w oparciu o wielkość zamówienia oraz miejsce realizacji dostawy. W okresie od 2018 roku (momentu zmiany właściciela przedsiębiorstwa) do końca 2023 roku cena netto za butlę wody mieściła się w przedziale od 10,33 zł do 19,51 zł. W roku 2024 miesięczna cena jednostkowa netto wahała się

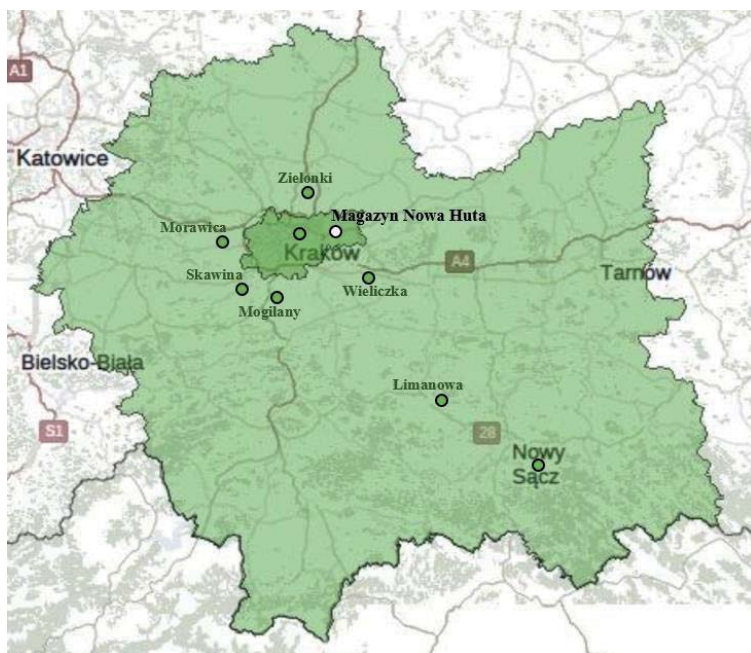
natomiast od 18,70 zł do 21,95 zł, co odzwierciedla zarówno rosnące koszty operacyjne, jak i zmieniające się warunki rynkowe.

Wysoka jakość oferowanego produktu oraz terminowość realizowanych dostaw składają się na sukcesywny wzrost liczby obsługiwanych klientów. Systematyczne powiększanie bazy odbiorców umożliwia przedsiębiorstwu stopniowe rozszerzanie działalności na kolejne regiony Polski, wykraczając poza obszar województwa małopolskiego.

Ocena efektywności organizacji dystrybucji

Wyniki przeprowadzonych obliczeń wskaźników dystrybucji zostały przedstawione w formie wykresów oraz analiz.

Na rysunku 1 przedstawiono mapę województwa małopolskiego z zaznaczonymi miejscowościami, do których dostarczane są towary z magazynu. Mapa obrazuje szeroki zasięg dystrybucji przedsiębiorstwa, obejmujący zarówno centralne okolice Krakowa, jak i bardziej oddalone lokalizacje w regionie. Głównym punktem dystrybucyjnym jest Kraków oraz jego okolice, w tym Skawina, Wieliczka, Zielonki, Mogilany i Morawica. Poza centralnym obszarem dystrybucji zaznaczone zostały także bardziej oddalone lokalizacje, takie jak Limanowa i Nowy Sącz. Na mapie uwzględniono odległości poszczególnych lokalizacji od magazynu, co ma kluczowe znaczenie przy planowaniu tras logistycznych.



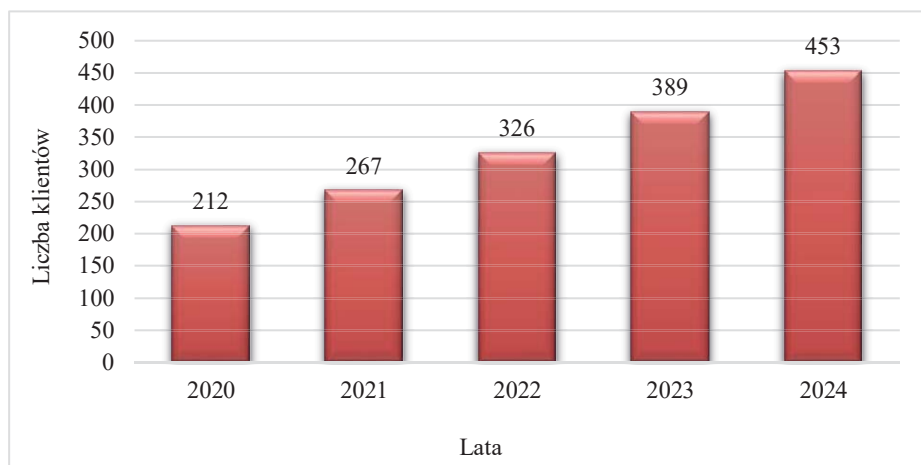
Rysunek 1. Mapa Małopolski wraz z zaznaczonymi miejscowościami realizacji zamówień

Przykładowo:

- Zielonki znajdują się w odległości około 12 km,
- Wieliczka – około 15 km,
- Morawica – około 25 km,
- Mogilany – około 28 km,
- Skawina – około 30 km,
- Limanowa – około 75 km,
- Nowy Sącz – około 100 km

Zróżnicowanie lokalizacji i odległości do poszczególnych punktów dostaw wskazuje na konieczność efektywnego planowania logistycznego oraz elastycznego zarządzania trasami transportu. Układ przedstawiony na rysunku potwierdza, że firma operuje w sposób zorganizowany, uwzględniając optymalizację zasięgu i efektywności działania łańcucha dostaw.

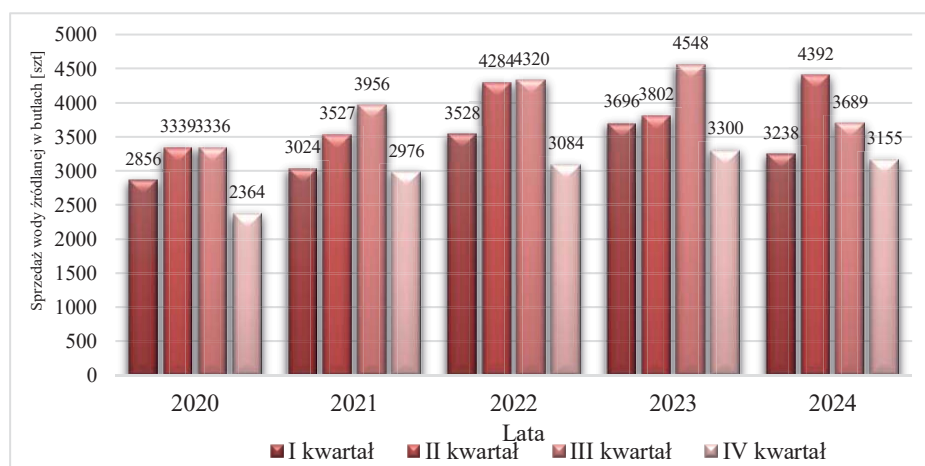
Na wykresie (rysunek 2) pokazano zmienność liczby klientów na przestrzeni pięciu lat – od roku 2020 do 2024.



Rysunek 2. Zmienność liczby klientów w latach 2020 – 2024

W analizowanym okresie zauważalna jest wyraźna tendencja wzrostowa, która świadczy o rosnącym zainteresowaniu usługami oraz efektywnym zarządzaniu dystrybucją. W 2020 roku liczba klientów wynosiła 212, natomiast w roku 2021 wzrosła do 267, co oznacza przyrost o ok. 26% względem roku poprzedniego. W 2022 roku odnotowano dalszy wzrost liczby klientów do poziomu 326, co stanowi wzrost o ok. 22% w stosunku do roku 2021. W kolejnym roku, czyli 2023, liczba klientów osiągnęła 389, co daje wzrost o ok. 19% względem 2022 roku. Natomiast w 2024 roku liczba klientów wynosiła 453, co oznacza wzrost o ok. 16% w porównaniu z rokiem 2023. Choć dynamika wzrostu stopniowo maleje, dane jednoznacznie wskazują na stabilny rozwój i utrzymującą się tendencję wzrostową. Może to świadczyć o dojrzewaniu rynku oraz o potrzebie wdrażania nowych działań marketingowych, które pozwolą utrzymać ten pozytywny trend w kolejnych latach.

Kolejny wykres (rysunek 3) przedstawia roczną liczbę sprzedaży wody źródlanej w butlach z podziałem na kwartały w latach 2020–2024.



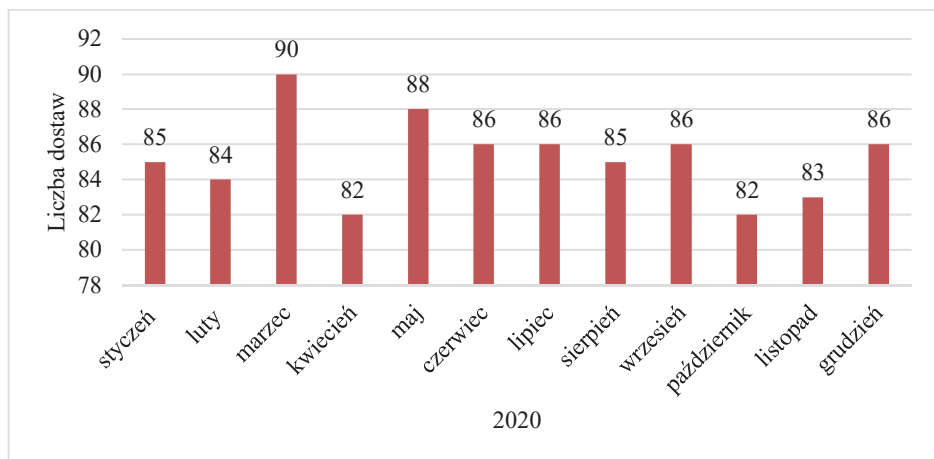
Rysunek 3. Roczna liczba sprzedaży towaru z podziałem na kwartał

Analiza wykresu wskazuje na systematyczny wzrost sprzedaży w analizowanym okresie, choć dynamika tego wzrostu nie była w pełni liniowa. Najwyższe wartości sprzedaży odnotowywano najczęściej w III kwartale, co może być związane z sezonowym wzrostem zapotrzebowania na wodę w okresie letnim. Wraz z upływem czasu obserwuje się również zmniejszanie się różnic w poziomie sprzedaży pomiędzy poszczególnymi kwartałami, co świadczy o stabilizacji rynku oraz bardziej równomiernym rozłożeniu popytu w ciągu roku. Warto podkreślić, że w roku 2024 sprzedaż w każdym kwartale osiągnęła wyższe wartości niż w latach wcześniejszych, co dodatkowo potwierdza pozytywny trend rozwoju rynku.

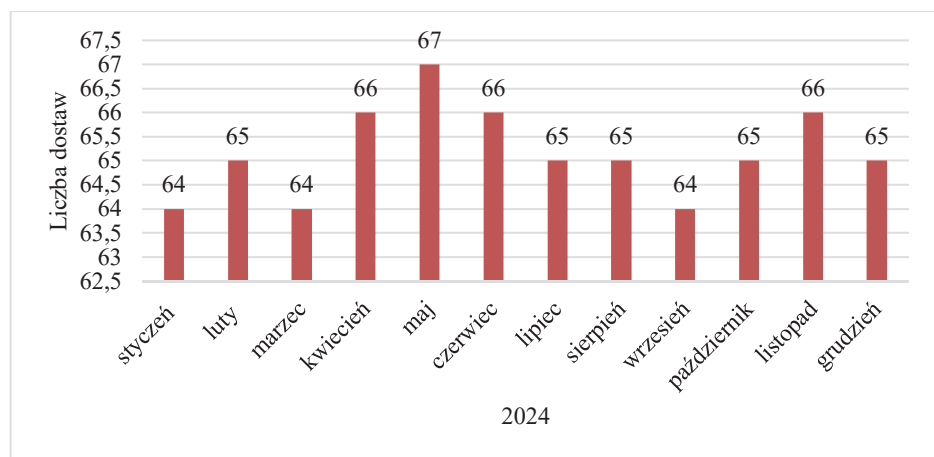
Kolejne wykresy (rysunek 4 i 5) przedstawiają ilość zrealizowanych dostaw na jednego pracownika w danym okresie czasu. Do analizy przedstawiono dane z dwóch lat – 2020 oraz 2024 – aby zobrazować, jak znacząco rozwinęła się działalność firmy w ciągu pięciu lat. Porównanie tych dwóch okresów pozwala w klarowny sposób ukazać skalę wzrostu zarówno pod względem całkowitej liczby realizowanych dostaw, jak i zmian w strukturze zatrudnienia.

W 2020 roku dostawy realizowało dwóch pracowników. Średnia liczba dostaw na jednego pracownika wahała się od 82 do 90 miesięcznie, co oznacza łącznie od 164 do 180 dostaw na miesiąc. Najwięcej dostaw przypadało na jednego pracownika w marcu (90), a najmniej w kwietniu i październiku (82). Dane te wskazują na stosunkowo stabilne, ale momentami nierównomierne obciążenie pracą w ciągu roku – różnice miesięczne wynosiły nawet 8 dostaw na osobę.

W 2024 roku liczba zatrudnionych pracowników wynosiła już cztery osoby. Mimo tego, całkowita liczba dostaw miesięcznie była znacznie wyższa niż w 2020 roku, sięgając od 256 do 268. Przełożyło się to na średnie miesięczne obciążenie jednego pracownika w przedziale od 64 do 67 dostaw. Największe obciążenie wystąpiło w maju (67), a najmniejsze w styczniu, marcu i we wrześniu (64). Różnice te były znikome, co świadczy o niemal idealnym rozłożeniu zadań między pracownikami.



Rysunek 4. Miesięczna liczba dostaw na jednego pracownika w roku 2020



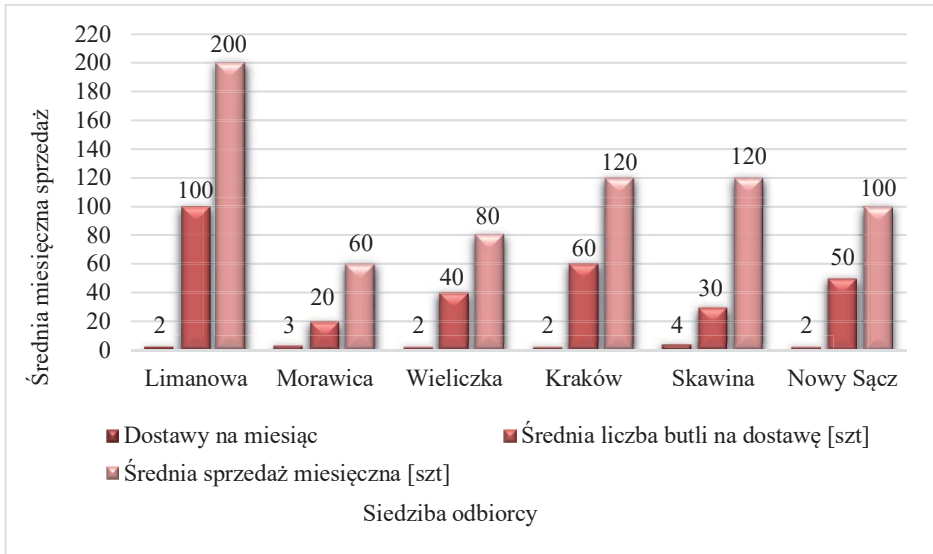
Rysunek 5. Miesięczna liczba dostaw na jednego pracownika w roku 2024

Z analizy wykresów wynika, że wzrost zatrudnienia umożliwił rozłożenie pracy bardziej równomiernie, mimo że całkowita liczba realizowanych dostaw znacząco się zwiększyła. Pozwoliło to na utrzymanie efektywności operacyjnej przy jednoczesnym rozwoju działalności.

Rysunek 6 przedstawia dane dotyczące przeciętnej miesięcznej sprzedaży wody źródlanej dla klientów biznesowych. Zaprezentowano trzy wartości: liczbę dostaw w miesiącu, średnią liczbę butli na jedną dostawę oraz średnią miesięczną sprzedaż wyrażoną w sztukach w roku 2024.

Rysunek ukazuje sprzedaż dla klientów biznesowych. Największą sprzedaż miesięczną odnotowano w Limanowej – łączna sprzedaż butli wynosi 200 sztuk. Podobnie

wysokie wartości osiągnięto w Skawinie i Krakowie (120 sztuk) oraz w Nowym Sączu (100 sztuk). Najniższą sprzedaż zaobserwowano w Wieliczce (80 sztuk) oraz w Morawicy (60 sztuk). Dane te pokazują, że wśród klientów biznesowych przeważają większe, ale rzadsze zamówienia – np. Limanowa czy Kraków mają tylko dwie dostawy w miesiącu, ale o bardzo dużej liczbie butli.



Rysunek 6. Średnia miesięczna sprzedaż dla klientów biznesowych

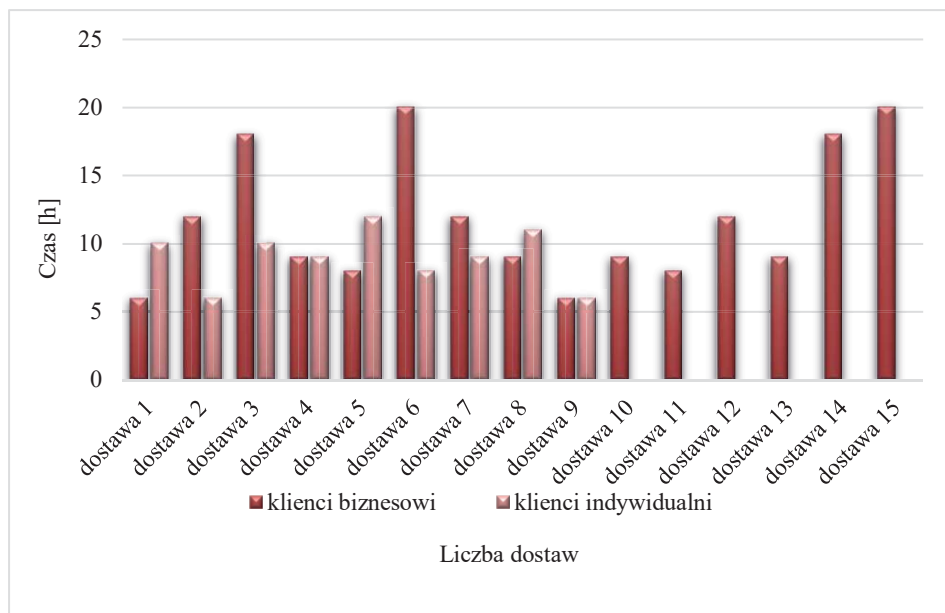
Analizowane dane wskazują, że klienci biznesowi generują znacznie wyższą sprzedaż miesięczną niż indywidualni, co wynika głównie z większych jednorazowych zamówień. Sprzedaż indywidualna cechuje się większą częstotliwością dostaw, ale przy znacznie mniejszej liczbie butli. Oba wykresy stanowią cenne źródło wiedzy na temat zróżnicowanego charakteru obsługi różnych grup odbiorców oraz pozwalają na lepsze dostosowanie logistyki i planowania dostaw.

Całkowity czas realizacji zamówienia wynosi maksymalnie 72 godziny i uzależniony jest od kilku kluczowych czynników logistycznych. Przede wszystkim wpływ na czas dostawy ma wielkość zamówienia – większe ilości towaru wymagają dodatkowego czasu na kompletację, załadunek oraz organizację odpowiednich środków transportu. Drugim istotnym czynnikiem jest odległość pomiędzy magazynem, a lokalizacją klienta. Im większy dystans do pokonania, tym dłuższy czas potrzebny na dostarczenie zamówienia. Pomimo tych zmiennych, proces logistyczny został zaprojektowany w taki sposób, aby zapewnić maksymalną efektywność operacyjną i terminowość, dzięki czemu nawet w przypadku bardziej wymagających dostaw termin realizacji nie przekracza 72 godzin.

Analiza wskaźników dystrybucji

Średnio w ciągu miesiąca firma zrealizowała 15 dostaw dla klientów biznesowych, których łączny czas wykonania wyniósł 176 godzin, natomiast dla klientów indywidualnych zrealizowano łącznie 9 dostaw, wymagających łącznie 81 godzin pracy.

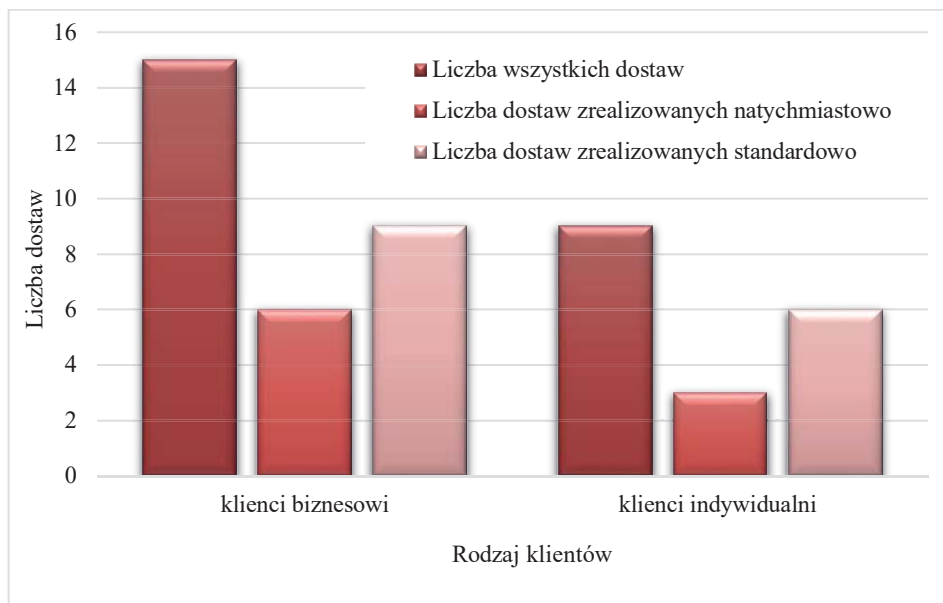
Rysunek 7 przedstawia przeciętny czas realizacji jednej dostawy.



Rysunek 7. Przeciętny czas realizacji dostaw

Na podstawie danych można zauważyć, że każda z dostaw została zrealizowana w przeciętnym czasie wynoszącym 12 i 9 godzin, co wynika z podziału całkowitego czasu pracy przez liczbę dostaw. Różnica ta może wynikać z większej złożoności zamówień biznesowych, większego wolumenu towaru lub większych odległości dostaw. Obsługa klientów indywidualnych odbywa się sprawniej czasowo, co może być efektem mniejszej skali zamówień oraz większej liczby powtarzalnych tras dostaw. Z kolei dłuższy czas obsługi klientów biznesowych może wskazywać na konieczność optymalizacji w tym obszarze, np. poprzez lepsze planowanie tras, lepszą alokację zasobów lub modernizację procesów logistycznych.

Kolejnym wskaźnikiem jest poziom gotowości dostaw, który został przedstawiony na rysunku 8.



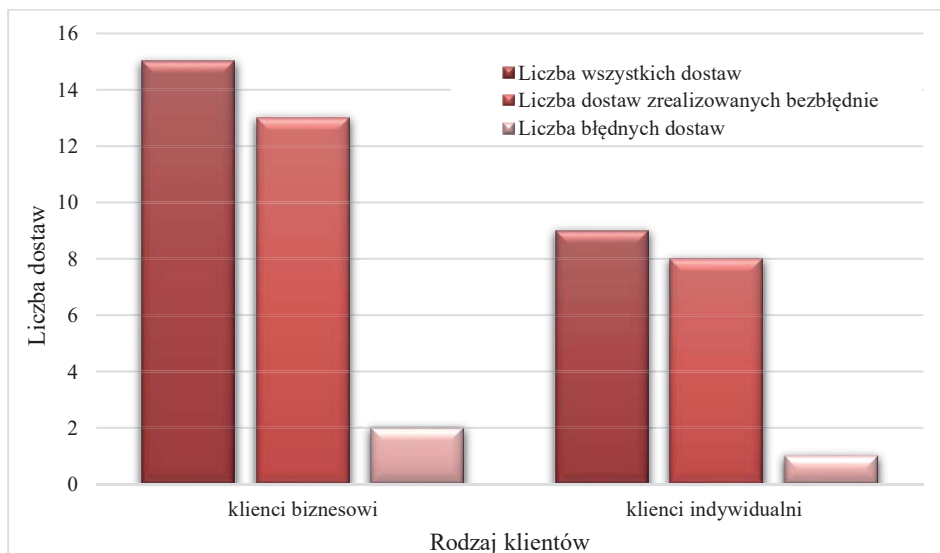
Rysunek 8. Gotowość dostaw

Analizując dane, można zauważyć, że z 15 zamówień złożonych przez klientów biznesowych, 6 zostało zrealizowanych natychmiastowo, co oznacza gotowość na poziomie 40%. Dla klientów indywidualnych złożono 9 zamówień, z czego 3 dostarczono od razu, co daje wskaźnik gotowości równy 33,33%.

Z przedstawionych danych wynika, że firma jest w stanie zapewnić szybkość i terminową realizację dostaw, co świadczy o wysokim poziomie operacyjnej gotowości i sprawnie funkcjonującym systemie logistycznym. Pomimo tego, że dominującą formą pozostają dostawy realizowane w trybie standardowym, zauważalny jest również istotny udział dostaw natychmiastowych. Fakt ten może świadczyć o elastyczności operacyjnej przedsiębiorstwa, które potrafi dynamicznie reagować na zmieniające się potrzeby rynku oraz indywidualne wymagania klientów.

Rysunek 9 przedstawia analizę niezawodności dostaw zrealizowanych przez firmę. W przypadku partnerów biznesowych zrealizowano łącznie 15 dostaw, z czego 13 przebiegło bezbłędnie – bez opóźnień oraz braków ilościowych czy asortymentowych, natomiast 2 dostawy zawierały niezgodności. W grupie odbiorców indywidualnych wykonano 9 dostaw, z czego 8 zostało zrealizowanych prawidłowo.

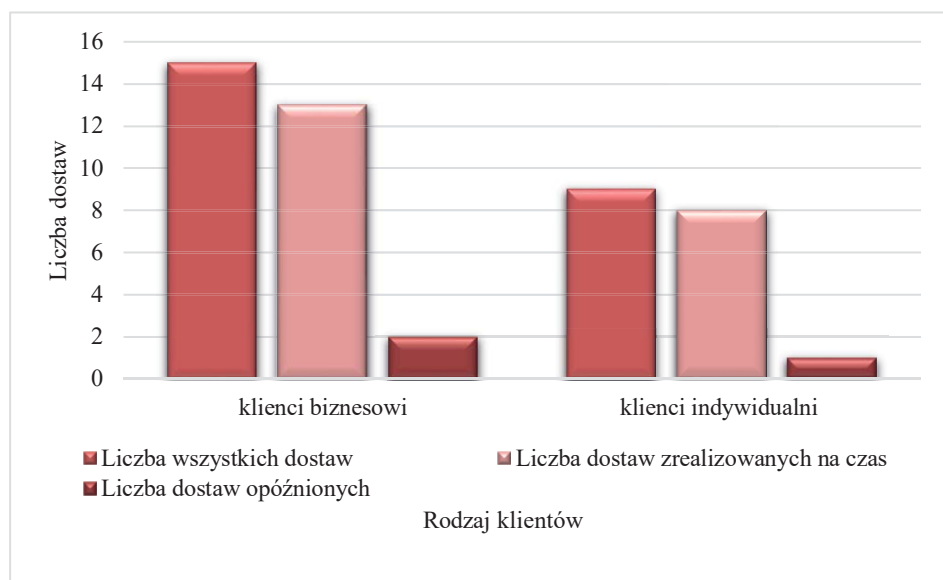
Zestawienie to wskazuje, że poziom niezawodności dostaw jest wysoki w obu segmentach klientów, jednak minimalne odchylenia świadczą o istnieniu pojedynczych nieprawidłowości. Analiza niezawodności dostaw stanowi istotny element oceny jakości obsługi logistycznej – pozwala na identyfikację obszarów wymagających optymalizacji w celu zapewnienia pełnej zgodności z oczekiwaniami odbiorców.



Rysunek 9. Niezawodność dostaw

Kolejny wykres (rysunek 10) obrazuje udział opóźnionych dostaw. Na podstawie przedstawionych danych można stwierdzić, że firma zrealizowała łącznie 15 dostaw do podmiotów gospodarczych, z czego 13 zostało wykonanych zgodnie z ustalonym terminem, natomiast 2 dostawy uległy opóźnieniu. W przypadku osób prywatnych zrealizowano 9 dostaw, z których 8 dostarczono na czas.

Uzyskane wyniki wskazują na wysoki poziom efektywności procesów dystrybucyjnych – wskaźnik terminowości dla klientów B2B wyniósł 86,67%, natomiast dla klientów B2C 88,89%. Różnice pomiędzy tymi wartościami mogą wynikać m.in. z odmiennych warunków realizacji zleceń, takich jak lokalizacja odbiorców, wielkość zamówień czy poziom skomplikowania obsługi. Należy jednak podkreślić, że w obu przypadkach udział opóźnionych dostaw jest niewielki i nie wpływa istotnie na ogólną ocenę sprawności systemu dystrybucji. Z perspektywy TSL świadczy to o dobrze funkcjonującym zapleczu operacyjnym, które pozwala na zachowanie ciągłości procesów i minimalizację ryzyka występowania zakłóceń.



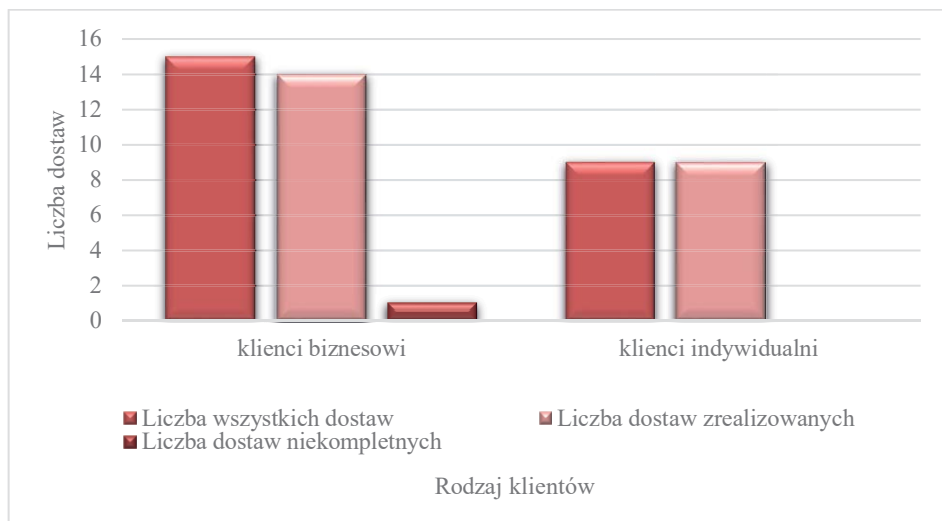
Rysunek 10. Liczba opóźnionych dostaw

Wykres (rysunek 11) obrazuje udział niekompletnych dostaw. Średnia miesięczna liczba dostaw realizowanych przez firmę wyniosła 24, z czego 15 dostaw kierowano do klientów biznesowych, a 9 do odbiorców indywidualnych.

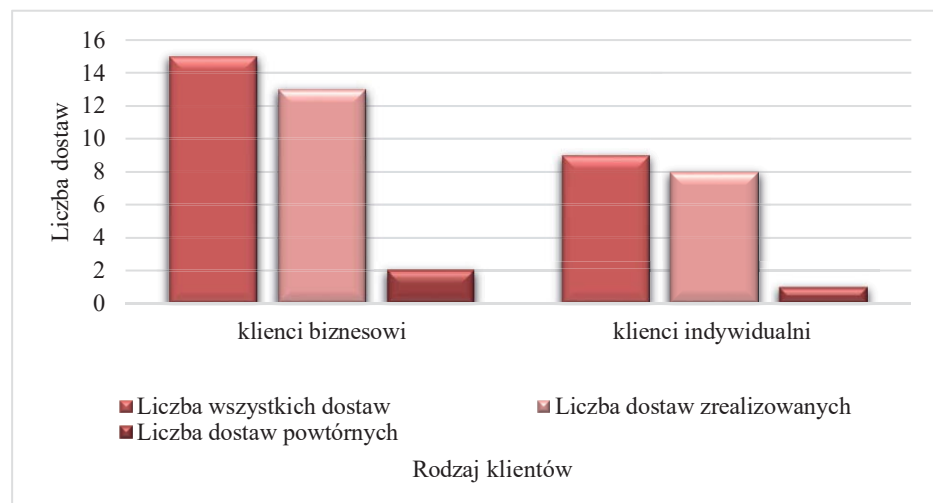
Na podstawie uzyskanych danych można stwierdzić, że większość zamówień została zrealizowana w sposób zgodny z założeniami, co świadczy o wysokiej skuteczności operacyjnej przedsiębiorstwa. Pojedyncze przypadki dostaw niekompletnych mogą jednak wskazywać na niedociągnięcia w obszarze kompletacji zamówień lub na chwilowe problemy z dostępnością asortymentu w magazynie. Mimo ich wystąpienia, odsetek niezgodnych realizacji pozostaje na bardzo niskim poziomie, co potwierdza wysoki standard jakości świadczonych usług logistycznych.

Kolejny wykres (rysunek 12) przedstawia pewność dostaw. Firma zrealizowała łącznie 15 dostaw do klientów biznesowych, z czego 13 zostało dostarczonych w terminie uzgodnionym z klientem. Dwie dostawy dotarły z opóźnieniem, którego przyczyną były czynniki zewnętrzne, takie jak niesprzyjające warunki drogowe lub awarie środków transportu. Wskaźnik ten wyniósł 86,67%. W przypadku klientów indywidualnych terminowo zrealizowano 8 z 9 dostaw, co stanowi 88,89% skuteczności terminowej.

Pewność dostaw odnosi się do stopnia zgodności pomiędzy rzeczywistym terminem realizacji a terminem ustalonym w procesie zamówienia. Uzyskane wartości wskazują na wysoki poziom stabilności organizacyjnej przedsiębiorstwa oraz skuteczną synchronizację pomiędzy działaniami planistycznymi a realizacyjnymi. Taka efektywność świadczy o dobrze funkcjonujących procedurach planowania tras transportowych oraz sprawnej organizacji pracy magazynu. Wysoka pewność dostaw wpływa bezpośrednio na wzrost zaufania klientów, budując długofalowe relacje i umacniając pozycję firmy na rynku.

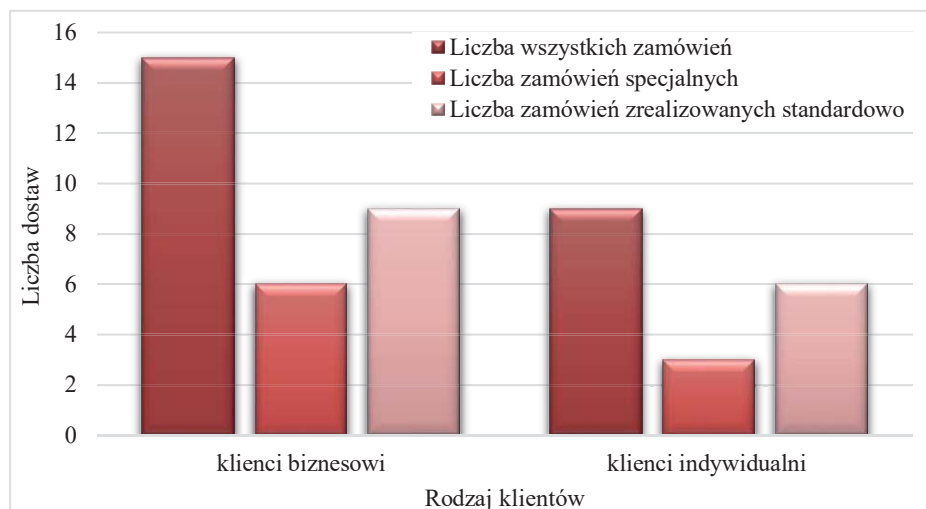


Rysunek 11. Liczba niekompletnych dostaw



Rysunek 12. Pewność dostaw

Na wykresie (rysunek 13) pokazano elastyczność dostaw dla segmentu B2B oraz B2C. W analizowanym okresie obsłużono 15 i 9 zamówień. Spośród nich 6 oraz 3 stanowiły dostawy niestandardowe, wymagające realizacji poza ustalonym harmonogramem, np. w trybie przyspieszonym, w ciągu kilku godzin od złożenia zamówienia, zamiast w domyślnym czasie 72 godzin.



Rysunek 13. Elastyczność dostaw

Wszystkie tego rodzaju zamówienia zostały zrealizowane terminowo i zgodnie z oczekiwaniami odbiorców, co świadczy o wysokiej elastyczności operacyjnej przedsiębiorstwa. Wskaźniki te dowodzą zdolności firmy do szybkiego dostosowania się do niestandardowych potrzeb klientów, zarówno w kontekście planowania tras, jak i zarządzania zasobami magazynowymi oraz flotą transportową.

Ostatnim wskaźnikiem jest udział zrealizowanych zamówień. w analizowanym okresie złożono łącznie 24 zamówienia, z czego 15 dotyczyło klientów korporacyjnych, a 9 – klientów domowych. Wszystkie zamówienia zostały w pełni zrealizowane, co oznacza 100% poziom realizacji dla obu segmentów klientów.

Taki wynik jednoznacznie wskazuje na bardzo wysoką efektywność organizacyjną przedsiębiorstwa. Brak jakichkolwiek przypadków anulowania czy odrzucenia zleceń potwierdza, że firma posiada odpowiednio skalibrowany system planowania operacyjnego oraz wystarczające zasoby – zarówno materiałowe jak i ludzkie – do sprawnego realizowania całego procesu dystrybucji. Utrzymanie takiego poziomu realizacji zamówień ma istotne znaczenie w kontekście budowania zaufania klientów oraz pozytywnego wizerunku marki, co z kolei może przekładać się na większą lojalność odbiorców i wzrost przewagi konkurencyjnej firmy na rynku.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona ocena organizacji dystrybucji produktów w wybranej firmie wykazała bardzo wysoki poziom efektywności funkcjonującego systemu logistycznego. Pełna realizacja zamówień oraz brak reklamacji potwierdzają wysoką jakość obsługi klienta, skuteczne zarządzanie procesami dystrybucyjnymi oraz właściwy nadzór nad realizacją zleceń zarówno w segmencie B2B, jak i B2C. Osiągnięte wyniki świadczą o stabilności operacyjnej przedsiębiorstwa oraz jego zdolności do terminowego i bezbłędnego realizowania zamówień.

Analiza wskaźników gotowości i elastyczności dostaw wskazuje na dobre zarządzanie zapasami oraz odpowiednie przygotowanie magazynowe, umożliwiające sprawną realizację zamówień. Firma wykazuje zdolność adaptacji do zmieniających się potrzeb klientów, choć w segmencie B2C widoczna jest przestrzeń do dalszego doskonalenia szybkości reagowania na niestandardowe potrzeby odbiorców. Szczególną uwagę należy zwrócić na czas realizacji zamówień specjalnych, który w niektórych przypadkach przekracza standardowy czas dostawy, co może wpływać na poziom satysfakcji klientów i wymaga dalszej optymalizacji procesów oraz lepszej koordynacji działań między działami.

Wysoki poziom kompletności dostaw, zwłaszcza w segmencie klientów indywidualnych, potwierdza dobrą organizację procesów magazynowych i dystrybucyjnych. Jednocześnie niepełne dostawy w segmencie B2B wskazują na potrzebę wzmocnienia kontroli stanów magazynowych w celu ograniczenia braków asortymentowych i dalszej poprawy jakości obsługi klientów biznesowych. Stabilna średnia wartość zamówień świadczy o regularności zakupów i trwałości relacji z odbiorcami, a także stwarza podstawy do dalszych analiz opłacalności i optymalizacji kosztów logistycznych.

Podsumowując, organizacja dystrybucji w analizowanym przedsiębiorstwie charakteryzuje się wysokim poziomem skuteczności, niezawodności oraz zdolności do reagowania na potrzeby rynku. Stabilność realizowanych dostaw, rosnąca liczba obsługiwanych zamówień oraz wysoka jakość obsługi klienta przyczyniają się do umacniania pozycji konkurencyjnej firmy. Jednocześnie zidentyfikowane obszary wymagające doskonalenia stanowią istotny punkt wyjścia do dalszych działań usprawniających organizację dystrybucji i zwiększających efektywność operacyjną przedsiębiorstwa.

Bibliografia

- Blaik P.: Logistyka. Koncepcja zintegrowanego zarządzania, PWE, Warszawa, 2019.
Biniasz D.: Logistyka dystrybucji u dostawcy przemysłowego. Logistyka, Poznań, 2015.
Christopher M.: Logistics & Supply Chain Management, Pearson Education, Harlow, 2016.
Ciesielski M.: Logistyka w biznesie, PWE, Warszawa, 2018.
Frankowska M., Jedliński M.: Efektywność systemu dystrybucji. PWE, Warszawa, 2011.
Griffin, R. W.: Podstawy zarządzania organizacjami. PWN, Warszawa, 2004.
Kadłubek M.: Zarządzanie procesami dystrybucji w przedsiębiorstwie cz. 1, Logistyka, 5, 2012.
Kisperska-Moroń D., Płaczek E., Piniecki R.: Zarządzanie logistyczne w firmach usługowych, Prace Naukowe/Akademia Ekonomiczna w Katowicach, 2003.
Pfohl H.-Ch., Logistiksysteme, Springer Gabler, Wiesbaden, 2020.

- Rutkowski K., Zarządzanie łańcuchem dostaw w XXI wieku w poszukiwaniu nowych źródeł przewagi konkurencyjnej, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2018
- Rutkowski K. (praca zbiorowa): Logistyka dystrybucji. Wyd. Difin, Warszawa, 2000.
- Stoner J.A.F., Freeman E.R., Gilbert D.R: Kierowanie. PWE, Warszawa, 1998.
- Szymonik A., Nowak I.: Współczesna logistyka, Difin, 2018.
- Śliwczyński, B., Koliński A.: Organizacja i monitorowanie procesów dystrybucji. Instytut Logistyki i magazynowania, Poznań, 2015.
- Waters D., Supply Chain Risk Management, Kogan Page, London, 2017.
- Witkowski J., Zarządzanie łańcuchem dostaw, PWE, Warszawa, 2020.

Adres do korespondencji: tomasz.hebda@urk.edu.pl

ORCID: Elżbieta Olech 0000-0003-4405-701X

ORCID: Tomasz Hebda 0000-0002-9128-164X

CYBERBEZPIECZEŃSTWO W OBSZARZE LOGISTYKI

Michał Cupiał^{1,2}, Mateusz Ponikiewicz³, Łukasz Faber⁴

¹ Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

² Centrum Badawczo Rozwojowe Rolnictwa 4.0, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

³ Centrum Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

⁴ Centrum Bezpieczeństwa Informacji, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wprowadzenie

W ostatniej dekadzie sektor logistyki i transportu stał się jednym z najbardziej narażonych obszarów gospodarki na zagrożenia cybernetyczne. Wynika to przede wszystkim z cyfryzacji procesów, silnej integracji z innymi sektorami oraz presji na redukcję kosztów operacyjnych. Rozproszone łańcuchy dostaw, globalne sieci partnerów oraz powszechne wykorzystanie systemów TMS, WMS, telematiki flotowej i rozwiązań chmurowych powodują, że zakłócenia w cyberprzestrzeni przekładają się bezpośrednio na zakłócenia przepływu dóbr w świecie fizycznym¹.

Równolegle do tego trendu obserwuje się intensyfikację aktywności grup cyberprzestępczych sponsorowanych przez państwa, które traktują sektor transportowy jako wygodny cel zarówno dla działań stricte przestępczych (np. ransomware), jak i operacji o charakterze geopolitycznym.

W odpowiedzi na te wyzwania, powstają wyspecjalizowane inicjatywy budowy zdolności cyberbezpieczeństwa. Przykładem takiej inicjatywy jest projekt SOCCER, który mimo że realizowany jest w środowisku akademickim, to jednak część jego założeń jest uniwersalnych i może być przenoszona na inne obszary.

Zagrożenia w sektorze transportu

Raport ENISA *Transport Threat Landscape*² wskazuje, że sektor transportu odpowiada za co najmniej 11% wszystkich raportowanych poważnych incydentów cybernetycznych w Europie, plasując się w ścisłej czołówce incydentów wraz z administracją

¹ „Cybersecurity in Transportation and Logistics: Inside the Sector’s Risks”, dostęp 12 grudnia 2025, <https://www.eyecybersecurity.com/blog/cybersecurity-in-transportation-and-logistics-inside-the-sectors-risks>

² „ENISA Threat Landscape 2024 ENISA”, 6 listopada 2025, <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2024>.

publiczną i usługami finansowymi³. W strukturze zagrożeń dominuje ransomware, ataki na dane oraz DDoS, przy czym ataki łańcuchowe na systemy dostawców i partnerów odnotowują najwyższą dynamikę wzrostu.

Dane z analiz branżowych pokazują, że między lipcem 2023 a lipcem 2024 roku udokumentowano co najmniej 27 publicznie zgłoszonych, poważnych incydentów w sektorze transportu i logistyki, obejmujących porty morskie, operatorów kolejowych, przewoźników drogowych oraz firmy kurierskie⁴. W raportach ICS/OT wskazuje się, że w 2022 roku w segmencie transportu odnotowano kilkanaście poważnych incydentów ransomware, co świadczy o przesuwaniu się zainteresowania napastników w stronę węzłów logistycznych⁵. Struktura zagrożeń w sektorze transportu przedstawiona została w tabeli 1.

Tabela 1. Struktura zagrożeń w sektorze transportu

Typ zagrożenia	Udział w incydentach (%)	Charakterystyka dla logistyki
Ransomware	38	Paraliż TMS/WMS, portów, terminali kontenerowych
Zagrożenia związane z danymi	30	Kradzież manifestów, danych klientów, tras
Malware (inne niż ransomware)	17	Infekcje stacji roboczych, serwerów, systemów OT
DDoS	16	Niedostępność portali, systemów rezerwacji i śledzenia
Phishing	10	Przejęcie kont pracowników, dyspozytorów, menedżerów
Ataki na łańcuch dostaw (supply chain)	10	Wykorzystanie luk u dostawców oprogramowania

Źródło: (opracowano na podstawie ENISA Threat Landscape 2024)

Jak wynika z danych ENISA, największym zagrożeniem obecnie są ataki ransomware, polegające na szyfrowaniu danych zaatakowanej firmy. Może to doprowadzić do poważnych zakłóceń w działalności firm, w skrajnych przypadkach może spowodować zaprzestanie działalności. Przestępcy żądają okupu za odszyfrowanie plików, jednak nawet jego zapłacenie nie gwarantuje odzyskania utraconych danych. Istotnym czynnikiem przemawiającym przeciwko płaceniu okupu, jest fakt, że te pieniądze posłużą do finansowania przestępczej działalności i dodatkowo zachęcą do takich działań. Kolejnym na liście zagrożeń jest ryzyko utraty danych. Przechwycenie danych firmy oraz danych klientów może spowodować nie tylko bezpośrednie straty, ale także utratę zaufania do

³ „CLECAT | ENISA REPORT ON CYBERSECURITY THREATS IN 2024”, dostęp 12 grudnia 2025, <https://www.clecat.org/en/news/newsletters/enisa-report-on-cybersecurity-threats-in-2024>

⁴ James, 14 Recent Cyber Attacks on the Transport & Logistics Sector, 29 września 2024, <https://wisdiam.com/publications/recent-cyber-attacks-transport-logistics-sector>

⁵ „Dragos-2025-OT-Cybersecurity-Report-A-Year-in-Review.pdf”, b.d., dostęp 18 grudnia 2025, <https://hub.dragos.com/hubfs/312-Year-in-Review/2025/Dragos-2025-OT-Cybersecurity-Report-A-Year-in-Review.pdf?hsLang=en>

przedsiębiorstwa. Pozostałe zagrożenia, mimo iż rzadziej spotykane, w przypadku konkretnej organizacji mogą spowodować poważne problemy.

Studia przypadków wybranych incydentów

Na celowniku przestępców znajdują się przedsiębiorstwa małe i duże, nie są bezpieczne także te o globalnym zasięgu. Przykładowe i spektakularne ataki przedstawione zostały w tabeli 2.

Tabela 2. Wybrane incydenty cybernetyczne w logistyce

Rok	Podmiot	Kraj	Typ ataku	Skutek
2017	Maersk ⁶	globalnie	ransomware (NotPetya)	wielodniowy paraliż systemów
2021	Transnet/Port Durban ⁷	RPA	ransomware	zakłócenia obsługi kontenerów
2023	Port Nagoya ⁸	Japonia	ransomware	2–3 dni wstrzymania przeładunków
2023/2025	PKP ⁹	Polska	komunikaty radiowe/ DDoS	zatrzymanie pociągów, problemy z zakupem biletów
2024	Port Seattle (lotniczy i morski) ¹⁰	USA	ransomware	zakłócenia odpraw i usług
2025	Linie lotnicze	Morze Bałtyckie, Czarne, Śródziemne	zakłócenie sygnału GPS	zakłócenia lotów

Opracowanie własne

Choć atak NotPetya na Maersk miał miejsce w 2017 roku, w literaturze nadal wskazywany jest jako punkt odniesienia dla oceny ryzyka w globalnej logistyce morskiej. Szkodliwe oprogramowanie zniszczyło znaczną część infrastruktury IT operatora, prowadząc do czasowego wyłączenia systemów rezerwacji, terminali portowych i biur na kilku kontynentach. Szacunki strat sięgały setek milionów dolarów, a incydent ujawnił m.in. krytyczną rolę kopii zapasowych, planów ciągłości działania oraz globalnie skoordynowanego zarządzania kryzysowego. Ten incydent wskazuje na konieczność

⁶ „Notpetya Ransomware Attack on Maersk - Key Learnings”, LRQA, dostęp 12 grudnia 2025, <https://www.lrqa.com/en/insights/articles/notpetya-ransomware-attack-on-maersk-key-learnings/>

⁷ „Case Study 17: Port of Durban, South Africa | United Nations”, dostęp 12 grudnia 2025, <https://resilientmaritimelogistics.unctad.org/guidebook/case-study-17-port-durban-south-africa>

⁸ 5 min read/Jacob Benjamin, „OT Cybersecurity Breach Disrupts Operations at the Port of Nagoya, Japan”, 11 lipca 2023, <https://www.dragos.com/blog/ot-cybersecurity-breach-disrupts-operations-at-the-port-of-nagoya-japan>

⁹ Andy Greenberg, „The Cheap Radio Hack That Disrupted Poland’s Railway System”, Tags, Wired, b.d., dostęp 12 grudnia 2025, <https://www.wired.com/story/poland-train-radio-stop-attack/>

¹⁰ James, 14 Recent Cyber Attacks on the Transport & Logistics Sector, 29 września 2024, <https://wisdiam.com/publications/recent-cyber-attacks-transport-logistics-sector/>

traktowania aktualizacji bezpieczeństwa i zarządzania łatami oprogramowania, jako procesu strategicznego, a nie wyłącznie technicznego¹¹.

Z kolei atak na spółkę Transnet, operatora głównych portów i części sieci kolejowej w Republice Południowej Afryki, doprowadził do wielodniowych zakłóceń operacji kontenerowych w porcie Durban, jednym z najważniejszych węzłów logistycznych regionu. Choć szczegóły techniczne nie zostały w pełni ujawnione, w analizach UNCTAD podkreśla się, że incydent obejmował elementy ransomware oraz zakłócenia w funkcjonowaniu systemów planowania i realizacji operacji. Cyberzagrożenia w logistyce mają charakter globalny i mogą dotyczyć zarówno wysoko rozwiniętych, jak i rozwijających się gospodarek. W wielu wypadkach skuteczne zarządzanie incydem wymaga współpracy operatora infrastruktury, władz państwowych oraz społeczności międzynarodowej¹².

Kolejny przykład, to największy port Japonii, obsługujący znaczną część eksportu i importu, który padł ofiarą ataku ransomware przypisywanego grupie LockBit 3.0. Atak sparaliżował system Nagoya Port Unified Terminal System (NUTS), co doprowadziło do dwu-trzydniowego wstrzymania przeładunków kontenerów oraz zakłóceń dostaw komponentów dla przemysłu motoryzacyjnego, w tym Toyota Motor Corporation. Konsekwencje obejmowały konieczność manualnego prowadzenia operacji, wydłużone czasy obsługi oraz poważne koszty logistyczne po stronie operatorów i klientów. Analiza incydentu wskazuje na istotną rolę segmentacji sieci i zarządzania podatnościami w infrastrukturze OT w ograniczaniu skutków podobnych incydentów¹³.

Polska kolej była atakowana wielokrotnie, w roku 2023 miały miejsce zatrzymanie pociągów spowodowane komunikatami radiowymi. W 2023 a także w 2025 roku wystąpiły ataki DDoS na serwisy PKP. W wyniku tych ataków pojawiły się problemy ze sprzedażą biletów¹⁴.

W sierpniu 2024 roku port w Seattle, obejmujący również lotnisko Seattle-Tacoma (SEA), doświadczył poważnych zakłóceń w funkcjonowaniu swoich systemów. Problemy te, które wpływają na działanie Internetu oraz wewnętrznych systemów portu, były wynikiem cyberataku¹⁵.

Kolejny przypadek ataków na sektor lotniczy miał miejsce w Europie. Od początku pełnoskalowej inwazji Rosji na Ukrainę w lutym 2022 r., kraje bałtyckie i nordyckie alarmowały, że nasiliły się przypadki zagłuszania globalnych systemów nawigacji satelitarnej. Odnotowano także wzrost liczby fałszywych sygnałów, mających oszukać systemy nawigacyjne i podawanie fałszywej lokalizacji. Taki cyberatak miał miejsce m.in. na

¹¹ Nick Chubb, „Cyber Attacks: Who Targets the Maritime Industry and Why?”, Thetius, 18 maja 2022, <https://thetius.com/cyber-attacks-who-targets-the-maritime-industry-and-why/>

¹² „Case Study 17: Port of Durban, South Africa | United Nations”, dostęp 18 grudnia 2025, <https://resilientmaritimelogistics.unctad.org/guidebook/case-study-17-port-durban-south-africa>

¹³ 5 min read Jacob Benjamin, „OT Cybersecurity Breach Disrupts Operations at the Port of Nagoya, Japan”, 11 lipca 2023, <https://www.dragos.com/blog/ot-cybersecurity-breach-disrupts-operations-at-the-port-of-nagoya-japan>.

¹⁴ Krzysztof Paślawski, „Cyberataki na polską kolej”, CRN, 24 kwietnia 2025, <https://crn.pl/aktualnosci/cyberataki-na-polska-kolej/>

¹⁵ „Port Cyberattack Archive”, dostęp 18 grudnia 2025, <https://www.portseattle.org/news/port-cyberattack-archive>

lotnisku w Bułgarii, w czasie, gdy lądowała szefowa Komisji Europejskiej Ursula von der Leyen, a także w czasie lotu brytyjskiego ministra obrony Granta Shappsa¹⁶.

Rodzaje zagrożeń w logistyce

Poniżej opisane zostały podstawowe rodzaje zagrożeń cyberbezpieczeństwa, które mogą wystąpić w transporcie i logistyce.

Pierwszym z nich jest ransomware polegający na zaszyfrowaniu istotnych danych, niezbędnych do działania przedsiębiorstwa. ENISA klasyfikuje ransomware jako najbardziej groźne zagrożenie dla sektora transportu, podkreślając jego zdolność do całkowitego wstrzymania działalności operacyjnej przedsiębiorstw. W przypadku operatorów logistycznych oznacza to unieruchomienie systemów rezerwacji i planowania, brak możliwości generowania dokumentów przewozowych oraz utratę wglądu w status przesyłek. Analizy incydentów w transporcie morskim wskazują, że pojedynczy atak ransomware może prowadzić do wielodniowych przestojów portów, opóźnień w obsłudze kontenerów oraz konieczności manualnego odtwarzania dokumentacji, co generuje straty finansowe liczone w milionach dolarów¹⁷.

Kolejnym zagrożeniem są ataki na łańcuch dostaw (supply chain attacks). Struktura współczesnej logistyki, silnie oparta na usługach zewnętrznych dostawców IT, platformach brokerskich oraz rozwiązaniach chmurowych, sprzyja atakom pośrednim, w których celem jest dostawca oprogramowania lub wspólna platforma transakcyjna. Ataki tego typu mogą równocześnie dotknąć dziesiątki przewoźników i spedytorów, powodując skoordynowane zakłócenia w wielu ogniwach łańcucha dostaw¹⁸.

Z kolei ataki DDoS są szczególnie dotkliwe dla serwisów udostępniających usługi w czasie rzeczywistym, takie jak portale do śledzenia przesyłek, systemy rezerwacji slotów portowych, platformy B2B do komunikacji z klientami. Nawet krótkotrwała niedostępność takich systemów może powodować efekt domina: tj. opóźnienia w przyjmowaniu zleceń, dezinformację klientów oraz przeciążenie alternatywnych kanałów komunikacji.

Rozwój modeli językowych AI, obniżył próg wejścia dla przestępców stosujących phishing, socjotechnikę i kradzieże tożsamości. Socjotechnika pozostaje jednym z najczęściej wykorzystywanych narzędzi ataku, przy czym specjalistyczne kampanie spear phishingowe często wykorzystują znajomość specyfiki branży, takich jak terminologia spedycyjna, odwołania do konkretnych portów, linii żeglugowych czy kodów kontenerowych. Przejęcie kont pracowników działów operacyjnych lub finansowych umożliwia

¹⁶ „«FT»: zagłuszenie systemów GPS to celowe działanie Rosji i Białorusi wymierzone przeciw Europie | dlapilota.pl”, dostęp 18 grudnia 2025, <https://dlapilota.pl/wiadomosci/ft-zagluszenie-sytemow-gps-celowe-dzialanie-rosji-i-bialorusi-wymierzone-przeciw>

¹⁷ Omer Soner et al., „An Investigation of Ransomware Incidents in the Maritime Industry: Exploring the Key Risk Factors”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability* 239, nr 4 (2025): 659–78, <https://doi.org/10.1177/1748006X241283093>

¹⁸ „Major Cyber Attacks Targeting Transportation & Logistics Industry”, *External Attack Surface Management*, SOCRadar® Cyber Intelligence Inc., 28 marca 2025, <https://socradar.io/blog/major-cyber-attacks-transportation-logistics-industry/>

m.in. manipulację zleceniami transportowymi, zmianę danych do przelewów czy pozyskanie wrażliwych informacji o trasach i ładunkach¹⁹.

W logistyce obserwuje się nasilającą integrację systemów IT (TMS, WMS, ERP) z warstwą OT (systemy sterowania w portach, terminalach kolejowych i lotniczych) oraz IoT (urządzenia telematyczne w pojazdach, czujniki środowiskowe, inteligentne etykiety). Analizy incydentów (np. port w Nagoi) pokazują, że atak na systemy terminalowe może bezpośrednio zatrzymać operacje załadunku i rozładunku kontenerów, a także wymusić ograniczenie lub wstrzymanie produkcji przedsiębiorstw zależnych, takich jak duże firmy motoryzacyjne. W przypadku magazynów wysokiego składowania, systemy automatycznego sortowania i kompletacji zamówień są sterowane przez sterowniki przemysłowe, które często działają na wyspecjalizowanych, trudnych do aktualizacji platformach. Brak segmentacji oraz odpowiednich polityk dostępu zwiększa ryzyko, że niewinna z pozoru "infekcja" może przenieść się na środowisko OT, prowadząc do fizycznego uszkodzenia infrastruktury lub towaru.

Monitorowanie bezpieczeństwa i zabezpieczenia

Aby zabezpieczyć się przed zagrożeniami z obszaru cyberbezpieczeństwa, należy podjąć działania na kilku płaszczyznach. Przede wszystkim potrzebne jest ujęcie techniczne, które obejmuje architekturę „zero trust” i segmentację sieci²⁰.

Nowoczesne podejście do bezpieczeństwa logistycznych systemów IT/OT zakłada odejście od modelu zaufania opartego na granicy sieci na rzecz architektury „zero trust”, w której każdy dostęp jest traktowany jako potencjalnie podejrzany. Implementacja tego podejścia w praktyce obejmuje:

- wyraźną segmentację stref (biuro, magazyn, terminal, strefa partnerów),
- odpowiednie reguły zapór ogniowych i kontrolę ruchu w sieci,
- silne uwierzytelnianie (MFA) i mechanizmy kontroli dostępu oparte na rolach (RBAC).

W obliczu złożoności środowisk logistycznych, rośnie znaczenie wyspecjalizowanych centrów monitorowania bezpieczeństwa SOC, które agregują logi z systemów TMS/WMS, serwerów, zapór, urządzeń OT i chmury, analizując je pod kątem anomalii i potencjalnych incydentów. W praktyce wymaga to zastosowania odpowiedniego sprzętu i oprogramowania, w tym systemów SIEM oraz narzędzi klasy EDR/XDR, a także rozwiniętych procedur reagowania na incydenty.

Poza ujęciem technicznym, istotny jest także wymiar organizacyjny obejmujący polityki, procesy, kompetencje w przedsiębiorstwie. Skuteczne cyberbezpieczeństwo

¹⁹ Maya Derrick, „Are Cybercriminals Targeting Transport and Supply Chains?”, 20 października 2025, <https://cybermagazine.com/news/microsoft-transportation-becomes-cyber-target>

²⁰ Paweł Chudziński, „Architektura Zero Trust - jak wdrożyć ten model w firmie i dlaczego warto to zrobić? | Blog - Securivy”, Securivy - Bezpieczeństwo i Outsourcing IT, 6 lutego 2025, <https://securivy.com/blog/architektura-zero-trust-jak-wdrozyc-ten-model-w-firmie-i-dlaczego-warto-to-zrobic/>

w logistyce wymaga integracji działań technicznych z dobrze zdefiniowanymi politykami i procesami organizacyjnymi²¹. Obejmuje to m.in.:

- polityki klasyfikacji informacji,
- procedury zarządzania incydentami i ciągłością działania (BCP/DRP),
- cykliczne audyty bezpieczeństwa i testy penetracyjne,
- programy podnoszenia świadomości pracowników.

Z punktu widzenia osób zarządzających przedsiębiorstwem, istotne jest także formalne modelowanie ryzyka cybernetycznego w łańcuchach dostaw a także analiza koszt-efekt inwestycji w bezpieczeństwo w porównaniu z potencjalnymi stratami wynikającymi z incydentów.

Projekt SOCCER jako wzorzec budowy zdolności SOC

Projekt SOCCER, koordynowany przez AGH w Krakowie, ma na celu wzmocnienie zdolności cyberbezpieczeństwa sektora akademickiego w regionie Europy Środkowo-Wschodniej poprzez tworzenie sieci wyspecjalizowanych centrów SOC, wspieranych przez wspólną infrastrukturę, wiedzę i procedury. Misją projektu jest „ochrona wiedzy, innowacji i bezpieczeństwa narodowego”, co w praktyce przekłada się na rozwój narzędzi i kompetencji w zakresie monitorowania, detekcji i reagowania na zaawansowane cyberzagrożenia.

Choć SOCCER koncentruje się na sektorze akademickim, jego założenia i rozwiązania mogą być w wysokim stopniu transferowalne do innych obszarów, w tym branży logistycznej. Podobnie jak uczelnie, przedsiębiorstwa logistyczne dysponują rozproszoną infrastrukturą, wieloma lokalizacjami, zróżnicowanymi systemami IT/OT oraz ograniczonymi zasobami w obszarze cyberbezpieczeństwa. Wiele uczelni prowadzi także studia na kierunkach Transport i Logistyka, czego przykładem może być Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Studenci zdobywając wiedzę z przedmiotów kierunkowych, nabywają również kompetencje z zakresu cyberbezpieczeństwa, korzystając z rozwiązań wypracowanych w projekcie SOCCER.

Potencjalne obszary współpracy i adaptacji mogą obejmować m.in.:

- wykorzystanie doświadczeń SOCCER w projektowaniu SOC-ów obsługujących wiele podmiotów (np. grupy logistyczne, klastry transportowe),
- programy szkoleń i studiów podyplomowych dla specjalistów z sektora TSL, oparte na praktyce akademickich SOC-ów,
- wspólne projekty badawczo rozwojowe w zakresie detekcji anomalii w danych telematycznych oraz integracji logów z systemów OT.

Rozwiązania wypracowane w zakresie podnoszenia poziomu cyberbezpieczeństwa, z uwagi na podobieństwa warunków działania i istniejących zagrożeń, mogą być transferowane pomiędzy różnymi obszarami zastosowań (branżę, instytucje).

²¹ GospodarkaMorska.pl, „Zagrożenia cyber w branży TSL: ryzyko, wyzwania i rola ubezpieczeń - GospodarkaMorska.pl”, GospodarkaMorska.pl - portal morski, portal gospodarczy, dostęp 18 grudnia 2025, <https://www.gospodarkamorska.pl/zagrozenia-cyber-w-branzy-tsl-ryzyko-wyzwania-i-rola-ubezpieczen-88183>.

Podsumowanie

Sektor logistyki funkcjonuje w warunkach rosnącej ekspozycji na cyberzagrożenia, co potwierdzają analizy ENISA i liczne studia przypadków poważnych incydentów w portach morskich, firmach żeglugowych i operatorach infrastruktury. Skala potencjalnych strat - zarówno finansowych, jak i systemowych, czyni z cyberbezpieczeństwa jeden z podstawowych wymiarów zarządzania ryzykiem w łańcuchach dostaw.

Istnieją znaczne różnice pomiędzy dużymi operatorami logistycznymi o zasięgu globalnym i niewielkimi firmami transportowymi. Podmioty te różnią się skalą możliwych zagrożeń jak też możliwościami w zakresie obrony. Jednak rosnące ryzyko cyberataków sprawia, że dla każdego przedsiębiorstwa konieczne jest wypracowanie metod obrony. Z punktu widzenia naukowców i praktyków logistyki szczególnie istotne są:

- rozwój metod ilościowej oceny ryzyka cybernetycznego w łańcuchach dostaw,
- integracja rozwiązań technicznych (SOC, EDR, segmentacja) z procesami organizacyjnymi w logistyce,
- budowa zintegrowanych ekosystemów bezpieczeństwa, w których współpracują podmioty gospodarcze, uczelnie i administracja.

Takie podejście pozwala nie tylko reagować na incydenty, lecz także systematycznie podnosić odporność sektora logistycznego na przyszłe, coraz bardziej zaawansowane zagrożenia.

Opracowanie wykonano w ramach projektu SOCCER finansowanego przez European Cybersecurity Competence Centre (ECCC) oraz współfinansowanego ze środków polskiego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu pn. Projekty Między-narodowe Współfinansowane.

Bibliografia

- Benjamin, 5 min read Jacob. „OT Cybersecurity Breach Disrupts Operations at the Port of Nagoya, Japan”. 11 lipca 2023. <https://www.dragos.com/blog/ot-cybersecurity-breach-disrupts-operations-at-the-port-of-nagoya-japan>.
- „Case Study 17: Port of Durban, South Africa | United Nations”. Dostęp 18 grudnia 2025. <https://resilientmaritimelogistics.unctad.org/guidebook/case-study-17-port-durban-south-africa>.
- Chubb, Nick. „Cyber Attacks: Who Targets the Maritime Industry and Why?” *Thetius*, 18 maja 2022. <https://thetius.com/cyber-attacks-who-targets-the-maritime-industry-and-why/>.
- Chudziński, Paweł. „Architektura Zero Trust - jak wdrożyć ten model w firmie i dlaczego warto to zrobić? | Blog - Securivy”. *Securivy - Bezpieczeństwo i Outsourcing IT*, 6 lutego 2025. <https://securivy.com/blog/architektura-zero-trust-jak-wdrozyc-ten-model-w-firmie-i-dlaczego-warto-to-zrobic/>.
- „CLECAT | ENISA REPORT ON CYBERSECURITY THREATS IN 2024”. Dostęp 12 grudnia 2025. <https://www.clecat.org/en/news/newsletters/enisa-report-on-cybersecurity-threats-in-2024>.
- „Cybersecurity in Transportation and Logistics: Inside the Sector’s Risks”. Dostęp 12 grudnia 2025. <https://www.eyecybersecurity.com/blog/cybersecurity-in-transportation-and-logistics-inside-the-sectors-risks>.
- Derrick, Maya. „Are Cybercriminals Targeting Transport and Supply Chains?” 20 października 2025. <https://cybermagazine.com/news/microsoft-transportation-becomes-cyber-target>.

- „Dragos-2025-OT-Cybersecurity-Report-A-Year-in-Review.pdf”. b.d. Dostęp 18 grudnia 2025. <https://hub.dragos.com/hubfs/312-Year-in-Review/2025/Dragos-2025-OT-Cybersecurity-Report-A-Year-in-Review.pdf?hsLang=en>.
- „ENISA Threat Landscape 2024 | ENISA”. 6 listopada 2025. <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2024>.
- „«FT»: zagłuszenie systemów GPS to celowe działanie Rosji i Białorusi wymierzone przeciw Europie | dlapilota.pl”. Dostęp 18 grudnia 2025. <https://dlapilota.pl/wiadomosci/ft-zagluszenie-systemow-gps-celowe-dzialanie-rosji-i-bialorusi-wymierzone-przeciw>.
- GospodarkaMorska.pl. „Zagrożenia cyber w branży TSL: ryzyko, wyzwania i rola ubezpieczeń - GospodarkaMorska.pl”. GospodarkaMorska.pl - portal morski, portal gospodarczy. Dostęp 18 grudnia 2025. <https://www.gospodarkamorska.pl/zagrozenia-cyber-w-branzy-tsl-ryzyko-wyzwania-i-rola-ubezpieczen-88183>.
- Greenberg, Andy. „The Cheap Radio Hack That Disrupted Poland’s Railway System”. Tags. *Wired*, b.d. Dostęp 12 grudnia 2025. <https://www.wired.com/story/poland-train-radio-stop-attack/>.
- James. *14 Recent Cyber Attacks on the Transport & Logistics Sector*. 29 września 2024. <https://wisdium.com/publications/recent-cyber-attacks-transport-logistics-sector/>.
- James. *14 Recent Cyber Attacks on the Transport & Logistics Sector*. 29 września 2024. <https://wisdium.com/publications/recent-cyber-attacks-transport-logistics-sector/>.
- LRQA. „Notpetya Ransomware Attack on Maersk - Key Learnings”. Dostęp 12 grudnia 2025. <https://www.lrqa.com/en/insights/articles/notpetya-ransomware-attack-on-maersk-key-learnings/>.
- „Major Cyber Attacks Targeting Transportation & Logistics Industry”. External Attack Surface Management. *SOCRadar® Cyber Intelligence Inc.*, 28 marca 2025. <https://socradar.io/blog/major-cyber-attacks-transportation-logistics-industry/>.
- Pasławski, Krzysztof. „Cyberataki na polską kolej”. *CRN*, 24 kwietnia 2025. <https://crn.pl/aktualnosci/cyberataki-na-polska-kolej/>.
- „Port Cyberattack Archive”. Dostęp 18 grudnia 2025. <https://www.portseattle.org/news/port-cyberattack-archive>.
- Soner, Omer, Gizem Kayisoglu, Pelin Bolat, i Kimberly Tam. „An Investigation of Ransomware Incidents in the Maritime Industry: Exploring the Key Risk Factors”. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability* 239, nr 4 (2025): 659–78. <https://doi.org/10.1177/1748006X241283093>.

Adres do korespondencji: michal.cupial@urk.edu.pl

ORCID: Michał Cupiał 0000-0002-1984-6861

ORCID: Łukasz Faber: 0000-0001-5111-8082

LOGISTYKA PRODUKCJI JAKO NARZĘDZIE WSPIERAJĄCE REALIZACJĘ CELÓW ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU

**Zofia Gródek-Szostak¹, Elżbieta Olech², Jakub St. Gajda²
Karolina Furyk-Grabowska²**

¹ Katedra Ekonomiki i Organizacji Przedsiębiorstw, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie

² Katedra Inżynierii Produkcji Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wstęp

Współczesne przedsiębiorstwa produkcyjne funkcjonują w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu, w którym rosnące wymagania społeczne, środowiskowe i regulacyjne wymuszają transformację tradycyjnych modeli zarządzania^{1,2}. Jednym z kluczowych obszarów tej transformacji jest logistyka produkcji, która odgrywa istotną rolę w kształtowaniu zrównoważonych łańcuchów dostaw³. Integracja zasad zrównoważonego rozwoju z procesami logistycznymi staje się nie tylko wyrazem odpowiedzialności społecznej przedsiębiorstw, ale również źródłem przewagi konkurencyjnej i innowacyjności^{4,5}.

Zrównoważony rozwój i realizacja jego celów (SGD) w logistyce produkcji, oznacza dążenie do optymalizacji przepływów materiałowych i informacyjnych, przy jednoczesnym minimalizowaniu negatywnego wpływu na środowisko, wspieraniu dobrostanu

¹ Adamczyk J., Gródek-Szostak Z., Kulisa B., Współczesne determinanty efektywności i rozwoju przedsiębiorstw. Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, 2020

² Gródek-Szostak Z., Sikora J., Niemczyk A., Zielone zarządzanie w łańcuchu logistycznym [W:] Wodecka-Hyjek A., Nesterak J. (red.), Wiedza - gospodarka - społeczeństwo: aktualne trendy i wyzwania cyfrowe, Instytut Nauk Ekonomicznych Polskiej Akademii Nauk, 2023

³ Gródek-Szostak Z., Szeląg-Sikora A., Sikora J., Niemiec M., Stuglik J., Małłok N., Transport autonomiczny - korzyści dla gospodarki opartej na innowacjach [W:] Kuboń M. (red.), Transport i logistyka w dobie inżynierii mechanicznej, T. 1, Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, 2020

⁴ Adryjańczyk S., Olech E., Kuboń M., Szeląg-Sikora A., Sikora J., Gródek-Szostak Z., Niemiec M., Stuglik J., Wybrane aspekty logistyki serwisowej w przedsiębiorstwach produkcyjnych [W:] Kuboń M. (red.), Transport i logistyka w dobie inżynierii mechanicznej. T. 1, Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, 2020

⁵ Cupiał M., Szeląg-Sikora A., Sikora J., Gródek-Szostak Z., Zintegrowane systemy zarządzania w logistyce [W:] Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), Aktualne problemy logistyki. T. 1, Państwowa Wyższa Szkoła Wschodnioeuropejska, 2017

społecznego oraz zapewnianiu efektywności ekonomicznej⁶. W tym kontekście, coraz większego znaczenia nabierają takie koncepcje jak zielona logistyka, gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ), cyfryzacja procesów oraz odporność łańcuchów dostaw na zakłócenia.

Celem niniejszej publikacji jest analiza roli logistyki produkcji w realizacji celów zrównoważonego rozwoju, identyfikacja kluczowych wyzwań i trendów w tym obszarze oraz przedstawienie dobrych praktyk i narzędzi wspierających transformację logistyczną w kierunku zrównoważoności. Praca opiera się na przeglądzie literatury naukowej oraz przykładach wdrożeń z różnych sektorów przemysłu.

Przegląd literatury

Logistyka produkcji odgrywa kluczową rolę w realizacji Celów Zrównoważonego Rozwoju (SDGs) określonych przez ONZ. Zarówno literatura krajowa, jak i międzynarodowa, wskazuje na rosnące znaczenie zrównoważonych praktyk logistycznych w kontekście realizacji celów zrównoważonego rozwoju. Sadowski⁷ zidentyfikował pięć głównych kierunków rozwoju logistyki zrównoważonej: modelowanie, polityka i prawo, efektywność kosztowa, mierniki środowiskowe oraz determinanty rozwoju.

Z kolei Tokarski et al.⁸ przedstawiają kompleksową analizę roli logistyki w kontekście zrównoważonego rozwoju i gospodarki cyrkularnej, omawiając m.in. ekologistykę, logistykę odwrotną, infrastrukturę logistyczną oraz innowacyjne rozwiązania technologiczne w logistyce miejskiej. Li et al.⁹ przeprowadzili badanie empiryczne dla krajów Inicjatywy Pasa i Szlaku (OBRI), które pokazuje, że zielona logistyka może jednocześnie wspierać wzrost gospodarczy i poprawiać jakość środowiska. Wskazują oni na potrzebę wdrażania polityk wspierających zrównoważony rozwój w logistyce.

W badaniach Ding et al.¹⁰ analizują wyzwania i strategie związane z wdrażaniem inteligentnej i zrównoważonej logistyki, podkreślając znaczenie cyfryzacji, współpracy międzysektorowej i innowacji technologicznych w osiąganiu celów SDGs. Deckert¹¹ przedstawił definicję i zakres logistyki zrównoważonej, w tym zielonej logistyki i logistyki miejskiej. Autor omówił wpływ logistyki na środowisko oraz sposoby minimalizacji emisji i zużycia zasobów w transporcie, magazynowaniu i pakowaniu. Bouchery, Y.,

⁶ Szelaąg-Sikora A., Sikora J., Niemiec M., Gródek-Szostak Z., Global G.A.P. w produkcji pierwotnej jako element bezpieczeństwa w łańcuchu dostaw żywności, *Roczniki Naukowe Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich*, t. 103, nr 4, 2016

⁷ Sadowski, A., *Logistyka zrównoważona — główne kierunki rozwoju*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Łódzkiego*, 3(45), 2020

⁸ Tokarski, D., Górniak-Krupińska, J., Bielecki, M., *Determinanty logistyki w dobie zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, 2024

⁹ Li, X., Sohail, S., Majeed, M. T., Ahmad, W., Green logistics, economic growth, and environmental quality: Evidence from Belt and Road Initiative countries, *Environmental Science and Pollution Research*, 28(6), 2021

¹⁰ Ding, X., Zhang, Y., Wang, L., Strategies to overcome challenges to smart sustainable logistics, *Journal of Cleaner Production*, 412, 137284, 2023

¹¹ Deckert, C., *Sustainable Logistics*. Springer, 2023

et al.¹² przedstawili modelowanie zrównoważonej logistyki produkcji z uwzględnieniem celów SDG. Autorzy zaproponowali kompromisy między efektywnością ekonomiczną a wpływem środowiskowym i społecznym, proponując wielokryterialne podejście decyzyjne.

Aydin i Tirkolaei¹³ zbadali zastosowanie metod optymalizacji i sztucznej inteligencji w logistyce produkcji w kontekście zrównoważonego rozwoju. W pracy podkreślili rolę cyfryzacji i analityki danych w osiąganiu celów SDG, szczególnie w zakresie redukcji emisji i efektywności energetycznej. Literatura naukowa jednoznacznie wskazuje, że logistyka produkcji odgrywa kluczową rolę w realizacji Celów Zrównoważonego Rozwoju. Integracja aspektów społecznych, ekonomicznych i środowiskowych w strategiach logistycznych jest niezbędna dla budowania zrównoważonych łańcuchów dostaw.

Metodyka badawcza

Logistyka produkcji odgrywa kluczową rolę w realizacji celów zrównoważonego rozwoju, łącząc efektywność operacyjną z odpowiedzialnością środowiskową i społeczną. Współczesne przedsiębiorstwa coraz częściej integrują strategie logistyczne z zasadami zrównoważonego rozwoju, aby sprostać wymaganiom rynku, regulacjom oraz oczekiwaniom interesariuszy.

W rozdziale zastosowano podejście jakościowe, oparte na dwóch komplementarnych metodach:

- studium literaturowe (desk research),
- studium przypadku (case study).

Celem tego etapu studiów literaturowych było zidentyfikowanie kluczowych obszarów, w których logistyka produkcji może wspierać realizację SDGs, takich jak: efektywność energetyczna, redukcja emisji, odpowiedzialność społeczna, gospodarka o obiegu zamkniętym.

W drugim etapie przeprowadzono analizę wybranych przedsiębiorstw produkcyjnych z branży produkującej tabor transportu zbiorowego, które wdrażają strategie zrównoważonej logistyki. Połączenie wyników analizy literatury i studiów przypadków pozwalało na wskazanie najlepszych praktyk oraz sformułowanie rekomendacji dla przedsiębiorstw.

Powiązanie logistyki produkcji z celami zrównoważonego rozwoju

W obliczu rosnących wyzwań środowiskowych, społecznych i gospodarczych, przedsiębiorstwa produkcyjne coraz częściej dostrzegają konieczność integracji zasad zrównoważonego rozwoju z procesami logistycznymi. Logistyka produkcji, jako kluczowy element zarządzania łańcuchem dostaw, odgrywa istotną rolę w realizacji celów Agendy 2030 Organizacji Narodów Zjednoczonych, w szczególności w zakresie odpowiedzialnej konsumpcji i produkcji (SDG 12), działań na rzecz klimatu (SDG 13) oraz innowacyjnej

¹² Bouchery, Y., Fransoo, J. C., Tan, T., Multi-objective production logistics for SDG alignment, *International Journal of Production Economics*, 256, 108765, 2024

¹³ Aydin, N., Tirkolaei, E. B., Smart production logistics for sustainable development: A review, *Sustainable Operations Research*, 3(1), 2022

infrastruktury (SDG 9). Powiązanie logistyki produkcji z celami SDG przedstawiono w tabeli 1.

Współczesne podejście do logistyki produkcji zakłada nie tylko optymalizację kosztów i efektywność operacyjną, ale również minimalizację wpływu na środowisko, redukcję emisji CO₂, ograniczenie zużycia zasobów naturalnych oraz poprawę warunków pracy. Wdrażanie koncepcji takich jak e-logistyka, gospodarka o obiegu zamkniętym czy cyfrowe bliźniaki (digital twins) umożliwia przedsiębiorstwom osiągnięcie przewagi konkurencyjnej przy jednoczesnym respektowaniu zasad zrównoważonego rozwoju.

Jak zauważają Tokarski i Miziołek¹⁴, zrównoważona logistyka może stanowić fundament nowoczesnego modelu biznesowego, w którym technologie informatyczne wspierają nie tylko efektywność operacyjną, ale również odpowiedzialność społeczną i środowiskową przedsiębiorstw.

Tabela 1. Powiązanie celów SDG z logistyką produkcji

Lp.	Cel zrównoważonego rozwoju	Zadania logistyki produkcji
1.	Koniec z ubóstwem	• Tworzenie stabilnych miejsc pracy w sektorze produkcyjnym i logistycznym. • Wspieranie lokalnych dostawców i MŚP w łańcuchu dostaw. • Tworzenie miejsc pracy w centrach logistycznych na obszarach wiejskich. • Wspieranie lokalnych dostawców w łańcuchu dostaw. • Szkolenia zawodowe dla osób zagrożonych wykluczeniem. • Programy mikrofinansowania dla małych przedsiębiorstw logistycznych.
2.	Zero głodu	• Optymalizacja łańcuchów dostaw żywności, redukcja strat i marnotrawstwa. • Wspieranie lokalnych systemów produkcji rolnej poprzez efektywną logistykę. • Optymalizacja chłodniczych łańcuchów dostaw żywności. • Redukcja strat żywności w transporcie. • Dystrybucja nadwyżek żywności do banków żywności. • Współpraca z rolnikami w celu skrócenia łańcucha dostaw.

¹⁴ Tokarski, D., Miziołek, K., Zrównoważona logistyka jako źródło przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstw. W: D. Tokarski, A. Fajczak-Kowalska (red.), Paradygmaty zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw logistycznych. E-logistyka. Społeczna Akademia Nauk, Łódź, 2023

Lp.	Cel zrównoważonego rozwoju	Zadania logistyki produkcji
3.	Dobre zdrowie i jakość życia	• Zapewnienie bezpiecznych warunków pracy w centrach logistycznych i zakładach produkcyjnych. • Redukcja emisji i zanieczyszczeń w procesach logistycznych. • Logistyka szczepionek i leków w regionach odległych. • Transport sprzętu medycznego w sytuacjach kryzysowych. • Zapewnienie ergonomii i bezpieczeństwa pracy w magazynach. • Monitorowanie jakości powietrza i hałasu w centrach logistycznych.
4.	Dobra jakość edukacji	• Szkolenia i rozwój kompetencji pracowników logistyki w zakresie zrównoważonego zarządzania. • Współpraca z uczelniami i instytucjami edukacyjnymi. • Dostarczanie materiałów edukacyjnych do szkół. • Programy stażowe w podmiotach logistycznych. • E-learning dla pracowników produkcji i logistyki. • Współpraca z uczelniami w zakresie badań nad zrównoważoną logistyką.
5.	Równość płci	• Promowanie równości w zatrudnieniu i awansie w sektorze logistycznym. • Wspieranie kobiet w zawodach technicznych i zarządzaniu łańcuchem dostaw. • Promowanie zatrudnienia kobiet w logistyce. • Równe płace i awanse w działach produkcji. • Programy mentoringowe dla kobiet w przemyśle. • Przeciwdziałanie dyskryminacji w miejscu pracy.
6.	Czysta woda i warunki sanitarne	• Ograniczenie zużycia wody w procesach produkcyjnych i logistycznych. • Zarządzanie ściekami i recykling wody w centrach dystrybucyjnych. • Recykling wody w zakładach przemysłowych. • Logistyka dostaw wody pitnej w sytuacjach kryzysowych. • Edukacja pracowników w zakresie oszczędzania wody.
7.	Czysta i dostępna energia	• Wdrażanie odnawialnych źródeł energii w magazynach i zakładach produkcyjnych. • Optymalizacja zużycia energii w transporcie i produkcji. • Instalacja paneli fotowoltaicznych w centrach logistycznych. • Wykorzystanie pojazdów elektrycznych w transporcie. • Magazynowanie energii z OZE w zakładach produkcyjnych. • Monitorowanie zużycia energii w czasie rzeczywistym.

Lp.	Cel zrównoważonego rozwoju	Zadania logistyki produkcji
8.	Wzrost gospodarczy i godna praca	• Automatyzacja i cyfryzacja wspierająca rozwój gospodarczy. • Tworzenie stabilnych i dobrze płatnych miejsc pracy w logistyce. • Automatyzacja wspierająca, a nie zastępująca pracowników. • Szkolenia zawodowe i rozwój kompetencji. • Przeciwdziałanie pracy przymusowej w łańcuchu dostaw.
9.	Innowacyjność, przemysł, infrastruktura	• Rozwój inteligentnych systemów logistycznych (IoT, AI, blockchain). • Budowa zrównoważonej infrastruktury transportowej i magazynowej. • Wdrożenie systemów WMS i ERP. • Cyfryzacja procesów produkcyjnych. • Inteligentne magazyny i robotyka. • Rozwój infrastruktury transportowej niskoemisyjnej.
10.	Mniej nierówności	• Włączanie lokalnych i mniejszych dostawców do globalnych łańcuchów dostaw. • Promowanie sprawiedliwego handlu i etycznych praktyk zakupowych. • Wspieranie lokalnych dostawców z krajów rozwijających się. • Transparentność w łańcuchu dostaw. • Równość szans w rekrutacji. • Programy integracyjne dla migrantów.
11.	Zrównoważone miasta i społeczności	• Logistyka miejska przyjazna środowisku (np. dostawy rowerowe, pojazdy elektryczne). • Redukcja hałasu i emisji w centrach miejskich. • Logistyka miejska z wykorzystaniem rowerów cargo. • Magazyny miejskie typu „microhub”. • Planowanie dostaw poza godzinami szczytu.

Zrównoważona logistyka jest odpowiedzią na pogarszające się standardy cywilizacyjne i jakość życia. Jej rozwój jest uwarunkowany postępami w innych dziedzinach życia, które są aktywnie wykorzystywane w zakresie logistyki sieciowej on-line oraz w tworzeniu globalnych innowacji logistycznych, osadzonych lokalnie¹⁵.

¹⁵ Bąk-Sokołowska, M., Zrównoważona logistyka jako strategia biznesowa. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 505, 2018

Studium przypadku – Solaris Bus & Coach

Dobrym przykładem integracji zasad zrównoważonego rozwoju z logistyką produkcji jest działalność Solaris Bus & Coach, czołowego europejskiego producenta pojazdów transportu publicznego. Historia organizacji, założonej w 1994 roku przez Krzysztofa Olszewskiego jako oddziału zagranicznego producenta, jest przykładem dynamicznego rozwoju opartego na innowacyjności. Marka w ciągu zaledwie kilku lat zdobyła status lidera na polskim rynku, dzięki umiejętności dostosowywania się do specyficznych wymagań klientów i wdrażania innowacyjnych rozwiązań. Ważnym momentem w historii organizacji było jej przejęcie w 2018 roku przez hiszpańską Grupę CAF, co wzmocniło jej pozycję jako globalnego lidera w dziedzinie zrównoważonego transportu.

Kluczowym elementem strategii Solarisa, który wpisuje się w tezę o transformacji transportu publicznego, jest świadoma i konsekwentna rezygnacja z rozwijania konstrukcji opartych wyłącznie na silnikach spalinowych, na rzecz pojazdów zero- i niskoemisyjnych. Ta strategiczna decyzja, podyktowana zarówno trendami rynkowymi, jak i rosnącą świadomością ekologiczną, pozwoliła organizacji skoncentrować zasoby badawczo-rozwojowe na technologiach przyszłości. Jak deklaruje organizacja, piąta generacja autobusów będzie dostępna tylko z napędem elektrycznym lub wodorowym, a konstrukcje spalinowe, choć wciąż dostępne w ofercie w celu zaspokojenia bieżącego popytu, nie będą już priorytetowym elementem rozwoju¹⁶.

Ta transformacja znajduje odzwierciedlenie w wynikach sprzedaży: w 2024 roku pojazdy nisko- i zeroemisyjne stanowiły rekordowe 83% wszystkich sprzedanych pojazdów. Solaris od lat utrzymuje pozycję lidera na europejskim rynku autobusów zeroemisyjnych, dostarczając od 2012 roku najwięcej tego typu pojazdów w Europie. Strategia przedsiębiorstwa jest odpowiedzią na dynamiczne zmiany na rynku europejskim, gdzie w 2024 roku już 49% nowo rejestrowanych autobusów miejskich miało napęd zeroemisyjny, a prognozy wskazują, że do 2027 roku rynek ten może być w całości zelektryfikowany¹⁷.

Działania przedsiębiorstwa w obszarze zrównoważonego rozwoju są kompleksowe i obejmują cały cykl życia produktu oraz procesy wewnętrzne^{18,19,20,21}:

- Szeroka gama napędów alternatywnych: Obok flagowych modeli elektrycznych i wodorowych (w tym najnowszego modelu klasy MEGA o napędzie wodorowym: Urbino 18 hydrogen), Solaris oferuje autobusy hybrydowe (np. Urbino 12 i 18 hybrid), które stanowią ważne ogniwo w transformacji flot transportowych. Dzięki połączeniu silnika spalinowego z elektrycznym i zastosowaniu technologii rekuperacji (odzyskiwania energii z hamowania), pojazdy te pozwalają na redukcję zużycia paliwa

¹⁶ Czubiński R., Solaris: Nie planujemy rozwijać konstrukcji spalinowych, *Transport-publiczny*, 2025

¹⁷ Ruciński K., *Obserwator Logistyczny*, 2025

¹⁸ Rösler, J., Solaris myśli o nowej generacji Urbino. Co z Dieslem?, *Transport-Publiczny.pl.*, 2024

¹⁹ Solaris Bus & Coach, *Kodeks postępowania dostawców CAF*, 2022

²⁰ Solaris Bus & Coach, *Raport zrównoważonego rozwoju 2023, 2024*

²¹ mBank, mBank wspiera Solaris Bus & Coach w ramach zrównoważonego finansowania w kwocie 114 mln euro, 2025

- o 20-30%. Organizacja rozwija również technologię "mild hybrid", która wspiera silnik spalinowy, dodatkowo obniżając zużycie paliwa i emisję spalin.
- Gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ): Solaris aktywnie wdraża zasady GOZ. Już w 2017 roku 75% odpadów produkcyjnych poddano recyklingowi, a resztę przetworzono na paliwo alternatywne, eliminując składowanie odpadów. Kluczową inicjatywą było utworzenie w 2023 roku centrum kompetencji bateryjnych – Solaris Baterii HUB. Jego celem jest zarządzanie całym cyklem życia baterii, w tym ich naprawa, regeneracja i przygotowanie do ponownego wykorzystania, co jest fundamentem gospodarki o obiegu zamkniętym dla baterii litowo-jonowych używanych na szeroką skalę w pojazdach przedsiębiorstwa.
 - Efektywność energetyczna i cele klimatyczne: Zgodnie ze strategią Grupy CAF, Solaris dąży do osiągnięcia neutralności emisyjnej do 2045 roku. Przedsiębiorstwo systematycznie mierzy swój ślad węglowy w trzech zakresach (emisje bezpośrednie, pośrednie związane z energią oraz inne emisje w łańcuchu wartości), co pozwala na precyzyjne planowanie działań redukcyjnych. Inwestycje w infrastrukturę produkcyjną, takie jak budowa hali wodorowej czy „Charging Park” do ładowania pojazdów, wspierają transformację energetyczną w zakładach.
 - Zrównoważony łańcuch dostaw: Jako część Grupy CAF, Solaris wymaga od swoich dostawców przestrzegania zasad określonych w Kodeksie Postępowania Dostawców, który obejmuje zobowiązania społeczne, etyczne i środowiskowe. Organizacja oczekuje, że te standardy będą kaskadowane w dół łańcucha dostaw. Istotnym elementem strategii jest preferowanie dostawców krajowych, którzy w 2022 roku stanowili 68,8% wszystkich partnerów, co skraca łańcuchy logistyczne i wspiera lokalną gospodarkę.
 - Odpowiedzialność społeczna: Fundamentem działalności organizacji jest dbałość o pracowników. Potwierdza to Zintegrowany System Zarządzania, certyfikowany zgodnie z normami ISO 9001 (jakość), ISO 14001 (środowisko) i ISO 45001 (BHP). Organizacja prowadzi programy szkoleniowe (np. „Bezpieczny Kierowca”), inwestuje w rozwój kompetencji załogi i współpracuje z lokalnymi szkołami zawodowymi oraz uczelniami wyższymi w ramach studiów dualnych. Wysoki poziom zaangażowania potwierdza średni staż pracy w przedsiębiorstwie, wynoszący ponad 10 lat.

Solaris nieustannie inwestuje w rozwój portfolio produktowego, będącego odpowiedzią na konieczności tworzenia nowych generacji pojazdów. Organizacja zapowiedziała wprowadzenie w najbliższych latach nowej, zeroemisyjnej platformy autobusów międzymiastowych, która będzie zoptymalizowana pod potrzeby napędów elektrycznych i wodorowych, bez uwzględniania miejsca na silnik spalinowy. Nowe modele będą dostępne w wersjach baterijnej i wodorowej. Planowane są również premiery midibusa Urbino 10.5 electric (2025) oraz międzymiastowego autobusu elektrycznego (2026). Strategicznym celem jest także ekspansja na rynki Ameryki Północnej z dedykowaną ofertą pojazdów zeroemisyjnych, których komercyjna dostępność planowana jest na 2026 rok.

Studium przypadku – NEWAG S.A.

Drugim przykładem integracji zasad zrównoważonego rozwoju z logistyką produkcji jest działalność NEWAG S.A., wiodącego polskiego producenta taboru kolejowego. Historia przedsiębiorstwa sięga 1876 roku, kiedy to w Nowym Sączu powstały Cesarsko-

Królewskie Warsztaty Kolei, które przez lata funkcjonowały jako Zakłady Naprawcze Taboru Kolejowego. Po prywatyzacji w 2003 roku i zmianie nazwy na NEWAG w 2005, organizacja przeszła głęboką restrukturyzację, stając się nowoczesnym przedsiębiorstwem, które w 2013 roku zadebiutowało na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie²².

Strategia NEWAG opiera się na dostarczaniu zaawansowanych technologicznie i ekologicznych rozwiązań dla transportu szynowego, co bezpośrednio wpisuje się w realizację celów SDG, w szczególności SDG 9, SDG 11 oraz SDG 13^{23,24,25,26,27}:

- Innowacyjne superkondensatory oraz hybrydowe zespoły trakcyjne. Kluczowym produktem w ofercie przedsiębiorstwa są hybrydowe pociągi Impuls 2 (typ 36WEh), które łączą napęd elektryczny i spalinowy. Umożliwia to obsługę tras częściowo pozbawionych sieci trakcyjnej bez konieczności zmiany lokomotywy, co optymalizuje logistykę i obniża koszty operacyjne. Innowacyjnym rozwiązaniem, unikalnym na skalę europejską, jest zastosowanie superkondensatorów, które magazynują energię odzyskaną podczas hamowania (rekuperacja). Zgromadzona energia jest następnie wykorzystywana do zasilania pociągu podczas ruszania, co pozwala na redukcję zużycia paliwa nawet o 30-50% i znaczące obniżenie emisji spalin na odcinkach niezelektryfikowanych.
- Energooszczędne lokomotywy elektryczne: NEWAG produkuje nowoczesne lokomotywy elektryczne, takie jak Griffin i Dragon 2, które są projektowane z myślą o wysokiej efektywności energetycznej. W lokomotywach Dragon 2 zastosowano m.in. przekształtniki oparte na technologii węgla krzemu (SiC), które redukują straty energii o 50% i zmniejszają poziom hałasu. Dostarczając ekologiczny tabor, NEWAG wspiera swoich partnerów, takich jak PKP Intercity, w realizacji ich celów neutralności klimatycznej.
- Zarządzanie środowiskowe i energetyczne: Działalność NEWAG opiera się na Zintegrowanym Systemie Zarządzania, zgodnym z normami ISO 14001 (zarządzanie środowiskowe) i ISO 50001 (zarządzanie energią). Organizacja systematycznie monitoruje swój wpływ na środowisko, w tym emisje, zużycie energii i gospodarkę odpadami, dążąc do ciągłej poprawy efektywności.
- Inwestycje w zielone technologie produkcyjne: NEWAG planuje znaczące inwestycje o wartości 73 mln zł w modernizację i robotyzację swojego zakładu w Nowym Sączu. Kluczowym elementem tej inwestycji jest wdrożenie zrobotyzowanych stanowisk do spawania laserowego, które mają na celu nie tylko poprawę jakości i przyspieszenie procesów, ale również zmniejszenie oddziaływania produkcji na środowisko.

²² Transportszynowy.pl., Fotorelacja po NEWAG SA w Nowym Sączu, 2010

²³ Madryas J., Jest pierwsza hybryda z superkondensatorem! Innowacja Newagu na skalę Europy, Rynek-Kolejowy, 2022

²⁴ Szymajda, M., Newag: Budujemy dla PKP Intercity Impulsa nowej generacji, Rynek-Kolejowy.pl, 2024

²⁵ TTG Polska., PKP Intercity powiększy się o 35 dwunapędowych zespołów trakcyjnych, 2024

²⁶ KolejowyPortal.pl., Newag zainwestuje 73 mln zł w ramach Polskiej Strefy Inwestycji, 2025

²⁷ Krakowski Park Technologiczny, NEWAG z Nowego Sącza z dwiema decyzjami o wsparciu w ramach Polskiej Strefy Inwestycji, 2025

- Zrównoważony łańcuch dostaw: Spółka stosuje „Kodeks Etyki” w relacjach z dostawcami, promując transparentność i uczciwą współpracę. W procesie kwalifikacji i oceny dostawców uwzględniane są aspekty środowiskowe i energetyczne, a promowani są partnerzy posiadający certyfikaty ISO. Ogólne Warunki Zamówienia zobowiązują dostawców do zapewnienia optymalnej sprawności energetycznej dostarczanych komponentów.
- Odpowiedzialność społeczna i BHP: NEWAG aktywnie angażuje się w życie lokalnej społeczności poprzez działania Fundacji NEWAG, która wspiera m.in. innowacyjne programy nauczania matematyki oraz lokalne domy dziecka. Organizacja kładzie również duży nacisk na bezpieczeństwo i higienę pracy, co potwierdza niski wskaźnik wypadkowości oraz posiadanie certyfikatu ISO 45001.

Dzięki konsekwentnej strategii opartej na innowacyjności i zrównoważonym rozwoju, NEWAG S.A. nie tylko umacnia swoją pozycję lidera na rynku taboru kolejowego, ale również aktywnie przyczynia się do transformacji transportu w kierunku bardziej ekologicznych i efektywnych rozwiązań.

Podsumowanie

Przedstawiona analiza teoretyczna oraz studia przypadków wskazują, że logistyka produkcji jest fundamentalnym i integralnym elementem strategii osiągania celów zrównoważonego rozwoju. Integracja wymiarów środowiskowego, społecznego i ekonomicznego w procesach logistycznych, przestała być jedynie kwestią wizerunkową, a stała się kluczowym czynnikiem budowania długoterminowej wartości, innowacyjności i odporności na dynamicznie zmieniające się otoczenie.

Przegląd literatury naukowej potwierdza rosnące znaczenie takich koncepcji jak, zielona logistyka, gospodarka o obiegu zamkniętym i cyfryzacja, podkreślając konieczność stosowania wielokryterialnych modeli decyzyjnych.

Studia przypadków podmiotów Solaris Bus & Coach oraz NEWAG S.A. stanowią potwierdzenie tych tez, ukazując jednocześnie różne ścieżki implementacji. Solaris, poprzez strategiczną decyzję o odejściu od rozwijania technologii spalinowych na rzecz kompleksowej oferty pojazdów zeroemisyjnych, stał się liderem transformacji w transporcie drogowym. Z kolei NEWAG wdraża zasady zrównoważonego rozwoju poprzez innowacje produktowe, takie jak hybrydowe pociągi z systemem odzyskiwania energii oraz modernizację własnych procesów produkcyjnych w celu zmniejszenia ich oddziaływania na środowisko.

Połączenie wyników analizy literatury i studiów przypadków pozwala na wskazanie najlepszych praktyk oraz sformułowanie rekomendacji dla przedsiębiorstw. Kluczowe z nich to:

- Strategiczne powiązanie innowacji produktowej z transformacją procesów operacyjnych. Zarówno utworzenie przez Solaris dedykowanego centrum kompetencji bateryjnych (Solaris Battery HUB), jak i inwestycje NEWAG w zrobotyzowane, proekologiczne technologie spawalnicze dowodzą, że wiarygodna, zrównoważona oferta musi być wsparta adekwatnymi zmianami w logistyce i produkcji.

- Dostosowanie strategii technologicznej do profilu rynkowego. Przykłady obu podmiotów pokazują, że nie ma jednego uniwersalnego modelu. Przedsiębiorstwa mogą przyjąć zarówno strategię rewolucyjną, koncentrując się na w pełni zeroemisyjnych technologiach (jak Solaris), jak i ewolucyjną, stawiając na rozwiązania przejściowe i maksymalizację efektywności energetycznej istniejących systemów (jak NEWAG), osiągając w obu przypadkach sukces rynkowy i realizując cele zrównoważonego rozwoju.

Podsumowując, transformacja logistyki produkcji w kierunku zrównoważoności jest procesem nieuniknionym i koniecznym. Wymaga ona szeroko zakrojonego, holistycznego podejścia, strategicznych decyzji i inwestycji. Jak pokazują analizowane przykłady, przedsiębiorstwa, które aktywnie i konsekwentnie wdrażają te zasady, nie tylko przyczyniają się do realizacji globalnych celów, ale również wzmacniają swoją pozycję konkurencyjną, stając się liderami w swoich branżach.

Bibliografia

- Adamczyk J., Gródek-Szostak Z., Kulisa B., Współczesne determinanty efektywności i rozwoju przedsiębiorstw. Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, 2020
- Adryjańczyk S., Olech E., Kuboń M., Szelań-Sikora A., Sikora J., Gródek-Szostak Z., Niemiec M., Stuglik J., Wybrane aspekty logistyki serwisowej w przedsiębiorstwach produkcyjnych [W:] Kuboń M. (red.), Transport i logistyka w dobie inżynierii mechanicznej. T. 1, Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, 2020
- Aydin, N., Tirkolaei, E. B., Smart production logistics for sustainable development: A review, *Sustainable Operations Research*, 3(1), 2022
- Bąk-Sokołowska M., Zrównoważona logistyka jako strategia biznesowa. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 505, 2018
- Bouchery Y., Fransoo J. C., Tan T., Multi-objective production logistics for SDG alignment, *International Journal of Production Economics*, 256, 108765, 2024
- Cupiał M., Szelań-Sikora A., Sikora J., Gródek-Szostak Z., Zintegrowane systemy zarządzania w logistyce [W:] Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), Aktualne problemy logistyki. T. 1, Państwowa Wyższa Szkoła Wschodnioeuropejska, 2017
- Czubiński R., Solaris: Nie planujemy rozwijać konstrukcji spalinowych, *Transport-publiczny*, 2025
- Deckert, C., *Sustainable Logistics*. Springer, 2023
- Ding, X., Zhang, Y., Wang, L., Strategies to overcome challenges to smart sustainable logistics, *Journal of Cleaner Production*, 412, 137284, 2023
- Gródek-Szostak Z., Szelań-Sikora A., Sikora J., Niemiec M., Stuglik J., Matłok N., Transport autonomiczny - korzyści dla gospodarki opartej na innowacjach [W:] Kuboń M. (red.), Transport i logistyka w dobie inżynierii mechanicznej, T. 1, Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, 2020
- Gródek-Szostak Z., Sikora J., Niemczyk A., Zielone zarządzanie w łańcuchu logistycznym [W:] Wodecka-Hyjek A., Nesterak J. (red.), *Wiedza - gospodarka -*

- społeczeństwo: aktualne trendy i wyzwania cyfrowe, Instytut Nauk Ekonomicznych Polskiej Akademii Nauk, 2023
- Krakowski Park Technologiczny, NEWAG z Nowego Sącza z dwiema decyzjami o wsparciu w ramach Polskiej Strefy Inwestycji, 2025
- KolejowyPortal.pl., Newag zainwestuje 73 mln zł w ramach Polskiej Strefy Inwestycji, 2025
- Li, X., Sohail, S., Majeed M. T., Ahmad W., Green logistics, economic growth, and environmental quality: Evidence from Belt and Road Initiative countries, *Environmental Science and Pollution Research*, 28(6), 2021
- Madras J., Jest pierwsza hybryda z superkondensatorem! Innowacja Newagu na skalę Europy, *Rynek-Kolejowy*, 2022
- mBank, mBank wspiera Solaris Bus , Coach w ramach zrównoważonego finansowania w kwocie 114 mln euro, 2025
- Rösler J., Solaris myśli o nowej generacji Urbino. Co z Dieslem?, *Transport-Publiczny.pl.*, 2024
- Ruciński K., *Obserwator Logistyczny*, 2025
- Sadowski A., Logistyka zrównoważona — główne kierunki rozwoju, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Łódzkiego*, 3(45), 2020
- Solaris Bus & Coach, Kodeks postępowania dostawców CAF, 2022
- Solaris Bus & Coach, Raport zrównoważonego rozwoju 2023, 2024
- Szeląg-Sikora A., Sikora J., Niemiec M., Gródek-Szostak Z., Global G.A.P. w produkcji pierwotnej jako element bezpieczeństwa w łańcuchu dostaw żywności, *Roczniki Naukowe Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich*, t. 103, nr 4, 2016
- Szymajda, M., Newag: Budujemy dla PKP Intercity Impulsa nowej generacji, *Rynek-Kolejowy.pl*, 2024
- Tokarski D., Górniak-Krupińska J., Bielecki M., Determinanty logistyki w dobie zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, 2024
- Tokarski D., Miziołek K., Zrównoważona logistyka jako źródło przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstw. W: D. Tokarski, A. Fajczak-Kowalska (red.), *Paradygmaty zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw logistycznych. E-logistyka. Społeczna Akademia Nauk*, Łódź, 2023
- Transportszynowy.pl., Fotorelacja po NEWAG SA w Nowym Sączu, 2010
- TTG Polska., PKP Intercity powiększy się o 35 dwunapędowych zespołów trakcyjnych, 2024

Adres do korespondencji: grodekz@uek.krakow.pl

ORCID: Zofia Gródek-Szostak 0000-0001-6283-6952

ORCID: Elżbieta Olech 0000-0003-4405-701X

ORCID: Jakub St. Gajda 0009-0001-5736-0598

ORCID: Karolina Furyk-Grabowska 0000-0001-7509-1814

IDENTYFIKACJA STOPNIA KONCENTRACJI UWAGI KIEROWCY SAMOCHODU OSOBOWEGO NA WYBRANYM TRAKCIE GÓRSKIM

Paweł Kielbasa¹, Paweł Pysz¹, Mirosław Zagórda¹, Natalia Łojas¹

¹ Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wprowadzenie

Bezpieczeństwo na drogach stanowi jeden z kluczowych obszarów współczesnej inżynierii transportu, psychologii ruchu drogowego oraz ergonomii pracy człowieka. Pomimo intensywnego rozwoju nowoczesnych technologii wspomagających kierowcę, takich jak systemy ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*), zdecydowana większość wypadków drogowych wciąż jest skutkiem błędu ludzkiego – szacuje się, że odsetek ten przekracza 90% wszystkich zdarzeń drogowych¹. Wśród środowisk o podwyższonym ryzyku szczególne znaczenie mają drogi górskie, które charakteryzują się znaczną deniwelacją terenu, licznymi zakrętami, ograniczoną szerokością jezdni oraz częstymi zmianami warunków pogodowych. Prowadzenie pojazdu w takich warunkach wymaga od kierowcy utrzymywania wysokiego poziomu koncentracji uwagi oraz zdolności szybkiego przetwarzania informacji z otoczenia. Zmęczenie, stres czy monotonia jazdy mogą prowadzić do spadku czujności, błędnej oceny sytuacji i utraty kontroli nad pojazdem, co stanowi bezpośrednie zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego². W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie wykorzystaniem neurofizjologicznych metod oceny stanu psychicznego kierowcy, w tym szczególnie elektroencefalografii (EEG) oraz interfejsów mózg–komputer (*Brain–Computer Interface*, BCI). Technologie te pozwalają na rejestrowanie i analizę aktywności bioelektrycznej mózgu w czasie rzeczywistym, umożliwiając identyfikację stanów takich jak zmęczenie, stres czy obniżona koncentracja³.

Proces prowadzenia pojazdu stanowi złożone działanie poznawczo-motoryczne, w którym uczestniczą równocześnie procesy percepcji, przetwarzania informacji,

¹ Michon J.A.: A Critical View of Driver Behavior Models: What Do We Know, What Should We Do? Springer, 1985

² Wen J., Li Y.: Safety-Critical Event Identification on Mountain Roads for Driving Safety Improvement. Sustainability, MDPI, 2021

³ Cegielska A., Olszewski R.: Elektroencefalografia w diagnostyce funkcji poznawczych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2017. <https://pwn.pl>

podjęcia decyzji i realizacji reakcji motorycznych⁴. Każdy z tych etapów wymaga odpowiedniego poziomu koncentracji oraz selekcji bodźców z otoczenia. Według modelu opracowanego przez Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy⁵, czynności kierowcy można podzielić na trzy grupy procesów: wejściowe (percepcyjne) – pozyskiwanie informacji o prędkości, położeniu innych pojazdów, stanie nawierzchni i warunkach atmosferycznych; centralne (decyzyjne) – analiza danych i wybór odpowiednich reakcji; wyjściowe (efektoryczne) – wykonywanie działań motorycznych, takich jak hamowanie czy skręt kierownicą.

Każdy z wymienionych etapów wiąże się z określonym poziomem obciążenia psychicznego, które zależy od częstotliwości, dokładności i złożoności działań. W warunkach górskich poziom ten jest znacznie wyższy ze względu na złożoność środowiska drogowego i potrzebę ciągłej adaptacji strategii prowadzenia pojazdu⁶.

Koncentracja kierowcy jest determinowana przez szeroki zakres czynników środowiskowych, psychologicznych, fizjologicznych i technologicznych. Do czynników środowiskowych zalicza się warunki pogodowe, stan nawierzchni, porę dnia, natężenie ruchu oraz ukształtowanie terenu. W badaniach Wen i Li (2021)⁷ wykazano, że zmienność łuków i spadków terenu na drogach górskich istotnie zwiększa liczbę sytuacji krytycznych, a tym samym wymaga od kierowcy większego wysiłku poznawczego. Czynniki psychologiczne obejmują stres, emocje, poziom motywacji i monotonię jazdy. Długotrwałe utrzymywanie uwagi w monotonnym środowisku, przy braku bodźców zewnętrznych, prowadzi do tzw. mikrosnu – krótkich epizodów utraty czujności⁸.

Do czynników fizjologicznych należą zmęczenie, senność, spożycie stymulantów (np. kofeiny), stan zdrowia czy rytm dobowy. Według raportu Krajowego Obserwatorium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego⁹, zmęczenie kierowcy jest czynnikiem obecnym w ok. 15–20% wszystkich wypadków, a jego udział wzrasta w zdarzeniach śmiertelnych. Czynniki technologiczne obejmują obecność systemów wspomagania jazdy, nawigacji GPS oraz urządzeń mobilnych. Choć mogą one zwiększać bezpieczeństwo, to jednocześnie generują nowe źródła dystrykcji poznawczej¹⁰. Metody identyfikacji koncentracji uwagi kierowcy można podzielić na: a) metody behawioralne, które opierają się na analizie zachowania kierowcy i reakcji pojazdu. Najczęściej stosowanymi wskaźnikami są: odchylenie boczne toru jazdy (SDLP – *Standard Deviation of Lane Position*), zmienność kąta skrętu kierownicy oraz czas reakcji na bodźce¹¹. Pomiar tych parametrów umożliwia identyfikację mikroskopijnych zmian w sposobie prowadzenia pojazdu, które mogą

⁴ Reason J.: Human Error. Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

⁵ Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB): Ocena obciążenia psychicznego pracowników. Warszawa, 2015. <https://www.ciop.pl>

⁶ Ma Y., Zhang X. i in.: Research on Catastrophe Progression of Driving Load in Mountainous Road Based on Visual and Environmental Characteristics. Engineering Reports, Wiley, 2023.

⁷ Wen J., Li Y.: Safety-Critical Event Identification on Mountain Roads for Driving Safety Improvement. Sustainability, MDPI, 2021

⁸ Koelega H.S.: Sleepiness and Driving: The Road to Risk. Taylor & Francis, London, 2012.

⁹ Krajowe Obserwatorium BRD: Zmęczenie kierowców – raport tematyczny. Warszawa, 2021.

¹⁰ Albadawi A. i in.: A Review of Recent Developments in Driver Drowsiness Detection Systems. Sensors, MDPI, 2022

¹¹ Brookhuis K., de Waard D.: Assessment of Driver's Workload: Performance Measures and Physiological Indices. W: Handbook of Traffic Psychology. Elsevier, 2011

świadczyć o spadku czujności. Metody okulograficzne, które pozwalają na analizę aktywności wzrokowej kierowcy poprzez śledzenie ruchów gałek ocznych. Kluczowym wskaźnikiem jest PERCLOS (ang. *Percentage of Eye Closure*), czyli procentowy czas przymknięcia powiek w określonym przedziale czasowym. Wartość PERCLOS przekraczająca 10% jest interpretowana jako stan senności¹².

Obecnie nowoczesne metody, takie jak elektroencefalografia (EEG), umożliwiają monitorowanie prądów czynnościowych mózgu, co pozwala na identyfikację stanów umysłowych kierowcy, takich jak koncentracja, zmęczenie czy stres. W kontekście obciążenia psychicznego, kluczowe jest precyzyjne rozpoznanie przez ośrodkowy układ nerwowy kierowcy poziomu koncentracji uwagi podczas prowadzenia samochodu. Każdy etap pracy ma wpływ na poziom obciążenia, dlatego w celu jego określenia należy przeprowadzić analizę uwzględniającą takie czynniki jak: dokładne czynności motoryczne, monotonia, monotypia, oraz konieczność podejmowania złożonych i powtarzalnych decyzji. W celu określenia obciążenia umysłowego, można wyróżnić następujące etapy procesu działania człowieka: 1) Procesy wejściowe (pozyskiwanie informacji) – obejmuje precyzyjną ocenę kierowcy zarówno własnych kompetencji, jak i aktualnych warunków na drodze. W jego ramach analizowane są parametry takie jak prędkość, ruchu innych pojazdów, warunki atmosferyczne oraz stan nawierzchni; 2) Procesy centralne (podejmowanie decyzji) – na podstawie analizy zgromadzonych informacji, kierowca podejmuje decyzje dotyczące m. in. hamowania, przyspieszania, zmiany pasa ruchu czy reakcji na niespodziewane sytuacje. 3) Procesy na wyjściu (wykonywanie pojedynczych czynności lub złożonych z manewrów) – kierowca realizuje podjęte decyzje poprzez precyzyjne i skoordynowane manewry, mając na celu utrzymanie bezpieczeństwa i płynności jazdy. Proces ten angażuje skoordynowane działanie rąk, nóg oraz wzroku.

Metody neurofizjologiczne (EEG i BCI) są najbardziej obiektywnym narzędziem oceny stanu poznawczego kierowcy są metody neurofizjologiczne, w tym elektroencefalografia (EEG). EEG rejestruje aktywność bioelektryczną mózgu z wykorzystaniem elektrod umieszczonych na powierzchni skóry głowy. Analizując sygnały elektryczne mózgu, bierze się pod uwagę dwa parametry: amplitudę - wysokość fal mózgowych (może odzwierciedlać intensywność procesów myślowych i emocjonalnych), częstotliwość - szybkość, z jaką fale mózgowe oscylują (może wskazywać na różne poziomy koncentracji i czujności). Analiza sygnałów EEG pozwala wyróżnić pasma fal mózgowych: delta (0,5–4 Hz) – sen i regeneracja, theta (4–8 Hz) – zmęczenie, stan senności, alfa (8–12 Hz) – relaks i spadek czujności, beta (18–30 Hz) – aktywna koncentracja, gamma (30–100 Hz) – przetwarzanie informacji i percepcja sensoryczna. W stanie pełnej koncentracji przeważają fale beta i gamma, natomiast dominacja fal theta i alfa wskazuje na spadek czujności¹³. Połączenie EEG z systemami BCI umożliwia natychmiastową reakcję na spadek koncentracji, np. poprzez uruchomienie wibracji kierownicy lub sygnału dźwiękowego.

¹² Wierwille W.W.: *Overview of Driver Drowsiness Detection Techniques*. Transportation Human Factors, Taylor & Francis, 1999

¹³ Arefnezhad S. i in.: *Driver Drowsiness Estimation Using EEG Signals and Machine Learning*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, IEEE, 2022

W literaturze światowej badania nad wykorzystaniem EEG i BCI w diagnostyce koncentracji kierowcy prowadzone są od ponad dwóch dekad. Albadawi i in. (2022)¹⁴ dokonali przeglądu 80 prac z lat 2010–2021, wskazując, że fuzja danych EEG i PERCLOS zapewnia najwyższą skuteczność wykrywania senności. W badaniach terenowych Wen i Li (2021)¹⁵ udowodnili, że prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji krytycznych na drogach górskich jest dwukrotnie wyższe niż na nizinach, co koreluje ze wzrostem obciążenia poznawczego. Odnotowano, że wzrost złożoności otoczenia wizualnego skutkuje zwiększeniem liczby błędnych decyzji i opóźnień reakcji. W polskich opracowaniach problem obciążenia psychicznego kierowców podejmowany jest głównie w kontekście ergonomii pracy. Centralny Instytut Ochrony Pracy wskazuje, że monotonia, hałas i wibracje w kabinie prowadzą do spadku efektywności poznawczej. Kielbasa i in. (2024)^{16,17} w badaniach dotyczących koncentracji kierowców miejskich wykazali, że stopień skupienia zmienia się w zależności od warunków środowiskowych i długości ekspozycji.

Cel i zakres badań

Celem badań był identyfikacja stopnia aktywności mózgu kierowcy samochodu osobowego w czasie jazdy po drogach górskich, który w czasie realizacji jazdy będzie dokonywał zmian parametrów eksploatacyjnych pojazdu (czynności nastawcze) oraz będzie zmuszony do korekty poprawności działania pojazdu (czynności regulacyjno-korekcyjne). Zakres pracy będzie obejmował sporządzenie mapy przestrzennej obciążenia psychicznego kierowcy prowadzącego samochód w ruchu miejskim o zróżnicowanym poziomie swobody ruchu i infrastrukturze drogowej. Obciążenie psychiczne zostanie wyznaczone na podstawie prądów czynnościowych mózgu pracownika w czasie realizacji określonych zadań. W badaniach zostanie wykorzystana Opaska EEG Muse InteraXon 2. Przeprowadzona analiza porównawcza pozwoli wyodrębnić relację między konkretnym miejscem, odcinkiem drogi górskiej, a stopniem obciążenia psychicznego.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono z udziałem 2 kierowców - kobieta w wieku 23 lata, posiadająca 5 lat doświadczenia w prowadzeniu pojazdów oraz mężczyzna w wieku 26 lat

¹⁴ Albadawi A. i in.: A Review of Recent Developments in Driver Drowsiness Detection Systems. Sensors, MDPI, 2022

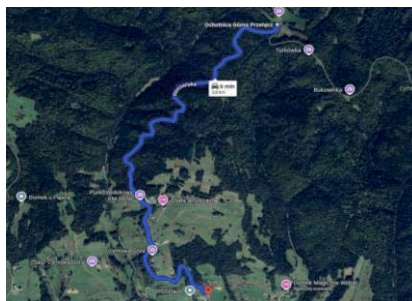
¹⁵ Wen J., Li Y.: Safety-Critical Event Identification on Mountain Roads for Driving Safety Improvement. Sustainability, MDPI, 2021

¹⁶ Kielbasa P., Baran M., Kupiec M.: Analiza stopnia koncentracji uwagi kierowcy i pasażera w czasie jazdy miejskiej. W: Logistyka dziś i jutro. Technika i ekonomia w procesach transportowych. Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, Przemysł, 2024

¹⁷ Kielbasa P., Baran M., Kupiec M.: Analiza stopnia koncentracji uwagi kierowcy i pasażera w czasie jazdy miejskiej. W: Logistyka dziś i jutro. Technika i ekonomia w procesach transportowych. Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, Przemysł, 2024

posiadający 8 lat doświadczenia w prowadzeniu pojazdów. Kierowcy poruszali się tym samym samochodem osobowym marki Volkswagen Golf IV z 2000 roku. Samochód posiada silnik benzynowy 1,6 16V o mocy 105 KM oraz manualną skrzynię biegów.

Wyznaczona trasa badawcza charakteryzuje się górzystym ukształtowaniem terenu (rys. 1), a jej długość to 5,8 km. Każdorazowo była pokonywana w czasie 10 minut, ze średnią prędkością $35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Pomiary były realizowane w czasie jazdy pod górę. Odcinek pomiarowy zawiera 53 zakręty, a różnica wysokości między punktem początkowym, a końcowym wynosi 311 m n.p.m.. Pomiary zostały przeprowadzone w godzinach porannych (w przedziale między godz. 10:00 a 11:00), oraz godzinach nocnych (w przedziale między godz. 20:00 a 21:00) w warunkach: sucha nawierzchnia, ograniczona widoczność oraz umiarkowane natężenie ruchu, które było charakterystyczne dla tego odcinka drogi.



Rysunek 1. Przebieg trasy

Źródło: <https://tinyurl.com/284dl3vc>

Punkt początkowy trasy pomiarowej zlokalizowany był na parkingu w miejscowości Harkłowa. Kierowca rozpoczyna pomiar poruszając się ulicą Wspólną, a następnie, kontynuując jazdę, wjeżdża do ulicy Gorezańską w miejscowości Knurów. Dalszy przebieg trasy prowadził główną drogą w kierunku parkingu na Przełęczy Knurowskiej. Przykładową analizę zakrętów przedstawiono na rysunku 2ab, gdzie pierwszy zakręt (rys. 2a) zlokalizowany był na wysokości 544,4 m. n.p.m., a jego kąt skrętu wynosił 28° i był zakrętem w lewo, natomiast na rysunku 3b przedstawiono drugi zakręt w lewo o kącie 38° , który położony był na wysokości 556,2 m. n.p.m. Natomiast jednym z trudniejszych zakrętów był trzeci zakręt (w prawą stronę), którego kąt wynosił 180° i usytuowany był na wysokości 559,2 m n.p.m. Należy zaznaczyć, że był najtrudniejszym infrastrukturalnie zakrętem na całym badanym odcinku. Podobnym poziomem trudności charakteryzował się zakręt czwarty (zakręt w lewo o kącie 158° , usytuowany na wysokości 566,1 m n.p.m.).

W badaniach wykorzystano opaskę EEG Muse InteraXon 2 (rys. 3a), pozwalającą monitorować w funkcji czasu aktywności fal mózgowych. Monitorowana cały przejazd a przypisanie aktywności mózgu do konkretnego miejsca na drodze zrealizowano przy pomocy synchronizacji w czasie w/w pomiaru i chronometrażu przebiegu trasy. Aparatura pozwala uzyskać w czasie rzeczywistym cztery różne rodzaje informacji tj.: dotyczące aktywności mózgu, częstości uderzeń serca, parametrów oddechowych oraz ruchów ciała. Ponadto umożliwiało rejestrację zmian aktywności mózgu w 5 pasmach

częstotliwości sygnału: alfa, beta, gamma, delta oraz theta. Połączenie opaski z aplikacją Mind Monitor realizowano za pomocą technologii Bluetooth (rys. 3b).



Rysunek 2. Szczegółowy przebieg trasy; a - zakręt w lewo (1 zakręt), b - zakręt w lewo (2 zakręt)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Geoportal.gov.pl



Rysunek 3. Szczegółowy przebieg trasy; a - Opaska EEG Muse InteraXon 2, b - aplikacja Mind Monitor

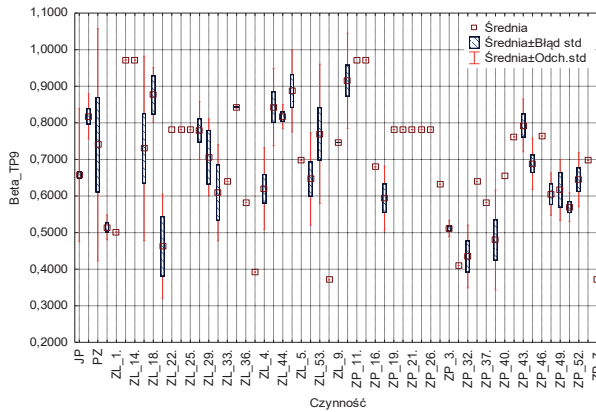
Źródło: <https://a.allegroimg.com/s1024/0c855b/3409ee6043ce8bd63286f15aab8a>

Opaska wyposażona jest w 7 czujników EEG, rozmieszczonych symetrycznie: 2 na czole, 2 za uszami oraz 3 referencyjne. Dodatkowo, posiada czujniki PPG oraz pulsometryczne, które monitorują czynności serca i oddech. Ich lokalizacja znajduje się po prawej stronie czoła. Czujniki ruchu (żyroskop i akcelerometr) zlokalizowane są za uszami.

Wyniki badań

Na rysunku 4 przedstawiono poziom aktywności mózgu dla poziomu częstotliwości beta (aktywna koncentracja) zarejestrowana przy pomocy czujnika TP9. Analiza wyników wskazała, że najwyższa średni poziom koncentracji uwagi kierowcy płci żeńskiej odnotowano na zakręcie 11, 12, 13 oraz 14, gdzie osiągnął wartość ok. 0,97 pkt., w 100 pkt. Skali koncentracji. Najniższą średnią aktywność mózgu w przedmiotowym przedziale częstotliwości, wynoszącą 0,37 pkt., zaobserwowano w czasie pokonywania zakrętu nr 7 i nr 8. Wykorzystując test istotności różnic NIR na poziomie istotności $p < 0,05$, zaobserwowano 476 statystycznie istotnych różnic na 1596 możliwych.

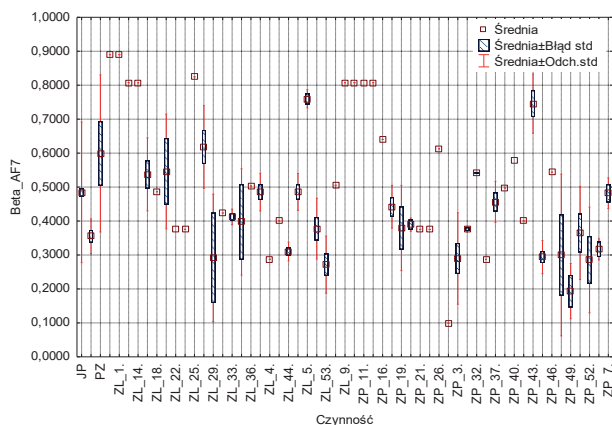
Najwięcej statystycznie istotnych różnic, bo aż 39, zaobserwowano między poziomem aktywności mózgu odnotowanych w czasie pokonywania siódmego zakrętu a pozostałymi charakterystycznymi (zakręty) punktami trasy. Na rysunku 5 przedstawiono poziom aktywności mózgu kierowcy płci żeńskiej w czasie jazdy daytime, zmierzony za pomocą czujnika AF7 w przedziale częstotliwości beta. Najwyższą średnią aktywność mózgu wynoszącą 0,89 pkt., została odnotowana podczas wyjazdu z parkingu oraz pokonywania pierwszego zakrętu. Najniższą średnią aktywność mózgu, wynoszącą 0,10 pkt., zarejestrowano w czasie pokonywania zakrętu nr 28. Po przeprowadzeniu testu istotności różnic (NIR) przy $p < 0,05$, dla wartości zarejestrowanych przez czujnik AF7, zaobserwowano 580 statystycznie istotnych różnic na 1596 możliwych. Najwięcej istotnych różnic (bo aż 32) zaobserwowano między poziomem aktywności mózgu zarejestrowanym w czasie pokonywania 28-ego zakrętu wyznaczonej trasy, a pozostałymi punktami trasy.



Rysunek 4. Charakterystyka aktywności mózgu kobiety podczas jazdy w ciągu dnia mierzona czujnikiem TP9 dla wyodrębnionych odcinków drogi

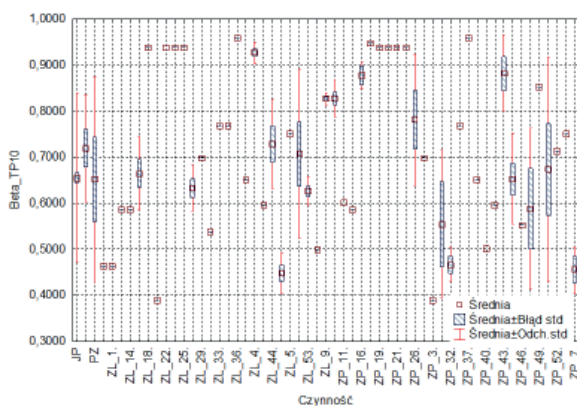
Źródło: opracowanie własne

W przypadku aktywności mózgu kierowcy płci żeńskiej zarejestrowanej czujnikiem TP10 w zakresie częstotliwości beta w czasie przejazdu przez odcinek pomiarowy przedstawiono na rysunku 6. Analiza wyników wykazała, że maksymalna wartość aktywności mózgu została odnotowana w czasie pokonywania zakrętu nr 36 i nr 37 wynosząc 0,96 pkt. Z kolei minimalna średnia aktywność mózgu wyniosła 0,39, którą odnotowano w czasie pokonywania zakrętu nr 2 i nr 3.



Rysunek 5. Charakterystyka aktywności mózgu kobiety podczas jazdy w ciągu dnia mierzona czujnikiem AF7 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

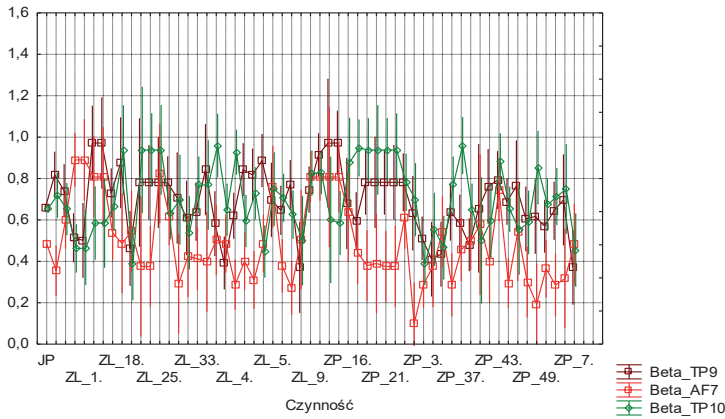


Rysunek 6. Charakterystyka aktywności mózgu kobiety podczas jazdy w ciągu dnia mierzona czujnikiem TP10 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

W analizowanym przypadku odnotowano 603 statystycznie istotnych różnic w poziomie koncentracji uwagi (częstotliwość beta) spośród 1596 możliwych między zidentyfikowanymi na trasie przejazdu zakrętami. Najwięcej istotnych różnic, bo aż 31, zaobserwowano między poziomem aktywności mózgu w czasie pokonywania trzeciego zakrętu badanej trasy, a pozostałymi punktami trasy odcinka pomiarowego.

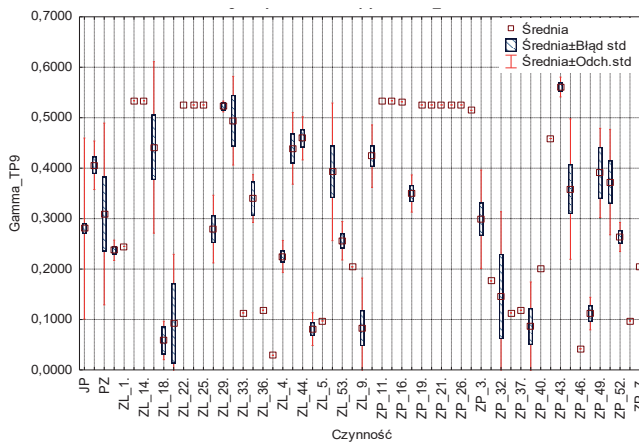
Na rysunku 7 przedstawiono zestawienie poziomu aktywności mózgu związanego z aktywnością umysłową, poziomem koncentracji uwagi w zakresie częstotliwości od 18 Hz do 30 Hz, mierzonego sensorami rozmieszczonymi w różnej części głowy. Należy zaznaczyć, że pomimo drobnych wahań sygnału, jego zróżnicowanie dotyczyło krótkich odcinków czasowych (dwóch zakrętów).



Rysunek 7. Przebieg zmian w aktywności mózgu w zakresie częstotliwości beta podczas jazdy dziennej mierzony w różnych punktach głowy kierowcy

Źródło: opracowanie własne

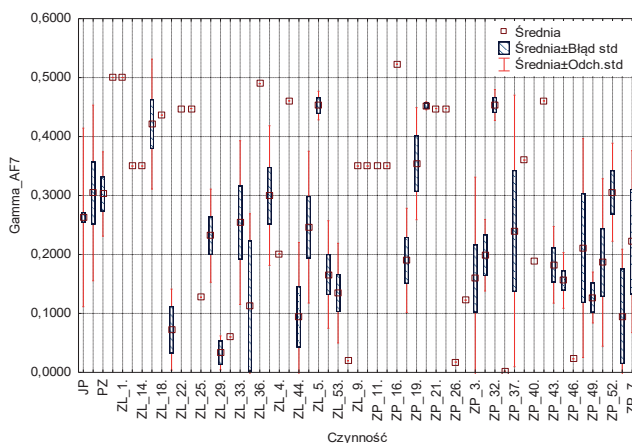
W przypadku analizy aktywności mózgu kierowcy płci żeńskiej w czasie jazdy po odcinku testowym w dzień w zakresie częstotliwości gamma (30–100 Hz – przetwarzanie informacji i percepcja sensoryczna), odnotowano że w przypadku sygnału zidentyfikowanego przez czujnik TP9 najwyższą jego wartość wynoszącą 0,56 pkt. zaobserwowano w czasie pokonywania zakrętu nr 43. Z kolei najniższą średnią aktywność (0,03 pkt.) odnotowano w przypadku pokonywania zakrętu nr 38 (rys. 8). W omawianym przypadku zaobserwowano 702 statystycznie istotne różnice w poziomie sygnału gamma na 1596 możliwych ($p=0.05$) między pokonywanymi zakrętami w czasie jazdy.



Rysunek 8. Charakterystyka aktywności mózgu kobiety podczas jazdy w ciągu dnia mierzona czujnikiem gamma TP9 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 9 przedstawiono poziom aktywności mózgu w zakresie częstotliwości gamma odnotowany czujnikiem AF7. Odnotowano, że najwyższą średnią wartość aktywności mózgu wynoszącą 0,52pkt., odnotowano w przypadku zakrętu nr 43, natomiast najniższą wynoszącą tylko 0,002 pkt., odnotowano w przypadku zakrętu nr 34. Należy zaznaczyć, że w obu w/w przypadkach zakres zmienności aktywności mózgu kierowcy był znikomy. Przeprowadzona analiza różnic wartości średnich poziomu aktywności mózgu kierowcy między zakrętami w obrębie odcinka pomiarowego wykazała 659 istotne różnice na 1596 możliwych.

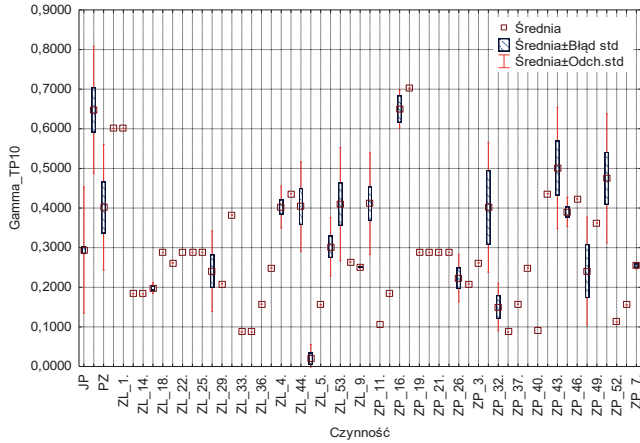


Rysunek 9. Charakterystyka aktywności mózgu kobiety podczas jazdy w ciągu dnia mierzona czujnikiem gamma AF7 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

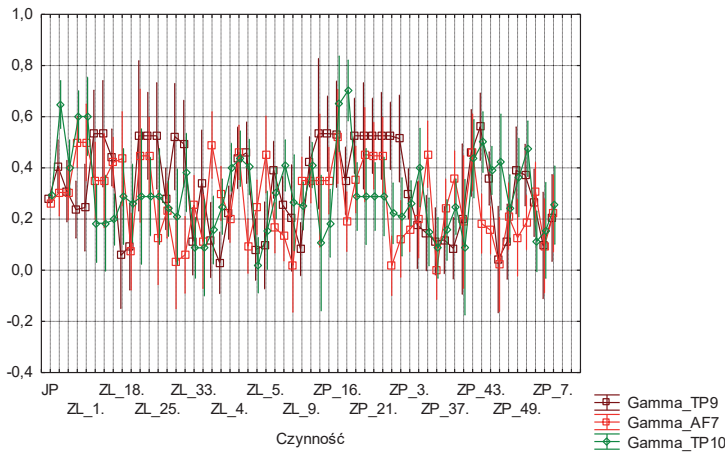
Na rysunku 10 pokazano wartości średnie oraz zakres zmienności poziomu aktywności mózgu kierowcy płci żeńskiej wyodrębnionego dla występujących na tracie zakrętów. Najwyższą aktywność mózgu kierowcy odnotowano w czasie pokonywania zakrętu nr 17, gdzie wynosiła 0,7pkt., natomiast najniższą wynoszącą 0,02 pkt., w czasie pokonywania zakrętu nr 47. Wykorzystując test istotności różnic wartości średnich (NIR) poziomu aktywności mózgu kierowcy między wyodrębnionymi odcinkami drogi odnotowano 594 statystycznie istotne różnice na 1596 możliwych.

Na rysunku 11 przedstawiono zestawienie poziomów aktywności mózgu kierowcy płci żeńskiej związanego przetwarzaniem informacji i percepcją sensoryczną mierzonego sensorami rozmieszczonymi wokół głowy kierowcy. Zaobserwowano, że pomimo drobnych wartości odnotowywanego sygnału, jego zróżnicowanie było znikome a usytuowanie czujników na głowie osoby badanej nie determinowało poziomu odnotowywanej aktywności mózgu.



Rysunek 10. Charakterystyka aktywności mózgu kobiety podczas jazdy w ciągu dnia mierzona czujnikiem gamma TP10 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

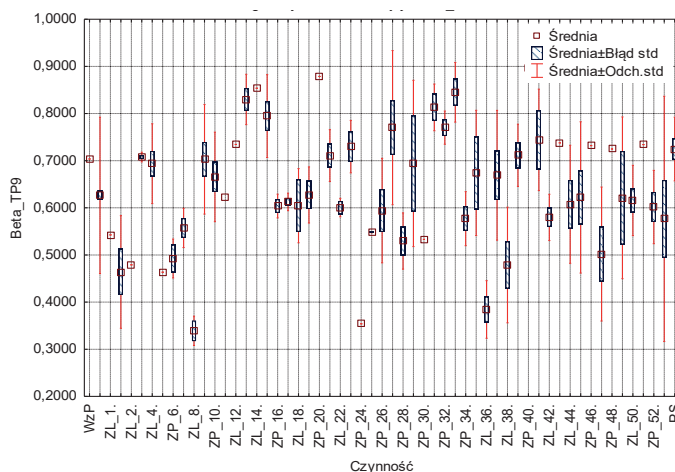


Rysunek 11. Przebieg zmian w aktywności fal mózgowych gamma w różnych obszarach mózgu kobiety podczas jazdy samochodem w ciągu dnia

Źródło: opracowanie własne

Pomiary przeprowadzono również w nocy, co było wynikiem analizy ograniczonej widoczności i związanej z tą sytuacją możliwą zmianą wielkości i zmienności poziomu koncentracji uwagi kierowcy. Na rysunku 12 przedstawiono poziom aktywności mózgu kierowcy płci żeńskiej w zakresie częstotliwości beta, który mierzono czujnikiem TP9 w porze nocnej. Zaobserwowano, że poziom aktywności mózgu oscylował w granicach od ok. 0,5 pkt. do 0,8 pkt. charakteryzując się niewielką zmiennością w obrębie pojedynczych odcinków drogi. Najwyższą średnią aktywność mózgu wynoszącą 0,90 pkt.,

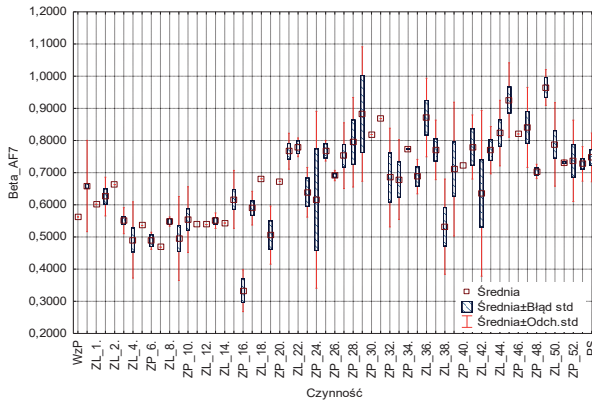
zarejestrowano na 40-stym odcinku drogi w czasie pokonywania zakrętu nr 40, natomiast najmniejszy poziom aktywności mózgu odnotowano w przypadku odcinka drogi nr 8 w czasie pokonywania zakrętu nr 8, gdzie poziom aktywności mózgu wynosił 0,34 pkt. Na podstawie przeprowadzonej analizy istotności różnic wykorzystując test NIR na poziomie istotności $p < 0,05$ dla zarejestrowanych w pasmie beta poziomów aktywności mózgu (czujnik TP9) zaobserwowano 405 statystycznie istotnych różnic na 1596 możliwych między wyodrębnionymi odcinkami drogi.



Rysunek 12. Charakterystyka aktywności mózgu kobiety podczas jazdy nocą mierzona czujnikiem beta TP9 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

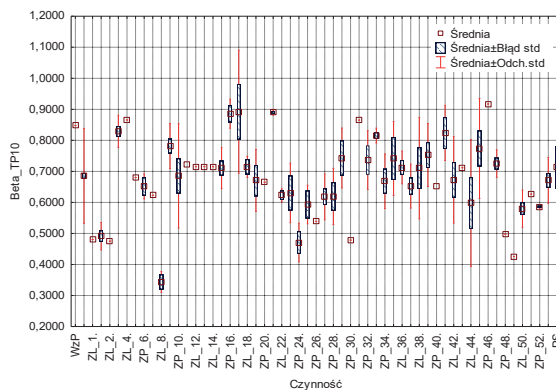
Na rysunku 13 przedstawiono poziom aktywności mózgu kierowcy zmierzony czujnikiem AF7. Najwyższą wartość średnią poziomu koncentracji uwagi kierowcy odnotowano na 49-tym odcinku drogi w czasie pokonywania 49-tego zakrętu, której wartość była bardzo wysoka i wynosiła 0,97 pkt. Z kolei najmniejszy poziom koncentracji uwagi kierowcy wynoszący 0,33 pkt., miał miejsce podczas pokonywania 16-tego zakrętu. W tym przypadku z 1596 możliwych istotnych różnic, analiza testu istotności różnic wykazała 562 statystycznie istotnych różnic. Najwięcej istotnych różnic – 38, zaobserwowano między poziomem aktywności mózgu kierowcy na 49 zakręcie wyznaczonej trasy, a pozostałymi punktami trasy.



Rysunek 13. Charakterystyka aktywności mózgu kobiety podczas jazdy nocą mierzona czujnikiem beta AF7 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

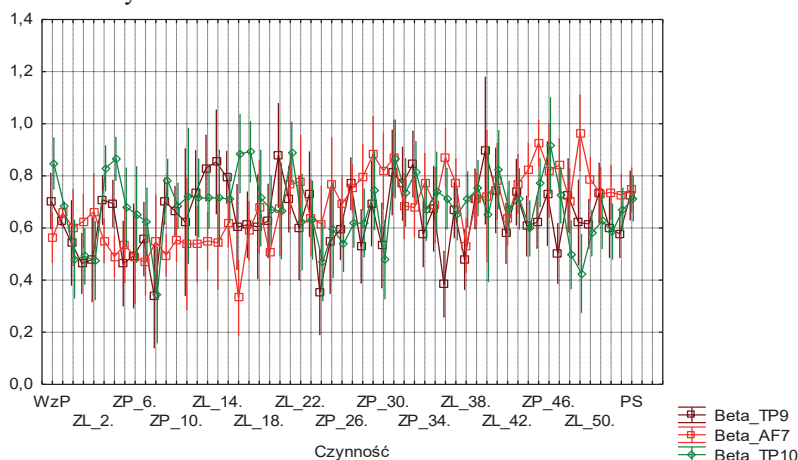
Na rysunku 14 przedstawiono poziom aktywności mózgu kierowcy płci żeńskiej w zakresie częstotliwości beta, który mierzono w porze nocnej czujnikiem TP10. Zaobserwowano, że poziom aktywności mózgu oscylował w granicach od ok. 0,6 pkt. do 0,8 pkt. charakteryzując się niewielką zmiennością w obrębie pojedynczych odcinków drogi. Najwyższą średnią aktywność mózgu wynoszącą 0,92 pkt., zarejestrowano na 46-stym odcinku drogi w czasie pokonywania zakrętu nr 46, natomiast najmniejszy poziom aktywności mózgu odnotowano w przypadku odcinka drogi nr 8 w czasie pokonywania zakrętu nr 8, gdzie poziom aktywności mózgu wynosił 0,34 pkt. Przeprowadzona analiza istotności różnic wykorzystując test NIR na poziomie istotności $p < 0,05$ dla zarejestrowanych w pasmie beta poziomów aktywności mózgu (czujnik TP9) wykazała 500 statystycznie istotnych różnic na 1596 możliwych między wyodrębnionymi odcinkami drogi.



Rysunek 14. Charakterystyka aktywności mózgu kobiety podczas jazdy nocą mierzona czujnikiem beta TP10 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 15 przedstawiono zestawienie poziomu aktywności mózgu związanego z poziomem skupienia uwagi kierowcy w zakresie częstotliwości od 18 Hz do 30 Hz, mierzonego sensorami rozmieszczonymi w różnej części głowy. Należy zaznaczyć, że wartość sygnału mieściła się w zakresie od 0,4 pkt. do 0,8 pkt. maksymalnych możliwości skupienia kierowcy.

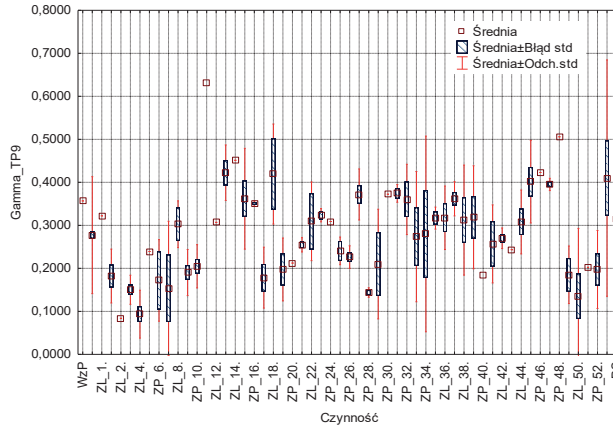


Rysunek 15. Przebieg zmian w aktywności mózgu w zakresie częstotliwości beta podczas jazdy nocnej mierzony w różnych punktach głowy kierowcy

Źródło: opracowanie własne

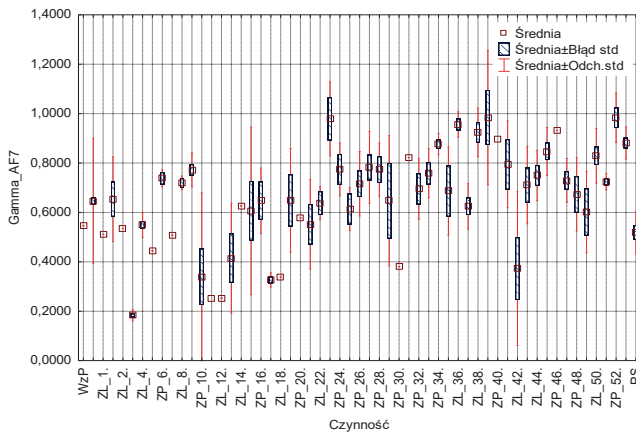
Na rysunku 16 przedstawiono poziom aktywności mózgu w zakresie częstotliwości gamma (przetwarzanie informacji i percepcja sensoryczna) zmierzony czujnikiem TP9 podczas jazdy w nocy. Zaobserwowano, że najwyższą średnią wartość aktywności mózgu wynoszącą 0,63 pkt., odnotowano w przypadku zakrętu nr 11, natomiast najniższą wartość aktywności mózgu wynoszącą 0,08 pkt., odnotowano w przypadku zakrętu nr 2. Należy zaznaczyć, że w obu w/w przypadkach zakres zmienności aktywności mózgu kierowcy był znikomy. Przeprowadzona analiza różnic (test NIR, $p < 0,05$) wartości średnich poziomu aktywności mózgu kierowcy między zakrętami w obrębie odcinka pomiarowego wykazała 403 istotne statystycznie różnice na 1596 potencjalnych.

Na rysunku 17 przedstawiono poziom aktywności mózgu kierowcy zmierzony czujnikiem AF7. Najwyższą wartość średnią aktywności mózgu kierowcy w zakresie częstotliwości gamma odnotowano na 23, 39 i 52 odcinku drogi w czasie pokonywania 23, 39 i 52-go zakrętu, której wartość była bardzo zbliżona i wynosiła ok 0,98 pkt. Z kolei najmniejszy poziom aktywności mózgu kierowcy wynoszący 0,18 pkt., miał miejsce podczas pokonywania 3-go zakrętu. W analizowanym przypadku z 1596 możliwych istotnych różnic, analiza testu istotności różnic wykazała 445 statystycznie istotnych różnic. Najwięcej istotnych różnic – 33, zaobserwowano między poziomem aktywności mózgu kierowcy na 52 zakręcie wyznaczonej trasy, a pozostałymi punktami trasy.



Rysunek 16. Charakterystyka aktywności mózgu kobiety podczas jazdy nocą mierzona czujnikiem gamma TP9 dla wyodrębnionych odcinków drogi

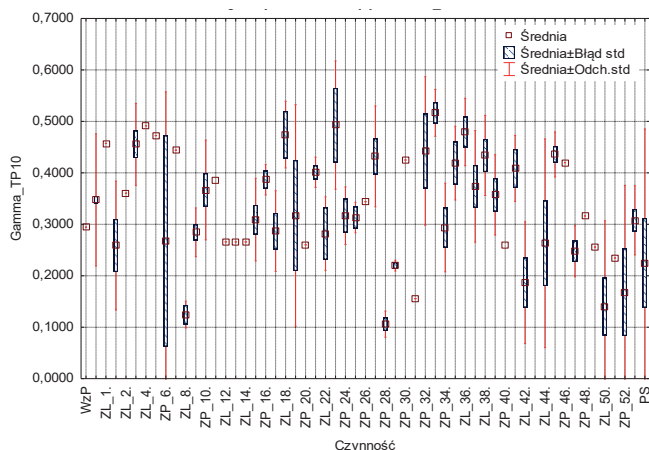
Źródło: opracowanie własne



Rysunek 17. Charakterystyka aktywności mózgu kobiety podczas jazdy nocą mierzona czujnikiem gamma AF7 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

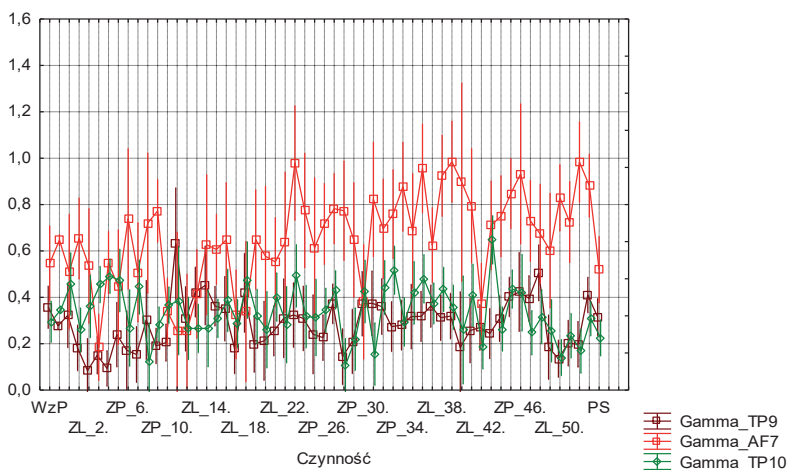
W przypadku sygnału aktywności mózgu odnotowywanego przez czujnik TP10 w zakresie częstotliwości gamma zaobserwowano, że najwyższą średnią aktywność mózgu wynoszącą 0,65 pkt., zarejestrowano na 43 odcinku drogi w czasie pokonywania zakrętu nr 43, natomiast najmniejszy poziom aktywności mózgu odnotowano w przypadku odcinka drogi nr 28 w czasie pokonywania zakrętu nr 28, gdzie poziom aktywności mózgu wynosił 0,11 pkt.(rys. 18). Przeprowadzona analiza istotności różnic testem NIR na poziomie istotności $p < 0,05$ dla zarejestrowanych w pasmie gamma poziomów aktywności mózgu (czujnik TP9) wykazała 478 statystycznie istotnych różnic na 1596 możliwych między wyodrębnionymi odcinkami drogi.



Rysunek 18. Charakterystyka aktywności mózgu kobiety podczas jazdy nocą mierzona czujnikiem gamma TP10 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 19 przedstawiono zestawienie poziomów aktywności mózgu kierowcy płci żeńskiej w czasie jazdy nocnej związanego przetwarzaniem informacji i percepcją sensoryczną mierzonego sensorami rozmieszczonymi wokół głowy kierowcy. Zaobserwowano, że sygnał rejestrowany przez czujnik AF7 (czerwona linia) wykazuje stosunkowo wysoką aktywność mózgu w porównaniu do pozostałych czujników TP9 i TP10 na całym badanym odcinku drogi.



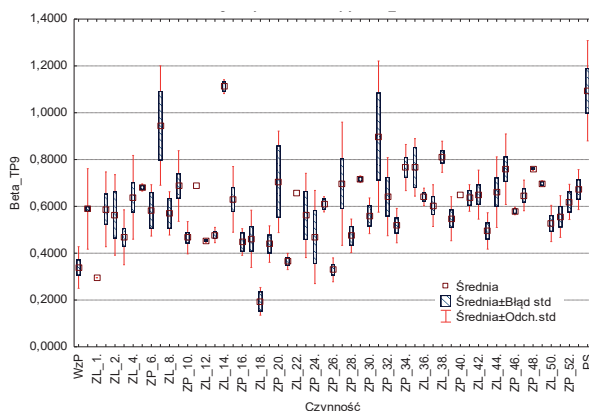
Rysunek 19. Przebieg zmian w aktywności mózgu w zakresie częstotliwości gamma podczas jazdy nocnej mierzony w różnych punktach głowy kierowcy

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 20 przedstawiono poziom aktywności mózgu kierowcy pojazdu płci męskiej rejestrowany przez czujnik TP9 w zakresie częstotliwości beta (koncentracja). Zaobserwowano, że najwyższą średnią wartość aktywności mózgu wynoszącą ok 1 pkt., odnotowano w przypadku 14 odcinka drogi przy pokonywaniu zakrętu nr 14, natomiast najniższą wartość aktywności mózgu wynoszącą 0,19 pkt., odnotowano w przypadku 18 odcinka drogi i zakrętu nr 18. Przeprowadzona analiza różnic (test NIR, $p < 0,05$) wartości średnich poziomu aktywności mózgu kierowcy między zakrętami w obrębie odcinka pomiarowego wykazała 473 istotne statystycznie różnice na 1596 potencjalnie możliwych.

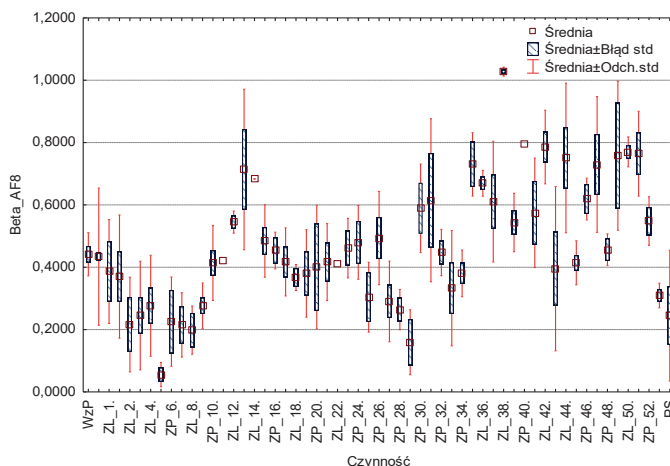
Na rysunku 21 przedstawiono poziom aktywności mózgu kierowcy płci męskiej w czasie jazdy dziennej, zmierzonej za pomocą czujnika AF7 w przedziale częstotliwości beta. Najwyższą średnią aktywność mózgu wynoszącą również ok 1 pkt., została odnotowana na 38 odcinku pomiarowym podczas pokonywania 38 zakrętu. Najniższą średnią aktywność mózgu, wynoszącą 0,06 pkt., zarejestrowano w czasie pokonywania zakrętu nr 5. Po przeprowadzeniu testu istotności różnic (NIR) przy $p < 0,05$, dla wartości zarejestrowanych przez czujnik AF7, zaobserwowano 474 statystycznie istotnych różnic na 1596 możliwych. Najwięcej istotnych różnic (bo aż 39) zaobserwowano między poziomem aktywności mózgu zarejestrowanym w czasie pokonywania 38-ego zakrętu wyznaczonej trasy, a pozostałymi punktami trasy.

W przypadku aktywności mózgu kierowcy płci męskiej zarejestrowanej czujnikiem TP10 w zakresie częstotliwości beta w czasie przejazdu przez odcinek pomiarowy przedstawiono na rysunku 22. Analiza wyników wykazała, że maksymalna wartość aktywności mózgu została odnotowana w czasie parkowania wynosząc 0,85 pkt. Z kolei minimalna średnia aktywność mózgu wyniosła 0,27, którą odnotowano w czasie pokonywania zakrętu nr 40. Przeprowadzona analiza istotności różnic wykorzystując test NIR na poziomie istotności $p < 0,05$ dla zarejestrowanych w pasmie beta poziomów aktywności mózgu (czujnik TP10) wykazała 327 statystycznie istotnych różnic na 1596 możliwych między wyodrębnionymi odcinkami drogi.



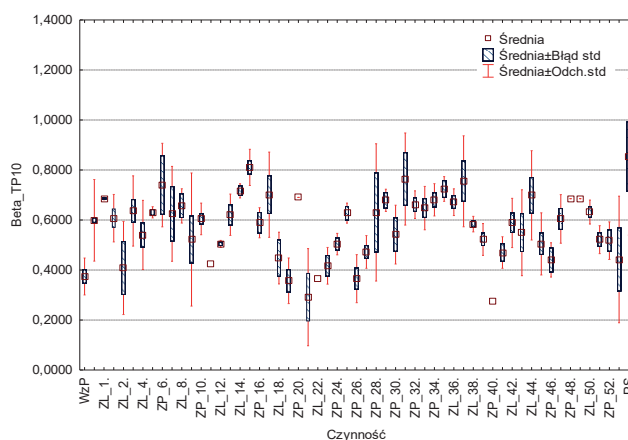
Rysunek 20. Charakterystyka aktywności mózgu mężczyzny podczas dziennej jazdy mierzona czujnikiem beta TP9 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 21. Charakterystyka aktywności mózgu mężczyzny podczas dziennej jazdy mierzona czujnikiem beta AF8 dla wyodrębnionych odcinków drogi

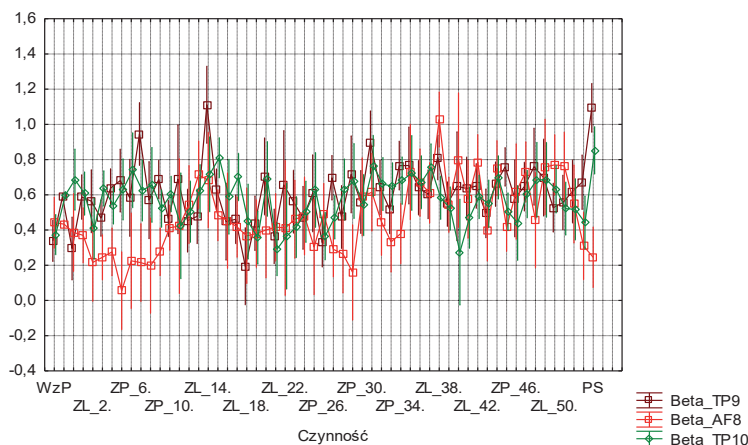
Źródło: opracowanie własne



Rysunek 22. Charakterystyka aktywności mózgu mężczyzny podczas dziennej jazdy mierzona czujnikiem beta TP10 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 23 przedstawiono zestawienie poziomu aktywności mózgu związanego z aktywnością umysłową dotyczącą skupienia uwagi w zakresie częstotliwości beta, mierzonych sensorami rozmieszczonymi w różnej części głowy. Odnotowano, że charakterystyki przedmiotowego sygnału w czasie przejazdu przez odcinek pomiarowy były do siebie zbliżone, szczególnie początkowej części trasy z wyjątkiem sygnału zarejestrowanego czujnikiem AF8. Należy zaznaczyć, że zakres przedziałów ufności we wszystkich przypadkach był dość wysoki.



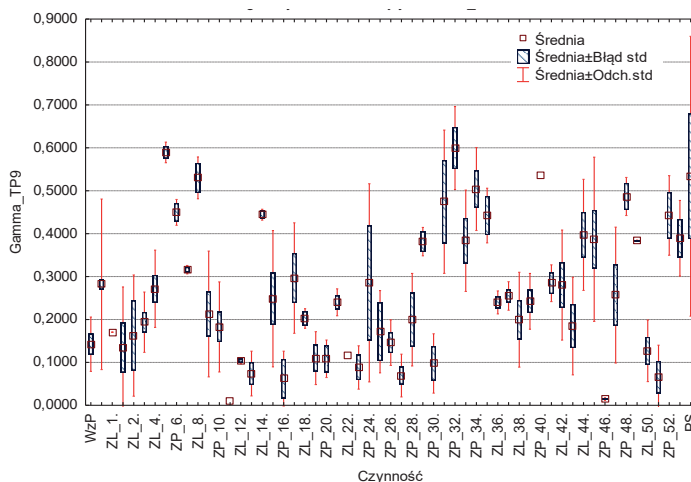
Rysunek 23. Wykres przebiegu zmian w aktywności fal mózgowych beta w różnych obszarach mózgu mężczyzny podczas jazdy samochodem w ciągu dnia

Źródło: opracowanie własne

W przypadku analizy aktywności mózgu kierowcy płci męskiej w czasie jazdy po odcinku testowym w dzień w zakresie częstotliwości gamma (30–100 Hz – przetwarzanie informacji i percepcja sensoryczna), stwierdzono że w przypadku sygnału zidentyfikowanego przez czujnik TP9 najwyższą jego wartość wynoszącą 0,6 pkt. zaobserwowano w czasie pokonywania zakrętu nr 32. Z kolei najniższą średnią aktywność (0,01 pkt.) odnotowano w przypadku pokonywania zakrętu nr 11 (rys. 24). W omawianym przypadku zaobserwowano 395 statystycznie istotne różnice w poziomie sygnału gamma na 1596 możliwych ($p=0.05$) między pokonywanymi zakrętami w czasie jazdy.

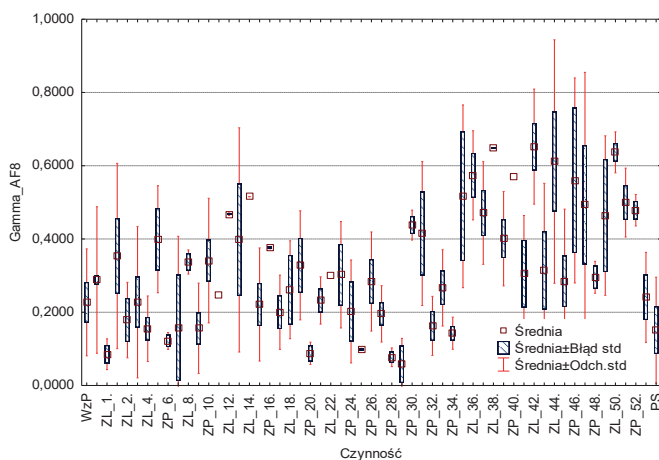
Na rysunku 25 przedstawiono poziom aktywności mózgu w zakresie częstotliwości gamma odnotowany czujnikiem AF8. Odnotowano, że najwyższą średnią wartość aktywności mózgu wynoszącą ok 0,65pkt., odnotowano w przypadku dwóch odcinków drogi tj.: 42 i 38, natomiast najniższą wynoszącą tylko 0,006 pkt., odnotowano w przypadku zakrętu nr 29. Przeprowadzona analiza różnic wartości średnich poziomu aktywności mózgu kierowcy między zakrętami w obrębie odcinka pomiarowego wykazała 374 istotne statystyczne różnice na 1596 możliwych.

Na rysunku 26 przedstawiono poziom aktywności mózgu kierowcy zmierzony czujnikiem TP10 w przedziale częstotliwości gamma. Najwyższą wartość średnią poziomu koncentracji uwagi kierowcy odnotowano na 15-tym odcinku drogi w czasie pokonywania 15-tego zakrętu, której wartość wynosiła 0,78 pkt. Z kolei najmniejszy poziom koncentracji uwagi kierowcy wynoszący 0,02 pkt., miał miejsce podczas pokonywania 2-go zakrętu. W tym przypadku z 1596 możliwych istotnych różnic, analiza testu istotności różnic wykazała 299 statystycznie istotnych różnic.



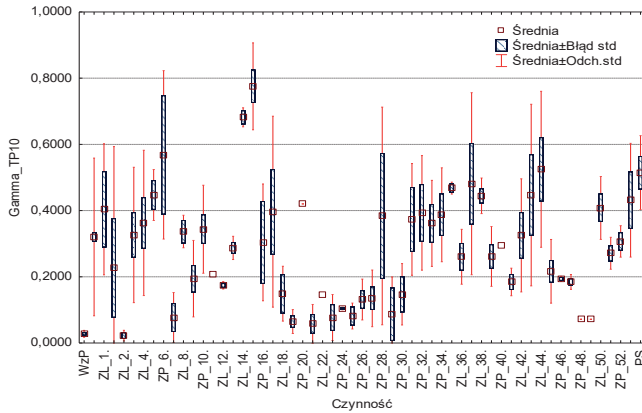
Rysunek 24. Charakterystyka aktywności mózgu mężczyzny podczas dziennej jazdy mierzona czujnikiem gamma TP9 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 25. Charakterystyka aktywności mózgu mężczyzny podczas dziennej jazdy mierzona czujnikiem gamma AF8 dla wyodrębnionych odcinków drogi

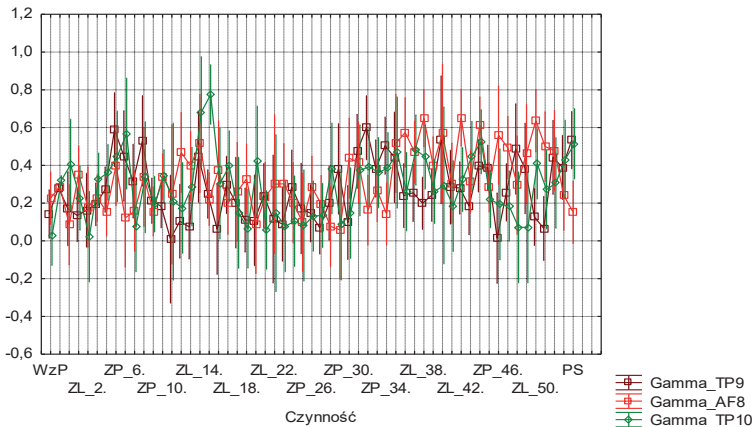
Źródło: opracowanie własne



Rysunek 26. Charakterystyka aktywności mózgu mężczyzn podczas dziennej jazdy mierzona czujnikiem gamma TP10 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 27 przedstawiono zestawienie poziomów aktywności mózgu kierowcy płci męskiej w zakresie częstotliwości 30–100 Hz, związanego przetwarzaniem informacji i percepcją sensoryczną mierzonego sensorami rozmieszczonymi wokół głowy kierowcy. Zaobserwowano, że jego zróżnicowanie było znikome a usytuowanie czujników na głowie osoby badanej nie determinowało poziomu odnotowywanej aktywności mózgu. Należy zaznaczyć, że pod koniec wyraźnie widoczny jest wzrost aktywności dla TP9 i TP10, co może sugerować większe zaangażowanie poznawcze podczas parkowania samochodu.

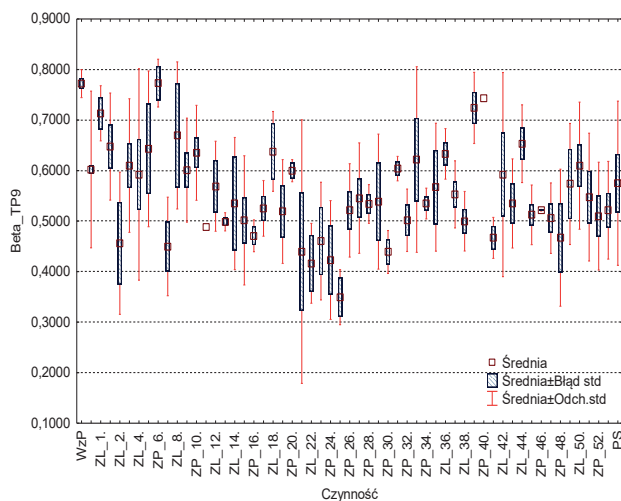


Rysunek 27. Wykres przebiegu zmian w aktywności fal mózgowych gamma w różnych obszarach mózgu mężczyzn podczas jazdy samochodem w ciągu dnia

Źródło: opracowanie własne

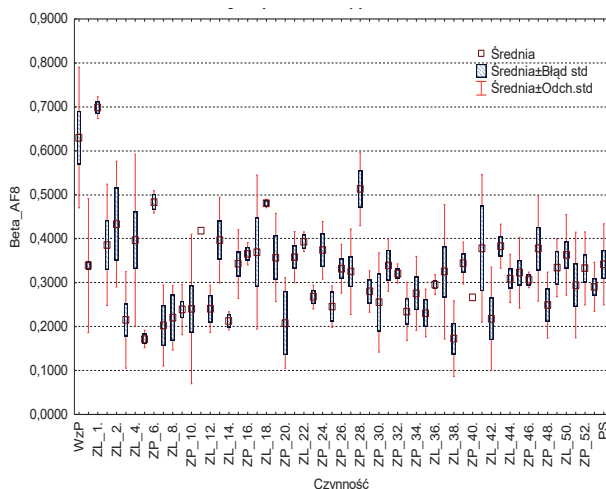
Podobnie jak w przypadku kierowcy płci żeńskiej również w przypadku kierowcy płci męskiej pomiary przeprowadzono w nocy. Na rysunku 28 przedstawiono poziom aktywności mózgu kierowcy w zakresie częstotliwości beta, który mierzono czujnikiem TP9 w porze nocnej. Zaobserwowano, że poziom aktywności mózgu oscylował w granicach od ok. 0,4 pkt. do 0,7 pkt., charakteryzując się dość wysoką zmiennością w obrębie pojedynczych odcinków drogi. Najwyższą średnią aktywność mózgu wynoszącą 0,77 pkt., zarejestrowano na 6-stym odcinku drogi w czasie pokonywania zakrętu nr 6, natomiast najmniejszy poziom aktywności mózgu odnotowano w przypadku odcinka drogi nr 25 w czasie pokonywania zakrętu nr 25, gdzie poziom aktywności mózgu wynosił 0,35 pkt. Na podstawie przeprowadzonej analizy istotności różnic wykorzystując test NIR na poziomie istotności $p < 0,05$ dla zarejestrowanych w pasmie beta poziomów aktywności mózgu (czujnik TP9) zaobserwowano 107 statystycznie istotnych różnic na 1596 możliwych między wyodrębnionymi odcinkami drogi.

Na rysunku 29 przedstawiono poziom aktywności mózgu kierowcy zmierzoną czujnikiem AF8. Najwyższą wartość średnią poziomu koncentracji uwagi kierowcy odnotowano na 1-szym odcinku drogi w czasie pokonywania pierwszego zakrętu, której wartość wynosiła 0,7 pkt. Z kolei najmniejszy poziom koncentracji uwagi kierowcy wynoszący 0,17 pkt., miał miejsce podczas pokonywania 5-tego i 35-tego zakrętu. W tym przypadku z 1596 możliwych istotnych różnic, analiza testu istotności różnic wykazała 230 statystycznie istotnych różnic. Najwięcej istotnych różnic – 20, zaobserwowano między poziomem aktywności mózgu kierowcy na 38 zakręcie wyznaczonej trasy, a pozostałymi punktami trasy.



Rysunek 28. Charakterystyka aktywności mózgu mężczyzny podczas nocnej jazdy mierzona czujnikiem beta TP9 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne



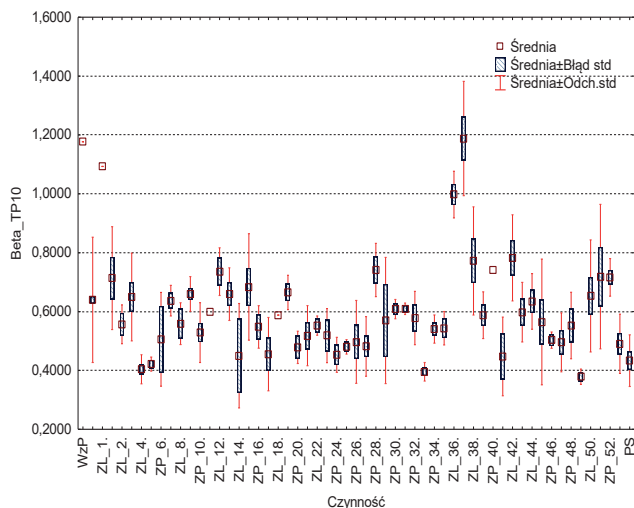
Rysunek 29. Charakterystyka aktywności mózgu mężczyzny podczas nocnej jazdy mierzona czujnikiem beta AF8 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 30 przedstawiono poziom aktywności mózgu kierowcy płci męskiej w zakresie częstotliwości beta, który mierzono w porze nocnej czujnikiem TP10. Zaobserwowano, że poziom aktywności mózgu oscylował w granicach od ok. 0,4 pkt. do 0,8 pkt. charakteryzując się niewielką zmiennością w obrębie pojedynczych odcinków drogi. Wyjątek stanowi tutaj odcinek drogi nr 37 i zakręt 37, gdzie poziom skupienia przekroczył wartość referencyjną. Przeprowadzona analiza istotności różnic wykorzystując test NIR na poziomie istotności $p < 0,05$ dla zarejestrowanych w pasmie beta poziomów aktywności mózgu (czujnik TP9) wykazała 354 statystycznie istotnych różnic na 1596 możliwych między wyodrębnionymi odcinkami drogi. Najwyższą liczebność istotnych różnic (po 36) między poziomem aktywności mózgu odnotowano w punkcie pomiarowym zlokalizowanym w obrębie 36 i 37 zakrętu wyznaczonej trasy, a pozostałymi punktami trasy.

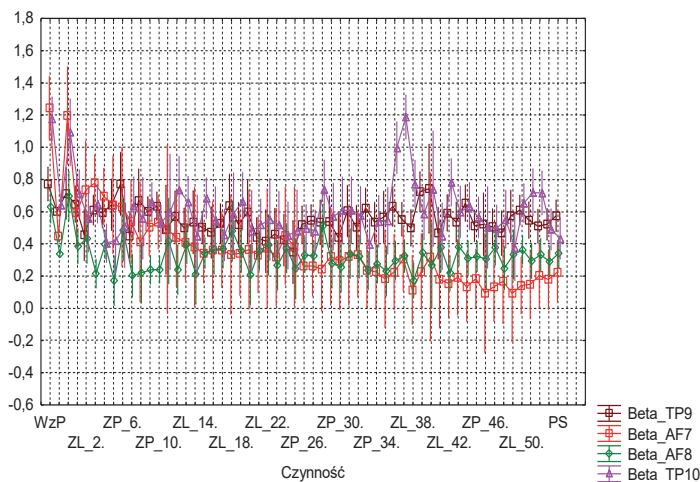
Na rysunku 31 przedstawiono zestawienie poziomu aktywności mózgu związanego z poziomem skupienia uwagi kierowcy w zakresie częstotliwości od 18 Hz do 30 Hz, mierzonego sensorami rozmieszczonymi na obwodzie głowy. Należy zaznaczyć, że wartość sygnału mieściła się w zakresie od 0,2 pkt. do 0,8 pkt. maksymalnych możliwości skupienia badanego kierowcy.

Na rysunku 32 przedstawiono poziom aktywności mózgu w zakresie częstotliwości gamma (przetwarzanie informacji i percepcja sensoryczna) zmierzony czujnikiem TP9 podczas jazdy w nocy. Zaobserwowano, że najwyższą średnią wartość aktywności mózgu wynoszącą 0,44 pkt., odnotowano w przypadku parkowania, natomiast najniższą wartość aktywności mózgu wynoszącą 0,003 pkt., odnotowano w przypadku zakrętu nr 40. Przeprowadzona analiza różnic (test NIR, $p < 0,05$) wartości średnich poziomu aktywności mózgu kierowcy między zakrętami w obrębie odcinka pomiarowego wykazała 195 istotne statystycznie różnice na 1596 potencjalnych.



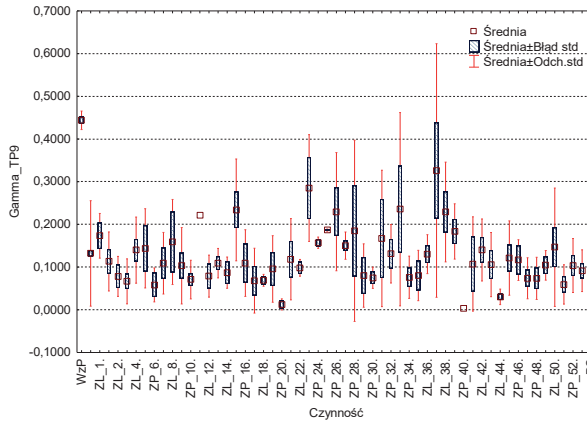
Rysunek 30. Charakterystyka aktywności mózgu mężczyzny podczas nocnej jazdy mierzona czujnikiem beta TP10 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 31. Wykres przebiegu zmian w aktywności fal mózgowych beta w różnych obszarach mózgu mężczyzny podczas jazdy samochodem w porze nocnej

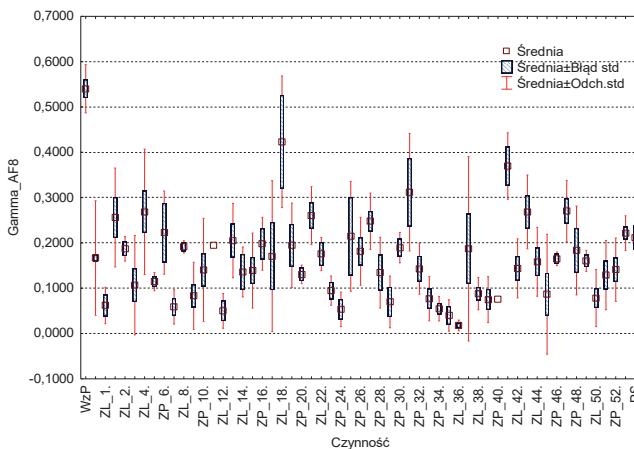
Źródło: opracowanie własne



Rysunek 32. Charakterystyka aktywności mózgu mężczyzny podczas nocnej jazdy mierzona czujnikiem gamma TP9 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

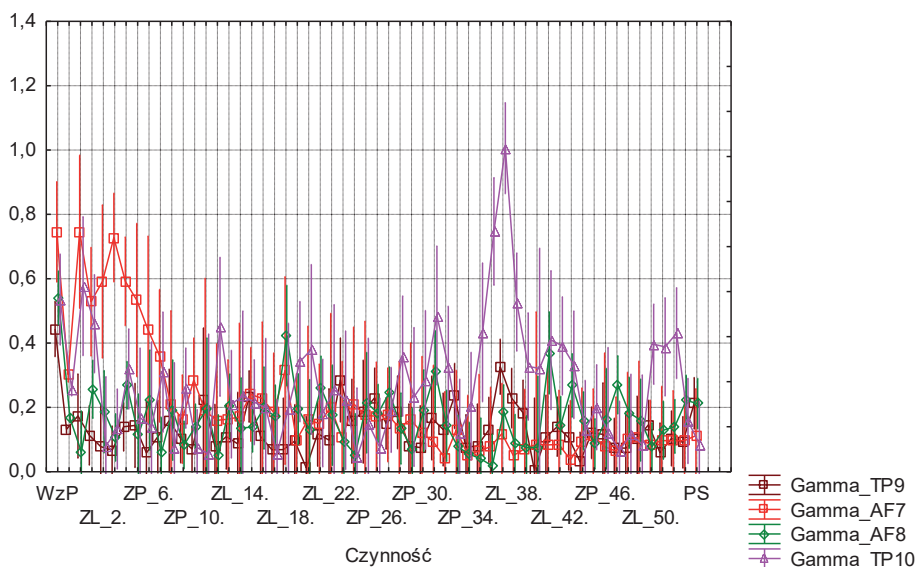
Na rysunku 33 przedstawiono poziom aktywności mózgu kierowcy zmierzony czujnikiem AF8. Najwyższą wartość średnią aktywność mózgu kierowcy w zakresie częstotliwości gamma odnotowano w czasie wjazdu na parking i wynosiła ok 0,54 pkt. Z kolei najmniejszy poziom aktywności mózgu kierowcy wynoszący 0,02 pkt., miał miejsce podczas pokonywania 36-go zakrętu. W analizowanym przypadku z 1596 możliwych istotnych różnic, analiza testu istotności różnic wykazała 332 statystycznie istotne różnice. Najwięcej istotnych różnic – 31, zaobserwowano między poziomem aktywności mózgu kierowcy na 41 zakręcie wyznaczonej trasy, a pozostałymi punktami trasy.



Rysunek 33. Charakterystyka aktywności mózgu mężczyzny podczas nocnej jazdy mierzona czujnikiem gamma AF8 dla wyodrębnionych odcinków drogi

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 34 przedstawiono zestawienie poziomu aktywności mózgu związanego z poziomem skupienia uwagi kierowcy w zakresie częstotliwości od 18 Hz do 30 Hz, mierzonego sensorami rozmieszczonymi na obwodzie głowy. Należy zaznaczyć, że wartość sygnału mieściła się w zakresie od 0,01 pkt. do 0,75 pkt. maksymalnych możliwości skupienia kierowcy.



Rysunek 34. Charakterystyka aktywności mózgu mężczyzny podczas nocnej jazdy mierzona czujnikiem gamma TP10 dla wyodrębnionych w czasie jazdy czynności

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Zaobserwowano, że poziom koncentracji uwagi (zakres częstotliwości beta) kierowcy płci żeńskiej w czasie pokonywania odcinka pomiarowego w dzień był wyższy o ok 10% w stosunku do poziomu koncentracji na tym odcinku, ale w nocy. Należy również zwrócić uwagę, że w przypadku jazdy dziennej poziom koncentracji był znacznie bardziej zróżnicowany w stosunku do tego zróżnicowania, które odnotowano w nocy.

Odnotowano, że najwyższe wartości poziomu koncentracji identyfikowano w przypadku zakrętu szesnastego, który nie jest zbyt wymagający technicznie, ale kolejny zakręt nr 17 jest już bardzo wymagający, zatem należy przypuszczać, że kierowca znając trasę już w trakcie zakrętu 16 koncentrował się przed pokonaniem zakrętu 17.

W przypadku sygnału w obrębie częstotliwości gamma odnotowano również, że zakres zmienności aktywności mózgu kierowcy był większy w czasie jazdy dziennej w stosunku do jazdy nocnej, podobne stwierdzenie dotyczy wartości średniej poziomu

aktywności mózgu w przedziale częstotliwości gamma, gdzie średnia wartość tego parametru w dzień była o ok 5% wyższa.

Stwierdzono, że w przypadku poziomu aktywności mózgu kierowcy płci męskiej w obrębie częstotliwości beta w czasie jazdy dziennej był nieznacznie wyższy, bo ok 5% w stosunku do tego poziomu odnotowanego w czasie jazdy nocnej. Natomiast w przypadku jazdy nocnej odnotowano wyższe zróżnicowanie aktywności mózgu w przedmiotowym zakresie częstotliwości.

Analizując poziom aktywności mózgu kierowcy płci męskiej w obrębie częstotliwości gamma podobnie jak w przypadku częstotliwości beta wyższe wartości odnotowano w czasie jazdy dziennej w stosunku do jazdy nocnej, jednak zakres zróżnicowania między wartościami średnimi był znikomy. Należy zwrócić uwagę, że zakres zmienności przedmiotowego poziomu aktywności mózgu był znacznie wyższy w czasie jazdy nocnej w stosunku do jazdy dziennej.

Zaobserwowano, że poziom aktywności mózgu kobiety w czasie jazdy samochodem był znacznie wyższy w stosunku do poziomu aktywności mózgu mężczyzny dla tego samego czasu i warunków pomiaru. Jest to szczególnie widoczne dla aktywności mózgu w obrębie częstotliwości identyfikowanych jako poziom koncentracji uwagi. Podobne spostrzeżenie dotyczy poziomu aktywności mózgu gamma.

Przeprowadzona analiza pozwoliła wyodrębnić miejsca na odcinku pomiarowym, które wymagają ponadprzeciętnej uwagi zarówno kierowców płci męskiej jak i żeńskiej dające możliwość korekty lub uzupełnienia oznakowania, które trudność danego odcinka drogi wiązałoby z koniecznością koncentracji uwagi kierowcy.

Bibliografia

- Albadawi A. i in.: A Review of Recent Developments in Driver Drowsiness Detection Systems. Sensors, MDPI, 2022
- Arefnezhad S. i in.: Driver Drowsiness Estimation Using EEG Signals and Machine Learning. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, IEEE, 2022
- Brookhuis K., de Waard D.: Assessment of Driver's Workload: Performance Measures and Physiological Indices. W: Handbook of Traffic Psychology. Elsevier, 2011
- Cegielska A., Olszewski R.: Elektroencefalografia w diagnostyce funkcji poznawczych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2017
- Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB): Ocena obciążenia psychicznego pracowników. Warszawa, 2015
- Kielbasa P., Baran M., Kupiec M.: Analiza stopnia koncentracji uwagi kierowcy i pasażera w czasie jazdy miejskiej. W: Logistyka dziś i jutro. Technika i ekonomia w procesach transportowych. Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, Przemysł, 2024
- Koelega H.S.: Sleepiness and Driving: The Road to Risk. Taylor & Francis, London, 2012
- Krajowe Obserwatorium BRD: Zmęczenie kierowców – raport tematyczny. Warszawa, 2021
- Ma Y., Zhang X. i in.: Research on Catastrophe Progression of Driving Load in Mountainous Road Based on Visual and Environmental Characteristics. Engineering Reports, Wiley, 2023
- Michon J.A.: A Critical View of Driver Behavior Models: What Do We Know, What Should We Do? Springer, 1985
- Reason J.: Human Error. Cambridge University Press, Cambridge, 1990

Wen J., Li Y.: Safety-Critical Event Identification on Mountain Roads for Driving Safety Improvement. Sustainability, MDPI, 2021

Wierwille W.W.: Overview of Driver Drowsiness Detection Techniques. Transportation Human Factors, Taylor & Francis, 1999

Adres do korespondencji: pawel.kielbasa@urk.edu.pl

ORCID: Paweł Kielbasa 0000-0003-0249-8626

ORCID: Paweł Pysz 0000-0001-7083-1078

ORCID: Mirosław Zagórda 0000-0002-4514-1048

AGROLOGISTYKA JAKO SPECYFICZNY RODZAJ DZIAŁALNOŚCI LOGISTYCZNEJ

Bogdan Klepacki¹

¹ Katedra Zarządzania i Ekonomii Przedsiębiorstw, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wprowadzenie

Z biegiem lat powiązania między różnymi grupami producentów i konsumentów zwiększały się, aż doszło do ukształtowania kompleksu gospodarki żywnościowej, określanego obecnie, pod wpływem języka angielskiego, jako agrobiznes (*agribusiness*). Tradycyjnie słowo agro- stanowiło pierwszy człon wyrazów złożonych, który wskazuje na ich związek z rolnictwem lub jego rolą¹. W skład agrobiznesu współcześnie zaliczana jest wszelka działalność, która w jakikolwiek sposób uczestniczy lub wpływa na produkcję surowców rolniczych oraz żywności i jej przemieszczanie od producentów do konsumentów końcowych. Do agrobiznesu zaliczamy:

- 1) podmioty (przedsiębiorstwa) wytwarzające środki produkcji i świadczące usługi dla rolnictwa,
- 2) podmioty wytwarzające środki produkcji i świadczące usługi dla przemysłu spożywczego,
- 3) rolnictwo,
- 4) rybołówstwo, leśnictwo i inne podmioty nierolnicze, wytwarzające surowce i świadczące usługi służące do produkcji żywności,
- 5) przetwórstwo rolno-spożywcze wraz ze świadczonymi przez nie usługami,
- 6) jednostki handlu surowcami rolniczymi i produktami żywnościowymi,
- 7) usługi świadczone jednostkom agrobiznesu przez inne gałęzie gospodarki narodowej (nauka, oświata, budownictwo, transport, łączność itd.).

W potocznej opinii agrobiznes kojarzony jest najczęściej z rolnictwem oraz przetwórstwem rolno-żywnościowym (przemysł spożywczy). W rzeczywistości zalicza się do niego wiele działów, przedsiębiorstw lub fragmentów ich działalności innych jednostek wspierających produkcję żywności. Jako przykłady można podać np. produkcję części (zużywanej do produkcji żywności) węgla, gazu ziemnego, energii, nawozów mineralnych i środków ochrony roślin, leków dla zwierząt, maszyn i urządzeń, środków transportu zewnętrznego oraz wewnętrznego, materiałów budowlanych wykorzystywanych w gospodarstwach rolnych czy zakładach przetwórstwa rolno-spożywczego. Dotyczy to także wyposażenia jednostek handlu, logistyki, usług, obsługi finansowej, prawnej,

¹ Słownik Języka Polskiego PWN. <https://sjp.pwn.pl/sjp/agro;2438974.html>, dostęp 10.11.2022r.

doradztwa zawodowego, edukacji i nauki na rzecz sektora żywnościowego. Można wręcz zaryzykować tezę, iż trudno jest znaleźć branżę gospodarki narodowej, która nie świadczyła żadnych usług służących wytwarzaniu żywności i jej dostarczeniu do konsumentów.

Podstawowym składnikiem agrobiznesu jest rolnictwo, zarówno w ujęciu historycznym (najstarszy dział uświadomionej przez człowieka wytwórczości), jak i współcześnie. W roku 2023 pracujących w polskim rolnictwie (łącznie z leśnictwem, łowiectwem i rybactwem) było 1,23 mln osób, to jest 8,4% całości zasobów krajowych, a jego udział w wartości brutto środków trwałych wynosił 3,51%, zaś w użytkowaniu rolniczym ziemi było około 47,8% obszaru kraju (powierzchnia użytków rolnych wynosiła 14,7 mln ha)². Jego wkład w tworzenie dochodu narodowego był mniejszy (z uwagi na niższą od innych działów gospodarki narodowej wydajność pracy oraz zmienne oddziaływanie sił przyrody) i wynosił 2,9%. We wszystkich jednak wysoko i średnio rozwiniętych krajach świata, mimo malejącego udziału rolnictwa w tworzeniu PKB, jest ono uznawane jako sektor ważny, zwłaszcza ze względu na jego funkcję w utrzymaniu bezpieczeństwa żywnościowego społeczeństwa oraz amortyzacyjną rolę w okresie kryzysów gospodarczych, choć istotne jest też ono jako źródło dochodów ludności wiejskiej, miejsce zbytu produktów przemysłowych i usług, a ostatnio także ze względu na konieczność utrzymania walorów środowiskowych, krajobrazowych, czy też genetycznych (bioróżnorodność).

W sektorze tym, podobnie jednak jak w całej gospodarce, wraz z jego modernizacją znaczenie logistyki rośnie. Nowoczesne przedsiębiorstwa rolnicze transportują i magazynują olbrzymie ilości środków do produkcji (pasze, nawozy, środki ochrony roślin, nośniki energii, nasiona, sadzeniaki itp.) oraz produktów finalnych – roślinnych (ziarno, bulwy, pasza) i zwierzęcych (zwierzęta żywe, mięso, mleko, wełna itp.). Coraz ważniejsze są ich relacje z otoczeniem, w tym kanały komunikacji (przepływy informacji, towarów, środków pieniężnych, ludzi).

Drugim dominującym składnikiem agrobiznesu jest przetwórstwo rolno-żywnościowe³. Obejmuje ono wiele rodzajów działalności, takich jak przetwarzanie, konserwowanie oraz produkcja wyrobów z mięsa, owoców i warzyw, produkcja olejów oraz tłuszczów pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, wytwarzanie wyrobów mleczarskich, produktów przemiału zbóż, skrobi i wyrobów skrobiowych, wyrobów piekarskich i mącznych, pozostałych artykułów spożywczych (cukru, kakao, czekolady i wyrobów cukierniczych, herbaty i kawy, przypraw, wytwarzanie gotowych posiłków i dań, artykułów spożywczych homogenizowanych i żywności dietetycznej), gotowych paszy i karmy dla zwierząt, napojów (destylowanie, rektyfikowanie i mieszanie alkoholi, win gronowych, cydru i pozostałych win owocowych, pozostałych niedestylowanych napojów fermentowanych, piwa, słoju napojów bezalkoholowych), a także wód mineralnych i pozostałych wód butelkowanych.

W roku 2023 w przetwórstwie rolno-spożywczym i produkcji napojów pracowało 430,6 tys. ludzi, czyli 2,8% zatrudnionych w całej gospodarce narodowej. Łączny jego

² Obliczenia własne na podstawie: Rocznik Statystyczny 2024. GUS, Warszawa. Tabele: I, str 49, 4(147), str 229, 9(553) s. 638, 9(517) str 664, 2024

³ Szczegółowy wykaz zawiera sekcja C.10 Produkcja artykułów spożywczych i sekcja C11 Produkcja napojów Polskiej Kwalifikacji Działalności PKD https://stat.gov.pl/Klasyfikacje/doc/pkd_07/pdf/2_PKD-2007-schemat2.pdf, pobrane 24.05.2021r.]

udział w wykorzystaniu środków trwałych wynosił 3,1% (razem z rolnictwem 6,6%). Produkty rolne, żywnościowe, napoje i skóry w polskim eksporcie stanowiły 14,2%, a w imporcie 10,3%⁴.

Ważną rolę pełni też handel rolny (skup płodów rolnych, zwierząt, dostawa środków produkcji dla rolnictwa i przetwórstwa rolno-spożywczego) oraz handel żywnością (detaliczny, hurtowy, targowiskowy, sprzedaż bezpośrednia). Rośnie znaczenie rynku usług dla rolnictwa oraz przetwórstwa, doradztwa rolniczego, edukacji i nauki na rzecz tych sektorów.

Pojęcie i zakres agrologistyki

Logistyka jako działalność gospodarcza jest już wszechstronnie znana, choć różnie definiowana⁵. Za klasyczne na ogół uznaje się dwie definicje, a mianowicie opracowane przez amerykańskie Stowarzyszenie (Radę) Zarządzania Logistycznego (CLM) oraz Europejskie Stowarzyszenie Logistyków. Według CLM logistyka to część procesu w łańcuchu dostaw, która planuje, wdraża i steruje efektywnym oraz skutecznym, dwukierunkowym przepływem i przechowywaniem towarów, usług i odpowiednich informacji od miejsca wytworzenia do miejsca wykorzystania w celu spełnienia wymagań klientów⁶.

Według Europejskiego Stowarzyszenia Logistyków (ELA) logistyka jest pojęciem obejmującym organizację, planowanie, kontrolę i realizację przepływu towarów od ich wytworzenia i nabycia, poprzez produkcję i dystrybucję, aż do finalnego odbiorcy, której celem jest zaspokojenie wymagań rynku, przy minimalnych kosztach i minimalnym zaangażowaniu kapitału.

Współcześnie za właściwe wydaje się rozszerzone postrzeganie omawianego zagadnienia, zgodnie z którym logistyka obejmuje planowanie, zarządzanie i realizację, a także kontrolę efektywnego oraz skutecznego przepływu towarów, przesyłu energii w procesie zaopatrzenia, produkcji i dystrybucji, przewozu osób, przepływu informacji oraz środków finansowych do określonych miejsc docelowych (klient końcowy, miejsce docelowe), mające za zadanie maksymalne zaspokojenie potrzeb klienta, z uwzględnieniem wymogów rachunku ekonomicznego i środowiskowego (minimalizacja kosztów, zaangażowania kapitału, maksymalizacja zysku, zachowaniu środowiska naturalnego)⁷.

W związku ze wzrostem znaczenia nowoczesnych rozwiązań w działalności związanej z wytwórczością żywności pojawiła się potrzeba wyodrębnienia i zdefiniowania części logistyki sektor ten obejmującej, a którą określamy jako agrologistykę.

⁴ Obliczenia własne na podstawie: Rocznik Statystyczny 2024. GUS, Warszawa. Tabele: 4(147), str 227, 9(505) str 636 i 6(449) str 541-542, 2024

⁵ Baran J., Maciejczak M., Pietrzak M., Rokicki T., Wicki L., Logistyka. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, Klepacki B., 2021, Pojęcie i rys historyczny rozwoju logistyki. W: Logistyka. Red. Klepacki B., CeDeWu, Warszawa. 2008

⁶ Baran J., Maciejczak M., Pietrzak M., Rokicki T., Wicki L., Logistyka. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2008

⁷ Klepacki B., Pojęcie i rys historyczny rozwoju logistyki. W: Logistyka. Red. Klepacki B., CeDeWu, Warszawa. 2021

Agrologistyka to działalność obejmująca organizację, planowanie, kontrolę i realizację przepływu towarów rolno-spożywczych od miejsca wytworzenia surowców rolnych⁸, poprzez kanały związane z ich skupem, magazynowaniem⁹, produkcją¹⁰ i dystrybucją, aż do finalnego odbiorcy (konsumenta żywności), której celem jest zaspokojenie wymagań rynku, przy zachowaniu bezpieczeństwa żywnościowego, minimalnych kosztach i minimalnym zaangażowaniu kapitału¹¹.

Z uwagi na specyfikę produktów rolno-spożywczych, o niskiej podatności transportowej i magazynowej, istotna dla agrobiznesu jest właściwa organizacja zaopatrzenia i dystrybucji w łańcuchach dostaw, uwzględniająca zachowanie odpowiedniej jakości produktów świeżych. Kluczową kwestią agrologistyki przy wielu produktach jest więc tworzenie zintegrowanych łańcuchów zimna.

Właściwa organizacja procesów logistycznych, uwzględniająca specyfikę agrobiznesu, może zwiększyć konkurencyjność polskich przedsiębiorstw tego sektora, zarówno poprzez optymalizację kosztów, jak i zaoferowanie odbiorcom wyższego poziomu obsługi dostawczej. Nawet najsprawniejsza logistyka w pojedynczym przedsiębiorstwie agrobiznesu nie wystarczy jednak do poprawy jego konkurencyjności, ważna jest efektywna współpraca i jej doskonalenie we wszystkich ogniwach łańcucha dostaw przedsiębiorstw agrobiznesu.

Z punktu widzenia jakości i bezpieczeństwa żywności istotna jest również identyfikacja pochodzenia surowców i produktów rolno-spożywczych (z ang. *traceability*)¹². Jej stosowanie umożliwia śledzenie przepływu partii towarów od produkcji pierwotnej aż do konsumentów końcowych i w odwrotnym kierunku. Korzyści wynikające z tej koncepcji to przede wszystkim: sprawniejsze zarządzanie kryzysowe (szybkie decyzje o wycofaniu z rynku określonych grup produktów), zarządzanie ryzykiem (różnicowanie i dokumentowanie produktów o atrybutach jakościowych nie dających się zdefiniować), szybki dostęp do informacji dotyczących klientów i konsumentów oraz optymalizacja zarządzania stanami magazynów.

Sukces w zakresie organizacji i zarządzania logistyką w przedsiębiorstwach agrobiznesu jest możliwy wówczas, gdy będą one działać wykorzystując dostępną wiedzę. Dotyczy to zarówno zagadnień technologicznych, jak i ekonomicznych. Wśród tych ostatnich szczególną rolę odgrywa wykorzystanie rachunku kosztów, jego dostępnych i dość

⁸ Takimi producentami są gospodarstwa i przedsiębiorstwa rolnicze, a także produkcja odbywa się na różnych działkach nie mających statusu gospodarstwa, np. ogródki przydomowe, działki pracownicze, ogródki działkowe

⁹ Są to różne jednostki zajmujące się handlem rolnym, a także np. jednostki Agencji Rynku Rolnego.

¹⁰ Najważniejszą rolę odgrywają tu przedsiębiorstwa przemysłu rolno-spożywczego, choć ważne miejsce zajmuje przerób domowy, czy gospodarski

¹¹ Klepacki B., Agrologistyka – nowe wyzwanie dla nauki i praktyki. Logistyka 3, str 12 – 13. Klepacki B., 2016, Miejsce i znaczenie logistyki w agrobiznesie. Zeszyty Naukowe SGGW, Seria Ekonomika i Organizacja Logistyki 1 (1), str 7–18, 2011

¹² Bezat-Jarzębowska A., Jarzębowski S., Zarządzanie łańcuchem dostaw. W: Systemy logistyczne w funkcjonowaniu przedsiębiorstw rolno-spożywczych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, str 136 – 160, 2014

dobrze rozwiniętych metod¹³. Coraz ważniejsze będą badania naukowe, które pozwolą na przenoszenie znanych rozwiązań logistyki jako wiedzy i umiejętności „ogólnej” do agrologistyki, a także doradztwo, uwzględniające specyfikę takiego sektora jakim jest agrobiznes.

Specyfika rolnictwa oraz innych członów agrobiznesu jako czynnik kształtujący procesy logistyczne w agrobiznesie

Rola logistyki w agrobiznesie jest szczególnie istotna ze względu na specyfikę tego sektora, której przejawami mogą być między innymi¹⁴:

- znaczna nierównowaga czasowa podaży i popytu na produkty rolne (dotyczy to zwłaszcza produkcji roślinnej); w warunkach polskich wiele produktów rolnych w skali masowej uzyskuje się tylko raz w roku i to w określonym sezonie (truskawki – wczesnym latem, zboża latem, jabłka – głównie jesienią itd.); w związku z w miarę wyrównanym popytem na ziarno zbóż, roślin strączkowych i oleistych, warzywa, owoce, czy na paszę dla zwierząt, konieczne jest przechowywanie wielu surowców, niezbędne są więc magazyny, co wiąże się z ponoszeniem kosztów,
- w obsłudze rolnictwa konieczne jest tworzenie specyficznych magazynów, ponieważ większość produktów niewłaściwie przechowywanych ulega zepsuciu; w przypadku wielu produktów magazyny nie mogą mieć charakteru uniwersalnego (takie magazyny są tańsze), muszą bowiem zapewnić zachowanie konkretnych wymogów np. co do temperatury, wilgotności, czy ruchu powietrza, a więc są to inwestycje dość drogie,
- wiele prac transportowych wykonywanych jest po nieutwardzonych drogach i po polach, nawet zaoranych; powoduje to większe niż przy poruszaniu się po drogach utwardzonych zużycie paliwa i podraża transport, stawia też wysokie wymagania techniczne (co do jakości) rolniczym środkom transportu;
- przy pracach polowych ma miejsce negatywne oddziaływanie wielu czynników atmosferycznych, takich jak deszcz, grad, roztopy, śnieg, oblodzenie, zasy pył itp., co zwiększa koszty transportu oraz zagrożenie wypadkami i awariami sprzętu;
- niska jest podatność transportowa i magazynowa wielu produktów rolnych (np. mleko, mięso, owoce i warzywa); produkty te zawierają nawet 80-90% wody, są mało skoncentrowane i wymagają przerobu, np. na susze, dżemy, sery, wędliny czy pieczywo;
- znaczna część produktów rolniczych jest wrażliwa ekonomicznie i fizycznie na transport; wrażliwość ekonomiczna wynika z dużej zawartości wody, która jest w przerobie usuwana z produktu, a koszty jej transportu są znaczne¹⁵, zaś fizyczna –

¹³ Szymańska E., Rachunek kosztów logistyki z zarządzaniu przedsiębiorstwem. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2014

¹⁴ Klepacki B., Pojęcie i rys historyczny rozwoju logistyki. W: Logistyka. Red. Klepacki B., CeDeWu, Warszawa, 2021

¹⁵ Na przykład, w ziemniakach konsumpcyjnych sucha masa stanowi zaledwie 16 – 22% całości (78 – 84% woda), w tym 10 – 16% to skrobia, a 1,7 – 2,3% ogółem białko, podczas gdy w uzyskiwanej z ziemniaków skrobi jest 20% a w maltodekstrynie zaledwie 6% wody (Leszczyński W., 2012, s. 5- 20). Maltodekstryny są produktami „łagodnej” hydrolizy skrobi, najczęściej enzymatycznej, zagęszczeniu i wysuszeniu hydrolizatu na suszarce rozpyłowej do wilgotności ok. 6%

- z delikatności wielu produktów rolniczych, np. maliny czy truskawki przy niewłaściwym transporcie zmieniają się w zbitą masę, tracą wartość handlową (przydatność dla klienta indywidualnego); w produktach organicznych przewożonych i przechowywanych w niewłaściwych warunkach (np. wysoka temperatura, wilgotność) zachodzą szkodliwe procesy, takie jak fermentacja, pleśnienie, gnicie, wysychanie itp.,
- wiele produktów rolniczych do przewozu wymaga specyficznych środków, np. cysterny do mleka, pojazdy przystosowane do przewozu bydła, trzody chlewnej, drobiu, jaj; takie środki transportu są wyspecjalizowane, mają określoną budowę i rzadko można je użyć do transportu innych produktów, czyli w sposób bardziej uniwersalny,
 - gospodarstwo rolne jest przedsiębiorstwem transportowym „mimo woli”, np. przy produkcji ziemniaków na pole liczące 1 hektar trzeba dowieźć około 2 ton sadzenia-ków, kilkaset kilogramów nawozów mineralnych, setki, a przy cieplej pogodzie i czę-stych opadach deszczu, sprzyjających rozwojowi np. chorób grzybowych - nawet ty-siące litrów wody do oprysku przeciw chorobom, chwastom i szkodnikom, zaś z pola należy wywieźć kilkadziesiąt ton ziemniaków, które muszą być wystandaryzowane według wielkości i trafić do odpowiedniego odbiorcy (konsumpcja bezpośrednia, punkty handlowe, przedsiębiorstwa przetwórcze),
 - zarządzanie logistyką jest łatwiejsze przy łańcuchach dostaw obejmujących kilka du-żych jednostek aniżeli wielu małych; w rolnictwie, które ma charakter surowcowy, gospodarstwa są rozproszone terytorialnie i zróżnicowane pod względem wielkości gospodarstw, w związku z tym znaczna część towarów dostarczana jest w małych ilo-sciach, mała (choć rosnąca) jest skala produkcji, podczas gdy handlowcy i prze-twórcy chcą skupować duże partie jednolitego towaru; próbą zaradzenia takiej sytu-acji jest tworzenie grup producenckich, które mają m.in. scalać małe partie towarów w większe, jednak nadal polscy rolnicy preferują działania samodzielne, dlatego logi-styka odbioru ich produktów oraz dostawy środków produkcji do rolnictwa jest trud-niejsza, aniżeli poza agrobiznesem,
 - w ostatnim trzydziestolecu w polskim agrobiznesie zaszły znaczne zmiany w tech-nice i technologii, jednak nadal wykorzystywane są maszyny i urządzenia różnych generacji, nie zawsze kompatybilne, co utrudnia utrzymanie potokowości procesów logistycznych,
 - zróżnicowany jest poziom wiedzy producentów, a także zrozumienia konieczności spełnienia wszystkich wymogów do osiągnięcia sprawności łańcuchów dostaw,
 - w żywnościowych łańcuchach dostaw występują liczne ogniwa pośredniczące, co po-woduje zakłócenia w przepływie informacji i towarów, zwłaszcza w warunkach znacznej zmienności produkcji związanej z czynnikami przyrodniczymi.
- Agrologistyka wykazuje znaczną specyfikę w stosunku do „klasycznej” logistyki, jed-nak różnice te ulegają zmniejszeniu. Nowoczesne rozwiązania są szybko wdrażane do rolnictwa, handlu i przetwórstwa żywności, choć z niezbędnymi modyfikacjami. Nastę-puje też rozwój specjalistycznych elementów infrastruktury logistycznej, co szczególnie wyraźnie widać w rozwoju łańcuchów chłodniczych, zastosowaniu silosów i cystern w rolnictwie do przechowywania surowców, produktów przetworzonych czy środków produkcji, a także potokowości wielu procesów przepływu towarów. Sprzyja temu wzrost skali produkcji, wielkości i siły ekonomicznej przedsiębiorstw, a przez to ich zdolności inwestycji w nowoczesne urządzenia i rozwiązania technologiczne w zakresie produkcji i logistyki.

Zakres działalności logistycznej w zakresie transportu oraz magazynowania w przedsiębiorstwach rolniczych

Rolnictwo może być rozpatrywane na kilku poziomach: mikro (gospodarstw), mezo (regionów), makro (kraju) oraz międzynarodowym, w tym globalnym. W tej części prezentujemy omawiane zagadnienie z punktu widzenia przedsiębiorstwa (gospodarstwa¹⁶) rolniczego, czyli w ujęciu mikroekonomicznym.

Przedsiębiorstwo rolnicze, podobnie jak każda inna organizacja gospodarcza, czy społeczna, ma charakter systemowy. Oznacza to, że stanowi ono zwartą strukturę posiadającą różne wejścia oraz wyjścia. Wewnątrz organizacji znajdują się podsystemy „umożliwiające przetwarzanie wejść w wyjścia zgodnie z celami systemu”¹⁷. Przenosząc to na język praktyczny stwierdzamy, że w takich jednostkach mamy do czynienia z podsystemem wejścia/zaopatrzenia, który jest niezbędny do dokonania procesów wytwórczych, podsystem produkcji („czarna skrzynka”), a następnie wyjścia/dystrybucji wytworów przedsiębiorstwa. W przedsiębiorstwach rolniczych, w relacjach z otoczeniem, mamy następujące rodzaje działań logistycznych:

1. na „wejściu”, zaopatrzenie jednostki w środki produkcji,
2. wewnątrz jednostki kilka podsystemów, a mianowicie:
 - a. magazynowanie surowców oraz środków produkcji,
 - b. transport produktów z magazynu do miejsc wykorzystania,
 - c. transport w procesie produkcji,
 - d. transport z miejsc wytwarzania produktów do magazynów wewnętrznych,
3. na „wyjściu”, transport produktów do odbiorców zewnętrznych.

Przedsiębiorstwo rolnicze, jako system organizacyjny, może być rozbudowane lub też uproszczone. W tabeli 1 prezentujemy sfery działalności, w których mogą wystąpić procesy logistyczne, w wersji rozbudowanej. W konkretnej jednostce niektóre z nich nie muszą wystąpić. Przykładem może być tu pieczarkarnia bazująca na zakupie gotowego podłoża i sprzedaży pieczarek, czy też gospodarstwo sadownicze, zajmujące się tylko produkcją roślinną.

Tabela 1. Sfery działań wymagających procesów logistycznych w przedsiębiorstwie rolniczym

Sfera działalności i grupa produktów /innych elementów	Przykładowe produkty
I. System wejścia/zaopatrzenie	
Dowóz pracowników	Pracownicy najemni

¹⁶ Gospodarstwo rolne jest to celowo zorganizowany, mający własne kierownictwo, zespół ludzi wraz z pozostałymi niezbędnymi do procesu produkcyjnego środkami produkcji, które zajmuje się produkcją roślinną i zwierzęcą, a także niekiedy przetwórstwem rolno-spożywczym. Gospodarstwo rolne zajmuje się produkcją głównie na potrzeby własne, natomiast przedsiębiorstwo produkuje głównie na sprzedaż. Klepacki B., 1997, *Ekonomia i organizacja rolnictwa*. WSzIP, Warszawa, str. 12. W tym opracowaniu – w odniesieniu do rolnictwa – pojęć gospodarstwo i przedsiębiorstwo używamy zamiennie.

¹⁷ Encyklopedia Zarządzania https://mfiles.pl/pl/index.php/Podej%C5%9Bcie_systemowe (dostęp 7.01.2023r.)

Sfera działalności i grupa produktów /innych elementów	Przykładowe produkty
Materiały i urządzenia budowlane	Cegła, cement, betoniarka
Maszyny i urządzenia	Ciągniki, kombajny, pługi, kultywatory, brony
Części zamienne	Lemiesze, opony, elementy maszyn
Drobny sprzęt, ubrania robocze	Widły, szpadle, taczki, kombinezony, buty gumowe
Nośniki energii	Olej napędowy, węgiel, prąd elektryczny
Nawozy i pestycydy	Mocznik, sól potasowa, saletrzak,
Leki i podobne	Calem Plus, Dietan, Virkon S
Materiał siewny	Ziarno zbóż, kukurydzy, sadzeniaki ziemniaków
Materiał hodowlany	Cielęta, prosięta, jagnięta, pisklęta
Pasze, dodatki żywieniowe	Mleko, mieszanka T, 926-Rarytas
Woda	Woda z wodociągu, studni, cieków, zbiorników naturalnych i sztucznych
Produkty żywnościowe z zewnątrz	Chleb, wędliny, napoje
Inne	Informacje zawodowe (technologiczne, rynkowe, finansowe, regulacyjne itp.), czasopisma, pisma urzędowe i handlowe

II. Magazynowanie i obrót wewnętrzny

Magazynowanie i przewóz towarów z zakupu	Produkty z punktu I
Pasze własne	Siano, kiszonka, ziarno zbóż, buraki pastewne
Nasiona i sadzeniaki własne	Ziarno zbóż, traw, roślin motylkowych, ziemniaki
Wodociąg, kanalizacja	Woda z ujęcia własnego, z dowozu, odchody
Odchody i nawozy organiczne	Obornik, gnojowica, gnojówka, kompost
Przemieszczanie pracowników	Członkowie rodziny, pracownicy najemni
Gotówka	Bilety NBP, waluty
Środki komunikacji wewnętrznej	CB Radio (sporadycznie)
Produkty żywnościowe własne	Mleko, jaja, warzywa, owoce

III. Wyjście/zbyt

Zwierzęta	Opasy, tuczniki, skopy, drób
Odwóz pracowników	Pracownicy najemni
Produkty pochodzenia zwierzęcego	Jaja, mleko, wełna skóry, obornik (sporadycznie) Ziarno zbóż, rzepaku, motylkowych, strączkowych, traw, ziemniaki, buraki cukrowe, warzywa, owoce, siano (sporadycznie)
Produkty roślinne	
Produkty przetworzone pochodzenia rolniczego	Masło, sery, wędliny, kapusta kiszona
Produkty pochodzenia nie rolniczego	Produkty rękodzielnictwa, zbierane zioła, suszone grzyby, jagody
Produkty z zewnątrz do dalszej odsprzedaży	Nowe lub używane maszyny, urządzenia, materiał siewny
Inne	Kontakty z rynkiem i instytucjami otoczenia rolnictwa, np. banki, agencje, doradztwo, usługodawcy, handel

Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem: Klepacki B., *Agrologistyka jako obszar działalności gospodarczej i naukowej*. Kongres TLM. Karpacz, 29.11 – 2.12.2017r.

Skala obrotu produktami rolnymi na tle wybranych produktów nieżywnościowych

W transporcie i magazynowaniu występuje duże zróżnicowanie przewożonych oraz składowanych dóbr, od produktów jednostkowych, drobnicy, po masowe, często nie pakowane. Jest to cecha związana z rodzajem produktu, jej skalą, popytem, wielkością jednostkową, stanem fizycznym itd. W rolnictwie w przypadku zaopatrzenia są też bardzo różne formy środków – od pojedynczych opakowań, np. pestycydów, po ciecz roboczą do oprysku. W przypadku produktów rolniczych mamy na ogół do czynienia z produktami surowcowymi, o znacznej masie, nie pakowanymi, ciężkimi, z dużą zawartością wody, a także znaczną objętością. Główne produkty to sypkie ziarno zbóż, roślin oleistych i strączkowych, bulwy ziemniaków, korzenie warzyw, mleko, żywe zwierzęta itp. To powoduje, że transport w rolnictwie jest jednym z ważniejszych procesów, zarówno na etapie przed-, w trakcie i poprodukcyjnym. Celem zobrazowania masy towarowej przemieszczanej w tym sektorze w tabeli 2 zobrazowano wybrane dane liczbowe z tego zakresu za rok 2023.

Tabela 2. Skala produkcji i zużycia niektórych środków produkcji w rolnictwie w roku 2023

Lp.	Nazwa produktu lub środka produkcji	Jednostka miary	Wielkość
1.	Zbiory zbóż	tys. t	35651
2.	Zbiory słomy zbóż podstawowych	tys. t	23908
3.	Zbiory siana	tys. t	19557
4.	Zbiory buraków cukrowych	tys. t	14154
5.	Zbiory ziemniaków	tys. t	6031
6.	Zbiory nasion roślin oleistych	tys. t	3816
7.	Zbiory warzyw	tys. t	5443
8.	Zbiory owoców	tys. t	4763
9.	Produkcja żywca rzeźnego	tys. t	6808
10.	Mleko krowie	mln hl	14776
11.	Nawozy mineralne + wapno	tys. t	32901

Źródło: Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2024, GUS, Warszawa, Tab. 9(380) – 11(382), str 478 – 488, tab. 15(386), str 482, tab. 16(387), str 484, tab. 22(393), str 486

Przedstawione wielkości pomijają produkcję surowców rolnych zużywanych w wielkości wewnątrz gospodarstwa na paszę, a wysoce transportochłonnych, zawierających dużo wody, takich jak zielonka traw i roślin motylkowych oraz części poplonów, kiszonka czy korzenie roślin okopowych pastewnych. Znaczenie takich przewozów rośnie w związku ze zmianą podejścia w żywieniu zwierząt przeżuujących, a mianowicie z gospodarki pastwiskowej („zwierzę do paszy”) (gospodarka pastwiskowa) na utrzymywanie zwierząt na stanowiskach w oborach, bukaciarniach czy owczarniach („pasza do zwierząt”).

Rolnictwo i przedsiębiorstwa rolnicze są uznawane za jednostki transportowe „mimo woli”, co nie zawsze jest dostrzegane przez osoby z nimi nie związane. Jako dowód

prezentujemy poziom produkcji wybranych produktów nierolniczych na tle wielkości zbioru ziarna zbóż i siana w roku 2023 (mln ton)¹⁸:

- produkty 8 najważniejszych produktów roślinnych (w tym produkty zbożowe + siano)	- 113,3 - 79,1
- węgiel kamienny	- 48,7
- węgiel brunatny	- 40,1
- rudy i koncentraty miedzi	- 33,8
- oleje napędowe i opałowe	- 18,9
- koks i półkoks	- 8,0
- wyroby walcowane na gorąco	- 7,6
- stal surowa	- 6,5
- benzyna silnikowa	- 5,1
- sól kamienna	- 0,85.

Zestawienie to wskazuje, iż masa przewożonych i transportowanych surowców rolniczych może być wyższa od masy towarów pozarolniczych. Ponadto, część z tych surowców i uzyskanych z nich produktów jest przemieszczana (w miarę zmiany użytkownika i fazy przerobu) wielokrotnie. Na przykład przy przemieszczaniu zbóż i ich pochodnych może mieć miejsce następujący przepływ: pole – gospodarstwo – handel rolny – przerób I stopnia – handel hurtowy – przerób II stopnia (i dalszy) – handel hurtowy – handel detaliczny – konsument. Duże są przewozy także w przeciwną stronę, to jest z otoczenia do gospodarstwa, w tym między gospodarstwami. Można tu wymienić nawozy mineralne, pestycydy ziarno i sadzeniaki, pasze, leki, zwierzęta żywe, wodę, maszyny i urządzenia, paliwo i smary, pracowników

Dodatkowo, sytuację logistyczną komplikuje rozdrobnienie oraz zróżnicowanie skali produkcji i rozproszenie producentów, a mianowicie, w roku 2023 było to 1232,6 tysięcy gospodarstw rolniczych, podczas gdy np. przetwórstwem przemysłowym zajmowało się 404,5 tys. przedsiębiorstw, handlem i naprawą pojazdów samochodowych – 1,008 tys. firm, wytwarzaniem i zaopatrywaniem w energię elektryczną, gaz, parę wodną i gorącą wodę zajmowało się 16552 jednostek, a w sektorze górnictwo i wydobywanie funkcjonowało 4474 kopalń¹⁹.

Tendencje zmian w agrologistyce

W agrologistyce zachodzą dość szybkie zmiany, zarówno w stosowanych środkach produkcji, jak też formach powiązań w łańcuchach dostaw. Wiąże się to z kilkoma przyczynami.

1. Zmienia się struktura obszarowa gospodarstw, coraz więcej jest dużych przedsiębiorstw rolnych, które dysponują znacznymi partiami jednolitego towaru i wolą sprzedawać go przetwórcy, aniżeli korzystać z usług pośredników. Odbiorcy (przetwórstwo, handel) stawiają rolnikom coraz precyzyjniejsze wymagania co do jakości surowców, preferują dostawców stałych, sprawdzonych, potrafiących zaoferować jak

¹⁸ Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, GUS, Warszawa, tab. 7(390), str 490 – 495 2024

¹⁹ Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, GUS, Warszawa, Tab. 1(342), str 447 oraz Tab. 1(536), str 688, 2024

- największe ilości wystandaryzowanego towaru, zarówno do handlu (np. owoce, warzywa), jak i przerobu (np. ziemniaki, zwierzęta rzeźne).
2. Przemysł środków produkcji, w tym do transportu, urządzeń i budowli magazynowych, stawia do dyspozycji klientów coraz bardziej technologicznie zaawansowane rozwiązania, ale zwykle droższe i wymagające lepszej gospodarki dla ich pełnego wykorzystania. To skłania użytkowników do zwiększenia skali działalności oraz zachęca do lepszego planowania relacji z dostawcami i odbiorcami produktów.
 3. Zmieniająca się sytuacja powoduje pewne konsekwencje w zakresie relacji uczestników łańcucha dostaw. W przypadku ziarna zbóż, rzepaku i nasion strączkowych dominuje przechowywanie we własnych magazynach (spichlerzach), jednak coraz powszechniejszy jest odbiór sprzedawanych produktów prosto z pola, od kombajnu do magazynów zewnętrznych (przedsiębiorstw handlowych, przetwórców), zaś w ramach przedsiębiorstw rolniczych upowszechniają się silosy wieżowe typu BIN lub zbliżone, w których najczęściej przechowywane jest ziarno paszowe. Pasze objętościowe dotychczas były przechowywane w magazynach typu stodoły lub na otwartej powierzchni (sterty, stogi), obecnie coraz częściej są pozostawiane na polu lub umiejscowione na podwórzu (foliowana sianokiszonka, siano, słoma), bez budowy stodół (wiele z nich jest wykorzystywanych jako wiaty na maszyny), czy w silosach na kiszonkę.
 4. Uproszczeniu uległy łańcuchy dostaw w sektorze mleczarskim, w którym następuje szybka koncentracja. Małe gospodarstwa praktycznie wycofały się (zostały wyeliminowane z uwagi na małą skalę produkcji i wysokie koszty skupu) z produkcji mleka, duże natomiast szybko zwiększają liczbę i wydajność krów, wielkość produkcji mleka, ale także modernizują budynki gospodarcze, a zwłaszcza zakupiły zbiorniki umożliwiające szybkie schładzanie mleka po udoju, jego odbiór transportem (cysternami) mleczarni, przy zachowaniu wysokiej jego jakości i relatywnie niskich kosztach skupu.
 5. W produkcji wołowiny, wieprzowiny, baraniny, czy brojlerów drobiowych potrzebne są głównie magazyny do przechowywania pasz, niewielkie zaś pomieszczenia wystarczą do ulokowania leków, czy narzędzi. Zwierzęta żywe, w odróżnieniu od mleka, nie wymagają systematycznej, częstej odstawy, stąd przebywają do czasu sprzedaży w budynkach produkcyjnych, nie magazynowych.
 6. W rolnictwie i jego otoczeniu gospodarczym występuje wyraźna tendencja do skracania łańcuchów dostaw. Wynika to z jednej strony z procesów koncentracji w samym rolnictwie i powstawania przedsiębiorstw o dużej skali produkcji, z drugiej zaś z preferowania przez odbiorców kontaktów z producentami oferującymi wystandaryzowany produkt w dużej ilości, który może pominąć ogniwa pośredniczące. Pozwala to na obniżenie kosztów skupu i standaryzację produktów, a także utrzymanie wymagań jakościowych. Rosnąca skala produkcji oraz silniejsze związki między przedsiębiorstwami kolejnych ogniw łańcucha żywnościowego zachęcają do swego rodzaju out-sorsingu, który polega na przesuwaniu transportu i magazynowania z przedsiębiorstw rolniczych do przedsiębiorstw zewnętrznych, usługowych, handlowych i odbiorców finalnych. Rolnik uwolniony od magazynowania i części transportu nie tylko pozbywa się kosztów z tym związanych, ale także może się skoncentrować na produkcji rolniczej i powiększać jej skalę.

7. Szczególnym przykładem skrajnego skracania relacji między producentem i konsumentami są tzw. krótkie łańcuchy dostaw. Jako przykład można podać zakupy produktów rolnych bezpośrednio u rolników, nawet z samodzielnym zbiorem na polu (w sadzie). Jest to jednak nadal zjawisko niszowe i dotyczy wąskiej grupy konsumentów. Bardziej obiecujące, choć także w ograniczonej skali, są tu trwałe relacje rolników – dostawców z zakładami zbiorowego żywienia, typu stołówki szkolne, szpitalne, domów spokojnej starości czy zakładowe.

Podsumowanie

Agrologistyka jest specyficznym rodzajem działalności logistycznej. Wynika to z wielu przyczyn, jednak najważniejsze wiążą się z przyrodniczym charakterem wytwarzania surowców rolniczych, ich organicznym składem (co powoduje wysokie koszty przechowywania), sezonowością i rozproszeniem produkcji, która często odbywa się w dużej odległości od konsumenta lub przetwórcy. Jednocześnie w ramach agrologistyki zachodzą olbrzymie zmiany, związane głównie z koncentracją i wzrostem skali produkcji rolniczej, postępem technologicznym, spadkiem liczby producentów surowców rolniczych, wzmocnieniem więzi między poszczególnymi ogniwami łańcucha dostaw i szczególnie wysokim wzrostem wymagań jakościowych. Rośnie znaczenie sformalizowanych łańcuchów logistycznych, z dużym znaczeniem wielkich jednostek handlu rolnego, przetwórstwa i sieci handlowych, maleje natomiast znaczenie przypadkowych relacji dostawców i odbiorców.

Bibliografia

- Baran J., Maciejczak M., Pietrzak M., Rokicki T., Wicki L., Logistyka. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2008
- Bezat-Jarzębowska A., Jarzębowski S., Zarządzanie łańcuchem dostaw. W: Systemy logistyczne w funkcjonowaniu przedsiębiorstw rolno-spożywczych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2014
- Encyklopedia Zarządzania. https://mfiles.pl/pl/index.php/Podej%C5%9Bcie_systemowe (dostęp 7.01.2023r.)
- Klepacki B., Ekonomika i organizacja rolnictwa. WSzIP, Warszawa, 1997
- Klepacki B., Agrologistyka – nowe wyzwanie dla nauki i praktyki. Logistyka 3, 2011
- Klepacki B., Miejsce i znaczenie logistyki w agrobiznesie. Zeszyty Naukowe SGGW, Seria Ekonomia i Organizacja Logistyki 1 (1), 2016
- Klepacki B., Agrologistyka jako obszar działalności gospodarczej i naukowej. Kongres TLM. Karpacz, 29.11 – 2.12.2017r.
- Klepacki B., Pojęcie i rys historyczny rozwoju logistyki. W: Logistyka. Red. Klepacki B., CeDeWu, Warszawa, 2021

Leszczyński W., Żywieniowa wartość ziemiaków i przetworów ziemniaczanych (Przegląd literatury). Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin. Nr 266, 2012
Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2024, GUS, Warszawa.
Seksja C.10 Produksja artykułów spożywczych i seksja C11 Produksja napojów Polskiej Kwalifikacji
Działalności PKD https://stat.gov.pl/Klasyfikacje/doc/pkd_07/pdf/2_PKD-2007-schemat_2.pdf,
(dostęp 24.05.2021r.)
Słownik Języka Polskiego PWN. <https://sjp.pwn.pl/sjp/agro;2438974.html>, (dostęp 10.11.2022r.)
Szymańska E., Rachunek kosztów logistyki z zarządzaniu przedsiębiorstwem. Wydawnictwo
SGGW, Warszawa, 2014

Adres do korespondencji: bogdanklepacki@gmail.com

ORCID: Bogdan Klepacki 0000-0003-3483-7530

WYBRANE METODY ZARZĄDZANIA ZAPASAMI – EMPIRYCZNA WERYFIKACJA

Anna Krakowiak-Bal¹, Szczepan Baster²

¹ Katedra Inżynierii Bioprocessów, Energetyki i Automatykacji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

² Dyplomant w Katedra Inżynierii Bioprocessów, Energetyki i Automatykacji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wprowadzenie

Zapasy w ujęciu logistycznym to określona ilość dóbr, znajdująca się w systemie logistycznym, bieżąco niewykorzystywana, przeznaczona do późniejszego przetworzenia lub sprzedaży¹. Jednocześnie, to posiadanie czegoś w nadmiarze, a więc zapasem nie jest to, co w danym czasie jest bezwzględnie potrzebne². Zapasy powstają więc w wyniku dwóch rozbieżności – gdy intensywność strumienia dostaw jest odmienna od intensywności strumienia zużycia oraz/lub rzeczywiste zużycie jest odmienne od planowanego czy prognozowanego zużycia³.

Stąd, zarządzanie zapasami stanowi kluczowy element logistyki i zarządzania łańcuchem dostaw, odgrywając fundamentalną rolę w zapewnieniu ciągłości operacyjnej oraz minimalizacji kosztów przedsiębiorstwa. Kisperska-Moroń⁴ definiuje zarządzanie zapasami jako proces planowania, kontrolowania i regulowania poziomu zapasów w celu zaspokojenia bieżących oraz przyszłych potrzeb przedsiębiorstwa, przy jednoczesnym minimalizowaniu związanych z nimi kosztów. Zarządzanie zapasami odnosi się także do wartości lub ilości surowców, komponentów, dóbr użytkowych, półproduktów i wyrobów gotowych, które są składowane z myślą o ich przyszłym wykorzystaniu⁵. Prawidłowe zarządzanie zapasami pozwala nie tylko na utrzymanie odpowiedniego poziomu obsługi klienta, ale także na

¹ Klepacki, B., Logistyka, CeDeWu, Warszawa, 2022

² Krawczyk, S., Podstawy logistyki, CeDeWu, Warszawa, 2020

³ Czarny, A., Efektywność w gospodarce zapasami w przedsiębiorstwach przetwórstwa przemysłowego na tle pandemii COVID-19. *Ekonomika i Organizacja Logistyki*, 9(1), 5-29, 2024

⁴ Kisperska-Moroń, D., Czynniki rozwoju wirtualnych łańcuchów dostaw. *Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej w Katowicach*, 2009

⁵ Niemczyk, A., Zapasy i magazynowanie, t. 2, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2008

ograniczenie ryzyka związanego z wahaniami popytu oraz zmianami na rynku⁶. Skowronek⁷ podkreśla, że optymalizacja procesów sterowania zapasami jest uzależniona od zrozumienia trzech głównych grup kosztów. Pierwsza grupa obejmuje koszty tworzenia zapasów, które dotyczą zarówno kosztów fizycznych, jak i informacyjnych związanych z zakupem materiałów. Druga grupa to koszty utrzymania zapasów, w tym koszty zaangażowania kapitału, magazynowania i starzenia się zapasów. Trzecia grupa, koszty wyczerpywania zapasów, odnosi się do potencjalnych strat wynikających z braku odpowiednich zapasów w krytycznych momentach.

Cele zarządzania zapasami obejmują m.in. ochronę przed niepewnością popytu, redukcję kosztów związanych z magazynowaniem, transportem oraz utylizacją zapasów, a także poprawę efektywności operacyjnej przedsiębiorstwa⁸. Krawczyk⁹ podkreśla, że zarządzanie zapasami jest kluczowe dla minimalizacji ryzyka operacyjnego i kosztów logistycznych, co wpływa na całkowitą efektywność przedsiębiorstwa. Efektywne zarządzanie zapasami przyczynia się do zwiększenia konkurencyjności przedsiębiorstwa, umożliwiając bardziej elastyczne reagowanie na zmieniające się warunki rynkowe^{10,11}.

Modele zarządzania zapasami

W literaturze dotyczącej optymalizacji zarządzania zapasami, szczególnie w kontekście określania wielkości partii dostaw, szeroko omawiane są różnorodne metody, które można zaadaptować zarówno w planowaniu produkcji, jak i w zarządzaniu wielkością dostaw. Kulisz oraz Gola¹², wyróżniają dziewięć głównych metod optymalizacji, takich jak:

- stała wielkość partii,
- partia na partię,
- partia pokrywająca zapotrzebowanie okresowe,
- zmienna wielkość partii,
- minimalny koszt jednostkowy,
- minimalny koszt całkowity,
- partia okresowo bilansowana,
- algorytm Wagnera-Withina.

Choć pierwotnie te metody były stosowane głównie do planowania wielkości partii produkcyjnych, ich założenia są równie użyteczne w kontekście zarządzania wielkością

⁶ Kisperska-Moroń, D., Czynniki rozwoju wirtualnych łańcuchów dostaw. Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej w Katowicach, 2009

⁷ Skowronek, Cz. (red), Podstawy gospodarki materiałowej, PWE, Warszawa, 2005

⁸ Gaura, M., Kuboń, M., Kowalczyk, Z., Kwaśniewski, D., Daniel, Z., Kapela, K., Quality assessment of delivery in the supply chain optimization. Agricultural Engineering, 24, 2020

⁹ Krawczyk, S., Podstawy logistyki, CeDeWu, Warszawa, 2020

¹⁰ Blaik, P., Gospodarka Materiałowa i Logistyka, nr 04, Wydawnictwo PWE, 2018

¹¹ Malaga-Toboła, U., Pawlarczyk, R., Kwaśniewski, D., Kuboń, M., Ocena ryzyka w łańcuchu dostaw na przykładzie hurtowni spożywczej. Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Ekonomika i Organizacja Logistyki, 7/1, 63-74, 2022

¹² Kulisz, M., Gola, A., Dylematy wyznaczania wielkości partii produkcyjnej w przedsiębiorstwach z sektora MŚP. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, 1, 624-635, 2017

dostaw. Adaptacja tych metod w planowaniu dostaw może znacząco przyczynić się do optymalizacji kosztów zamówień, magazynowania oraz dostosowania harmonogramów dostaw do zmieniających się warunków rynkowych.

Inne podejścia do zarządzania zapasami, takie jak Just-in-Time (JIT), Teoria Ograniczeń (TOC) oraz system Kanban, kładą nacisk na minimalizację zapasów, redukcję marnotrawstwa oraz zwiększenie elastyczności produkcji. Sarjusz-Wolski i Skowronek¹³ wskazują, że JIT pozwala na ograniczenie zapasów do minimum, dostarczając materiały dokładnie w momencie, gdy są one potrzebne. Czerska i Szpakowska¹⁴ podkreślają znaczenie TOC w identyfikacji i eliminacji wąskich gardeł w procesie produkcji, co prowadzi do lepszego wykorzystania zasobów oraz redukcji zapasów. System Kanban, oparty na wizualnym sygnalizowaniu zapotrzebowania, umożliwia efektywną kontrolę przepływu materiałów¹⁵.

W praktyce zarządzania zapasami wykorzystywane są różne metody optymalizacji wielkości dostaw, które można podzielić na metody statyczne i dynamiczne. Styczne wielkości zamówienia są ustalane jednorazowo i pozostają niezmiennie w analizowanym planie zamówień. Z kolei dynamiczne wielkości zamówienia są aktualizowane na bieżąco, dostosowując się do zmieniających się potrzeb netto. Decyzja o wyborze między tymi dwoma podejściami może być trudna, szczególnie z uwagi na wymagania obliczeniowe związane z dynamicznymi wielkościami zamówienia. Kluczowym czynnikiem powinny być koszty zastosowania danej metody, ponieważ dynamiczne podejście może prowadzić do lepszej optymalizacji kosztów poprzez dokładniejsze dopasowanie zamówień do rzeczywistych potrzeb.

Weryfikacji i oceny efektywnego zarządzania zapasami przeprowadzono w oparciu o wielkość zapotrzebowania na surowce do procesu produkcyjnego w wybranym przedsiębiorstwie z branży budowlanej. W firmie składowanych jest czterdzieści pięć pozycji asortymentowych niezbędnych do produkcji, natomiast przykładowe obliczenia pokazano dla jednego wybranego materiału.

Do oceny sposobów sterowania zapasami wykorzystano następujące metody:

- metoda partia na partię,
- metoda stałej wielkości dostawy,
- metoda stałej częstotliwości dostawy.

Metoda partia na partię

Metoda partia na partię należy do metod dynamicznych, określaną jest często metodą Just in Time. Głównym założeniem tej metody jest brak zapasu bieżącego, którego wyeliminowanie rekompensowane jest poprzez częste dostawy. Dostawy te odbywają się na początku okresu, w którym występuje zapotrzebowanie. Wielkość dostawy jest zależna od wielkości bieżącego zapotrzebowania. Metoda partia na partię stosowana jest głównie

¹³ Sarjusz-Wolski, Z., Skowronek, C., Logistyka w przedsiębiorstwie, PWE, Warszawa, 2012

¹⁴ Czerska, J., Szpakowska, M., Teoria ograniczeń i zarządzanie zapasami. Gdańsk, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2005

¹⁵ Pająk E., Zarządzanie produkcją. Produkt, technologia, organizacja, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006

w przedsiębiorstwach nie posiadających swojego zaplecza magazynowego, a ich głównym celem jest eliminacja kosztów związanych ze składowaniem zapasu¹⁶.

Ze względu na zależność produkcji od dostaw w metodzie partia na partię, pierwszym krokiem jaki należy wykonać jest ustalenie wielkości dostaw na takim samym poziomie jak wielkość produkcji w danym okresie analizy:

$$Q_t = p_t \quad (1)$$

gdzie:

- Q – wielkość dostaw w danym okresie t , (kg)
- p – wielkość zużycia w danym okresie t , (kg)

Tak ustalona wielkość dostaw pozwoli uniknąć gromadzenia zapasu w magazynie, ze względu na bieżące zużycie, na koniec każdego okresu zapas dysponowany powinien być równy zero, tj.:

$$Zd_t = Q_t - p_t \quad (2)$$

gdzie:

- Zd – wielkość zapasu dysponowanego w czasie t , (kg)

Ze względu na brak zapasów w magazynie, koszty składowania towarów Ks w danym okresie będą wynosiły zero. Natomiast koszty dostawy Kd będą występowały w każdym analizowanym okresie, w którym wystąpi zapotrzebowanie na dany towar, a ich wartość będzie na stałym ustalonym wcześniej poziomie niezależnie od wielkości dostawy.

Mając tak wyznaczone koszty dla każdego okresu można obliczyć koszty całkowite Ks :

$$Kc_t = Ks_t - Kd_t \quad (3)$$

gdzie:

- Kc – koszt całkowity w czasie t , (zł)
- Kd – koszt dostawy w czasie t , (zł)

Suma wydatków w planowanym okresie Wc wynosi:

$$Wc = \sum Kc_t \quad (4)$$

Natomiast ze względu na brak zapasu w magazynie, wartość średniego zapasu rzeczywistego będzie równa zero.

Metoda stałej wielkości dostaw

Metoda stałej wielkości dostawy polega na statystycznym planowaniu wielkości zamawianego towaru. Stosowana jest w przedsiębiorstwach, w których wielkości dostaw muszą być odpowiednio dopasowane ze względu na czynniki takie jak ładowność środka

¹⁶ Grzybowska, K., Gospodarka zapasami i magazynem, Część 1 Zapasy. Warszawa: Difin, 2010

transportu, pojemność opakowania lub minima logistyczne ustalane przez dostawców. Metoda ta jest skuteczna w przypadku, gdy zapotrzebowanie na towar jest równomiernie rozłożone w czasie, natomiast wszystkie odchylenia od średniej znacznie zmniejszają skuteczność tej metody¹⁷.

Obliczenia należy rozpocząć od wyznaczenia ekonomicznie uzasadnionej wielkości dostawy. Wartość ta jest ściśle związana z kosztami realizacji zamówienia oraz kosztami utrzymania zapasów w magazynie. Są to najistotniejsze wielkości podczas ustalania kosztów magazynowania w przedsiębiorstwie. Ekonomiczną wielkość dostawy wyznacza się jako:

$$Q_{ek} = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot Kd}{K_u \cdot n}} \quad (5)$$

gdzie:

Q_{ek} – ekonomiczna wielkość zamówienia, (kg)

Kd – jednostkowy koszt dostawy, (zł)

D – całkowite zapotrzebowanie w analizowanym okresie, (kg)

K_u – jednostkowy koszt utrzymania towaru, (zł·kg⁻¹)

n – liczba okresów dla badanego rodzaju asortymentu w analizowanym czasie, (tyg.)

Dla tak wyznaczonego modelu ekonomicznej wielkości dostawy, należy określić liczbę dostaw dla wybranej pozycji. Wartość ta musi być dodatnią liczbą całkowitą, więc uzyskany wynik należy zaokrąglić w górę, tak aby uzyskać optymalną liczbę realizowanych dostaw:

$$N = \frac{D}{Q_{ek}} \quad (6)$$

gdzie:

$N \in \mathbb{Z}^+$ – liczba realizowanych dostaw dla danej pozycji w analizowanym okresie, (–)

Znając ekonomiczną wielkość dostawy oraz ich całkowitą liczbę w analizowanym okresie, można wyznaczyć wielkość realizowanych dostaw. Ze względu na liczbę dostaw do zrealizowania, ich wielkość będzie wyznaczana ze wzoru:

$$Q = \frac{D}{N} \quad (7)$$

gdzie:

Q – wielkość dostaw, (kg)

Kolejno, konieczne jest określenie wielkości pierwszej dostawy. Będzie ona realizowana w pierwszym okresie, w którym występuje zapotrzebowanie na dany asortyment. W przypadku gdy zapas dysponowany Zd w okresie t wystarczy na pokrycie bieżącego

¹⁷ Grzybowska, K., Gospodarka zapasami i magazynem, Część 1 Zapasy. Warszawa: Difin, 2010

zużycia p_t , wartość dostawy będzie wynosiła 0. Kolejne dostawy będą realizowane w przypadku, gdy wartość zapasu dysponowanego Zd w danym okresie t , bez zrealizowanej dostawy będzie wartością ujemną. Dzięki tak określonym założeniom można obliczyć zapas dysponowany dla wszystkich okresów analizy.

$$Q_t = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } Zd_{(t-1)} - p_t \geq 0 \\ Q & \text{jeżeli } t = 1 \text{ lub } Zd_{(t-1)} - p_t < 0 \\ Zd_{(t)} = Zd_{(t-1)} - p_t + Q_t & \end{cases} \quad (8)$$

gdzie:

- Zd – wielkość zapasu dysponowanego w czasie t , (kg)
- p – wielkość zużycia w czasie t , (kg)

Po wyznaczeniu wszystkich dostaw oraz określeniu wartości zapasu dysponowanego w każdym okresie t , można obliczyć koszt składowania towarów Ks . Koszty dostawy Kd będą występowały w każdym okresie, w którym realizowane będą dostawy, a ich wartość będzie na stałym ustalonym wcześniej poziomie niezależnie od wielkości dostawy. Następnie należy określić koszty całkowite Kc .

Ostatnim etapem jest określenie sumy wydatków w planowanym okresie Wc , oraz wyznaczenie średniego zapasu rzeczywistego magazynu Zr według zależności:

$$Zr = \frac{\sum Zd_t}{n} \quad (9)$$

gdzie:

- Zr – średni zapas rzeczywisty magazynu, (kg)
- n – liczba okresów dla badanego rodzaju asortymentu, (tyg.)

Metoda stałej częstotliwości dostaw

Metoda stałej częstotliwości dostaw jest metodą polegającą na realizacji dostaw w stałym odstępie czasowym. W przeciwieństwie do metody stałej wielkości dostawy, zamiast stałej wielkości ustalana jest częstotliwość realizacji dostawy w przedsiębiorstwie. Metoda ta jest najlepszym rozwiązaniem dla dostaw produktów, na które zapotrzebowanie jest równomiernie rozłożone w czasie, a wszelkiego rodzaju wahania popytu nie mają wpływu na skuteczność tej metody¹⁸.

Pierwszym etapem, podobnie jak w przypadku metody stałej wielkości dostawy, jest wyznaczenie ekonomicznej wielkości dostawy Q_{ek} . Jej określenie ma służyć obniżeniu kosztów związanych z magazynowaniem surowców. Następnie, możliwe jest obliczenie częstotliwości dostaw:

¹⁸ Grzybowska, K., Gospodarka zapasami i magazynem, Część 1 Zapasy. Warszawa: Difin, 2010

$$T = \frac{Q_{ek} \cdot n}{D} \quad (10)$$

gdzie:

- $T \in \mathbb{Z}^+$ – częstotliwość realizowanych dostaw, (tyg.)
- D – całkowite zapotrzebowanie w analizowanym czasie, (kg)
- n – liczba okresów dla badanego rodzaju asortymentu w analizowanym czasie, (tyg.)

W przypadku, gdy wartości analizowanych okresów a także obliczona częstotliwość realizowanych dostaw, byłyby wartościami niepodzielnymi przez siebie, wielkość ostatniej dostawy powinna być na tyle duża, aby pokryła zapotrzebowanie z ostatnich okresów w analizowanym czasie.

Następnie należy określić liczbę realizowanych dostaw N , jednak w tym przypadku wartość tą wyznacza się na podstawie częstotliwości dostawy, dzieląc ją przez liczbę okresów w analizowanym czasie.

$$N = \frac{n}{T} \quad (11)$$

gdzie:

- $N \in \mathbb{Z}^+$ – liczba realizowanych dostaw dla danego asortymentu w analizowanym okresie,

Określenie ich liczby będzie pomocne podczas wyznaczania okresów, w których dostawa ma być zrealizowana oraz przy określaniu wielkości dostaw w odpowiednim okresie. Jednostki, w których będą realizowane dostawy określa się następującym wzorem, w którym dla poszczególnego numeru dostawy N wyznacza się odpowiednią pozycję t_N :

$$t_N = 1 + (N - 1) \cdot T \quad (12)$$

gdzie:

- t_N – numer tygodnia dla N -tej dostawy, (-)
- N – poszczególny numer dostawy, (-)

Znając okresy, w których realizowana będzie dostawa, można określić wielkość każdej z nich według zależności:

$$Q_N = \sum_{t=1+(N-1) \cdot T}^T p_t \quad (13)$$

gdzie:

- Q_N – wielkość zamówienia dla N -tej dostawy, (kg)
- p – wielkość zużycia w okresie t , (kg)

Następnie wyznaczana jest wielkość zapasu dysponowanego dla każdego analizowanego okresu na podstawie wzoru:

$$Zd_t = Zd_{t-1} - p_t + Q_t \quad (14)$$

gdzie:

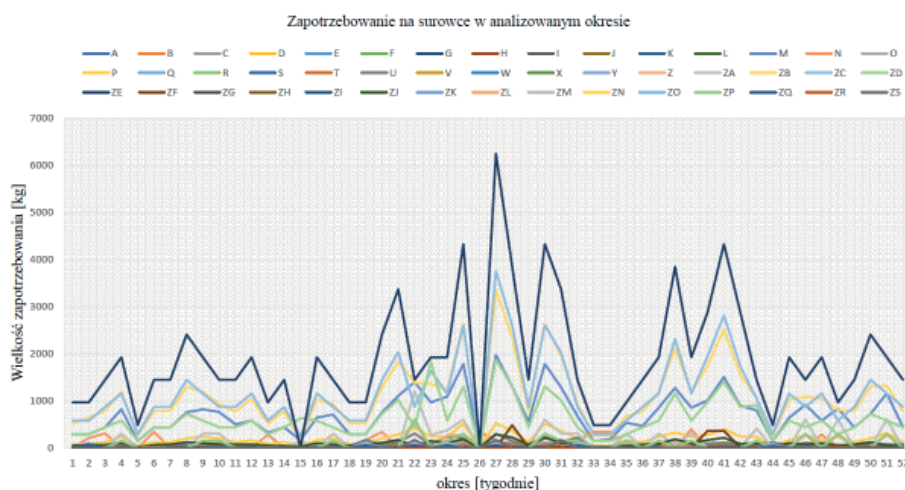
Zd – wielkość zapasu dysponowanego w danym okresie t , (kg)

Po wyznaczeniu wszystkich dostaw oraz określeniu wartości zapasu dysponowanego w każdym okresie t , należy postępować analogicznie jak w metodzie stałej wielkości dostawy, obliczając koszt składowania towarów Ks i koszty dostawy Kd , które będą występować w każdym analizowanym okresie, w którym realizowane będą dostawy, a ich wartość będzie na stałym, ustalonym wcześniej poziomie niezależnie od wielkości dostawy. Ostatnim etapem jest wyznaczenie kosztów całkowitych Kc oraz sumy wydatków w planowanym okresie Wc , a także wielkości średniego zapasu rzeczywistego magazynu Zr .

Wyniki badań

W badanym przedsiębiorstwie wszystkie surowce zamawiane są w momencie, gdy zapas bieżący osiągnie minimalną, wcześniej ustaloną wartość. Prowadzi to do gromadzenia się nadmiernego zapasu, który generuje niepotrzebne koszty związane z magazynowaniem i wiąże się z zamrożeniem kapitału.

Wielkość produkcji w analizowanym okresie jest zmienna co przedstawiono na rysunku 1. Wynika to z sezonowości działalności, w tym przypadku budowlanej.



Rysunek 1. Wielkość zapotrzebowania na surowce w każdym z 52 tygodni w analizowanym przedsiębiorstwie

Zastosowanie metody partia na partię

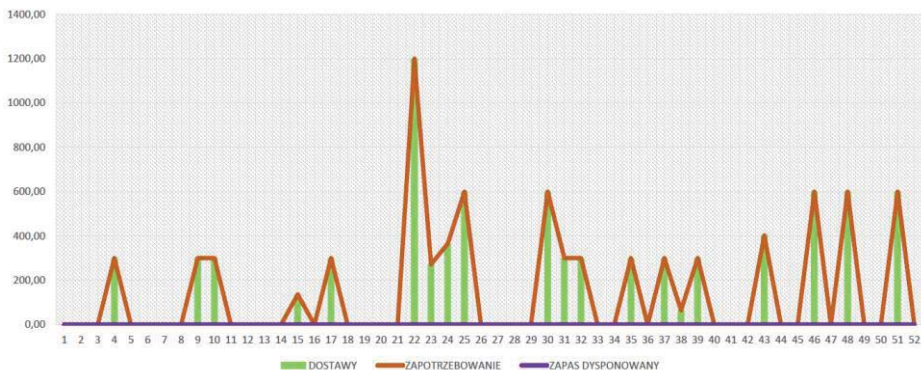
Pierwszym etapem było ustalenie wielkości wszystkich dostaw realizowanych w badanym okresie (52 tygodni). Dostawy będą realizowane w tych tygodniach, w których występuje zapotrzebowanie na dany asortyment, a ich wielkość będzie równa wielkości zużycia w danym okresie. Do przykładowych obliczeń wybrano jeden z materiałów (ZA). Zapotrzebowanie na ten materiał pojawia się dopiero w czwartym tygodniu, tak więc, w pierwszych trzech zapas dysponowany wynosi zero.

Zgodnie ze wzorem (1), w czwartym tygodniu wielkość dostawy będzie wynosić $Q_4=300,0$ kg. Dla tak ustalonych wielkości dostaw, możliwe było określenie wielkości zapasu dysponowanego Zd we wszystkich tygodniach. Wartość tą określono za pomocą zależności (2), i w czwartym tygodniu będzie ona wynosiła: $Zd_4= 300,0-300,0= 0$.

Głównym założeniem tej metody jest eliminacja gromadzenia zapasu bieżącego, więc w każdym okresie, zapas ten wynosi 0. Ze względu na brak bieżącego zapasu, koszty wynikające z jego składowania Ks , w każdym tygodniu będą równe 0. Natomiast koszty dostawy Kd będą występowały w tygodniach, w których realizowana jest dostawa. Z uwagi na występowanie tylko i wyłącznie kosztów dostawy, koszty całkowite w Kc dla każdego okresu będą równe kosztowi dostawy Kd . Suma kosztów Wc poniesionych przez przedsiębiorstwo w tej metodzie, będzie się składała z kosztów realizowanych dostaw we wszystkich analizowanych okresach, stąd $Wc = 20\ 000,0$ zł.

Natomiast, ze względu na brak zapasu bieżącego, wielkość średniego zapasu rzeczywistego Zr w magazynie będzie wynosił zero. Na rysunku 2, wyraźnie widać, że dostawy odpowiadają zapotrzebowaniu z każdego tygodnia. Ponadto, przez cały analizowany okres, zapas dysponowany wynosił zero.

Jedyną składową wydatków w analizowanym okresie są koszty realizacji dostawy. Wynika to z założenia metody partia na partię, która wyklucza możliwości składowania zapasów. Ze względu na stały koszt realizacji dostawy, a także brak kosztów składowania, największe koszty charakteryzują te produkty, które dostarczane są w każdym tygodniu. Z kolei liczbę dostaw wyznaczono na poziomie 20.



Rysunek 2. Wielkość dostawy i zapasu dysponowanego w metodzie partia na partię dla wybranego materiału (ZA)

Co ważne, w planowaniu wielkości dostaw, należy uwzględnić możliwości ich realizacji tj. pojemności opakowań, w których składowane są surowce.

Zastosowanie metody stałej wielkości dostawy

Ekonomiczną wielkość dostawy Q_{ek} ustalono na poziomie 1052,37 kg zgodnie z zależnością:

$$Q_{ek} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8140 \cdot 1000}{0,3 \cdot 49}}$$

W oparciu o tą wielkość i całkowite zapotrzebowanie w analizowanym okresie wyznaczono konieczną liczbę dostaw N , która będzie niezbędna dla zapewnienia ciągłości produkcji. Liczba dostaw wynosi 8, wyznaczona została według:

$$N = \frac{8140}{1052,37}$$

Ostatnim etapem było wyznaczenie wielkości realizowanych dostaw Q . Wartość ta określa wielkość dostaw, która odpowiada potrzebom przedsiębiorstwa:

$$Q = \frac{8140}{8} = 1017,5 \text{ kg}$$

Dzięki tak określonej wielkości oraz liczbie dostaw można zaspokoić całkowite zapotrzebowanie na poszczególne surowce we wszystkich tygodniach.

Następnie, wyznaczono okresy, w których realizowane będą dostawy Q , a także określono wielkość zapasu dysponowanego Zd dla każdego tygodnia. Ze względu na brak zapotrzebowania w trzech pierwszych tygodniach, jako pierwszy okres analizy, przyjęto tydzień czwarty. Wielkość dostawy wyznaczono jako:

$$Zd_4 = 1017,5 - 300,0 = 717,5 \text{ kg}$$

Kolejną dostawę zaplanowano w tygodniu, w którym zapas dysponowany nie pokrywał całkowitego zapotrzebowania. Taka sytuacja wystąpiła dopiero w piętnastym tygodniu analizy:

$$Zd_{15} = 117,5 - 136,0 + 1017,5 = 999,0 \text{ kg}$$

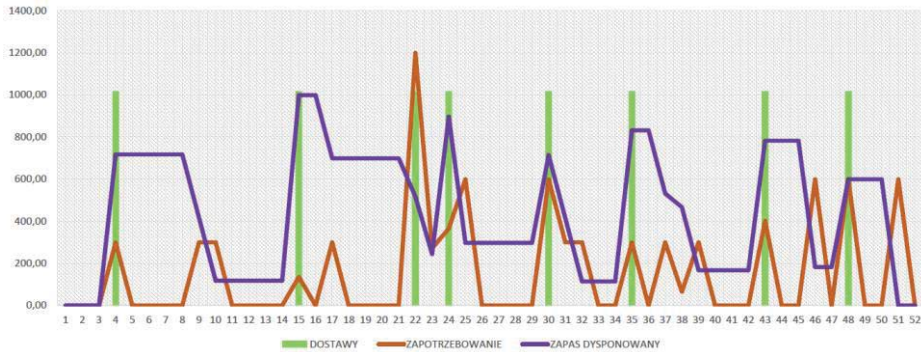
Następnie wyznaczono koszt składowania towarów Ks we wszystkich okresach. W czwartym tygodniu, koszt składowania był następujący:

$$Ks_4 = 717,5 \cdot 0,3 = 215,25 \text{ zł}$$

Wyliczone koszty realizacji dostawy Kd dopisano do wszystkich tygodni, w których realizowana była dostawa. Ostatnim elementem było określenie kosztów całkowitych Kc . Koszty te w czwartym tygodniu wyniosły:

$$Kc_4 = 215,25 + 1000 = 1215,25 \text{ zł}$$

Na rysunku 3 przedstawiono wyznaczone wielkości dostaw i zapasu dysponowanego dla wybranego surowca.



Rysunek 3. Wielkość dostaw i zapasu dysponowanego w metodzie stałej wielkości dostawy dla wybranego materiału (ZA)

Łączna suma wydatków w analizowanym okresie wyniosła $Wc=14763,35$ zł, natomiast wartość średniego zapasu rzeczywistego na poziomie $Zr=460,09$ kg.

Dla większości surowców, dzięki zastosowanej metodzie, poprawnie określono wielkość oraz częstotliwość dostaw, czego skutkiem jest uzyskanie zerowej wielkości zapasu dysponowanego w ostatnim tygodniu analizy. Metoda nie sprawdziła się natomiast dla surowców na które jest duży popyt i nierównomierny w czasie. W tych przypadkach w momencie wystąpienia zwiększonego zapotrzebowania, wartość zapasu dysponowanego była ujemna.

Zastosowanie metody stałej częstotliwości dostawy

Obliczenia rozpoczęto od wyznaczenia ekonomicznej wielkości Q_{ek} dostawy:

$$Q_{ek} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8140 \cdot 1000}{0,3 \cdot 49}} = 1052,37 \text{ kg}$$

Następnie, określona została częstotliwość T realizowanych dostaw, która musi być liczbą naturalną, tak aby można było ją wykorzystać w planowaniu dostaw. Wartość ta obliczono jako:

$$T = \frac{1052,37 \cdot 49}{8140,00} = 7$$

Następnym etapem było wyznaczenie liczby dostaw N które będą realizowane w badanym okresie, tj.:

$$N = \frac{49}{7} = 7$$

W oparciu o obliczoną liczebność dostaw, możliwe jest wyznaczenie okresów tN , w których realizowane są dostawy. Ze względu na brak zapotrzebowania w pierwszych trzech tygodniach, jako pierwszy okres przyjęto tydzień czwarty:

$$t_1 = 1 + (1 - 1) \cdot 7 = 1$$

Pierwsza dostawa wyznaczona została w pierwszym okresie, w którym wystąpiło zapotrzebowanie, czyli w czwartym tygodniu. Kolejne dostawy należy wyliczyć w analogiczny sposób.

$$t_2 = 1 + (2 - 1) \cdot 7 = 8$$

Termin realizacji drugiej dostawy zaplanowany został w ósmym okresie (w jedenastym tygodniu).

Następnie określono wielkość poszczególnych dostaw Q_N . Wielkość pierwszej dostawy była sumą zapotrzebowania w okresie od czwartego do dziesiątego tygodnia.

$$Q_1 = 300,0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 300,0 + 300,0 = 900 \text{ kg}$$

Natomiast druga dostawa, stanowiła sumę zapotrzebowania od jedenastego do siedemnastego tygodnia.

$$Q_2 = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 136,0 + 0 + 300,0 = 436 \text{ kg}$$

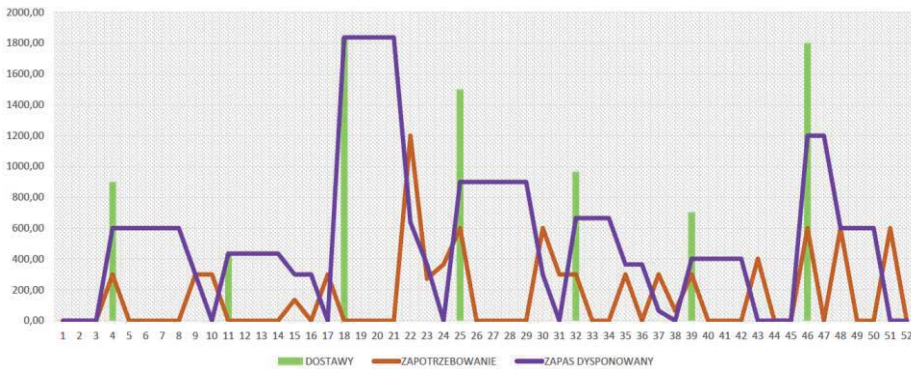
W podobny sposób wyznaczono pozostałe wielkości dla pięciu dostaw, a następnie obliczono wielkość zapasu dysponowanego Zd dla każdego okresu. W czwartym tygodniu zapas dysponowany wyniósł:

$$Zd_4 = 0 - 300,0 + 900,0 = 600 \text{ kg}$$

Po obliczeniu poszczególnych kosztów w kolejnych tygodniach: utrzymania towarów Ks oraz realizacji dostawy Kd , wyznaczono koszty całkowite Kc . Suma wydatków Wc w planowanym okresie wyniosła 15217,6 zł, a wartość średniego zapasu rzeczywistego Zr znajdującego się w magazynie wyniosła $Zr = 559,02$ zł.

Obliczone wielkości dostaw i zapasu dysponowanego przedstawiono na rysunku 4.

Dzięki uprzedniemu ustaleniu terminów dostaw możliwe było skuteczne ograniczenie sumy kosztów w planowanym okresie dla większości surowców. Ze względu na założenia, w metodzie stałej częstotliwości dostaw, nie dochodzi do błędów w postaci ujemnych wartości zapasu dysponowanego i możliwe jest określenie niezbędnych wartości Zd dla każdego z rozważanych materiałów.



Rysunek 4. Wielkość dostaw i zapasu dysponowanego w metodzie stałej częstotliwości dostawy dla wybranego surowca ZA

Podsumowanie i wnioski

W opracowaniu poddano analizie i ocenie trzy metody wyznaczania wielkości oraz częstotliwości dostaw w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym. Odpowiednią metodą zamawiania jest ta, która generuje najmniejsze koszty w analizowanym czasie.

Klasyczna metoda stałej częstotliwości dostaw okazała się być najtańszym rozwiązaniem dla większości materiałów/surowców. Ze względu na dużą częstotliwość zużycia większości surowców, najefektywniejszym rozwiązaniem jest wyznaczenie dla każdego z nich regularnych odstępów między dostawami. Pozwoliło to na zachowanie równowagi między kosztami realizacji zamówienia oraz utrzymania zapasu w magazynie. Dzięki temu osiągnięto najmniejsze koszty całkowite. Metoda ta okazała się być najlepszym rozwiązaniem dla materiałów charakteryzujących się ciągłym zużyciem.

W metodzie stałej wielkości dostawy dla większości surowców uzyskano minimalnie wyższe koszty całkowite niż w metodzie stałej częstotliwości dostawy. W praktyce obie metody mogłyby być stosowane zamiennie, choć wyznaczenie ekonomicznej wielkości zamówienia wiąże się jednak z dużym ryzykiem, niespełnienia nieregularnego zapotrzebowania. W metodzie stałej wielkości zamówienia wyznaczona została za małą wielkość dostawy, co wykluczyło możliwość jej zastosowania w niektórych przypadkach, dla części materiałów.

Zamawianie metodą partia na partię zostało przyporządkowane do najmniejszej liczby surowców. Z uwagi na wysoki koszt jednorazowego transportu, metoda ta jest nieopłacalna w przypadku pojedynczych zamówień materiałów, których koszt składowania jest niewielki. Ponadto istnieje ryzyko niedoboru surowców, w sytuacji wystąpienia opóźnień w dostawie. Metoda ta znajduje zastosowanie w przypadku surowców sezonowych, na które zapotrzebowanie występuje tylko kilka razy w roku a koszt ich składowania jest zbyt duży.

Porównując wielkości średniego zapasu koniecznego do utrzymania, wyliczonego we wszystkich trzech metodach, metoda stałej częstotliwości dostawy jest najlepsza, gwarantując najniższe koszty logistyczne. Metody takie jak stała częstotliwość dostawy czy

partia na partie muszą być starannie dostosowywane do specyficznych warunków przedsiębiorstwa, szczególnie w kontekście produkcji wieloseryjnej. Potwierdza to, że skuteczność stosowania każdej z metod zależy od jej dopasowania do bieżących potrzeb i warunków rynkowych.

Konieczne jest elastyczne podejście do planowania dostaw, w zależności od zmienności popytu. Reasumując, można stwierdzić, że:

- analizowane metody zarządzania dostawami różnią się pod względem skuteczności w zależności od specyfiki zamawianych materiałów,
- metoda stałej częstotliwości dostaw okazała się najbardziej efektywna kosztowo dla surowców o regularnym i stabilnym zużyciu, zapewnia ona równowagę między kosztami realizacji zamówienia a utrzymaniem zapasów, co minimalizuje całkowite koszty operacyjne,
- metoda stałej wielkości dostaw sprawdza się przy nieregularnym zużyciu, ale wymaga dokładnego monitorowania zmienności zapotrzebowania, aby uniknąć nadmiernych kosztów magazynowania,
- metoda maksymalnej dostawy jest korzystna dla surowców o niskich kosztach składowania i wysokim zapotrzebowaniu w krótkich okresach, jednakże generuje znaczne koszty magazynowania w przypadku surowców, charakteryzujących się większym zużyciem,
- metoda partia na partię jest optymalna dla surowców sezonowych lub o specyficznym zapotrzebowaniu, redukując koszty składowania przez zamawianie tylko w momencie wystąpienia zapotrzebowania, chociaż niesie ze sobą ryzyko przerw w dostawach.

Przeprowadzone analizy dowodzą, że każda z badanych metod stanowi wartościowe narzędzie do zarządzania dostawami, umożliwiając przedsiębiorstwu optymalizację kosztów oraz zwiększenie efektywności operacyjnej. Ich skuteczność w zarządzaniu dostawami potwierdza możliwość dynamicznego dostosowania metod do specyficznych warunków rynkowych i potrzeb przedsiębiorstwa, co wspiera efektywne zarządzanie zasobami i planowanie dostaw.

Wyniki analizy potwierdziły, że efektywność sposobu magazynowania surowców można znacząco zwiększyć poprzez optymalny dobór metody zarządzania zapasami do charakterystyki danego surowca, co przekłada się na lepsze zarządzanie przestrzenią magazynową i minimalizację kosztów przechowywania.

Bibliografia

- Blaik, P., *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, nr 04, Wydawnictwo PWE, 2018
- Czarny, A., Efektywność w gospodarce zapasami w przedsiębiorstwach przetwórstwa przemysłowego na tle pandemii COVID-19. *Ekonomika i Organizacja Logistyki*, 9(1), 5-29, 2024
- Czerska, J., Szpakowska, M., *Teoria ograniczeń i zarządzanie zapasami*. Gdańsk, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2005
- Gaura, M., Kuboń, M., Kowalczyk, Z., Kwaśniewski, D., Daniel, Z., Kapela, K., Quality assessment of delivery in the supply chain optimization. *Agricultural Engineering*, 24, 2020
- Grzybowska, K., *Gospodarka zapasami i magazynem, Część 1 Zapasy*. Warszawa: Difin, 2010
- Kisperska-Moroń, D., Czynniki rozwoju wirtualnych łańcuchów dostaw. *Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej w Katowicach*, 2009

- Klepacki, B., Logistyka, CeDeWu, Warszawa, 2022
- Krawczyk, S., Podstawy logistyki, CeDeWu, Warszawa, 2020
- Kulisz, M., Gola, A., Dylematy wyznaczania wielkości partii produkcyjnej w przedsiębiorstwach z sektora MŚP. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, 1, 624-635, 2017
- Malaga-Toboła, U., Pawlarczyk, R., Kwaśniewski, D., Kuboń, M., Ocena ryzyka w łańcuchu dostaw na przykładzie hurtowni spożywczej. Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Ekonomika i Organizacja Logistyki, 7/1, 63-74, 2022
- Niemczyk, A., Zapasy i magazynowanie, t. 2, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2008
- Pająk E., Zarządzanie produkcją. Produkt, technologia, organizacja, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006
- Sarjusz-Wolski, Z., Skowronek, C., Logistyka w przedsiębiorstwie, PWE, Warszawa, 2012
- Skowronek, Cz. (red), Podstawy gospodarki materiałowej, PWE, Warszawa, 2005
- Skowronek, Cz., Aktywa obrotowe i procesy logistyczne przedsiębiorstw w latach 2019–2022 – podstawowe zjawiska i tendencje, Gospodarka Materiałowa i Logistyka 2, 6, 2023

Adres do korespondencji: anna.krakowiak-bal@urk.edu.pl
ORCID: Anna Krakowiak-Bal 0000-0002-9198-5153

IDENTYFIKACJA I OCENA RYZYKA NA PRZYKŁADZIE ŁAŃCUCHA DOSTAW

**Maciej Kuboń^{1,2}, Radosław Korpała³, Agnieszka Dudziak⁴, Grzegorz Zajac⁵,
Tomasz Słowik⁵,**

¹ Katedra Inżynierii Produkcji Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

² Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu

³ Dyplomant w Katedrze Inżynierii Produkcji Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

⁴ Zakład Logistyki i Zarządzania Przedsiębiorstwem, Katedra Energetyki i Środków Transportu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

⁵ Katedra Energetyki i Środków Transportu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wprowadzenie

Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw jest kluczowym elementem współczesnego zarządzania operacyjnego, zwłaszcza w obliczu globalizacji, złożoności procesów logistycznych oraz dynamicznych zmian na rynkach. Łańcuch dostaw, będący siecią powiązań między różnymi podmiotami zaangażowanymi w dostarczanie produktów i usług od dostawców do ostatecznego odbiorcy, jest narażony na różnorodne ryzyka, które mogą zakłócać jego funkcjonowanie. Teorie zarządzania ryzykiem w łańcuchu dostaw dostarczają narzędzi oraz metodologii, które pozwalają na identyfikację, ocenę oraz minimalizację tych zagrożeń. W literaturze przedmiotu wyróżnia się wiele typów ryzyka, takich jak ryzyko operacyjne, finansowe, związane z dostawcami czy z popytem^{1,2,3,4,5}.

¹ ManMohan S. Sodhi, Christopher S. Tang. Managing Supply Chain Risk. Springer New York, NY, ISBN978-1-4614-3237-1. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3238-8>, 2012

² Christopher M. Logistics & Supply Chain Management. Harlow: Pearson Education, 2016

³ Sulewski P. Ryzyko w logistyce i sposoby jego minimalizacji *Ekonomika i Organizacja Logistyki* 2(4):71 2543-8867, 2450-8055 10.22630/EIOL.2017.2.4.37, 2018

⁴ Malaga-Toboła U, Pawlarczyk R, Kwaśniewski D, Kuboń M. Ocena ryzyka w łańcuchu dostaw na przykładzie hurtowni spożywczej *Ekonomika i Organizacja Logistyki* 7(1):63, 2543-8867, 2450-8055, DOI:10.22630/EIOL.2022.7.1.5, 2022

⁵ Woźniak D, Warszycki M, Stokłosa J, Szrajnert R, Chmura R. Predictive algorithms for supply chain management: a comprehensive approach to forecasting delivery times and managing risk *Journal of Modern Science* 57(3): 498, 1734-2031, 2391-789X, DOI:10.13166/jms/191218, 2024

Kluczowym zadaniem menedżerów jest nie tylko identyfikacja potencjalnych zagrożeń, ale także ich ocena pod kątem prawdopodobieństwa wystąpienia oraz potencjalnych skutków dla organizacji.

Dynamiczny proces umiędzynarodowienia biznesu prowadzi do intensyfikacji konkurencji rynkowej, co stawia przedsiębiorstwa w obliczu coraz większych wyzwań. W odpowiedzi na zaostrzającą się rywalizację, podmioty działające na rynku są zmuszone do wdrażania usprawnień w zakresie przepływu dóbr i usług, korzystając z efektywnych łańcuchów dostaw. Współczesne łańcuchy dostaw, charakteryzujące się nie tylko znacznym wydłużeniem, ale również wysokim stopniem złożoności, stają się kluczowym elementem strategii konkurencyjnej. Należy jednak zwrócić uwagę, że wzrost liczby partnerów zaangażowanych w procesy, co może prowadzić do zwiększenia poziomu ryzyka w łańcuchu dostaw, a także do wzrostu podatności na różnorodne zakłócenia⁶.

Ryzyko, jako pojęcie złożone i wieloznaczne, definiowane jest w literaturze na różnorodne sposoby. W naukach ekonomicznych stanowi ono jedno z najczęściej omawianych zagadnień⁷. W literaturze przedmiotu można znaleźć liczne definicje ryzyka, które zostały sklasyfikowane na podstawie trzech wybranych kryteriów. Wyróżnia się następującą: źródło powstawania ryzyka, możliwość pomiaru prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia oraz efekty wynikające z wystąpienia ryzyka.

Wybrane kryteria definiowania ryzyka

1. Źródło powstania ryzyka:

- ryzyko jako skutek niedokładności lub niekompletności informacji⁸.
- powstawanie zagrożeń będących istotą ryzyka wynikających z braku pełnej informacji dotyczącej przyszłości na skutek „deficytu informacji o poszczególnych komponentach relacji przyczynia i skutek”⁹.
- ryzyko przedstawiane jako niebezpieczeństwo powstania szkody, które pojawia się niezależnie od winy poszkodowanego¹⁰.

2. Możliwość pomiaru prawdopodobieństwa pomiaru ryzyka:

- ryzyko postrzegane jako zmienność, którą da się zmierzyć odchyleniem standardowym. Obejmuje probabilistyczne lub statystyczne miary ryzyka¹¹.
- pojęcie ryzyka jako mierzalne prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia¹².

3. Efekty ryzyka:

⁶ Myszak J.M., Sowa M. Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw. Problemy Transportu i Logistyki, nr 4(36), s. 175-186, DOI: 10.18276/ptl.2016.36-19, 2016

⁷ Thlon M. Charakterystyka i klasyfikacja ryzyka w działalności gospodarczej. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie. Ekonomia, nr 902, s. 17-36, 2013

⁸ Kreim E. Zukunftsorientierte Kreditentscheidung. Wiesbaden: Gabler, s. 15, 1988

⁹ Kaczmarek T. Ryzyko i zarządzanie ryzykiem. Ujęcie interdyscyplinarne. Warszawa: Difin, s. 53, 2006

¹⁰ Encyklopedia multimedialna. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Naukowe, 1996

¹¹ Uyemura D.G., van Deventer D.R. Financial Risk in Banking Management: The Theory and Application of Asset and Liabilities Management. Burr Ridge: Irwin, s. 17, 1993

¹² Gędek S. Defining risk. Research papers of wrocław university of economics. nr 513, ISSN 1899-3192, DOI: 10.15611/pn.2018.513.11, 2018

- ryzyko odnoszące się zarówno do niebezpieczeństw, które zagrażają podjętym działaniom, oraz do pojawiających się możliwości i szans powstałych wskutek realizacji przedsięwziętych działań¹³.
- pojęcie ryzyka sformułowane w oparciu o spowodowane skutki. Jest postrzegane jako możliwość zaistnienia efektu podjętych działań niezgodnego z oczekiwaniami, a jego odchylenie od preferowanego i zakładanego rezultatu może być pozytywne lub negatywne¹⁴.

Wyróżnia się dwa podstawowe typy ryzyka: neutralne i negatywne. Ryzyko neutralne odnosi się do odchyień od założonych celów strategicznych, które mogą prowadzić zarówno do pozytywnych, jak i negatywnych rezultatów. Natomiast ryzyko negatywne obejmuje wszelkie zagrożenia związane z realizacją przedsięwzięć ukierunkowanych na osiągnięcie wcześniej określonych celów, gdzie potencjalne konsekwencje są wyłącznie niekorzystne, skutkujące stratami. W ogólnym ujęciu ryzyko w działalności przedsiębiorstw wynika z rozbieżności pomiędzy planami a rzeczywistymi wydarzeniami. Jest ono oceniane jako niepewność lub prawdopodobieństwo wystąpienia określonych konsekwencji, będących wynikiem zarządzania przedsiębiorstwem¹⁵.

Ze względu na wieloznaczność pojęcia ryzyka, jego klasyfikacji można dokonywać, stosując różnorodne kryteria. Rozważając ryzyko w przedsiębiorstwie, należy wspomnieć o ryzyku zewnętrznym, które obejmuje cały system gospodarczy przedsiębiorstwa wraz z jego otoczeniem, oraz o ryzyku wewnętrznym, które odnosi się wyłącznie do obszaru działania danego podmiotu. W oparciu o taką klasyfikację, wyróżnia się:

- ryzyko subiektywne, związane z brakiem odpowiednich kompetencji pracowników, którzy podejmują decyzje na podstawie wykonanych analiz.
- ryzyko obiektywne, wynikające z nieprzewidzianych przyszłych zdarzeń, których uwzględnienie w momencie podejmowania decyzji nie było możliwe, a których skutki pozostają w większości przypadków poza kontrolą.

Klasyfikacja ryzyka działalności gospodarczej, nazywanego ryzykiem całkowitym, dzieli je na ryzyko systematyczne i specyficzne, według kryterium możliwości kontroli ryzyka. Ryzyko systematyczne, zwane także ryzykiem podstawowym, obejmuje działania sił zewnętrznych, które są poza kontrolą przedsiębiorstwa. Wynika ono z warunków ekonomicznych danego rynku, rynku globalnego, lub sił zewnętrznych, takich jak zjawiska naturalne. Przykłady ryzyka systematycznego to:

- zmiany kursów walut,
- inflacja,
- zmiany stóp procentowych oraz
- wysokości podatków.

Takie zjawiska wpływają na poszczególne osoby, mimo że nie są one od nich zależne. Na poziom ryzyka systematycznego mogą próbować wpłynąć parlament, bank centralny

¹³ Damodaran A. *Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset*. Wyd. 2. New York: Wiley Finance, s. 78, 2002

¹⁴ Jajuga K., Jajuga T. *Inwestycje. Instrumenty finansowe, ryzyko finansowe, inżynieria finansowa*. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Naukowe, s. 99, 1998

¹⁵ Gaschi-Uciecha A. *Istota ryzyka w procesach logistycznych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie, s. 70, 119-129, 2014

lub inne struktury ponadnarodowe¹⁶. Z kolei ryzyko specyficzne, zwane również ryzykiem indywidualnym, związane jest z przyszłymi zdarzeniami, które można w pewnym stopniu przewidzieć lub kontrolować. Przyczyny tego rodzaju ryzyka obejmują sposób zarządzania przedsiębiorstwem, wpływ konkurencji, niedotrzymanie warunków płatności, czy dostępność surowców. Ryzyko to odnosi się więc do niepewności związanej z działaniami przedsiębiorstwa, gdzie skutki tych działań wynikają z czynników wewnętrznych.

Planowanie w przedsiębiorstwie obejmuje dwa kluczowe obszary: strategiczny i operacyjny. Obszary te znajdują odzwierciedlenie w podziale ryzyka na charakterystyczne grupy według horyzontu czasowego. Pierwsza grupa obejmuje ryzyko strategiczne, które wpływa na siłę konkurencyjną w długim okresie. Ryzyko to jest związane z profilem działalności i strukturami organizacyjnymi przedsiębiorstwa, które są nastawione na realizację celów strategicznych oraz na osiągnięcie zaplanowanych zamierzeń w przyszłości. Ryzyko strategiczne dotyczy prognozowania zjawisk, które mogą wystąpić w przyszłości i których konsekwencje mogą wpłynąć na nowe warunki prowadzenia działalności. Przykłady takiego ryzyka obejmują szybko zmieniające się trendy rynkowe oraz utratę dostępu do kapitału.

Drugą grupą jest ryzyko operacyjne, które odnosi się do konsekwencji wynikających z niedostatecznej skuteczności działań podejmowanych w krótkookresowej perspektywie operacyjnej¹⁷. Działalność przedsiębiorstw transportowo-spedycyjnych odbywa się w otoczeniu, które można określić, a rozpoznanie oraz wyszczególnienie poszczególnych obszarów tego otoczenia jest kluczowe dla skutecznego planowania celów strategicznych i operacyjnych, aby osiągnąć oczekiwane rezultaty. Istnieje wiele metod identyfikacji tych obszarów oraz związanych z nimi elementów ryzyka. Jednym z nich jest podejście przedstawione w Poradniku, który wyróżnia czternaście kategorii ryzyka, wraz z określeniem ich składowych. W tabeli 1 zaprezentowano wybrane z tych kategorii.

Elementy wpływające na ryzyko wynikają z różnych obszarów, takich jak: środowisko, zmienność warunków gruntowych, teren, strony trzecie, finansowanie, zarządzanie, sfera polityczna, rynek, pracownicy, pogoda oraz sytuacje losowe¹⁸.

Rozpoznawanie ryzyka jest procesem ciągłym, wymagającym nieustannego doskonalenia, ze względu na dynamicznie zmieniające się otoczenie, które stwarza nowe zagrożenia¹⁹. Przedstawione klasyfikacje i elementy stanowią jedynie fragment bogatej

¹⁶ Kwieciński M. Procesowe i systemowe ujęcie procesu zarządzania bezpieczeństwem. *Bezpieczeństwo. Teoria i Praktyka*, nr 2, s. 57–64, 2012

¹⁷ Zawila-Niedźwiecki J. Pojęcie ryzyka operacyjnego i klasyfikacja jego rodzajów. *Przegląd Organizacji*, Nr 6 (845), ss. 19-21, 2010

¹⁸ Lejek J. Ryzyko w projektach transportowych. *Przegląd komunikacyjny*. 12, 2-9, 2022

¹⁹ Kokot-Stępień P. Identyfikacja ryzyka jako kluczowy element zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego* nr 855, s. 533-544, DOI: 10.18276/firfu.2015.74/1-46, 2015

literatury dotyczącej koncepcji ryzyka, którą szeroko omawiają m.in.^{20,21,22,23,24}. Autorzy wskazują na wielowymiarowość ryzyka oraz konieczność jego systematycznej analizy i adaptacji do zmieniających się warunków rynkowych oraz technologicznych.

Tabela 1. Kategorie ryzyka i ich składniki w łańcuchu dostaw

WYBRANE KATEGORIE RYZYKA	WYBRANE SKŁADNIKI RYZYKA
RYZYSKO ZWIĄZANE Z DOSTĘPNOŚCIĄ USŁUG	– niedostarczenie określonej ilości usług, – brak zgodności z normami bezpieczeństwa, – wzrost kosztów, zmiany technologiczne
RYZYSKO ZWIĄZANE Z POPYTEM	– konkurencyjność, zmienność popytu, – nowe trendy rynkowe, – używanie przestarzałych technologii.
RYZYSKO POLITYCZNE	– częste zmiany rządów, – konflikty wewnętrzne i zewnętrzne, – zmiany społeczne w kraju
RYZYSKO LEGISLACYJNE	– niekorzystne zmiany w przepisach wpływające na działalność inwestycyjną
RYZYSKO MAKROEKONOMICZNE	– inflacja, – zmiany kursów walut, – zmiany demograficzne, – wzrost gospodarczy
RYZYSKO ZWIĄZANE Z SIŁĄ WYŻSZĄ	– pandemia, – powódzie, pożary itp.

Źródło: opracowanie własne na podstawie²⁵

Proces zarządzania ryzykiem

Ryzyko, które towarzyszy realizacji wszelkich działań podejmowanych w przedsiębiorstwie, jest nierozzerwalnie związane z procesem decyzyjnym i stanowi integralny

²⁰ Myszak J.M., Sowa M. Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw. Problemy Transportu i Logistyki, nr 4(36), s. 175–186, 2016

²¹ Thlon M. Charakterystyka i klasyfikacja ryzyka w działalności gospodarczej. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie. Ekonomia, nr 902, s. 17–36, 2013

²² Zawila-Niedźwiecki J. Pojęcie ryzyka operacyjnego i klasyfikacja jego rodzajów. Przegląd Organizacji, Nr 6 (845), ss. 19–21, 2010

²³ Borkowski P. Ryzyko jako czynnik decyzyjny w realizacji dużych projektów Infrastrukturalnych. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu = Research Papers of Wrocław University of Economics; 2010; Nr 111, s. 41–55, 2010

²⁴ Iwaszczuk N, Bartosz Ł., Ivashchuk O. Ryzyko wahań poziomu marż produktowych źródłem zagrożenia dla rozwoju ekonomicznego rafinerii. Przedsiębiorczość i Zarządzanie, t. 18, z. 9, cz. 2, s. 47–63, 2017

²⁵ Kisielewski P., Stanek A. Klasyfikacja zagrożeń w łańcuchu dostaw i wybrane metody analizy i oceny ryzyka. Autobusy, 6, 1415–1424, 2017

element działalności każdego podmiotu gospodarczego, ponieważ nie można go całkowicie wyeliminować²⁶. Z perspektywy bezpieczeństwa, przyjmuje się, że skutki podjętych decyzji wywierają wyłącznie negatywny wpływ na przedsiębiorstwo. W związku z tym zarządzanie ryzykiem, które ma na celu zapobieganie potencjalnym szkodom i stratom, nabiera strategicznego znaczenia dla zarządzania przedsiębiorstwem. Według normy ISO 73:2009 zarządzanie ryzykiem to „...skoordynowane działania dotyczące kierowania i nadzorowania organizacją w odniesieniu do ryzyka”. Zgodnie z obowiązującymi normami, proces zarządzania ryzykiem obejmuje ocenę ryzyka, która składa się z jego identyfikacji, analizy oraz ewaluacji. W myśl normy ISO 73:2009 ewaluacja ryzyka definiowana jest jako proces zestawienia wyników analizy ryzyka z wcześniej zdefiniowanymi kryteriami ryzyka i ich porównania, co pozwala określić, czy poziom ryzyka jest akceptowalny. Proces zarządzania ryzykiem powinien stanowić integralną część wszystkich działań podejmowanych w ramach działalności gospodarczej. Wymaga to opracowania odpowiedniej strategii, która zapewni równowagę między celami zawartymi w strategii przedsiębiorstwa a ich bezpieczną realizacją. Osiągnięcie tej równowagi jest możliwe jedynie wtedy, gdy przedsiębiorstwo posiada strukturę organizacyjną dostosowaną do panujących wymogów, cele są jasno określone, proces planowania jest zrozumiały i przejrzysty, a role przypisane członkom organizacji są im dobrze znane²⁷. Szacowanie ryzyka w procesie zarządzania ryzykiem opiera się na analizie, która uwzględnia skutki pochodzenia ekonomicznego, środowiskowego oraz socjologicznego, a następnie podejmowane są decyzje mające na celu zredukowanie skutków ryzyka do akceptowalnego poziomu²⁸. Zarządzanie ryzykiem to proces zamknięty w logiczną pętlę, składający się z ściśle określonych etapów, które następują po sobie i wzajemnie się determinują. Zgodnie z uznanymi i obowiązującymi standardami, proces ten obejmuje następujące działania:

- dogłębne zrozumienie istoty prowadzonej działalności oraz wyznaczenie głównych celów strategicznych,
- identyfikację ryzyka,
- jego analizę,
- ocenę prowadzącą do hierarchizacji ryzyka oraz
- reagowanie na nie poprzez zarządzanie ryzykiem, co przejawia się w zapewnieniu skuteczności działań kontrolnych, monitoringu i raportowaniu obszarów objętych ryzykiem²⁹.

Proces zarządzania ryzykiem definiowany jest poprzez etapy lub fazy. W ujęciu proces ten składa się z sześciu faz, które zostały przedstawione w tabeli 2.

²⁶ Kulińska E. Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw. *Logistyka*, nr 1, s. 18–21, 2007

²⁷ Wróblewski D. Zarządzanie ryzykiem. Przegląd wybranych metodyk. ISBN: 978-83-948534-0-2, 2018

²⁸ Wolanin J. Zarys teorii bezpieczeństwa obywateli. Ochrona ludności na czas pokoju, Warszawa 2005.

²⁹ Młodzik E. Risk Identification Key Element of Risk Management in Economic Entities. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia*, nr 61, T. 2, s. 439-450, 2013

Tabela 2. Fazy procesu zarządzania ryzykiem i realizowane czynności

FAZA PROCESU ZARZĄDZANIA RYZYKIEM	REALIZOWANE CZYNNOŚCI
1. IDENTYFIKACJA RYZYKA OBEJMUJĄCA BUDOWANIE SYSTEMU OSTRZEGANIA	– określenie rodzaju ryzyka, – identyfikacja przyczyn ryzyka, – ustalenie skutków ryzyka, – identyfikacja podmiotów i obszarów narażonych na ryzyko
2. ANALIZA RYZYKA	– ustalenie prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia, – określenie konsekwencji zagrożenia
3. SFORMUŁOWANIE WARIANTÓW ZARZĄDZANIA RYZYKIEM	– tworzenie wariantów zarządzania ryzykiem, – analiza wariantów pod kątem kosztów
4. OCENA RYZYKA	– ocena zdolności organizacji do podejmowania ryzyka, – ustalenie faktycznego poziomu ryzyka, – dopasowanie metod zarządzania ryzykiem
5. ZARZĄDZANIE RYZYKIEM WŁAŚCIWE - PODEJMOWANIE DECYZJI W ZAKRESIE RYZYKA	– wybór narzędzi do zarządzania ryzykiem, – ustalenie priorytetów, – zastosowanie odpowiednich kombinacji wariantów.
6. KONTROLA, MONITORING I OCENA PODJĘTYCH DZIAŁAŃ	– ocena skutków działań, – wprowadzenie ulepszeń w procesie zarządzania ryzykiem, – kontynuacja korzystania z ustalonych metod w przypadku sukcesu

Aby implementacja procesu zarządzania ryzykiem była skuteczna, konieczna jest właściwa identyfikacja ryzyka specyficznego dla danego podmiotu gospodarczego. Wymaga to przeanalizowania struktury przedsiębiorstwa oraz określenia wszystkich możliwych obszarów ryzyka³⁰. Kluczowym elementem identyfikacji ryzyka jest określenie rodzajów ryzyka, na które przedsiębiorstwo jest narażone, a także zidentyfikowanie potencjalnych zagrożeń, które mogą stanowić przeszkodę w realizacji celów strategicznych^{31,32}.

³⁰ Dec P., Szczerbak M. Modele predykcji bankructwa a zasady postępowania z bankami. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sekcja H. Oeconomia*, tom. 50, nr 4, s. 50. 59-68, 2016

³¹ Jajuga K., Jajuga T. Inwestycje. Instrumenty finansowe, ryzyko finansowe, inżynieria finansowa. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Naukowe, s. 99, 1998

³² Krombel A. Kluczowe ryzyka i ich klasyfikacje w praktyce mikro i małych przedsiębiorstw. *Ekonomiczne Problemy Usług* nr 81, 229-239, 2011

Identyfikacja i ocena ryzyka w łańcuchu dostaw wybranego przedsiębiorstwa

Łańcuch dostaw to złożony system procesów w którym współdziałają różne podmioty – od dostawców surowców, przez producentów, aż po dystrybutorów i klientów końcowych. W takiej strukturze pojawia się wiele ryzyka, które mogą zakłócić ciągłość dostaw, obniżyć ich jakość lub wpłynąć na terminowość realizacji zamówień. W przeprowadzonej analizie skupiono się na rzeczywistych przypadkach zakłóceń w łańcuchach dostaw, bazując na danych dotyczących konkretnych tras transportowych i identyfikując kluczowe czynniki wpływające na efektywność procesów logistycznych. Zidentyfikowane ryzyka wynikają z obserwacji rzeczywistych dostaw i są istotnym elementem zarządzania łańcuchem dostaw w analizowanym przedsiębiorstwie.

W ramach badania wyróżniono dwa kluczowe obszary ryzyka, które miały bezpośredni wpływ na przebieg analizowanych dostaw: warunki pogodowe, kongestię w portach, problemy techniczne z infrastrukturą portową, błędy w dokumentacji celnej oraz losowe kontrole celne i braki personelu. Poniżej przedstawiono szczegółową charakterystykę ryzyka wraz z ich rzeczywistymi konsekwencjami:

Warunki pogodowe:

- warunki atmosferyczne okazały się jednym z kluczowych czynników wpływających na terminowość dostaw, zwłaszcza w regionach o zmiennym klimacie, takich jak Azja Południowo-Wschodnia. Silne zjawiska atmosferyczne, w tym cyklony, burze tropikalne czy mgła, miały wpływ na harmonogram transportu, prowadząc do opóźnień w procesach załadunku i rozładunku.

Kongestia w portach:

- nadmierne obłożenie portów stanowi istotne ryzyko, zwłaszcza w kluczowych węzłach logistycznych, takich jak Rotterdam czy Houston. Problem ten wynika przede wszystkim z ograniczonej przepustowości portów w stosunku do liczby obsługiwanych jednostek, co prowadzi do wydłużenia czasu oczekiwania na przeładunek.

Problemy techniczne z infrastrukturą portową:

- jakość infrastruktury portowej oraz jej stan techniczny mają kluczowe znaczenie dla efektywnego przeładunku i transportu towarów. W wielu regionach, szczególnie w Azji Południowo-Wschodniej oraz Afryce, porty dysponują przestarzałymi urządzeniami przeładunkowymi, co zwiększa ryzyko awarii i przestojów.

Błędy w dokumentacji celnej:

- Dokumentacja celna to jeden z kluczowych elementów w międzynarodowym handlu. Błędy w dokumentach, brakujące deklaracje, błędne dane czy niezgodność z lokalnymi przepisami mogą powodować blokady celne i wydłużone procedury odprawy. Problem ten jest szczególnie istotny w krajach o skomplikowanych regulacjach celnych, takich jak Chiny, Stany Zjednoczone czy kraje Bliskiego Wschodu.

Losowe kontrole celne i braki personelu:

- kontrole celne są standardowym elementem transportu międzynarodowego, jednak losowość ich przeprowadzania sprawia, że są one trudne do przewidzenia

i zaplanowania w harmonogramach dostaw. Dodatkowym problemem są braki kadrowe w portach i na granicach, które prowadzą do dłuższego oczekiwania na odprawę i wydłużenia całego procesu transportowego.

Występowanie ryzyka w łańcuchu dostaw nie pozostaje bez konsekwencji dla funkcjonowania przedsiębiorstw oraz ich zdolności do terminowego i efektywnego realizowania dostaw. Zakłócenia wynikające z ww. czynników mają bezpośredni wpływ na płynność operacji logistycznych, a ich skutki mogą rozciągać się na różne etapy łańcucha dostaw. Do najczęściej obserwowanych konsekwencji należy obniżenie wskaźnika niezawodności dostaw, wzrost średniego czasu opóźnień, a także straty finansowe wynikające z konieczności magazynowania towarów, przestojów w produkcji czy kar umownych. Opóźnienia w dostawach mogą także wpływać na relacje z klientami i kontrahentami, ograniczając konkurencyjność przedsiębiorstwa na rynku.

Poniżej przedstawiono kluczowe skutki ryzyka, które zostały zaobserwowane w analizowanych łańcuchach dostaw:

1. Obniżenie wskaźnika niezawodności dostaw:

- Wskaźnik niezawodności dostaw (mierzony jako odsetek dostaw zrealizowanych na czas i w pełnej ilości) w analizowanych trasach oscylował na poziomie 40%–80%. Najniższe wskaźniki dotyczyły tras z Yantian do Rotterdamu (40 ft Dry), gdzie liczne opóźnienia obniżyły jakość realizacji dostaw.

2. Zwiększenie średniego czasu opóźnień:

- Średni czas opóźnienia w przypadku kluczowego ryzyka, takiego jak warunki pogodowe, kongestia czy problemy techniczne, wynosił od 2 do 5 dni, co znacząco wpływa na harmonogramy produkcyjne oraz dalsze procesy logistyczne.

3. Straty finansowe:

- Każde opóźnienie w dostawach generuje dodatkowe koszty, związane z koniecznością przechowywania towarów, karami umownymi czy przesunięciem terminów produkcji. Dla firm produkcyjnych oznacza to również ryzyko utraty zaufania klientów.

4. Zaburzenia w planowaniu produkcji:

- W przypadku długich opóźnień dostawy kluczowych komponentów lub surowców firmy mogą być zmuszone do wstrzymania produkcji, co prowadzi do strat operacyjnych.

Charakterystyka ryzyka w zależności od korytarza transportowego

Trasy między Azją a Europą:

Trasy takie jak Shanghai-Gdańsk czy Yantian-Rotterdam cechują się wysokim ryzykiem związanym z pogodą, kongestią portów oraz problemami technicznymi. To wynika z dużego ruchu transportowego w tych regionach i ograniczeń infrastrukturalnych.

Trasy między Azją a Ameryką:

Na trasach takich jak Hong Kong-Houston szczególnie istotne są problemy z dokumentacją oraz kongestia w portach amerykańskich, gdzie procesy celne bywają bardziej skomplikowane.

Trasy wewnątrz Azji:

W regionach wewnątrz Azji (np. Shanghai-Manzanillo) dominują ryzyka związane z warunkami pogodowymi oraz problemami infrastrukturalnymi, zwłaszcza w portach przeładunkowych.

Poniżej w tabelach 3 i 4 przedstawiono liczbę występujących ryzyk dla poszczególnych tras w podziale na transport kontenerów 20 ft i 40 ft Dry. Przeanalizowano łącznie 47 dostaw.

Tabela 3. Liczba i rodzaj ryzyka występujących w łańcuchu dostaw kontenerów 20 ft Dry

Trasa	Warunki pogodowe	Kongestia w porcie	Problemy techniczne	Błędy dokumentacyjne	Kontrole celne
Azja (Ho Chi Minh) – Europa (Rotterdam) (20 ft Dry)	8	6	-	-	-
Azja (Shanghai) – Europa (Gdańsk) (20 ft Dry)	5	-	2	1	-
Azja (Yantian) – Europa (Rotterdam) (20 ft Dry)	4	-	-	1	3

Tabela 4. Liczba i rodzaj ryzyka występujące w łańcuchu dostaw kontenerów 40 ft Dry

Trasa	Warunki pogodowe	Kongestia w porcie	Problemy techniczne	Błędy dokumentacyjne	Kontrole celne
Azja (Ho Chi Minh) – Europa (Rotterdam) (40 ft Dry)	6	4	-	-	-
Azja (Shanghai) – Europa (Gdańsk) (40 ft Dry)	4	-	1	-	-
Azja (Yantian) – Europa (Rotterdam) (40 ft Dry)	5	-	1	1	4

Przeanalizowano ryzyko występujące w łańcuchach dostaw kontenerów o pojemności 20 ft Dry oraz 40 ft Dry dla różnych tras przewozowych z Azji do Europy. Ryzyka te podzielono na pięć głównych kategorii: **warunki pogodowe, kongestia w porcie, problemy techniczne, błędy dokumentacyjne oraz kontrole celne**. Jak przedstawiono w tabelach 3 i 4, liczba oraz rodzaje ryzyka różnią się w zależności od analizowanej trasy transportowej dla kontenerów 20 i 40 ft Dry. Z danych wynika, że największym wyzwaniem w przypadku trasy Azja (Ho Chi Minh) – Europa (Rotterdam) są warunki pogodowe (8 przypadków) oraz kongestia w porcie (6 przypadków). W przypadku trasy Azja (Shanghai) – Europa (Gdańsk) dominującymi zagrożeniami są warunki pogodowe (5 przypadków) oraz problemy techniczne (2 przypadki). Z kolei trasa Azja (Yantian) – Europa (Rotterdam) charakteryzuje się stosunkowo niskim poziomem zagrożeń, przy czym odnotowano 3 przypadki kontroli celnych.

W przypadku kontenerów 40ft Dry najwięcej przypadków ryzyka odnotowano na trasie Azja (Ho Chi Minh) – Europa (Rotterdam), gdzie warunki pogodowe (6 przypadków) oraz kongestia w porcie (4 przypadki) stanowią główne zagrożenia. Trasa Azja (Yantian)

– Europa (Rotterdam) charakteryzuje się stosunkowo dużą liczbą kontroli celnych (4 przypadki), co może wskazywać na specyficzne regulacje związane z tym szlakiem handlowym.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że warunki pogodowe stanowią kluczowe ryzyko w transporcie kontenerowym, niezależnie od pojemności kontenera i trasy. Kongestia w porcie jest istotnym problemem na trasach do Rotterdamu, co może wskazywać na ograniczoną przepustowość tego portu. Problemy techniczne i błędy dokumentacyjne występują sporadycznie, jednak ich wpływ na logistykę może być znaczący. Kontrole celne są najbardziej dotkliwe dla trasy Azja (Yantian) – Europa (Rotterdam), co sugeruje konieczność optymalizacji procesów odprawy celnej.

Przeanalizowano łącznie 47 dostaw, a średnia niezawodność dostaw wynosiła 82%, co wskazuje na konieczność dalszej optymalizacji procesów logistycznych i zarządzania ryzykiem w transporcie morskim.

Ocena ryzyka w wybranych łańcuchach dostaw

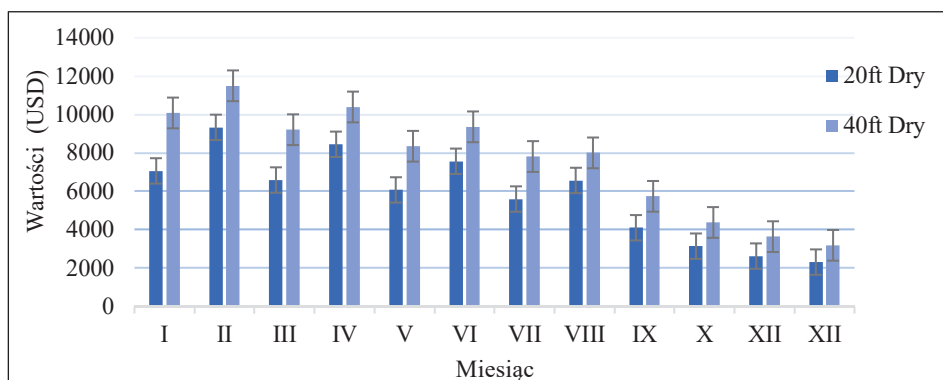
W celu dokonania oceny ryzyka w analizowanym łańcuchu dostaw wybranego przedsiębiorstwa, przeprowadzono obliczenia na podstawie wybranych wskaźników transportowych i logistycznych. Analiza ta pozwoliła na identyfikację kluczowych czynników wpływających na efektywność transportu oraz ocenę ich zmienności w czasie. Wskaźniki zastosowane w analizie obejmują średni koszt transportu, procentową zmianę kosztów, udział poszczególnych składników w kosztach całkowitych, koszt transportu przypadający na jeden kontener. Każdy z tych wskaźników dostarcza istotnych informacji na temat efektywności zarządzania łańcuchem dostaw, a ich interpretacja pozwala na ocenę potencjalnych zagrożeń oraz możliwości optymalizacji procesów logistycznych.

Tabela 5 oraz rysunek 1 przedstawiają wartości średniego kosztu transportu kontenerów 20 ft Dry oraz 40 ft Dry w kolejnych miesiącach analizowanego okresu. Dane te pozwalają na ocenę dynamiki zmian kosztów oraz wskazanie możliwych trendów i czynników wpływających na ich zmienność. Analiza miesięcznych kosztów transportu umożliwia określenie sezonowych wahań oraz potencjalnych czynników ryzyka związanych z kosztami przewozu towarów. Analiza wyników wskaźników pozwala określić stopień ryzyka występującego w transporcie oraz wskazać elementy wymagające usprawnień. W szczególności uwzględniono zmienność kosztów transportu w czasie, wpływ poszczególnych składników na łączny koszt dostawy, a także poziom terminowości realizacji zamówień. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń możliwe było zidentyfikowanie głównych źródeł ryzyka oraz sformułowanie rekomendacji dotyczących minimalizacji ich wpływu na funkcjonowanie przedsiębiorstwa.

Wszystkie wartości liczbowe zostały podane w dolarach amerykańskich (USD). Dane zostały zaprezentowane w podziale na typy kontenerów, co pozwala na bezpośrednie porównanie kosztów transportu dla obu jednostek. Wyniki przedstawione na rysunku wskazują, że koszty transportu kontenerów 40 ft Dry w całym roku były wyższe niż dla kontenerów 20 ft Dry.

Tabela 5. Wskaźnik średniego kosztu transportu dla poszczególnych miesięcy dla kontenerów 20ft Dry i 40ft Dry

Typ kontenera	Miesiąc											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
20ft Dry	7062	9332	6586	8450	6070	7564	5596	6565	4100	3139	2623	2310
40ft Dry	10082	11498	9209	10393	8347	9359	7812	8002	5736	4375	3636	3184



Rysunek 1. Wskaźnik średniego kosztu transportu dla kontenerów 20ft Dry i 40ft Dry

Średnia różnica pomiędzy tymi wartościami wynosiła 3500–5000 USD w zależności od miesiąca, co wynika przede wszystkim z większej pojemności ładunkowej kontenerów 40 ft Dry, a tym samym wyższych kosztów operacyjnych związanych z ich przewozem. Dane wskazują na sezonowe wahania kosztów transportu, szczególnie w okresie letnim (czerwiec–sierpień), kiedy koszty dla kontenerów 40 ft Dry osiągają najwyższe wartości. Najwyższy koszt transportu dla tego typu kontenerów odnotowano w sierpniu (VIII) i wyniósł on 13795 USD, co może być związane ze zwiększonym zapotrzebowaniem na transport w okresie szczytu handlowego. Natomiast najniższy koszt transportu kontenerów 40 ft Dry wystąpił w grudniu (XII) i wyniósł 3184 USD, co sugeruje, że popyt na transport w tym okresie jest mniejszy, co przekłada się na spadek stawek przewozowych. Podobna tendencja jest zauważalna w przypadku kontenerów 20 ft Dry, jednak skala fluktuacji kosztów jest mniej wyraźna. Najwyższy koszt transportu dla kontenerów 20 ft Dry odnotowano w marcu (III) gdzie wyniósł on 9332 USD, natomiast najniższy wystąpił w maju (V) i wyniósł 6070 USD. Może to wynikać z mniejszej wrażliwości tego segmentu transportu na wahania popytu oraz niższych kosztów operacyjnych związanych z transportem mniejszych jednostek.

Sezonowa zmienność kosztów transportu ww. kontenerów związana jest z następującymi czynnikami, takimi jak:

- wahania popytu na transport – w okresach szczytowych (np. lato) większa liczba zamówień wpływa na wzrost stawek przewozowych.
- czynniki operacyjne – większa liczba operacji logistycznych i dłuższy czas oczekiwania na załadunek w kluczowych portach może powodować wzrost kosztów transportu.
- koszty paliwa – ceny paliwa mają istotny wpływ na końcowy koszt przewozu, a ich zmienność w ciągu roku wpływa na stawki transportowe.

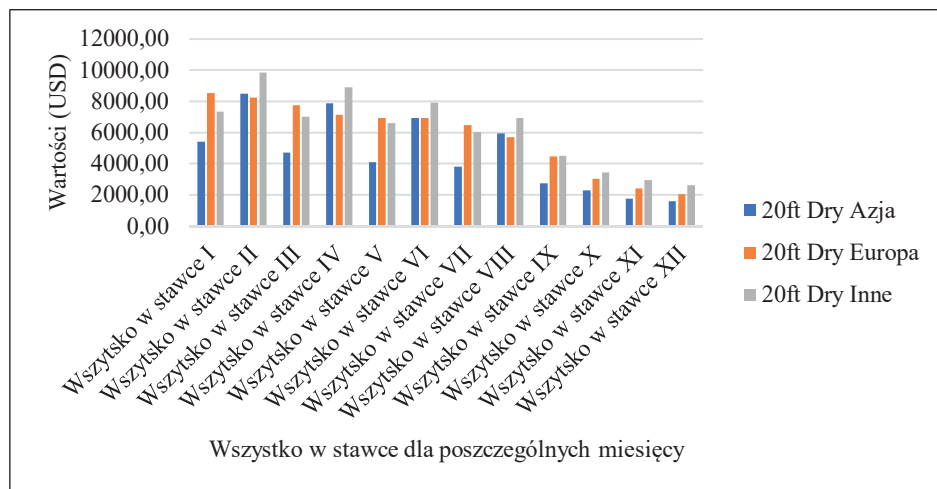
Analiza przedstawionych danych pozwala na sformułowanie kilku kluczowych wniosków. Po pierwsze, wyraźnie widoczne są sezonowe wahania kosztów transportu, co sugeruje konieczność uwzględniania tych zmian w strategii zarządzania łańcuchem dostaw. Po drugie, różnica w kosztach transportu między kontenerami 20 ft Dry i 40 ft Dry wskazuje na konieczność wyboru odpowiedniej strategii wyboru jednostek przewozowych w zależności od warunków rynkowych i specyfiki przewożonych towarów. Zmienność kosztów transportu w poszczególnych miesiącach wskazuje na możliwość planowania przewozów w okresach niższych kosztów, co mogłoby prowadzić do redukcji wydatków logistycznych przedsiębiorstwa.

Tabela 6 oraz rysunki 2 i 3 przedstawiają szczegółowe dane dotyczące stawek frachtowych dla kontenerów 20 ft Dry oraz 40 ft Dry, uwzględniając podział na trzy regiony: Azję, Europę oraz inne rynki. Analiza obejmuje okres 12 miesięcy, co umożliwia ocenę dynamiki zmian cen transportu morskiego oraz identyfikację kluczowych trendów wpływających na koszty przewozu towarów.

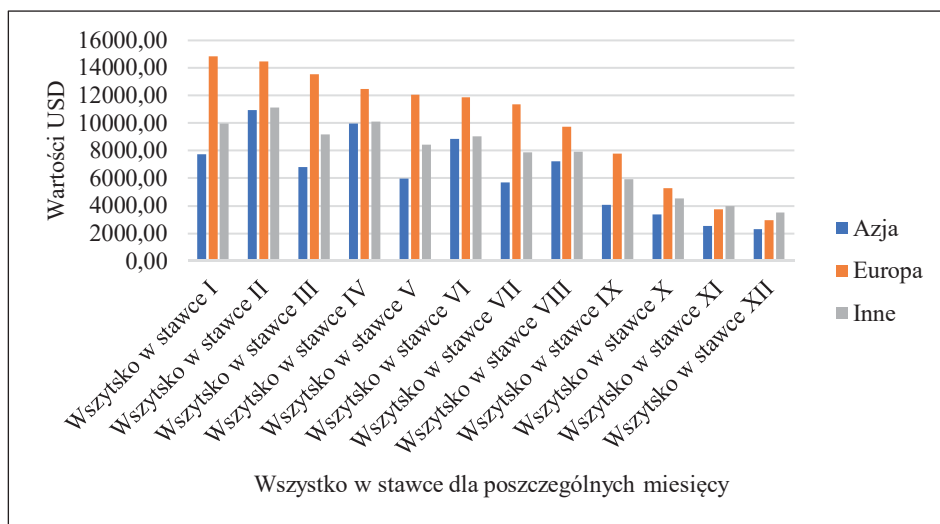
Wyniki analizy wskazują, że Azja charakteryzuje się najwyższymi stawkami frachtowymi przez większość roku, szczególnie w pierwszym półroczu (Rate I – VI). Jest to prawdopodobnie związane z dużym zapotrzebowaniem na przewóz towarów z tego regionu oraz ograniczeniami przepustowości w portach azjatyckich, co prowadzi do wzrostu kosztów transportu. Europa wykazuje bardziej stabilne stawki frachtowe, które pozostają relatywnie niższe niż w Azji, co może wynikać z mniejszej sezonowości przewozów oraz bardziej przewidywalnych warunków rynkowych. Region "Inne" cechuje się większą zmiennością cen frachtu, przy czym w niektórych miesiącach stawki przewyższają wartości notowane w Europie. Może to sugerować, że w tych rejonach istnieją lokalne uwarunkowania logistyczne lub sezonowe ograniczenia przepustowości portów.

Tabela 6. Zmiany stawek frachtowych dla kontenerów w podziale na regiony i typy kontenerów

Typ kontenera	Region	Wszystko w stawce I	Wszystko w stawce II	Wszystko w stawce III	Wszystko w stawce IV	Wszystko w stawce V	Wszystko w stawce VI	Wszystko w stawce VII	Wszystko w stawce VIII	Wszystko w stawce IX	Wszystko w stawce X	Wszystko w stawce XI	Wszystko w stawce XII
20ft Dry	Azja	5410,00	8497,33	4733,33	7865,41	4104,44	6927,86	3806,67	5958,29	2752,22	2312,22	1766,67	1614,44
20ft Dry	Europa	8540,00	8238,00	7740,00	7144,00	6918,00	6948,00	6470,00	5694,00	4482,00	3044,00	2426,00	2034,00
20ft Dry	Inne	7350,38	9832,38	7006,54	8904,18	6587,31	7904,05	6047,69	6943,28	4493,08	3444,87	2957,69	2604,23
40ft Dry	Azja	7732,22	10943,56	6817,78	9986,37	5982,22	8851,26	5700,00	7213,27	4048,89	3364,44	2546,67	2306,67
40ft Dry	Europa	14864,00	14492,00	13546,00	12494,00	12044,00	11876,00	11356,00	9734,00	7782,00	5276,00	3748,00	2968,00
40ft Dry	Inne	9976,92	11114,62	9203,08	10130,21	8454,62	9051,25	7862,69	7941,95	5927,69	4552,05	3991,92	3529,62



Rysunek 2. Zmiany stawek frachtowych dla kontenerów 20 ft Dry w podziale na regiony i miesiące



Rysunek 3. Zmiany stawek frachtowych dla kontenerów 40 ft Dry w podziale na regiony i miesiące

Porównanie stawek frachtowych dla kontenerów 20 ft Dry i 40 ft Dry pokazuje, że większe kontenery charakteryzują się wyższymi kosztami transportu. Wynika to z ich większej pojemności oraz wyższych kosztów operacyjnych związanych z obsługą logistyczną. Jednakże, analiza rysunku 6 wskazuje, że różnice te nie są jednakowe dla wszystkich regionów – w niektórych okresach koszty frachtu dla kontenerów 40 ft Dry w regionie "Inne" przewyższają nawet wartości notowane dla Europy, co sugeruje

potencjalne bariery logistyczne lub wzrost popytu na tego typu przewozy w wybranych miesiącach.

Analiza miesięcznych zmian kosztów transportu uwidacznia wyraźne wahania sezonowe. Najwyższe wartości frachtu dla większości regionów odnotowano w pierwszym kwartale (styczeń – marzec) oraz na przełomie lata i jesieni (lipiec – sierpień). Może to wynikać z:

- wzmożonego popytu na transport przed okresem świątecznym i noworocznym (w szczególności w Azji),
- zwiększonego wolumenu przewozów przed sezonem letnim i jesiennym (np. w Europie),
- ograniczeń infrastrukturalnych w niektórych portach, wpływających na przepustowość transportową.

Z kolei najniższe wartości frachtu odnotowano w końcowych miesiącach roku (Rate IX – XII), co sugeruje mniejsze natężenie przewozów w tym okresie.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że region Azji charakteryzuje się najwyższymi kosztami transportu, co może być wynikiem dużego zapotrzebowania na przewóz towarów oraz ograniczeń przepustowości portów. Europa wykazuje większą stabilność cen frachtu, a jej stawki pozostają niższe w porównaniu do Azji. Natomiast region "Inne" odznacza się większą zmiennością cen, a w niektórych okresach przewyższa nawet poziom stawek europejskich. Kontenery 40 ft Dry są droższe w transporcie niż 20 ft Dry, jednak różnice te nie są jednolite dla wszystkich regionów i mogą wynikać z lokalnych warunków logistycznych. Można zaobserwować sezonowe wahania kosztów transportu, z najwyższymi wartościami na początku roku oraz w okresie letnim, co powinno być brane pod uwagę przy planowaniu łańcucha dostaw.

Przedstawiona analiza bezpośrednio odnosi się do identyfikacji ryzyka w łańcuchu dostaw poprzez ocenę zmienności kosztów frachtu oraz ich wpływu na logistykę przedsiębiorstw. Wyniki te wskazują, że kluczowym ryzykiem jest sezonowa zmienność stawek transportowych, szczególnie w regionie Azji, co może prowadzić do wyższych kosztów operacyjnych oraz problemów z dostępnością przestrzeni ładunkowej w okresach szczytowych.

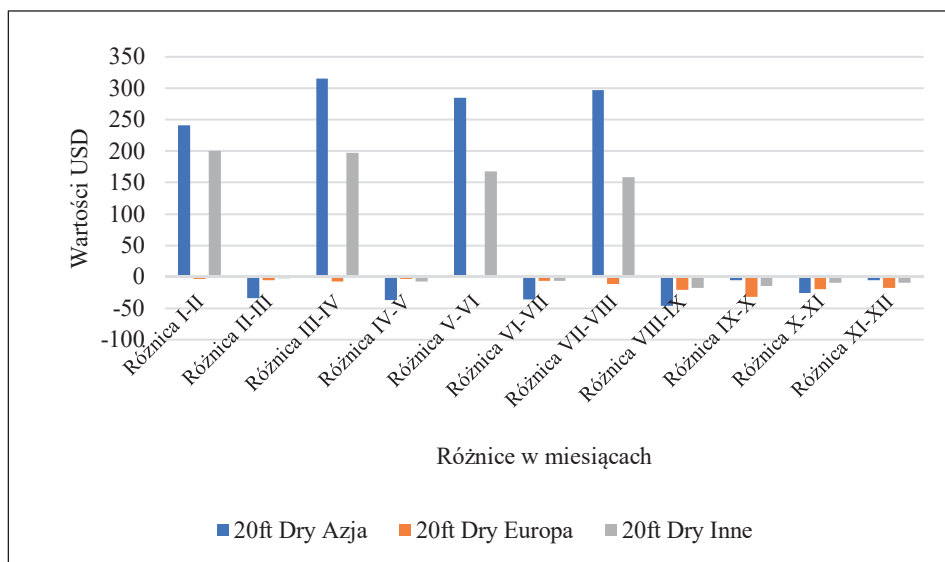
W kontekście zarządzania ryzykiem w łańcuchu dostaw, rekomendowane jest:

- długoterminowe planowanie przewozów w okresach wzmożonego popytu, aby uniknąć gwałtownego wzrostu kosztów transportu.
- dywersyfikacja kierunków dostaw, co może pomóc w ograniczeniu ryzyka wysokich stawek w regionach o dużej zmienności cenowej
- monitorowanie sezonowości frachtu, co pozwoli na dostosowanie strategii transportowej w zależności od okresu roku i specyfiki danego regionu.

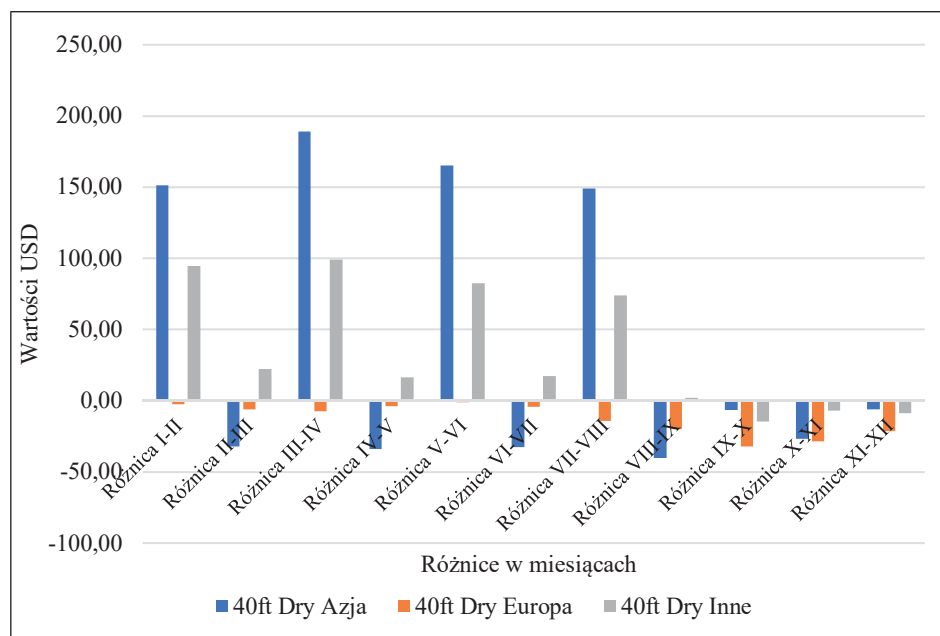
Tabela 7 oraz rysunki 4 i 5 przedstawiają szczegółowe dane dotyczące zmian stawek frachtowych dla kontenerów 20 ft Dry oraz 40 ft Dry w podziale na regiony (Azja, Europa, Inne) oraz kolejne okresy czasowe w skali roku. Analiza tych danych ma kluczowe znaczenie dla oceny ryzyka w łańcuchu dostaw oraz identyfikacji czynników wpływających na zmienność kosztów transportu.

Tabela 7. Zmiany stawek frachtowych dla kontenerów 20 ft i 40 ft w podziale na regiony i okresy czasowe.

Typ kontenera	Region	Różnica I-II	Różnica II-III	Różnica III-IV	Różnica IV-V	Różnica V-VI	Różnica VI-VII	Różnica VII-VIII	Różnica VIII-IX	Różnica IX-X	Różnica X-XI	Różnica XI-XII
20ft Dry Azja		241,19	-33,67	315,54	-36,72	284,57	-36,09	296,90	-46,63	-5,70	-25,6	-5,45
20ft Dry Europa		-3,54	-5,40	-7,57	-3,24	0,56	-6,86	-12,04	-21,03	-31,90	-20,17	-17,19
20ft Dry Inne		200,22	-1,97	196,79	-7,02	167,69	-6,10	158,17	-17,56	-14,51	-9,07	-9,11
40ft Dry Azja		151,21	-32,11	189,23	-34,09	165,00	-32,48	148,96	-40,44	-6,67	-26,55	-5,92
40ft Dry Europa		-2,46	-6,23	-7,60	-3,62	-1,31	-4,40	-14,25	-19,96	-32,07	-28,54	-21,14
40ft Dry Inne		94,53	22,40	99,27	16,53	82,51	17,52	73,86	2,10	-14,58	-6,93	-8,87



Rysunek 4. Zmiany stawek frachtowych dla kontenerów 20 ft Dry w podziale na regiony i okresy czasowe



Rysunek 5. Zmiany stawek frachtowych dla kontenerów 40 ft Dry w podziale na regiony i okresy czasowe

Dane wskazują, że największe zmiany notowane są w regionie Azji, zwłaszcza w przypadku kontenerów 40 ft Dry. Wzrosty i spadki w tym regionie są znacznie bardziej dynamiczne niż w Europie, co może być wynikiem zwiększonego popytu na przewozy towarowe, kongestii portowej oraz czynników zewnętrznych, takich jak polityka handlowa i dostępność zasobów transportowych. Największe różnice cenowe występują w pierwszych miesiącach roku (I-II) oraz w okresie letnim (VII-VIII), co sugeruje istnienie sezonowych szczytów przewozowych.

W Europie obserwuje się relatywnie mniejsze wahania stawek frachtowych, co może wskazywać na bardziej stabilne warunki rynkowe oraz mniejsze ryzyko związane z nagłymi zmianami kosztów przewozu. W regionie „Inne” zauważalne są bardziej zróżnicowane wartości frachtu – w niektórych okresach przewyższają one poziomy europejskie, jednak w drugiej połowie roku stabilizują się na niższym poziomie.

Region Azji charakteryzuje się największą zmiennością stawek frachtowych, zwłaszcza dla kontenerów 40 ft Dry, co sugeruje wyższe ryzyko kosztowe dla firm transportujących towary z tego regionu. Europa wykazuje stabilniejsze stawki frachtowe, co może sprzyjać długoterminowemu planowaniu logistyki i ograniczaniu ryzyka finansowego. Region „Inne” prezentuje większą nieprzewidywalność, z okresami znacznych wzrostów, jednak w dłuższym horyzoncie czasowym wartości te dążą do stabilizacji. Sezonowe szczyty cenowe w Azji i regionie „Inne” występują w pierwszych miesiącach roku oraz w okresie letnim, co wskazuje na konieczność dostosowania strategii logistycznych do

przewidywalnych wahań cenowych. Różnice między kontenerami 20 ft Dry i 40 ft Dry są bardziej zauważalne w Azji, co sugeruje, że wybór odpowiedniego typu kontenera może mieć kluczowe znaczenie dla optymalizacji kosztów transportu w tym regionie.

Dynamika zmian stawek frachtowych w różnych regionach oraz okresach czasowych stanowi istotny czynnik ryzyka w łańcuchu dostaw. Identyfikacja tych zmian umożliwia przedsiębiorstwom lepsze planowanie strategii transportowych oraz optymalizację kosztów. W kontekście zarządzania ryzykiem kluczowe są następujące aspekty:

- monitorowanie sezonowości kosztów frachtowych, co pozwala na podejmowanie działań prewencyjnych w okresach wzmożonych podwyżek.
- dywersyfikacja źródeł dostaw, aby zminimalizować negatywny wpływ fluktuacji stawek frachtowych w najbardziej narażonych regionach.
- optymalizacja wyboru typu kontenera, zwłaszcza w regionach o dużych różnicach cenowych pomiędzy 20 ft Dry a 40 ft Dry.

Uzyskane wyniki mogą posłużyć jako podstawa do formułowania rekomendacji w zakresie usprawnienia procesów logistycznych oraz minimalizacji ryzyka związanych ze zmiennością stawek transportowych.

Metody zapobiegania ryzykom w łańcuchu dostaw w wybranym przedsiębiorstwie

Przedsiębiorstwo jako globalny lider w produkcji artykułów elektrycznych, operuje w skomplikowanym łańcuchu dostaw, obejmującym różne regiony świata. Firma obsługuje klientów z branży motoryzacyjnej, AGD oraz innych sektorów przemysłu, co wymaga stosowania zaawansowanych metod zarządzania ryzykiem.

Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw jest kluczowym elementem strategii logistycznej przedsiębiorstw działających na globalnym rynku. Wdrożenie skutecznych metod minimalizacji ryzyka pozwala na poprawę efektywności operacyjnej, redukcję kosztów oraz zapewnienie ciągłości dostaw. Raport specjalny Eurologistics Media Group z 2023 roku wskazuje, że 62% firm ograniczyło dostawy w trybie just-in-time, a 65% zaopatruje się u większej liczby dostawców w odpowiedzi na zakłócenia w łańcuchach dostaw³³.

Jednym z podstawowych działań ograniczających ryzyko zakłóceń w dostawach jest **dywersyfikacja źródeł zaopatrzenia**. Zastosowanie strategii "*multi-sourcing*", czyli pozyskiwania komponentów od różnych dostawców, pozwala uniknąć nadmiernej zależności od jednego partnera biznesowego. Jak wynika z raportu³⁴, firmy korzystające z wielokanałowych źródeł dostaw odnotowały o 30% mniejsze opóźnienia w dostawach w porównaniu do organizacji opierających się na pojedynczych dostawcach. W analizowanym przedsiębiorstwie istotnym elementem tej strategii jest np. pozyskiwanie magnesów neodymowych zarówno z Azji, jak i Europy, co pozwala na elastyczne reagowanie na zmiany geopolityczne i logistyczne.

Globalne firmy produkcyjne coraz częściej przenoszą swoje zakłady do strategicznych regionów, co zmniejsza ryzyko związane z transportem międzynarodowym. Jak

³³ Pozyskano z: https://issuu.com/eurologistics/docs/raport_2024_01_86

³⁴ Raport Broadband Consumer Survey 2022. Pozyskano z: <https://www.deloitte.com/pl/pl/Industries/telecom-media-entertainment/research/raport-broadband-consumer-survey-2022.html>

wskazuje raport³⁵, **regionalizacja produkcji** pozwala na redukcję kosztów logistycznych o około 20-25% oraz skrócenie czasu dostawy nawet o 50%. W analizowanym przedsiębiorstwie działania te obejmują rozbudowę zakładów produkcyjnych w Meksyku oraz Japonii, co pozwala na szybsze dostawy do kluczowych rynków oraz redukcję kosztów transportu i cel.

Monitorowanie ryzyka w łańcuchu dostaw jest obecnie znacznie ułatwione dzięki zastosowaniu **systemów ERP** (*Enterprise Resource Planning*) oraz **SCM** (*Supply Chain Management*). Według badania Gartnera (2022), przedsiębiorstwa wykorzystujące zautomatyzowane systemy do analizy ryzyka odnotowały o 40% mniej nieoczekiwanych zakłóceń w porównaniu do firm polegających na tradycyjnych metodach monitoringu. W analizowanym przedsiębiorstwie nie wdrożono jeszcze Internet of Things (IoT), jednak jego zastosowanie w przyszłości mogłoby umożliwić śledzenie statusu dostaw w czasie rzeczywistym oraz szybszą reakcję na potencjalne zagrożenia.

Z uwagi na rosnące problemy związane z kongestią w portach oraz zakłóceniami w transporcie morskim, przedsiębiorstwa stosują strategię zarządzania ryzykiem poprzez **opracowanie alternatywnych tras przewozu**. Raport Banku Światowego (2023)³⁶ wskazuje, że firmy wdrażające wielowariantowe scenariusze transportowe są w stanie ograniczyć opóźnienia o średnio 35%. W analizowanym przypadku, w sytuacji zatorów w Rotterdamie, przeniesiono część dostaw do mniejszych portów europejskich, co pozwoliło uniknąć opóźnień w realizacji zamówień.

Aby zabezpieczyć się przed stratami wynikającymi z uszkodzeń lub opóźnień w transporcie, przedsiębiorstwo korzysta z **kompleksowych polis ubezpieczeniowych** obejmujących najczęściej występujące zagrożenia logistyczne. Z danych Allianz³⁷ wynika, że blisko 60% firm z branży produkcyjnej odnotowało redukcję strat finansowych dzięki ubezpieczeniu transportu towarów.

Regularne audyty dostawców i standaryzacja jakości produktów pozwalają na wcześniejsze wykrycie potencjalnych problemów i ograniczenie ryzyka wystąpienia wadliwych komponentów. Badania przeprowadzone przez PwC (2023)³⁸ wykazały, że firmy stosujące ścisłą kontrolę jakości w łańcuchu dostaw osiągają średnio o 20% mniejszy wskaźnik reklamacji.

Utrzymywanie strategicznych zapasów kluczowych komponentów pozwala na kontynuowanie produkcji nawet w przypadku wystąpienia zakłóceń w dostawach. Jak wskazuje raport Logistics Management (2023)³⁹, przedsiębiorstwa, które utrzymywały buforowe zapasy w okresie pandemii COVID-19, były w stanie zredukować opóźnienia produkcyjne o 50% w porównaniu do firm działających na zasadzie "*just-in-time*".

³⁵ The Future of Jobs Report 2023. Pozyskano z: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2023/>

³⁶ Now downloading Fall-2023-ECA-Economic-Update-Sluggish-Growth-Rising-Risks. Pozyskano z: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstreams/ec2a6e41-517a-4977-9ead-c1fc21529903/download>

³⁷ Safety and Shipping Review 2025. Pozyskano z: <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/reports/shipping-safety.html>

³⁸ Poglądy kadry kierowniczej na temat biznesu w 2022 r. Pozyskano z: <https://www.pwc.com/us/en/library/pulse-survey/executive-views-2022.html>

³⁹ 2023 State of Logistics Report: Great logistics reset. Pozyskano z: https://www.logisticsmgmt.com/article/2023_state_of_logistics_report_great_logistics_reset

Geopolityka i napięcia handlowe mają znaczący wpływ na globalne łańcuchy dostaw. W związku z tym przedsiębiorstwa coraz częściej **analizują zmieniające się regulacje i dostosowują swoje strategie operacyjne**. W 2023 roku 38% firm produkcyjnych podjęło decyzję o przeniesieniu części produkcji do innych regionów w odpowiedzi na zmiany cel i taryf⁴⁰.

Analizowane przedsiębiorstwo wdrożyło szereg działań mających na celu minimalizację ryzyka w łańcuchu dostaw, obejmujących dywersyfikację dostawców, regionalizację produkcji, wdrożenie systemów cyfrowych oraz zarządzanie buforami magazynowymi. Przykłady te potwierdzają skuteczność strategii ograniczania ryzyka, co znajduje odzwierciedlenie w badaniach branżowych i raportach rynkowych.

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza danych pozwoliła na identyfikację kluczowych rodzajów ryzyka w łańcuchach dostaw przedsiębiorstwa oraz ocenę skuteczności stosowanych metod zarządzania tym ryzykiem. Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Warunki pogodowe oraz kongestia portowa stanowią dominujące czynniki ryzyka, mające istotny wpływ na terminowość dostaw, szczególnie w trasach azjatyckich, gdzie zakłócenia te powodują średnie opóźnienie o 4–7 dni. Zakłócenia wynikające z niekorzystnych warunków atmosferycznych są trudne do przewidzenia, co wymaga wdrożenia elastycznych strategii zarządzania ryzykiem oraz stosowania narzędzi predykcyjnych, które umożliwią prognozowanie i minimalizowanie negatywnych skutków opóźnień. Kongestia portowa, wynikająca zarówno ze wzmożonego ruchu transportowego, jak i ograniczonej przepustowości infrastruktury portowej, wskazuje na konieczność optymalizacji wyboru tras przewozowych oraz podejmowania współpracy z alternatywnymi portami w celu zmniejszenia ryzyka zatorów logistycznych.
2. Zmiany stawek frachtowych wykazują znaczną zmienność, szczególnie w regionie Azji, co zwiększa ryzyko kosztowe dla przedsiębiorstw działających w tym obszarze. Wysoka fluktuacja kosztów transportu morskiego może prowadzić do nieprzewidywalnych wzrostów wydatków operacyjnych, co wymaga wdrożenia strategii zarządzania kosztami, takich jak długoterminowe kontrakty frachtowe, hedging kosztów transportowych oraz dywersyfikacja dostawców usług logistycznych. W Europie ryzyko kosztowe pozostaje relatywnie niższe i bardziej stabilne, jednak również wymaga monitorowania trendów rynkowych oraz dostosowywania strategii zarządzania logistyką w zależności od zmieniającej się sytuacji gospodarczej i politycznej.
3. Średnia niezawodność dostaw wynosi 82%, co świadczy o stosunkowo wysokim poziomie efektywności logistycznej przedsiębiorstwa, ale jednocześnie wskazuje na potencjał dalszych usprawnień. Redukcja opóźnień może być osiągnięta poprzez

⁴⁰ World Trade Report 2023 — Reglobalization for a secure, inclusive and sustainable future. Pozyskano z: https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/wtr23_e.htm

optymalizację strategii transportowych, lepsze wykorzystanie systemów predykcyjnych oraz zwiększenie elastyczności w planowaniu logistycznym. Współpraca z portami oraz firmami logistycznymi w celu skrócenia czasu obsługi ładunków i poprawy terminowości realizacji zamówień stanowi kluczowy element działań na rzecz podniesienia wskaźnika niezawodności dostaw.

4. Wprowadzenie strategii dywersyfikacji dostawców oraz koncepcji nearshoringu mogłoby znacząco ograniczyć wpływ geopolitycznych napięć na funkcjonowanie łańcucha dostaw. Relokacja części produkcji bliżej rynków docelowych umożliwia zwiększenie stabilności operacyjnej przedsiębiorstw oraz zmniejszenie zależności od regionów o podwyższonym ryzyku logistycznym. Wzrost napięć handlowych, zmieniające się regulacje celne oraz niestabilność polityczna w wybranych regionach wymagają od przedsiębiorstw bardziej elastycznego podejścia do planowania strategicznego oraz poszukiwania alternatywnych źródeł dostaw surowców i komponentów.
5. Wdrażanie cyfryzacji i zaawansowanych systemów monitorowania frachtu staje się kluczowym elementem poprawy efektywności zarządzania łańcuchem dostaw. Zastosowanie technologii Internetu Rzeczy (IoT) oraz sztucznej inteligencji (AI) w predykcji zakłóceń transportowych umożliwiłoby szybsze reagowanie na potencjalne zagrożenia oraz optymalizację procesów logistycznych. Wykorzystanie danych w czasie rzeczywistym do analizy wydajności transportu, prognozowania ryzyka oraz automatyzacji procesów decyzyjnych może znacząco poprawić wskaźnik niezawodności dostaw i zmniejszyć prawdopodobieństwo wystąpienia nieprzewidzianych opóźnień.

Reasumując, wyniki przeprowadzonej analizy wskazują na konieczność dalszego doskonalenia strategii zarządzania ryzykiem w łańcuchach dostaw poprzez zastosowanie zróżnicowanych metod redukcji ryzyka, optymalizację tras transportowych oraz wdrażanie nowoczesnych technologii wspomagających zarządzanie logistyką. Osiągnięcie większej elastyczności w planowaniu oraz wykorzystanie zaawansowanych metod analitycznych może przyczynić się do ograniczenia ryzyka operacyjnego oraz poprawy konkurencyjności przedsiębiorstw na rynku globalnym.

Bibliografia

- Borkowski P. Ryzyko jako czynnik decyzyjny w realizacji dużych projektów Infrastrukturalnych. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu = Research Papers of Wrocław University of Economics; 2010; Nr 111, s. 41-55, 2010
- Christopher M. Logistics & Supply Chain Management. Harlow: Pearson Education, 2016
- Damodaran A. Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset. Wyd. 2. New York: Wiley Finance, s. 78, 2002
- Dec P., Szczerbak M. Modele predykcji bankructwa a zasady postępowania z bankami. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sekcja H. Oeconomia, tom. 50, nr 4, s. 50. 59-68, 2016
- Encyklopedia multimedialna. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Naukowe, 1996

- Gaschi-Uciecha A. Istota ryzyka w procesach logistycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie, s. 70, 119-129, 2014
- Gędek S. Defining risk. Research papers of wrocław university of economics. nr 513, ISSN 1899-3192, DOI: 10.15611/pn.2018.513.11, 2018
- Iwaszczuk N, Bartosz Ł., Ivashchuk O. Ryzyko wahań poziomu marż produktowych źródłem zagrożenia dla rozwoju ekonomicznego rafinerii. Przedsiębiorczość i Zarządzanie, t. 18, z. 9, cz. 2, s. 47-63, 2017
- Jajuga K., Jajuga T. Inwestycje. Instrumenty finansowe, ryzyko finansowe, inżynieria finansowa. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Naukowe, s. 99, 1998
- Jajuga K., Jajuga T. Inwestycje. Instrumenty finansowe, ryzyko finansowe, inżynieria finansowa. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Naukowe, s. 99, 1998
- Kaczmarek T. Ryzyko i zarządzanie ryzykiem. Ujęcie interdyscyplinarne. Warszawa: Difin, s. 53, 2006
- Kisielewski P., Stanek A. Klasyfikacja zagrożeń w łańcuchu dostaw i wybrane metody analizy i oceny ryzyka. Autobusy, 6, 1415-1424, 2017
- Kokot-Ściepien P. Identyfikacja ryzyka jako kluczowy element zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 855, s. 533-544, DOI: 10.18276/frfu.2015.74/1-46, 2015
- Kreim E. Zukunftsorientierte Kreditentscheidung. Wiesbaden: Gabler, s. 15, 1988
- Krombel A. Kluczowe ryzyka i ich klasyfikacje w praktyce mikro i małych przedsiębiorstw. Ekonomiczne Problemy Usług nr 81, 229-239, 2011
- Kulińska E. Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw. Logistyka, nr 1, s. 18–21, 2007
- Kwieciński M. Procesowe i systemowe ujęcie procesu zarządzania bezpieczeństwem. Bezpieczeństwo. Teoria i Praktyka, nr 2, s. 57–64, 2012
- Lejek J. Ryzyko w projektach transportowych. Przegląd komunikacyjny. 12, 2-9, 2022
- Malaga-Toboła U, Pawlarczyk R, Kwaśniewski D, Kuboń M. Ocena ryzyka w łańcuchu dostaw na przykładzie hurtowni spożywczej. Ekonomia i Organizacja Logistyki 7(1):63, 2543-8867, 2450-8055, DOI:10.22630/EIOL.2022.7.1.5, 2022
- ManMohan S. Sodhi, Christopher S. Tang. Managing Supply Chain Risk. Springer New York, NY, ISBN978-1-4614-3237-1. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3238-8>, 2012
- Młodzik E. Risk Identification Key Element of Risk Management in Economic Entities. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia, nr 61, T. 2, s. 439-450, 2013
- Myszak J.M., Sowa M. Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw. Problemy Transportu i Logistyki, nr 4(36), s. 175-186, DOI: 10.18276/ptl.2016.36-19, 2016
- Myszak J.M., Sowa M. Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw. Problemy Transportu i Logistyki, nr 4(36), s. 175-186, 2016
- Now downloading Fall-2023-ECA-Economic-Update-Sluggish-Growth-Rising-Risks. Pozyskano z: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstreams/ec2a6e41-517a-4977-9ead-c1fc21529903/download>
- Poglądy kadry kierowniczej na temat biznesu w 2022 r. Pozyskano z: <https://www.pwc.com/us/en/library/pulse-survey/executive-views-2022.html>
- pokoju, Warszawa 2005.
- Pozyskano z: https://issuu.com/eurologistics/docs/raport_2024_01_86
- Raport Broadband Consumer Survey 2022. Pozyskano z: <https://www.deloitte.com/pl/pl/Industries/telecom-media-entertainment/research/raport-broadband-consumer-survey-2022.html>
- Raport Broadband Consumer Survey 2022. Pozyskano z: <https://www.deloitte.com/pl/pl/Industries/telecom-media-entertainment/research/raport-broadband-consumer-survey-2022.html>
- Safety and Shipping Review 2025. Pozyskano z: <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/reports/shipping-safety.html>

- Sulewski P. Ryzyko w logistyce i sposoby jego minimalizacji *Ekonomika i Organizacja Logistyki* 2(4):71 2543-8867, 2450-8055 10.22630/EIOL.2017.2.4.37, 2018
- The Future of Jobs Report 2023. Pozyskano z: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2023/>
- Thlon M. Charakterystyka i klasyfikacja ryzyka w działalności gospodarczej. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie. Ekonomia*, nr 902, s. 17-36, 2013
- Thlon M. Charakterystyka i klasyfikacja ryzyka w działalności gospodarczej. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie. Ekonomia*, nr 902, s. 17-36, 2013
- Uyemura D.G., van Deventer D.R. Financial Risk in Banking Management: The Theory and Application of Asset and Liabilities Management. Burr Ridge: Irwin, s. 17, 1993
- Wolanin J. Zarys teorii bezpieczeństwa obywateli. *Ochrona ludności na czas*
- World Trade Report 2023 – Reglobalization for a secure, inclusive and sustainable future. Pozyskano z: https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/wtr23_e.htm
- World Trade Report 2023 – Reglobalization for a secure, inclusive and sustainable future. Pozyskano z: https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/wtr23_e.htm
- Woźniak D, Warszkycki M, Stokłosa J, Szrajnert R, Chmura R. Predictive algorithms for supply chain management: a comprehensive approach to forecasting delivery times and managing risk *Journal of Modern Science* 57(3): 498, 1734-2031, 2391-789X, DOI:10.13166/jms/191218, 2024
- Wróblewski D. Zarządzanie ryzykiem. Przegląd wybranych metodyk. ISBN:
- Zawiła-Niedźwiecki J. Pojęcie ryzyka operacyjnego i klasyfikacja jego rodzajów. *Przegląd Organizacji*, Nr 6 (845), ss. 19-21, 2010
- Zawiła-Niedźwiecki J. Pojęcie ryzyka operacyjnego i klasyfikacja jego rodzajów. *Przegląd Organizacji*, Nr 6 (845), ss. 19-21, 2010
- 2023 State of Logistics Report: Great logistics reset. Pozyskano z: https://www.logisticsmgmt.com/article/2023_state_of_logistics_report_great_logistics_reset 978-83-948534-0-2, 2018

Adres do korespondencji: maciej.kubon@urk.edu.pl

ORCID: Maciej Kuboń 0000-0003-4847-8743

ORCID: Agnieszka Dudziak 0000-0002-4884-5403

ORCID: Grzegorz Zajac 0000-0003-4090-9334

ORCID: Tomasz Słowik 0000-0001-9449-2234

SEZONOWOŚĆ I ZMIENNOŚĆ WOLUMENU TOWARÓW JAKO DETERMINANTY INNOWACYJNEGO ZARZĄDZANIA PRZEPŁYWEM LOGISTYCZNYM

Urszula Małaga-Toboła¹, Bartosz Putkowski¹, Michał Grodecki², Maciej Kuboń^{1,3},
Dariusz Kwaśniewski¹

¹ Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

² Instytut Zarządzania, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie

³ Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyśle

Wprowadzenie

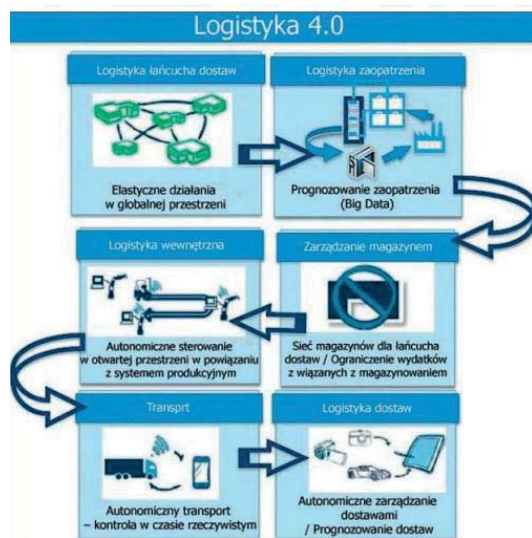
Współczesne realia rynkowe, charakteryzujące się rosnącym dążeniem do konsumpcji i zwiększoną dostępnością produktów na rynku globalnym, znacząco zwiększają intensywność procesów logistycznych, które obejmują magazynowanie, transport, dystrybucję oraz ogólny przepływ towarów. Efektywność tych procesów jest kluczowa dla zapewnienia terminowego zaopatrywania odbiorców. Przepływ towarów, od momentu wyprodukowania aż po dostarczenie do punktu sprzedaży lub odbiorcy, stanowi fundament zarządzania łańcuchem dostaw. Skuteczne zarządzanie przepływem wymaga właściwej koordynacji działań między producentami, dostawcami, operatorami logistycznymi, magazynierami i dystrybutorami, dążąc do płynnych dostaw, minimalizacji kosztów oraz zachowania elastyczności w reagowaniu na popyt^{1,2,3}. Obecny, szybko zmieniający się świat gospodarczy jest efektem globalizacji na poziomie 3.0, co prowadzi do rosnącej specjalizacji w wielu dziedzinach, w tym również w logistyce. Logistyka 4.0, jako ulepszona wersja dotychczas stosowanej logistyki, przeszła cyfrową transformację, skupiając się na innowacjach i efektywnym wykorzystaniu najnowszych technologii. Nowoczesne rozwiązania informatyczne, takie jak systemy WMS (*Warehouse Management System*) czy TMS (*Transport Management System*), umożliwiają precyzyjne śledzenie przesyłek, optymalizację tras transportowych i sprawne zarządzanie zasobami

¹ Dudziak S., & Szymlet D. Flow of goods in the warehouse management systems-problem analysis. *Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zarządzanie*, 47(1), 27-34, 2020

² Christopher M. Logistics and supply chain management: logistics & supply chain management. Pearson UK, 2016

³ Gereffi G., & Lee J. Why the world suddenly cares about global supply chains. *Journal of supply chain management*, 48(3), 24-32, 2012

magazynowymi. Logistyka 4.0 odchodzi od rozproszonych silosów danych, na rzecz technologii Big Data, Internetu Rzeczy (IoT) i Internetu Usług (IoS), co umożliwia automatyzację i informatyzację wspieraną zaawansowanymi algorytmami (rys. 1).



Rysunek 1. Zarządzanie łańcuchem dostaw – proces Logistyki 4.0

Źródło: (Barcik i Odlanicka-Poczobutt, 2020)

W nieprzewidywalnym otoczeniu rynkowym, zdolność do elastycznego reagowania na zmienność popytu, sezonowość sprzedaży oraz nagłe zakłócenia w łańcuchu dostaw staje się podstawowym czynnikiem sukcesu^{4,5,6}.

Systemy logistyczne są zintegrowanymi procesami i procedurami, które umożliwiają zarządzanie przepływem towarów, informacji i zasobów, stanowiąc klucz do efektywności operacyjnej przedsiębiorstwa. W kryterium strukturalno-decyzyjno-funkcjonalnym systemy logistyczne dzielimy na podsystemy logistyki zaopatrzenia, logistyki produkcji, logistyki dystrybucji oraz logistyki magazynowania^{7,8}. Podstawowym zadaniem w zarządzaniu łańcuchem dostaw jest ograniczenie niepewności, która może prowadzić do nadmiernych zakupów lub tworzenia kosztownych zapasów bezpieczeństwa.

⁴ Subramanya K. N., & Rangaswamy T. Impact of warehouse management system in a supply chain. *International Journal of Computer Applications*, 54(1), 14-20, 2012

⁵ Helo P., & Thai V. V. Logistics 4.0–digital transformation with smart connected tracking and tracing devices. *International Journal of Production Economics*, 275, 109336, 2024

⁶ Briatore F., Vanni F., Mosca R., & Mosca M. Enhancing supply chain resilience: The impact of 4.0 technologies. *Journal of Transport and Supply Chain Management*, 19, 1107, 2025

⁷ Jurczak M., Konecka S., Łupicka-Fietz A., & Pawlicka K. *Podstawy logistyki*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, 2024

⁸ Bukowska-Piastrzyńska A., Doński-Lesiuk J., Karkowski T. A., & Motowidlak U. *Innowacyjne rozwiązania w logistyce: aspekty wybrane*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 2021

Niepewność ta, wynikająca z wahań popytu, zmienności czasu dostaw oraz braku pełnej przejrzystości informacji, generuje zjawisko tzw. efektu byczego bicia (*bullwhip effect*), destabilizujące planowanie na każdym szczeblu łańcucha^{9,10}. Współczesne strategie dążą do zastąpienia fizycznych zapasów rzetelną informacją cyfrową, co pozwala na przejście od modeli reaktywnych do proaktywnych. Poprzez synchronizację danych w czasie rzeczywistym oraz wykorzystanie analityki predykcyjnej, przedsiębiorstwa mogą precyzyjniej dopasować podaż do faktycznych potrzeb rynku, minimalizując ryzyko zamrożenia kapitału w niesprzedanych towarach i optymalizując koszty magazynowania^{11,12,13}.

Poważnym wyzwaniem w zarządzaniu łańcuchem dostaw jest sezonowość, która charakteryzuje się cyklicznymi wahaniami popytu związanymi z porami roku, świętami i trendami konsumenckimi. Zjawisko to, obok wahań popytu, wahań procesowych i czynników środowiskowych, zostało zidentyfikowane przez wielu badaczy jako jedno z 16 głównych źródeł zmienności w łańcuchach dostaw^{14,15}. Zmienność rynkowa może przybierać charakter cykliczny, sezonowy, trendowy lub losowy. Zmienność popytu konsumentów, napędzana przez racjonalny wybór oparty na dochodach, preferencjach, oczekiwaniach i cenach innych dóbr, zwiększa koszty kapitału obrotowego i zmienne koszty związane z zapasami bezpieczeństwa. Ponadto bezpośrednio wpływa na dobór strategicznych rozwiązań łańcucha dostaw oraz kalkulację kosztów jednostkowych systemu logistycznego¹⁶. Aby sprostać wyzwaniom związanym ze zmiennością wolumenu towarów, innowacyjne zarządzanie logistyczne wymaga precyzyjnego prognozowania i elastyczności. Uwzględnienie bowiem sezonów jako istotnych czynników prognozowania znacząco zwiększa dokładność przewidywań. Prognozowanie jest jednak procesem wymagającym uwzględnienia licznych, często nieznanych czynników o charakterze sezonowym. Współczesne strategie logistyczne dla zarządzania sezonowością obejmują prognozowanie oparte na danych historycznych oraz analitykę predykcyjną, która przetwarza miliardy punktów danych w czasie rzeczywistym¹⁷.

⁹ Song H., & Zhang D. (2025). Bullwhip Effect in Supply Chains and Cost Rigidity. *Journal of Risk and Financial Management*, 18(5), 284, 2025

¹⁰ Zhang Q., Wang Z., Huang, M. Wang H., Wang X., & Fang S. C. Collaborative supply chain network design under demand uncertainty: A robust optimization approach. *International Journal of Production Economics*, 279, 109465, 2025

¹¹ Alonge E. O., Eyo-Udo N. L., Ubanadu B. C., Daraojimba, A. I., Balogun, E. D., & Ogunsola K. O. Real-time data analytics for enhancing supply chain efficiency. *Journal of Supply Chain Management and Analytics*, 10(1), 49-60, 2023

¹² Tian, Y., & Cui L. Supply chain resilience and digital transformation: perspectives from a supply chain network. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1), 1738

¹³ Marzantowicz Ł. Inteligentna technologia w zarządzaniu logistycznym i łańcuchem dostaw. *Kwartalnik Nauk o Przedsiębiorstwie*, 50(1), 62-71, 2019

¹⁴ Nitsche B., & Durach, C. F. Much discussed, little conceptualized: supply chain volatility. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(8), 866-886, 2018

¹⁵ Nitsche B. Exploring the potentials of automation in logistics and supply chain management: Paving the way for autonomous supply chains. *Logistics*, 5(3), 51, 2021

¹⁶ Alaswad S., Salman S., AlHashmi A., AlMarzooqi H., & AlHammadi M. The effect of demand variability on supply chain performance. In 2019 8th International Conference on Modeling Simulation and Applied Optimization (ICMSAO) (pp. 1-4). IEEE, 2019

¹⁷ Borucka A. (2023). Seasonal methods of demand forecasting in the supply chain as support for the company's sustainable growth. *Sustainability*, 15(9), 7399, 2023

Podstawowym elementem adaptacyjnym jest elastyczność łańcucha dostaw, która jest niezbędna do szybkich dostosowań operacyjnych w odpowiedzi na zmienność popytu, i manifestuje się przez adaptacyjną produkcję, responsywnych dostawców, dynamiczne zarządzanie zapasami oraz solidne sieci logistyczne.

Literatura naukowa jednoznacznie wskazuje, że sezonowość i zmienność wolumenu towarów stanowią fundamentalne determinanty innowacyjnego zarządzania przepływem logistycznym. Współczesne przedsiębiorstwa odpowiadają na te wyzwania poprzez implementację zaawansowanych narzędzi analityki predykcyjnej, zwiększenie elastyczności łańcuchów dostaw oraz budowanie adaptacyjnych systemów reagujących w czasie rzeczywistym na fluktuacje popytu. Stąd też celem opracowania jest przedstawienie wpływu zmienności sezonowej i wolumenu towarów na podejmowane decyzje logistyczne oraz zarządzanie zapasami w wybranym przedsiębiorstwie. Został on zrealizowany w oparciu o analizę danych dotyczących dostaw mierzonych w m³ w przekroju rocznym, ze szczególnym uwzględnieniem podziału na miesiące, działy przedsiębiorstwa oraz trzy metody dostaw: OPDC (*Order Point Distribution Center*), Transit i QR (*Quick Response*).

Material i metody

Dane wykorzystane w badaniu pochodzą z wewnętrznego systemu raportowego przedsiębiorstwa o nazwie MHS (*Möbel Hus Systemet*). Materiał obejmował roczny zakres czasowy, tj. okres od stycznia do grudnia 2024 roku. Zgromadzone raporty zawierały szczegółowe informacje logistyczne i organizacyjne dotyczące dostaw, w tym wolumen dostaw wyrażony w metrach sześciennych (m³).

W celu uwzględnienia specyfiki działalności badanego przedsiębiorstwa dane zostały pogrupowane według działów asortymentowych oraz według trzech metod dostaw: OPDC (*Order Point Distribution Center*), Transit i QR (*Quick Response*).

Zakres merytoryczny danych umożliwił przeprowadzenie analizy przepływu towarów w przedsiębiorstwie, w tym analizę wahań sezonowych i okresów wzmożonego lub zmniejszonego popytu. Po weryfikacji danych pod kątem spójności i wartości odstających opracowano wskaźniki statystyki opisowej. Zastosowano następujące miary statystyczne:

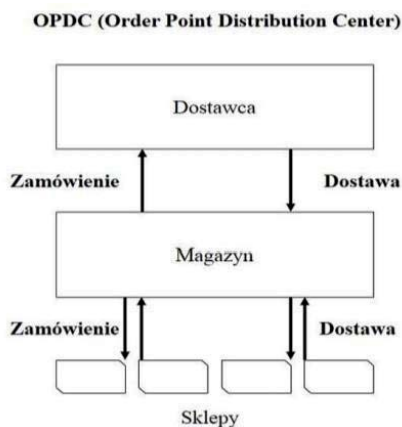
- średnia arytmetyczna ($\bar{x}$) - pozwala określić średni miesięczny poziom dostaw w skali roku dla wybranych działów,
- wartości minimalne i maksymalne - wskazują skrajne wielkości dostaw w badanym okresie,
- odchylenie standardowe (S_x) - opisuje skalę wahań wokół wartości średniej,
- współczynnik zmienności (V_x) - umożliwia porównanie zmienności dostaw w różnych kategoriach, wskazując czy różnice są duże w stosunku do średniego poziomu,
- udział procentowy metody dostawy ($U\%$) - określa udział danej metody dostawy w całkowitej wielkości dostawy dla danego działu.

Wyniki badań

Organizacja dostaw w badanym przedsiębiorstwie

Badane przedsiębiorstwo jest zaopatrywane bezpośrednio od producentów lub z centrów dystrybucyjnych położonych w miejscowości Jarosty w Polsce i Dortmund w Niemczech. Magazyn w Jarostach specjalizuje się w artykułach szybkrotujących (ang. *High flow*), z dostawami realizowanymi w ciągu około czterech dni, natomiast Dortmund obsługuje artykuły wolnorotujące (ang. *Low flow*), z dostawami trwającymi około dwóch tygodni. W pracy skoncentrowano się na analizie efektywności trzech metod dostaw. Każda z nich odgrywa istotną rolę w zapewnianiu ciągłości dostaw asortymentu, a jej wybór wpływa zarówno na koszty logistyczne, jak i na dostępność towaru dla klientów. Istotne znaczenie w reagowaniu na zmiany popytu oraz efektywność zarządzania zapasami mają tutaj aspekty takie jak terminowość, stabilność dostaw czy elastyczność.

Metoda OPDC (Order Point Distribution Center) to model, w którym punktem wyjścia jest moment złożenia zamówienia, uruchamiający zautomatyzowany lub zoptymalizowany proces kompletacji i wysyłki bezpośrednio z centrum dystrybucyjnego do klienta końcowego lub punktu sprzedaży (rys. 2). W przypadku badanego przedsiębiorstwa towar jest wysyłany z magazynów zlokalizowanych w Jarostach i Dortmundzie bezpośrednio do sklepów. Zamówienia generowane są automatycznie przez wewnętrzny system MHS.



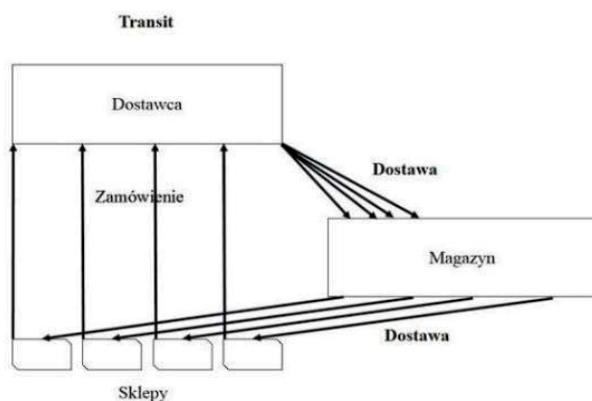
Rysunek 2. Schemat działania systemu OPDC

Źródło: (Góra i in., 2018)

W metodzie tej dąży się do wyeliminowania zbędnych ogniw pośrednich między magazynem centralnym a odbiorcą, co wpływa na skrócenie drogi produktu. Również zaletą tej metody jest lepsze wypełnienie środków transportu, dzięki obsłudze ilości multipackowych (grupowanie pojedynczych sztuk w paczki), co redukuje potrzebę

magazynowania pełnych palet w magazynie sklepu. Ponadto jako pozytywne cechy należy wymienić częste dostawy, reagowanie na popyt, gdyż dostawy są generowane na podstawie faktycznych zamówień, a nie tylko prognoz długoterminowych i centralizacja zapasów, bowiem zamiast utrzymywać wysokie stany magazynowe w wielu małych punktach, towar gromadzony jest w centrum (DC), skąd następuje szybka dystrybucja. Wadą zaś są wyższe koszty logistyczne związane z pracą centrum dystrybucyjnego i częstymi transportami. Metoda OPDC jest preferowana zwłaszcza w działach z drobnym asortymentem (np. „Oświetlenie”), gdyż umożliwia dostarczenie artykułów w partiach dopasowanych do wielkości miejsc sprzedażowych.

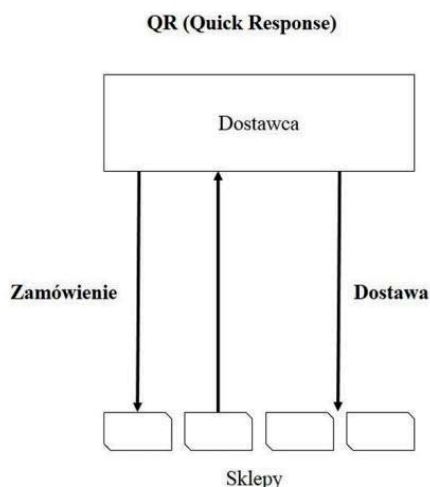
Metoda Transit opiera się na bezpośredniej komunikacji między sklepami a dostawcami, a centrum dystrybucyjne pełni funkcję wyłącznie punktu przeładunkowego (magazynu tranzytowego). Zatem materiały docierające do centrum dystrybucyjnego są niemal natychmiast przeładowywane i kierowane do odbiorców końcowych, bez długotrwałego składowania. Rozwiązanie to jest stosowane, gdy dostawcy nie dysponują wystarczającym wolumenem, aby wysłać towar bezpośrednio do poszczególnych sklepów, co pozwala na skompletowanie transportu od wielu dostawców. Główną zaletą tej formy jest stabilny czas dostawy, redukcja kosztów magazynowania, zmniejszenie powierzchni magazynowej, niższe ryzyko uszkodzeń i przestarzałości towarów oraz szybszy przepływ kapitału. Dostarczane partie towaru mają charakter paletowy, co skraca czas obsługi rozładunku w sklepie. Wadą natomiast jest konieczność przechowywania nadwyżek towaru w magazynie sklepowym. Ten model dostawy wymaga jednak sprawnej koordynacji dostaw i wysyłek, efektywnego systemu informatycznego, synchronizacji harmonogramów i dobrej organizacji procesów przeładunkowych. Schemat graficzny ilustrujący metodę Transit przedstawiono na rysunku 3.



Rysunek 3. Schemat działania systemu Transit

Źródło: (Góra i in., 2018)

Metoda szybkiej reakcji (QR) polega na bezpośredniej współpracy między dostawcą a sklepem, przy czym sklep dostarcza producentom wiarygodne dane o popycie (bieżąca sprzedaż z systemu MHS). Producent planuje produkcję i wysyła towar bezpośrednio do sklepu, pomijając magazynowanie i przeładunek w centrach dystrybucyjnych (rys. 4).



Rysunek 4. Schemat działania systemu QR

Źródło: (Góra i in., 2018)

Zatem jest to strategia zarządzania łańcuchem dostaw oparta na szybkim reagowaniu na rzeczywiste zapotrzebowanie rynku, poprzez ścisłą współpracę między uczestnikami łańcucha i wymianę informacji w czasie rzeczywistym. Stąd też elementami determinującymi ten model jest elektroniczna wymiana danych (EDI), skanery kodów kreskowych, współdzielenie informacji o sprzedaży, skrócone cykle dostaw i partnerskie relacje w łańcuchu dostaw. Kluczową korzyścią jest zaś minimalizacja kosztów transportu, bieżąca wymiana informacji, redukcja zapasów w całym łańcuchu, minimalizacja ryzyka nadprodukcji lub braków towaru, krótszy czas reakcji na zmiany popytu, niższe koszty magazynowania oraz lepsza dostępność produktów. Wadą natomiast jest dłuższy czas transportu w przypadku fabryk odległych (np. Azja) oraz wymóg składania wyłącznie zamówień pełnopaletowych, co także wymaga przechowywania nadwyżek w magazynie sklepowym. Metoda QR dominuje w działach oferujących artykuły wielkogabarytowe (np. „Łóżka i materace” czy „Sofy i fotele”).

Analiza zmienności wolumenu dostaw

Analiza statystyczna wykazała znaczące zróżnicowanie w wolumenach dostaw wyrażonych w m³ między poszczególnymi działami asortymentowymi występującymi w badanym przedsiębiorstwie (tab. 1).

Na podstawie danych zawartych w tabeli 1 można zauważyć znaczące różnice w wielkościach dostaw dla poszczególnych działów. Wartość minimalna, oznaczająca najmniejszą miesięczną wielkość dostawy w skali roku, wahała się od 8,95 m³ dla grupy asortymentowej „Meble ogrodowe” do 899,42 m³ dla działu „Szafy i komody”. Wartość maksymalna, określająca z kolei największą miesięczną wielkość dostawy w skali roku, wynosiła od 81,99 m³ dla działu „Dywany” do 2817,46 m³ dla działu „Szafy i komody”.

Średnie wartości dostaw również różniły się znacznie między działami występującymi w badanym przedsiębiorstwie. Najniższą średnią wartość dostawy odnotowano w grupie „Dywany” (53,55 m³), podczas gdy najwyższą w dziale „Szafy i komody” (1964,72 m³). Produkty typu „Szafy i komody” oraz „Sofy i fotele” charakteryzowały się największymi bezwzględными różnicami między minimalną a maksymalną dostawą (odpowiednio 1918,03 i 1447,57 m³), co świadczy o istotnych wahanach wolumenów w ujęciu rocznym.

Tabela 1. Charakterystyka statystyczna badanych parametrów

Dział	Min. (m ³)	Max. (m ³)	Min-Max (m ³)	Średnia (m ³)	Odchylenie standardowe	Współ- czynnik zmienności (%)
AGD	48,11	222,65	174,54	153,31	49,62	32,37
Biurka i krzesła biurowe	298,64	1054,22	755,58	499,06	206,80	41,44
Dekoracje	369,96	681,28	311,31	561,51	90,87	16,18
Dywany	24,25	81,99	57,74	53,55	17,10	31,93
Dziecięcy	243,75	535,32	291,57	375,26	90,45	24,10
Gotowanie	180,33	381,39	201,06	254,49	51,70	20,31
Jadalnia	126,59	406,79	280,20	238,64	75,27	31,54
Jedzenie	220,53	373,96	153,43	286,69	46,98	16,39
Łazienka	75,63	180,50	104,87	118,81	31,41	26,44
Łóżka i materace	481,36	2146,44	1665,09	1093,50	464,62	42,49
Meble kuchenne	194,30	613,60	419,30	387,73	108,26	27,92
Meble ogrodowe	8,95	449,94	441,00	131,30	132,95	101,26
Oświetlenie	71,58	211,62	140,04	117,74	36,52	31,02
Przechowywanie	260,86	705,78	444,92	480,08	144,19	30,03
Regały	581,05	1274,97	693,92	875,27	231,00	26,39
Sofy i fotele	838,31	2285,87	1447,57	1377,57	438,42	31,83
Szafy i komody	899,42	2817,46	1918,03	1964,72	603,07	30,69
Tekstylia	174,98	540,88	365,9	391,57	105,28	56,37

Odchylenie standardowe, które obrazuje rozproszenie wartości dostaw wokół średniej, wynosiło od 17,10 m³ dla grupy asertymenowej „Dywany” do 603,07 m³ dla grupy „Szafy i komody”. Wysokie wartości odchylenia standardowego można było również zaobserwować w przypadku działu „Sofy i fotele” (438,42 m³) oraz „Łóżka i materace” (464,62 m³), natomiast niskie odchylenie występowało w działach takich jak „Jedzenie” (46,98 m³) oraz „Łazienka” (31,41 m³).

Współczynnik zmienności, przedstawiający stosunek odchylenia standardowego do średniej, obrazuje różnorodność wielkości dostaw. Najniższą wartość współczynnika

zmienności odnotowano w dziale „Dekoracje” (16,18%) oraz „Jedzenie” (16,39%), co wskazuje na stosunkowo małe zróżnicowanie dostaw. Najwyższy natomiast współczynnik zmienności wystąpił w dziale „Meble ogrodowe” (101,26%), a także w grupie „Łóżka i materace” (42,49%) oraz „Biuurka i krzesła biurowe” (41,44%). Ta ekstremalna wartość w pierwszym przypadku wskazuje na bardzo dużą niestabilność w planowaniu dostaw, co jest typowe dla asortymentu sezonowego. Porównując wielkości dostaw w ujęciu miesięcznym, największe różnice pomiędzy wartościami minimalnymi i maksymalnymi wystąpiły w dziale „Szafy i komody”, gdzie różnica wynosiła 1918,04 m³ oraz w dziale „Sofy i fotele” (1447,56 m³). Najmniejsze zaś różnice zaobserwowano w dziale „Dywany” (57,74 m³) oraz „Łazienka” (104,87 m³).

Podsumowując, analiza statystyczna badanych paramterów pozwoliła zaobserwować wyraźne różnice w charakterystyce dostaw między poszczególnymi grupami asortymentowymi oferowanymi przez badane przedsiębiorstwo. Na podstawie analizy danych zawartych w tabeli 2 można również stwierdzić, że poszczególne działy charakteryzowały się różnymi preferencjami w zakresie metod dostawy.

Tabela 2. Udział procentowy różnych metod dostaw dla poszczególnych działów

Dział	OPDC (%)	QR (%)	Transit (%)
AGD	38,04	56,64	5,32
Biuurka i krzesła biurowe	17,04	46,11	36,85
Dekoracje	21,26	75,21	3,54
Dywany	70,17	0,00	29,83
Dzieci	27,93	58,23	13,84
Gotowanie	47,76	22,53	29,70
Jadalnia	27,62	61,67	10,71
Jedzenie	45,04	51,03	3,93
Łazienka	65,28	21,25	13,48
Łóżka i materace	4,75	94,70	0,54
Meble kuchenne	31,81	66,83	1,36
Meble ogrodowe	66,19	33,60	0,20
Oświetlenie	65,39	11,71	22,90
Przechowywanie	35,72	48,68	15,60
Regały	19,58	77,09	3,34
Sofy i fotele	5,35	90,72	3,93
Szafy i komody	6,80	89,33	3,87
Tekstylia	44,73	52,07	3,21

Dominacja metody QR jest szczególnie widoczna w działach o dużych i gabarytowych produktach, takich jak „Łóżka i materace” (94,70%), „Sofy i fotele” (90,72%) oraz „Szafy i komody” (89,33%). Wykorzystanie QR pozwala na ominięcie centrów dystrybucyjnych i bezpośrednio dostawy dużych, wolumenowych produktów.

Z kolei metoda OPDC występuje w przypadku asortymentów drobnych, dostarczanych w ilościach multipackowych lub w przypadku konieczności dostaw z odległych regionów. Przeważała zatem w działach takich jak „Dywany” (70,17%), „Meble ogrodowe” (66,19%) i „Łazienka” (65,28%). OPDC jest główną metodą wykorzystywaną przez badane przedsiębiorstwo, ponieważ dostarcza towar dostosowany do miejsc sprzedażowych, eliminując potrzebę magazynowania nadwyżek.

Natomiast metoda Transit największe znaczenie miała w działach „Biurowe” (36,85%), „Dywany” (29,83%), „Gotowanie” (29,70%) oraz „Oświetlenie” (22,90%). W pozostałych działach jej udział był niemal marginalny mieszczący się w zakresie od 0,20% do 15,60%. Ten model dostawy, choć stosowany sporadycznie, zwiększa swój udział w okresach wzmożonego zapotrzebowania.

Analiza sezonowości wybranych grup asortymentowych

W wyniku przeprowadzonej analizy wyodrębniono grupy asortymentowe tj. „Meble ogrodowe”, „Łóżka i materace”, „Biurowe”, „Dywany”, „Oświetlenie” oraz „Dekoracje”, które charakteryzowały się skrajnymi wartościami w takich wskaźnikach jak minimalna i maksymalna miesięczna wielkość dostaw w skali roku, współczynnik zmienności oraz dominacja jednej z metod dostaw. Działy te zostały wybrane ze względu na istotne różnice w parametrach logistycznych i wyraźnie zarysowane tendencje w analizowanych danych.

Analiza potwierdziła znaczenie sezonowości dla logistyki, zwłaszcza w działach o wysokim współczynniku zmienności. Na podstawie danych zawartych w tabeli 3 można wyróżnić główne okresy zwiększonej aktywności zakupowej tj. szczyt wiosenny związany z przygotowaniami do lata oraz dominujący szczyt jesienno-zimowy związany z przygotowaniami do chłodniejszych miesięcy i roku szkolnego/akademickiego.

Analiza sezonowości sprzedaży wskazuje na wyraźną koncentrację popytu w różnych okresach roku, ściśle powiązanych z warunkami klimatycznymi, cyklem szkolnym i przygotowaniem domów na chłodniejsze miesiące. Dane pokazują, że sprzedaż artykułów do wnętrza takich jak „Łóżka”, „Oświetlenie”, „Dywany”, „Dekoracje”, koncentruje się wyraźnie w okresie jesiennym, podczas gdy meble sezonowe (ogrodowe) dominują na początku wiosny, a wyposażenie biurowe tuż przed jesienią.

Najsilniejsza i najbardziej klasyczna sezonowość ciepłych miesięcy charakteryzuje kategorię „Meble ogrodowe”. Aktywność w tej grupie była bardzo niska jesienią i zimą (np. w listopadzie i grudniu odpowiednio 8,95 i 24,84 m³), podczas gdy gwałtowny wzrost nastąpił w marcu (328,92 m³), a szczyt osiągnięto w kwietniu (449,95 m³). W kolejnych miesiącach letnich wartości spadały, a od sierpnia (43,94 m³) aktywność powróciła do poziomu bliskiego zimowemu. Sezonowość ta odzwierciedla się w wolumenie dostaw, który najwyższy odnotowano w marcu i kwietniu, zbliżając się do 450 m³.

Tabela 3. Sezonowość wolumenu dostaw (m³) dla wybranych działów

Wyszczególnienie	Meble ogrodowe	Łóżka i materace	Biurka i krzesła biurowe	Dywany	Oświetlenie	Dekoracje
styczeń	23,98	629,62	307,31	37,60	104,74	369,96
luty	138,21	699,98	458,80	50,00	136,43	580,97
marzec	328,92	1077,02	462,41	31,84	113,89	670,29
kwiecień	449,95	1060,02	397,65	24,24	71,58	600,68
maj	174,66	475,58	315,58	38,09	103,14	442,78
czerwiec	158,00	939,07	346,89	61,30	81,01	459,57
lipiec	169,72	1282,98	716,12	48,97	108,63	622,07
sierpień	43,94	1257,92	598,34	63,86	102,46	544,58
wrzesień	39,47	1487,09	1054,22	67,38	154,37	637,54
październik	14,97	2146,45	502,44	81,99	211,63	681,28
listopad	8,95	1505,61	530,32	72,38	137,52	570,31
grudzień	24,84	492,13	298,65	64,92	87,51	558,04

W okresie wiosennym podwyższoną aktywność wykazały również „Łóżka i materace” gdzie w marcu i kwietniu wielkość sprzedaży wystąpiła na poziomie odpowiednio 1077,02 i 1060,02 m³, a także „Dekoracje” (w marcu - 670,29 m³), co może być sygnałem wiosennego odświeżania wnętrz, chociaż szczyty roczne tych kategorii przypadały dopiero na jesień.

Kategoria „Biurka i krzesła biurowe” charakteryzuje się bardzo wyraźnym cyklem sezonowym, skorelowanym z przygotowaniem do roku szkolnego lub powrotami do pracy po urlopach. Wartości narastały latem (lipiec i sierpień odpowiednio 716,12 i 598,34 m³) i osiągnęły roczne maksimum we wrześniu (1054,22 m³), co stanowiło niemal trzykrotność wartości ze stycznia (307,31 m³). Po tym wrześniowym szczycie aktywność wyraźnie spadła. W tym dziale dominowały metody dostawy Transit i QR.

Większość kategorii wykazała swoją roczną silną aktywność sprzedażową w miesiącach jesiennych (wrzesień, październik, listopad), co jest powiązane z przygotowaniem domów na chłodniejszą część roku i krótszymi dniami. Dane wskazują na dużą koncentrację sprzedaży w październiku, kiedy to aż cztery z sześciu analizowanych kategorii osiągnęły swoje roczne maksima, mianowicie:

- „Łóżka i materace” (2146,45 m³) - jest to kategoria o najwyższych wartościach nominalnych spośród analizowanych. Wyraźna aktywność utrzymywała się również w listopadzie (1505,61 m³). Przez cały rok w tej kategorii dominowała metoda QR.
- „Oświetlenie” - sezonowość w tej grupie asortymentowej jest bezpośrednio związana ze skracaniem się dni. Aktywność rosła od września (154,37 m³) osiągając maximum w październiku (211,63 m³), z utrzymującym się wysokim poziomem w listopadzie (137,52 m³). Natomiast najniższe wartości dla produktów z tego działu odnotowano w okresie wiosenno-letnim.
- „Dywany” - aktywność sprzedaży rosła jesienią do maksymalnej w październiku odnotowanej na poziomie 81,99 m³, co może być powiązane z dociepleniem i przygotowaniem podłóg na zimę. Dywany charakteryzowały się najniższymi wartościami nominalnymi w porównaniu do pozostałych kategorii. Dostawy odbywały się głównie przy wykorzystaniu metody OPDC.

- „Dekoracje” - wolumen w przypadku tej grupy asortymentowej był stosunkowo stabilny ale wyraźny szczyt przypadał w okresie jesiennym, z maksimum w październiku na poziomie 681,28 m³. Dominującą metodą dostaw dla tej kategorii było QR, co jest uzasadnione specyfiką asortymentu.

Oprócz koncentracji maksymalnych wielkości sprzedaży, analiza wskazuje również na miesiące charakteryzujące się największymi spadkami lub minimami dla poszczególnych kategorii, mianowicie:

- Kwiecień był miesiącem skrajności, odnotowano bowiem najwyższy wolumen dla „Mebli ogrodowych” (449,95 m³), ale jednocześnie najniższy dla działu „Dywany” (24,24 m³) i „Oświetlenia” (71,58 m³),
- Maj charakteryzował się wyraźnym spadkiem aktywności w większości kategorii, stanowiąc minimum dla „Łóżek i materacy” (475,58 m³) oraz „Dekoracji” (442,78 m³), a także niższy wynik dla „Biurek i krzeseł biurowych” (315,58 m³),
- Listopad/Grudzień wykazały bardzo niską aktywność dla „Mebli ogrodowych”, a także niski poziom dla „Łóżek i materacy” (492,13 m³) i „Biurek i krzeseł biurowych” (298,65 m³).

Wzrost popytu i sezonowość mają bezpośrednie przełożenie na logistykę, prowadząc do intensyfikacji transportu metodami najlepiej dopasowanymi do specyfiki danego towaru, takimi jak QR dla gabarytów czy OPDC dla multipacków.

Podsumowanie i wnioski

Opracowanie, którego przedmiotem była analiza przepływu towarów w wybranym przedsiębiorstwie potwierdziła, że sezonowość i zmienny wolumen towarów są kluczowymi determinantami innowacyjnego zarządzania przepływem logistycznym. Globalny charakter badanej firmy wymusza posiadanie wysoce przemyślanego łańcucha dostaw, co uwidacznia się w elastycznym wykorzystaniu trzech zróżnicowanych metod dostarczania towarów.

Na podstawie przeprowadzonej analizy wysnuto następujące wnioski:

Zróżnicowanie wolumenów i niestabilność dostaw - przepływ towarów charakteryzował się znacznym zróżnicowaniem między grupami asortymentowymi. Działy takie jak „Meble ogrodowe” (Vz - 101,26%) i „Łóżka i materace” (Vz - 42,49%) wykazały niestabilność, co wymaga szczególnie elastycznego i innowacyjnego planowania logistycznego. Natomiast działy o niskim współczynniku zmienności, takie jak „Dekoracje” czy „Jedzenie”, cechują się większą przewidywalnością.

Dopasowanie metody dostawy do asortymentu, co można potraktować jako innowacyjne zarządzanie. W działach z asortymentem wielkogabarytowym („Łóżka i materace”, „Sofy i fotele”, „Szafy i komody”), dominowała metoda QR, ponieważ umożliwia bezpośrednie i częste dostawy od producenta, eliminując koszty magazynowania w centrach dystrybucyjnych i przyspieszając reakcję na popyt. Z kolei metoda OPDC była preferowana dla drobnego asortymentu dostarczanego w ilościach multipackowych (np. „Oświetlenie”, „Dywany”), co minimalizuje gromadzenie nadwyżek w magazynie sklepowym i optymalizuje koszty transportu.

Wpływ sezonowości na decyzje logistyczne - analiza wykazała, że sezonowe wahania popytu mają bezpośredni wpływ na wolumen i intensywność dostaw. Sklep reaguje na te wahania, odpowiednio intensyfikując transport metodą Transit w okresach szczytowej sprzedaży lub opierając się na dominujących metodach QR i OPDC w kluczowych okresach (np. wzrost dostaw mebli ogrodowych wiosną i łóżek jesienią).

Elastyczne wykorzystanie trzech zróżnicowanych metod dostawy (OPDC, Transit, QR) świadczy o tym, że badane przedsiębiorstwo efektywnie dostosowuje swój łańcuch dostaw do zmiennych warunków rynkowych i jest przykładem dobrze zorganizowanego podmiotu efektywnie zarządzającego przepływem towarów w warunkach sezonowych wahań sprzedaży.

Wysoki poziom integracji z producentami i możliwość szybkiego reagowania na różnorodne potrzeby klientów, zgodnie z zasadą Logistyki 4.0, pozwalają na optymalizację procesów.

Dalsze analizy mogłyby koncentrować się na korelacji między współczynnikiem zmienności a kosztami operacyjnymi oraz poszukiwaniem innowacyjnych rozwiązań, które mogłyby jeszcze bardziej ograniczyć ryzyko wynikające z konieczności składania zamówień pełnopaletowych w metodzie QR dla asortymentów o wolniejszej rotacji.

Bibliografia

- Alaswad S., Salman S., AlHashmi A., AlMarzooqi H., AlHammadi M. The effect of demand variability on supply chain performance. W: *Proceedings of the 8th International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO)*. IEEE, s. 1–4, 2019.
- Alonge E.O., Eyo-Udo N.L., Ubanadu B.C., Daraojimba A.I., Balogun E.D., Ogunsola K.O. Real-time data analytics for enhancing supply chain efficiency. *Journal of Supply Chain Management and Analytics*, vol. 10, no. 1, s. 49–60, 2023.
- Barcik R., Odlanicka-Poczobutt M. *Logistyka 4.0 – wybrane zastosowania*. Warszawa: TNOiK Dom Organizatora, 2020.
- Borucka A. Seasonal methods of demand forecasting in the supply chain as support for the company's sustainable growth. *Sustainability*, vol. 15, no. 9, art. 7399, 2023.
- Briatore F., Vanni F., Mosca R., Mosca M. Enhancing supply chain resilience: The impact of 4.0 technologies. *Journal of Transport and Supply Chain Management*, vol. 19, art. 1107, 2025.
- Bukowska-Piastryńska A., Doński-Lesiuk J., Karkowski T.A., Motowidlak U. *Innowacyjne rozwiązania w logistyce – aspekty wybrane*. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 2021.
- Christopher M. *Logistics and supply chain management*. Harlow: Pearson UK, 2016.
- Dudziak S., Szymlet D. Flow of goods in warehouse management systems – problem analysis. *Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zarządzanie*, vol. 47, no. 1, s. 27–34, 2020.
- Gereffi G., Lee J. Why the world suddenly cares about global supply chains. *Journal of Supply Chain Management*, vol. 48, no. 3, s. 24–32, 2012.
- Góra G., Matuszak Z., Żabińska I. Charakterystyka wybranych zagadnień dystrybucji towarów. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, vol. 19, no. 12, s. 1063–1067, 2018.
- Helo P., Thai V.V. Logistics 4.0 – digital transformation with smart connected tracking and tracing devices. *International Journal of Production Economics*, vol. 275, art. 109336, 2024.
- Jurczak M., Konecka S., Łupicka-Fietz A., Pawlicka K. *Podstawy logistyki*. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, 2024.
- Marzantowicz Ł. Inteligentna technologia w zarządzaniu logistycznym i łańcuchem dostaw. *Kwartalnik Nauk o Przedsiębiorstwie*, vol. 50, no. 1, s. 62–71, 2019.

- Nitsche B. Exploring the potentials of automation in logistics and supply chain management: Paving the way for autonomous supply chains. *Logistics*, vol. 5, no. 3, art. 51, 2021.
- Nitsche B., Durach C.F. Much discussed, little conceptualized: supply chain volatility. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 48, no. 8, s. 866–886, 2018.
- Song H., Zhang D. Bullwhip effect in supply chains and cost rigidity. *Journal of Risk and Financial Management*, vol. 18, no. 5, art. 284, 2025.
- Subramanya K.N., Rangaswamy T. Impact of warehouse management system in a supply chain. *International Journal of Computer Applications*, vol. 54, no. 1, s. 14–20, 2012.
- Tian Y., Cui L. Supply chain resilience and digital transformation: Perspectives from a supply chain network. *Humanities and Social Sciences Communications*, vol. 12, no. 1, art. 1738, 2025.
- Zhang Q., Wang Z., Huang M., Wang H., Wang X., Fang S.C. Collaborative supply chain network design under demand uncertainty: A robust optimization approach. *International Journal of Production Economics*, vol. 279, art. 109465, 2025.

Adres do korespondencji: urszula.malaga-tobola@urk.edu.pl

ORCID: Urszula Malaga-Toboła: 0000-0001-7918-8699

ORCID: Maciej Kuboń 0000-0003-4847-8743

ORCID: Dariusz Kwaśniewski 0000-0002-1873-1456

PROCESY LOGISTYCZNE W WYBRANYCH PRZEDSIĘBIORSTWACH PRZETWÓRSTWA MIĘSNEGO NA PODKARPACIU

Małgorzata Ormian¹, Jadwiga Topczewska¹, Anna Augustyńska-Prejsnar¹

¹ Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski

Wprowadzenie

Prawidłowa organizacja procesów logistycznych w przedsiębiorstwach sektora rolno-spożywczego jest kluczowa dla funkcjonowania, jak i rozwoju przedsiębiorstw^{1,2,3,4}. Wiele branż, w tym przetwórstwa mięsnego jest silnie powiązana z dostawcami surowca i odbiorcami. Sektor ten wprowadza wiele rozwiązań, zarówno w aspekcie innowacji w funkcjonowaniu przedsiębiorstw jak i w przypadku produktów^{5,6}. Wprowadzenie automatyzacji wielu procesów pomogło zwiększyć wydajność i przepustowość zakładów mięsnych. Łańcuch produkcji mięsa jest złożony i na sukces efektu końcowego ma wpływ wiele czynników, od chowu zwierząt przeznaczonych do uboju (np. rodzaj pomieszczeń, żywienie, profilaktyka), transport zwierząt, przetwórstwo pierwotne, dalsze przetwarzanie i dystrybucję do konsumenta końcowego. Przedsiębiorstwa skupiają uwagę na oczekiwaniach zgłaszanych przez klientów, głównie pod względem jakości produktu, a szybkość dostosowania się zależy głównie od wielkości przedsiębiorstwa. Z reguły im większe jest przedsiębiorstwo, tym bardziej zaawansowane są procesy i rozwiązania logistyczne.

¹ Janczewska D., Janczewski J.: System zarządzania jakością jako element logistyki produkcji w branży spożywczej. Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie, 1(32), 183-191, 2021.

² Jałowiecki P.: Dupont analysis of polish agri-food industry selected sectors – logistic aspects. Publishing House of Poznan University of Technology, 3, 217-227, 2018.

³ Felix T.S., Chan Z.X., Wang A., Goswami A., Singhanian A., Tiwari M.K.: Multi-objective particle swarm optimisation based integrated production inventory routing planning for efficient perishable food logistics operations. International Journal of Production Research, 58, 5155-5174, 2020.

⁴ Ren Q.S., Fang K., Yang X., Han J.-W.: Ensuring the quality of meat in cold chain logistics: A comprehensive review. Trends in Food Science & Technology, 119, 133-151, 2022.

⁵ Barbut S.: Meat Industry 4.0: A Distant Future? Animal Frontiers, 10(4), 38-47, 2020.

⁶ Echegaray N., Hassoun A., Jagtap S., Tetteh-Caesar M., Kumar M., Tomasevic I., Lorenzo J.M.: Meat 4.0: principles and applications of industry 4.0 technologies in the meat industry. Applied Sciences, 12(14), 6986, 2022.

Do działań wykonywanych w ramach szeroko pojętej logistyki w podmiotach przetwórstwa mięsnego zalicza się również przemieszczanie i transport dóbr, magazynowanie i składowanie, pakowanie, obrót materiałami, kontrolę zapasów, informacje, realizację zamówień, prognozowanie popytu, planowanie produkcji, zakupy, obsługę klienta na odpowiednim poziomie, lokalizację zakładów i magazynów, obsługę zwrotów, gromadzenie i usuwanie odpadów. Kluczowe jest dostarczenie właściwego produktu, wysokiej jakości, we właściwej ilości, miejscu, czasie, dla odpowiedniego konsumenta i przy akceptowalnym koszcie. Logistykę w przedsiębiorstwach przemysłu mięsnego można określić jako działania ukierunkowane na powiązaniu rynku, zaopatrzenia produkcji i dystrybucji w taki sposób, aby zapewnić klientowi wysoki poziom obsługi.

Istotnym elementem funkcjonowania przedsiębiorstw mięsnych jest zaopatrzenie⁷. Realizacja tego etapu zależy od pozycji ekonomicznej przedsiębiorstwa⁸. Na wybór danej formy dostaw mają wpływ takie czynniki, jak skala produkcji, położenie względem potencjalnych rynków zaopatrzenia w surowiec, możliwości transportowe, organizacyjne i finansowe zakładów przetwórczych. Nie bez znaczenia są kwestie środowiskowe. W łańcuchu logistycznym mięsa najważniejszymi wskaźnikami zrównoważonego rozwoju są zużycie energii, produkcja odpadów, straty żywności, bezpieczeństwo żywności i zanieczyszczenie⁹. W ocenie dostawców, przedsiębiorcy najczęściej biorą pod uwagę kryteria cenowe i jakościowe.

Przewozy ładunków realizowane są w sposób ciągły i doraźny w zależności od jego rodzaju i potrzeb rynkowych. Dotyczy to szczególnie transportu zwierząt, w którym duży nacisk kładzie się na zapewnienie im właściwych warunków, ponieważ ma to bezpośrednie przełożenie na jakość mięsa¹⁰. W przypadku produktów świeżych, takich jak mięso i jego przetwory, dużego znaczenia nabiera prawidłowa organizacja zaopatrzenia i dystrybucji, ze względu na potrzeby zachowania odpowiedniej jakości¹¹. Gospodarka magazynowa pełni ważną funkcję w sprawnym zarządzaniu przedsiębiorstwem. Magazyn jest integralną częścią łańcucha logistycznego przedsiębiorstwa a właściwie zarządzany zapewnia sprawny przepływ surowców, materiałów i wyrobów gotowych pomiędzy dostawcami, a klientami.

Dystrybucja (obok produkcji) jest jednym z najważniejszych ogniw łańcucha logistycznego, ponieważ ma na celu udostępnienie produktu w miejscu i czasie odpowiadającym potrzebom i oczekiwaniom nabywców¹². Logistyka dystrybucji mięsa i jego

⁷ Cheng G., Li L.: Joint optimization of production, quality control and maintenance for serial-parallel multistage production systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 204, 107146, 2020.

⁸ Kot M.: Sustainable supply chain management in the meat industry in Poland. *Acta Logistica (AL)*, 9(4), 487-499, 2022.

⁹ Bogataj D., Hudoklin D., Bogataj M., Dimovski V., Colnar.: Risk mitigation in a meat supply chain with options of redirection. *Sustainability*, 12(20), 8690. 2020.

¹⁰ Marahrens M., Kernberger-Fischer I.: Research for ANIT Committee – The practices of animal welfare during transport in third countries: an overview. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels, 2021.

¹¹ Firouz M.S., Mohi-Alden K., Omid, M.: A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. *Food Research International*, 141, 110113, 2021.

¹² Kuboń M.: Transport i logistyka w dobie inżynierii mechanicznej. *Inżynieria Rolnicza*, 224, ISBN 978-83-64377-46-4, Kraków, 2020.

przetworów to złożony systemem, dzięki któremu towar o pożądanej jakości bezpiecznie trafia poprzez przedsiębiorcę do klienta. Proces ten rozpoczyna się od wprowadzenia do magazynu, jego składowania, kompletacji, załadunku aż do dostarczenia do zainteresowanego odbiorcy finalnego. Transport mięsa i produktów mięsnych jest bardzo wymagającym w realizacji zadaniem ze względu na konieczność zachowania łańcucha chłodniczego. Zmiany warunków w transporcie mogą przyczynić się do obniżenia jakości produktów, a także do zagrożenia bezpieczeństwa zdrowotnego.

Celem pracy była porównawcza ocena podsystemów logistycznych w przedsiębiorstwach przetwórstwa mięsnego, zlokalizowanych na terenie województwa podkarpackiego.

Material i metody

Ocenę podsystemów logistycznych przeprowadzono w dwóch wybranych przedsiębiorstwach specjalizujących się w przetwórstwie mięsa, prowadzących działalność na terenie województwa podkarpackiego. Analizowane przedsiębiorstwa zostały przypisane do branży zgodnie z ich deklaracją według Polskiej Klasyfikacji Działalności. To małe rodzinne przedsiębiorstwa z wieloletnim doświadczeniem, specjalizujące się w produkcji wyrobów tradycyjnych, a ich wielkość została określona według liczby zatrudnionych.

Zakład mięsny A specjalizuje się w produkcji i sprzedaży wyrobów wieprzowych, wieprzowo-wołowych, wołowych oraz drobiowych. Przedsiębiorstwo prowadzi profesjonalne usługi promocyjne i cateringowe na wielu imprezach związanych z produkcją żywności, promując polskie wyroby. Firma zatrudnia 20 osób, w tym 5% w dziale zarządzania, 35% w produkcji, 25% w dziale transport/dystrybucja, 5% w zaopatrzeniu, 15% w dziale magazyny i zapasy, 10% w dziale księgowość i finanse oraz 5% w dziale marketing. W infrastrukturze przedsiębiorstwa hala przetwórcza stanowi 39,78% (powierzchnia 350 m²), magazyny 28,40% (powierzchnia 250 m²), powierzchnie biurowe 11,36% (powierzchnia 100 m²), inne pomieszczenia 20,46% (powierzchnia 180 m²). Firma posiada własne środki transportowe. Nie prowadzi uboju zwierząt. Surowiec zwierzęcy pochodzi z zakupu.

Zakład masarsko-wędliniarski B specjalizuje się w produkcji i sprzedaży wyrobów wieprzowych. Przedsiębiorstwo jest znanym na rynku producentem lokalnych produktów wyrabianych metodami tradycyjnymi. W swojej ofercie posiada szeroki wachlarz wieprzowych przetworów mięsnych. Firma zatrudnia 23 osoby, w tym 4,3% w dziale zarządzania, 34,8% w produkcji, 17,4% w dziale uboju, 8,7% w dziale transport/dystrybucja, 8,7% w zaopatrzeniu, 4,3% w dziale magazyny i zapasy, 13,2% w dziale księgowość i finanse oraz 8,6% w dziale marketing. W infrastrukturze przedsiębiorstwa ubojnia stanowi 23,75% (powierzchnia 51,93 m²), hala przetwórcza 13,01% (28,48 m²), magazyny 30,27% (66,24 m²), powierzchnie biurowe 8,20% (powierzchnia 17,95 m²), inne pomieszczenia 24,77% (powierzchnia 54,21 m²).

Uzyskane dane pochodzą z badań ankietowych przygotowanych według autorskiego kwestionariusza wywiadu oraz wywiadu bezpośredniego. Materiał zebrano w III kwartale 2024 roku. Obliczenia statystyczne wykonano w programie Microsoft Office Excel, dla przejazdów środków transportu wyliczono wartości średnie ($\bar{x}$) i odchylenia standardowe (SD).

Wyniki badań

Na działania logistyczne w przedsiębiorstwach przetwórstwa mięsnego składają się procesy zakupu, transportu, składowania, produkcji, magazynowania i sprzedaży wyrobu, a także obsługi klienta, zwrotów i ich ponownego zagospodarowania^{13,14}.

Stwierdzono pewne różnice między przedsiębiorstwami w zakresie zaopatrzenia w surowce, materiały i produkty. Surowcem mięsnym w przedsiębiorstwie A są półtusze i elementy wieprzowe, ćwierci i półtusze wołowe, elementy drobiowe, natomiast w przedsiębiorstwie B półtusze wieprzowe. Przedsiębiorstwo B posiada własną ubojnię, zabezpieczając surowiec z własnej produkcji (tuczniki) w 50% i w 50% poprzez zakup od hodowców indywidualnych. Surowiec mięsny jest dostarczany przez firmę zewnętrzną raz w tygodniu. Tuczniki są zakupowane od indywidualnych producentów, na zasadach kontraktu. Miesięczna zdolność produkcyjna tego przedsiębiorstwa to około 46 ton mięsa wieprzowego. Przedsiębiorstwo A kupuje około 20 ton surowca mięsnego miesięcznie od stałych dostawców, który dowozi do firmy własnym środkiem transportu. Ważnym zagadnieniem w zakresie zaopatrzenia jest zarządzanie jakością w łańcuchu dostaw. Surowiec własny i kontrakty pozwalają na identyfikację przepływu surowca, a współpraca ze stałymi dostawcami pozwala obniżyć koszty produkcji. Organizacja i pożądaný poziom bazy surowcowej warunkuje właściwe wykorzystanie zdolności przetwórczych w zakładach mięsnych¹⁵. Charakterystykę źródeł zaopatrzenia w badanych przedsiębiorstwach przedstawiono w tabeli 1 i 2.

W przedsiębiorstwie A transport surowców realizowany jest z częstotliwością przejazdów 4 razy w miesiącu do jednego z zakładów mięsnych w województwie małopolskim, pokonując 960 km (tabela 1). Badane przedsiębiorstwa oprócz surowca mięsnego zaopatrują się w dodatki, np. jelita, osłonki, sznurki itp., przyprawy, opakowania. Najczęściej dwa razy w miesiącu, korzystając z profesjonalnych hurtowni, pokonując odległości w zakresie około 300 km. Ponadto przedsiębiorstwa zaopatrują się w paliwo około 12 razy w miesiącu. Przewóz żywych zwierząt prowadzony jest tylko w przedsiębiorstwie B. Przedsiębiorstwo korzysta z transportu zewnętrznego do częściowego zaopatrzenia w żywiec. Jest to firma WM Trade, która skupuje tuczniki od indywidualnych rolników z terenów południowo-wschodniej Polski i dowozi je do firmy 4 razy w miesiącu, pokonując 1360 km (tabela 2). Korzystanie z usług transportowych zewnętrznych podnosi koszty produkcji. Badane przedsiębiorstwo nie posiada własnych środków transportu do przewozu żywych zwierząt.

Oba przedsiębiorstwa korzystają z usług zewnętrznych (profesjonalnych firm piorących) w zakresie prania i wymiany odzieży ochronnej oraz zaopatrzenia w środki

¹³ Felix T.S., Chan Z.X., Wang A., Goswami A., Singhania A., M.K Tiwari.: Multi-objective particle swarm optimisation based integrated production inventory routing planning for efficient perishable food logistics operations. *International Journal of Production Research*, 58, 5155-5174, 2020.

¹⁴ Janczewska D., Janczewski J.: System zarządzania jakością jako element logistyki produkcji w branży spożywczej. *Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie*, 1(32), 183-191, 2021.

¹⁵ Koliński A., Stajniak M.: Zarządzanie współczesnymi łańcuchami dostaw. Wybrane aspekty jakościowe i organizacyjne Instytutu Naukowo-Wydawniczego Spatium, ISBN 978-83-66017-82-5, Olsztyn, 2019.

czyszczące linie produkcyjne. W badanym okresie przedsiębiorstwa nie dokonywały zakupu maszyn i urządzeń specjalistycznych.

Tabela 1. Logistyka zaopatrzenia w przedsiębiorstwie A

Surowce i materiały niezbędne w procesie produkcji	Źródło zaopatrzenia	Częstotliwość w m-cu	Transport własny (km)
Surowiec mięsny	Ubojnia woj. małopolskie	4	960,0±24,0
Dodatki, jelita, osłonki, sznurki itp.	Producent woj. śląskie	2	902,0±15,2
Przyprawy	Producent woj. podkarpackie	2	300,0±15,2
Opakowania (rynienki, folie itp.)	Producent, woj. podkarpackie	2	294,0±15,0
Paliwo	Stacja Paliw	12	40,5±2,1
Środki chem. do obsługi, czyszczenie linii produkcyjnej	Hurtownia chemiczna woj. podkarpackie	2	302,0±13,2
Ubrania robocze	Hurtownia BHP i odzieży ochronnej, woj. podkarpackie	2	305,0±12,2

Tabela 2. Logistyka zaopatrzenia w przedsiębiorstwie B

Surowce i materiały niezbędne w procesie produkcji	Źródło zaopatrzenia	Częstotliwość w m-cu	Transport własny (km)	Usługi transportowe zew. (km)
Tuczniki	Producenci - woj. świętokrzyskie	4	-	1360±35
	Tuczarnia własna	12	2,4±0,5	-
Dodatki, jelita, osłonki, sznurki itp.	Producent, woj. podkarpackie	2	163,6±6,8	-
Przyprawy	Producent, woj. podkarpackie	2	193,6±6,8	-
Opakowania (rynienki, folie itp.)	Producent, woj. podkarpackie	2	164,8±8,3	-
Paliwo	Stacja Paliw	12	32,6±2,5	-
Środki chem. do obsługi, czyszczenie linii produkcyjnej	Usługa zewnętrzna	2	-	-
Ubrania robocze	Hurtownia BHP i odzieży ochronnej woj. podkarpackie	2	-	-

Jednym z najważniejszych zagadnień związanych z zarządzaniem w sektorze przetwórstwa mięsnego jest magazynowanie surowców oraz produktów gotowych, a także materiałów niezbędnych do ich produkcji¹⁶. Odpowiednio zorganizowane procesy magazynowania w przedsiębiorstwach są konieczne ze względu na zmieniające się w czasie właściwości produktów mięsnych. W badanych przedsiębiorstwach magazyny żywnościowe stanowiły: w przedsiębiorstwie A 20,0%, w tym magazyn opakowań 5,0%, magazyn eksploatacyjny 10,0%, magazyn gospodarczy 5,0%. W przedsiębiorstwie B magazyny żywnościowe stanowiły odpowiednio: 3,0%, 24%, 5%. W strukturze posiadanych magazynów w przedsiębiorstwie A magazyny żywnościowe stanowiły aż: 80%, z tego większość to pomieszczenia do przechowywania w temperaturze od +5 do +25°C. W przedsiębiorstwie B magazyny żywnościowe stanowiły 69%, z czego 62% pomieszczenia chłodnicze - temperatura w granicach 0 °C do + 5 °C (tabela 3). Obie firmy zdeklarowały pełną wystarczalność posiadanych magazynów.

Tabela 3. Posiadane magazyny w badanych przedsiębiorstwach

Rodzaj magazynów	Przedsiębiorstwo			
	A		B	
	m ²	%	m ²	%
Magazyn opakowań	10	5	13	3
Magazyn eksploatacyjny (np. sprzętu)	20	10	101	24
Magazyn gospodarczy	10	5	23	5
Pomieszczenia chłodnicze (0°C - + 5°C)	40	20	263	62
Pomieszczenia magazynowe (+5°C - + 25°C)	120	60	29	7

W analizowanych przedsiębiorstwach produkcję i sprzedaż mięsa wieprzowego prowadziło tylko przedsiębiorstwo B. W skali produkcji wyrobów gotowych przedsiębiorstwo A cechuje się większą różnorodnością asortymentu. W tym przedsiębiorstwie produkcja kielbas stanowi 69,3%, w tym wędzonych 30,8%. Przedsiębiorstwo A prowadzi sprzedaż w sklepie firmowym oraz w okolicznych sklepach i auto- sklepie, pokonując 2721,8 km lokalnie na terenie Podkarpacia, w obrębie każdej grupy produktowej (tabela 4). Przedsiębiorstwo prowadzi również sprzedaż i tym samym transport do sklepów, restauracji i prywatnych odbiorców w województwie mazowieckim i śląskim, pokonując odległość około 5312,0 km miesięcznie (tabela 4).

Do wyrobów gotowych produkowanych przez przedsiębiorstwo B należą kielbasy, z czego większość stanowią kielbasy wędzone według tradycyjnej receptury. Sprzedaż w tym przypadku realizowana jest głównie w sklepach firmowych oraz w placówkach zlokalizowanych na terenie woj. śląskiego (tabela 5). W obu przypadkach region ten jest kluczowym odbiorcą wyrobów wędliniarskich, a dla przedsiębiorstwa B również mięsa wieprzowego.

¹⁶ Rudawska A., Karczevska M. Wybrane zagadnienia magazynowania w przedsiębiorstwie z branży spożywczej, *Technika Transportu Szynowego*, 22, 12, 2848-2852, 2015.

Tabela 4. Miejsce sprzedaży produktów w przedsiębiorstwie A

Produkty	Miejsce sprzedaży produktów	Częstotliwość w m-cu	Transport własny (km/mc)
Kiełbasy	Sklep firmowy	20	1,8±0,2
	Sklepy okoliczne	8	800,0±3,6
	Sklepy, restauracje, odbiorcy prywatni woj. mazowieckie	4	3240,0±25,5
	Sklepy i odbiorcy prywatni woj. śląskie	4	2072,0±55,2
	Auto-sklepy	24	1920±30,2
Wędzonki	Sklep firmowy	20	1,8±0,2
	Sklepy okoliczne	4	800,0±3,0
	Sklepy, restauracje, odbiorcy prywatni woj. mazowieckie	4	3240,0±25,2
	Sklepy i odbiorcy prywatni woj. śląskie	4	2072,0±15,2
	Auto-sklepy	24	1920±30,2
Wędliny podrobowe	Sklep firmowy	20	1,8±0,2
	Sklepy okoliczne	4	800,0±3,4
	Sklepy, restauracje, odbiorcy prywatni woj. mazowieckie	4	3240,0±25,5
	Sklepy i odbiorcy prywatni woj. śląskie	4	2072,0±55,2
	Auto-sklepy	24	1920±30,2
Produkty blokowe	Sklep firmowy	20	1,8±0,2
	Sklepy okoliczne	4	800,0±3,6
	Sklepy, restauracje, odbiorcy prywatni woj. mazowieckie	4	3240,0±25,5
	Sklepy i odbiorcy prywatni woj. śląskie	4	2072,0±55,2
	Auto-sklepy	24	1920±30,2

Omawiane przedsiębiorstwa prowadzą dystrybucję swoich produktów głównie przez sklepy firmowe oraz placówki handlowe i restauracje w województwie mazowieckim i śląskim. Decydujący wpływ na wielkość sprzedaży ma cena i jakość produktów¹⁷. Posiadanie własnych sklepów pozwala na obniżkę kosztów ponoszonych w procesie dystrybucji, co umożliwia oferowanie produktów po niższej cenie. Wybór tylko firmowego kanału dystrybucji w pewnym stopniu ogranicza dostępność danego produktu dla klientów, gdyż jest on oferowany tylko w prowadzonym, często blisko zakładu produkcyjnego, sklepie.

¹⁷ Kabiesz P., Kuboń M.: Evaluation of distribution channels in a selected meat processing company. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie, 134, 63-70, 2019.

Tabela 5. Miejsce sprzedaży produktów w przedsiębiorstwie B

Produkty	Miejsce sprzedaży produktów	Częstotliwość w m-cu	Transport własny (km/mc)
Mięso wieprzowe	Sklep firmowy 1	20	6,00±1,2
	Sklep firmowy 2	20	60,0±2,01
	Sklep firmowy 3	20	2120,0±15,2
	Sklep firmowy 4	12	319,2±10,12
	Sklepy i restauracje woj. śląskie	4	1965,6±25,5
Kiełbasy	Sklep firmowy 1	20	6,00±1,2
	Sklep firmowy 2	20	60,0±2,01
	Sklep firmowy 3	20	2120,0±15,2
	Sklep firmowy 4	12	319,2±10,12
	Sklepy i restauracje woj. śląskie	4	1965,6±25,5
Wędzonki	Sklep firmowy 1	20	6,00±1,2
	Sklep firmowy 2	20	60,0±2,01
	Sklep firmowy 3	20	2120,0±15,2
	Sklep firmowy 4	12	319,2±10,12
	Sklepy i restauracje woj. śląskie	4	1965,6±25,5
Wędliny podrobowe	Sklep firmowy 1	20	6,00±1,2
	Sklep firmowy 2	20	60,0±2,01
	Sklep firmowy 3	20	2120,0±15,2
	Sklep firmowy 4	12	319,2±10,12
	Sklepy i restauracje woj. śląskie	4	1965,6±25,5
Produkty blokowe	Sklep firmowy 1	20	6,00±1,2
	Sklep firmowy 2	20	60,0±2,01
	Sklep firmowy 3	20	2120,0±15,2
	Sklep firmowy 4	12	319,2±10,12
	Sklepy i restauracje woj. śląskie	4	1965,6±25,5

Badane przedsiębiorstwa wykorzystywały informatyczne systemy wspomagające logistykę (tabela 6). Przedsiębiorstwo A opiera się na systemie informatycznym ERP, co pomaga zarządzać produkcją, łącząc moduły księgowość i płace. Przedsiębiorstwo B wykorzystuje system informatyczny FK - wspomagający informatycznie dział finansowo-księgowy w firmie; system MRP wspomagający produkcję, ale wyłącznie w zakresie przyływu materiałów oraz system EDI dotyczący wspomagania elektronicznej obsługi dokumentów handlowych i finansowych.

Tabela 6. Systemy informatyczne wykorzystywane w badanych przedsiębiorstwach (%)

Lp.	Systemy informatyczne	Przedsiębiorstwo	
		A	B
1.	FK - funkcjonowanie działów finansowo – księgowych	-	45
2.	MRP - zarządzanie produkcją w zakresie przepływu materiałów	-	15
3.	ERP – zarządzanie produkcją, księgowość, kontrola jakości i wydajności	100	-
4.	EDI - Elektroniczna Wymiana Danych - wymiana dokumentów handlowych i finansowych	-	40

Podsumowanie

W badaniach własnych wykazano, że badane przedsiębiorstwa posiadają oddzielne działy zajmujące się organizacją transportu zaopatrzenia, produkcją, magazynowaniem i dystrybucją. Badane przedsiębiorstwa przemysłu mięsnego działają głównie w lokalnej i regionalnej skali zarówno w odniesieniu do rynków zaopatrzenia jak i zbytu. W zakresie sprzedaży przedsiębiorstwo A działa na szerszą skalę, z czym wiąże się pokonywanie dalszych odległości. Analizowane przedsiębiorstwa korzystają z własnego transportu samochodowego. Dodatkowo przedsiębiorstwo B korzysta z firmy zewnętrznej tylko do dowozu tuczników. Firmy są samowystarczalne pod względem powierzchni i wykorzystania magazynów.

Logistyka w badanych przedsiębiorstwach jest wspomagana przez systemy informatyczne służące głównie do celów księgowych i produkcyjnych.

Bibliografia

- Barbut S. Meat Industry 4.0: A Distant Future? *Animal Frontiers*, 10(4), 38-47, 2020.
- Bogataj D., Hudoklin D., Bogataj M., Dimovski V., Colnar S. Risk mitigation in a meat supply chain with options of redirection. *Sustainability*, 12(20), 8690, 2020.
- Cheng G., Li L.: Joint optimization of production, quality control and maintenance for serial-parallel multistage production systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 204, 107146, 2020.
- Echegaray N., Hassoun A., Jagtap S., Tetteh-Caesar M., Kumar M., Tomasevic I., Lorenzo J.M.: Meat 4.0: principles and applications of industry 4.0 technologies in the meat industry. *Applied Sciences*, 12(14), 6986, 2022.
- Felix T.S., Chan Z.X., Wang A., Goswami A., Singhania A., M.K Tiwari.: Multi-objective particle swarm optimisation based integrated production inventory routing planning for efficient perishable food logistics operations. *International Journal of Production Research*, 58, 5155-5174, 2020.
- Firouz M.S., Mohi-Alden K., Omid, M.: A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. *Food Research International*, 141, 110113, 2021.
- Jałowicki P.: Dupont analysis of polish agri-food industry selected sectors – logistic aspects. Publishing House of Poznan University of Technology, 3, 217-227, 2018.

- Janczewska D., Janczewski J.: System zarządzania jakością jako element logistyki produkcji w branży spożywczej. Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie, 1(32), 183-191, 2021.
- Kabiesz P., Kuboń M.: Evaluation of distribution channels in a selected meat processing company. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie, 134, 63-70, 2019.
- Koliński A., Stajniak M.: Zarządzanie współczesnymi łańcuchami dostaw. Wybrane aspekty jakościowe i organizacyjne Instytutu Naukowo-Wydawniczego Spatium, ISBN 978-83-66017-82-5, Olsztyn, 2019.
- Kot M.: Sustainable supply chain management in the meat industry in Poland. Acta Logistica (AL), 9(4), 487-499, 2022. doi:10.22306/al.v9i4.356
- Kuboń M.: Transport i logistyka w dobie inżynierii mechanicznej. Inżynieria Rolnicza, 224, ISBN 978-83-64377-46-4, Kraków, 2020.
- Marahrens M., Kernberger-Fischer I.: Research for ANIT Committee – The practices of animal welfare during transport in third countries: an overview. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels, 2021.
- Ren Q.S., Fang K., Yang X., Han J.-W.: Ensuring the quality of meat in cold chain logistics: A comprehensive review. Trends in Food Science & Technology, 119, 133-151, 2022.
- Rudawska A., Karczewska M. Wybrane zagadnienia magazynowania w przedsiębiorstwie z branży spożywczej, Technika Transportu Szynowego, 22, 12, 2848-2852, 2015.
- Rut J., Kulińska E.: Zintegrowany system informatyczny racjonalizujący logistyczną obsługę sprzedaż i magazynowania w przedsiębiorstwach, Logistyka, 6, 43-48, 2012.

Adres do korespondencji: jtopczewska@ur.edu.pl

ORCID: Jadwiga Topczewska 0000-0003-3921-5116

ORCID: Małgorzata Ormian 0000-0002-3294-8192

ORCID: Anna Augustyńska-Prejsnar 0000-0003-3729-3882

UWARUNKOWANIA ORGANIZACYJNO-TECHNICZNE PRZEWOZU ŁADUNKÓW SPECJALNYCH – STUDIUM PRZYPADKU

Elżbieta Putkowska¹, Elżbieta Olech², Tomasz Hebda³, Rafał Kornas^{2,4},
Beata Brzychczyk³

¹ Dyplomantka w Katedrze Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

² Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

³ Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

⁴ Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie

Wstęp

Transport to branża prężnie rozwijająca się na rynku krajowym jak i międzynarodowym. Głównym celem transportu jest efektywne przemieszczanie osób, rzeczy, odpadów, żywności oraz zwierząt. Do dystrybucji wykorzystuje się różnego rodzaju środki transportu takie jak: drogowe, kolejowe, morskie czy powietrzne. Dzięki dzisiejszym możliwościom, rynek usług transportowo-spedycyjno-logistycznych (TSL) oferuje szeroki wybór opcji transportowych oraz flotę dostosowaną do konkretnej dziedziny przewożonego towaru. Na podstawie mocno zróżnicowanych rodzajów ładunków, coraz większą uwagę przyciąga transport specjalistyczny, charakterystyczny dla przewozu ładunków specjalnych tzw. ładunków nienormatywnych – gdzie każdy z nich wymaga unikalnych procedur, zezwoleń oraz precyzyjnej organizacji.

W literaturze przedmiotu pojęcie *ładunków specjalnych* odnosi się do zróżnicowanej grupy ładunków, których przewóz wymaga zastosowania niestandardowych rozwiązań organizacyjnych, technicznych oraz formalno-prawnych. Najczęściej zalicza się do nich ładunki ponadnormatywne (nienormatywne), ładunki niebezpieczne, ładunki o wysokiej wartości lub krytycznym znaczeniu dla realizacji projektów inwestycyjnych, a także elementy infrastruktury i urządzenia przemysłowe o znacznej masie i gabarytach. W ujęciu współczesnym przewozy tego typu są często klasyfikowane jako *project cargo* lub *project logistics*, co podkreśla ich projektowy, wieloetapowy i wysokiego ryzyka charakter^{1,2}.

¹ Turbaningsih O., The study of project cargo logistics operation: a general overview, Journal of Shipping and Trade, 2022

² Rodrigue, J.-P., The future of containerization perspectives from maritime and inland freight distribution, GeoJournal, 2009

Badania wskazują, że o „specjalnym” charakterze ładunku decydują nie tylko jego parametry fizyczne, ale również konsekwencje potencjalnych błędów logistycznych. Przewóz ładunków projektowych jest silnie powiązany z ograniczeniami. Można tu wymienić ograniczenia infrastrukturalne, dostępność środków transportu, konieczność uzyskania zezwoleń administracyjnych oraz koordynację wielu interesariuszy. Do nich można zaliczyć zarządców infrastruktury, operatorów logistycznych i organy administracji publicznej^{3,4}. W literaturze podkreśla się, że nawet niewielkie zakłócenia w realizacji transportu mogą generować znaczne straty finansowe i opóźnienia całych projektów inwestycyjnych.

Istotnym nurtem badań są uwarunkowania organizacyjne przewozu ładunków specjalnych, obejmujące planowanie trasy, harmonogramowanie przejazdów, zarządzanie ryzykiem oraz formalizację odpowiedzialności. Jacyna, Gołębiowski i in.⁵ wskazują, że projektowanie systemów transportowych dla ładunków ponadnormatywnych wymaga integracji danych technicznych dotyczących infrastruktury z decyzjami organizacyjnymi, w szczególności w zakresie doboru trasy i środków transportu. Z kolei Nowakowski i Werbińska-Wojciechowska⁶ podkreślają znaczenie niezawodności systemów transportowych w przewozach ponadgabarytowych, wskazując na konieczność uwzględnienia ryzyka awarii infrastruktury i ograniczeń eksploatacyjnych już na etapie planowania.

Równolegle w literaturze akcentowane są uwarunkowania techniczne, w tym zagadnienia związane z zabezpieczeniem ładunku, oddziaływaniami dynamicznymi oraz statecznością jednostek ładunkowych. Badania wykazują, że przyspieszenia i siły bezwładności występujące podczas transportu drogowego mają kluczowe znaczenie dla doboru metod mocowania ładunku, a ich nieuwzględnienie prowadzi do wzrostu ryzyka uszkodzeń i wypadków. Transport ciężkich ładunków wymaga ścisłego powiązania rozwiązań technicznych (systemy mocowania, nośność naczep, wytrzymałość punktów zaczepowych) z procedurami organizacyjnymi i kontrolnymi⁷.

W kontekście przewozów intermodalnych oraz kontenerowych literatura zwraca uwagę na rolę prawidłowego przygotowania i pakowania jednostek transportowych. Choć podstawą praktyczną są w tym zakresie kody i normy techniczne, to badania operacyjne wskazują, że błędy na etapie pakowania i mocowania ładunku w jednostkach CTU są jedną z głównych przyczyn incydentów transportowych w łańcuchach dostaw⁸. Integracja decyzji technicznych i organizacyjnych jest również istotna z punktu widzenia

³ Wee H., Blos M., Yang W.H., Risk Management in Logistics, Intelligent Systems Reference Library, 2012

⁴ Turbanisih O., op. cit.

⁵ Gołębiowski P., Jacyna-Gołda I., Jachimowski R., Lewczuk K., Wybrane aspekty kształtowania zrównoważonego systemu transportowego, Logistyka, 2014

⁶ Nowakowski T., Werbińska-Wojciechowska S., Data gathering problem in decision support system for means of transport maintenance processes performance development, Safety, Reliability and Risk Analysis, 2013

⁷ Andrzejewski M., Gallas D., Daszkiewicz P., Merksiz-Guranowska A., The latest technical solutions in rail vehicles drives, MATEC Web Conf. Volume 118, 2017

⁸ Dekker R., Bloemhof J., Mallidis I., Operations research for green logistics – An overview. European Journal of Operational Research, 2012

zrównoważonego rozwoju i efektywności energetycznej transportu, co podkreślają Acciaro i in.⁹ w odniesieniu do operacji portowych i transportu ładunków projektowych.

Analiza literatury prowadzi do wniosku, że uwarunkowania organizacyjne i techniczne w przewozie ładunków specjalnych są wzajemnie zależne i nie mogą być rozpatrywane rozdzielnie. Wymagania techniczne dotyczące zabezpieczenia, wytrzymałości i stateczności ładunku determinują sposób organizacji transportu, natomiast ograniczenia organizacyjne i formalno-prawne wpływają na dobór rozwiązań technicznych. W efekcie przewóz ładunków specjalnych ma charakter interdyscyplinarny i wymaga integracji wiedzy z zakresu inżynierii transportu, logistyki, zarządzania ryzykiem oraz eksploatacji infrastruktury^{10,11}.

Akty prawne regulujące przewóz ładunków nienormatywnych

Jednym z niezbędnych elementów w organizacji jak i całym przebiegu transportu nienormatywnego jest przestrzeganie zasad zawartych w aktach prawnych oraz posiadanie niezbędnych zezwoleń na tego rodzaju przewóz. Przedsiębiorstwa chcące odbyć takie przedsięwzięcie, muszą ubiegać się o pozwolenie na przejazd transportu nienormatywnego. Konieczne jest także zapoznanie ze wszelkimi przepisami dotyczącymi transportu ładunków nienormatywnych oraz przestrzeganie ich w czasie procesu transportowego.

Poniżej przedstawiono akty prawne regulujące zasady przejazdów pojazdów nienormatywnych od dnia 13 marca 2021 r.:

- Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1251 z późn. zm.),
- Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych (t.j. Dz. U. z 2025 r. poz. 889),
- Ustawa z dnia 14 czerwca 1960 r. Kodeks postępowania administracyjnego (t.j. Dz. U. z 2025 r. poz. 1691),
- Ustawa z dnia 6 września 2001 r. o transporcie drogowym (t.j. Dz. U. z 2025 r. poz. 1490 z późn. zm.),
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 502 z późn. zm.),
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 21 stycznia 2021 r. w sprawie zezwoleń na przejazd pojazdów nienormatywnych (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 126),
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 lutego 2021 r. w sprawie wysokości opłat za wydanie zezwolenia na przejazd pojazdu nienormatywnego (Dz. U. poz. 315),
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 8 listopada 2023 r. w sprawie pilotowania pojazdów nienormatywnych (Dz. U. poz. 2487),
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 5 listopada 2019 r. w sprawie kontroli ruchu drogowego (Dz. U. poz. 2141 z późn. zm.).

⁹ Acciaro M., Vanelander T., Sys Ch., Ferrari C., Environmental sustainability in seaports: A framework for successful innovation, Maritime Policy & Management, 2014

¹⁰ Coyle J.J., Novack R., Gigson B.J., Bardi, E.J. Management of transportation, South-Western Cengage Learning, 2011

¹¹ Wee H., Blos M., Yang W.H., op. cit.

Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1251 z późn. zm.) to dokument, w którym w szczególności w artykule 64 przedstawione są warunki dotyczące ruchu pojazdu nienormatywnego, takie jak uzyskanie zezwolenia na przejazd odpowiedniej kategorii oraz przestrzeganie zasad zawartych w otrzymanym zezwoleniu, zachowanie szczególnej ostrożności przez wszelkie jednostki biorące udział w danym przewozie ładunków nienormatywnych, posiadanie dokumentacji niezbędnej do transportu nienormatywnego jak i odpowiednie wyposażenie oraz oznakowanie pojazdu nienormatywnego. Ważnym elementem jest tzw. rola pilotażu.

Pilotaż w transporcie nienormatywnym oznacza osobę lub osoby, których zadaniem jest asystowanie podczas całego przejazdu ponadnormatywnego w specjalnie oznakowanym, przystosowanym do tego pojeździe. Rolą pilota jest przede wszystkim nadzorowanie pojazdu podczas transportu, stałe zabezpieczanie przestrzeni wokół wykonywanego transportu, ostrzeganie innych użytkowników drogi, pełne skupienie oraz reagowanie na ewentualne, nieprzewidziane sytuacje. To czy dany przejazd będzie wymagał pilotażu, uzależnione jest od warunków prawnych. Przykładową treść przepisu dotyczącego pilotowania, przedstawiono poniżej:

Przepisy z § 2 rozporządzenia Infrastruktury z dnia 8 listopada 2023 r. w sprawie pilotowania pojazdów nienormatywnych (Dz. U. poz. 2487) regulują generalne wymagania dotyczące sposobu pilotowania pojazdów nienormatywnych takie jak:

- Pilotowanie jednym pojazdem, gdy pojazd nienormatywny przekracza co najmniej jedną z następujących wielkości: długość - 23 m, szerokość - 3,2 m, wysokość - 4,5 m i/lub rzeczywista masa całkowita - 60 t.
- Pilotowanie dwoma pojazdami poruszającymi się z przodu i z tyłu pojazdu nienormatywnego, gdy ten przekracza co najmniej jedną z następujących wielkości: długość - 30 m, szerokość - 3,6 m, wysokość - 4,7 m i/lub rzeczywista masa całkowita - 80 t.
- Pojazdy nienormatywne poruszające się w kolumnie powinny być pilotowane przy użyciu dwóch pojazdów wykonujących pilotowanie, poruszających się z przodu i z tyłu kolumny¹²

Kategorie transportu nienormatywnego

Transport nienormatywny obejmuje przewóz ładunków, których parametry masowe lub gabarytowe powodują przekroczenie dopuszczalnych wartości określonych dla standardowego ruchu drogowego. W praktyce organizacyjnej stosuje się podział na kategorie zezwoleń, które różnicują wymagania techniczne i formalne w zależności od stopnia przekroczenia dopuszczalnych wymiarów, masy całkowitej pojazdu oraz nacisków osi. System kategorii pełni funkcję narzędzia zarządzania ryzykiem infrastrukturalnym, umożliwiając dostosowanie warunków przejazdu do nośności dróg oraz obiektów inżynierskich¹³.

¹² Mroczkowski M., Pilotowanie pojazdów nienormatywnych, MATERIAŁ INFORMACYJNY przygotowany przez Wojewódzki Inspektorat Transportu Drogowego w Bydgoszczy oraz Ogólnopolskie Stowarzyszenie Pracodawców Transportu Nienormatywnego, Bydgoszcz, 2024

¹³ Gołębiowski P., Jacyna-Golda I., op. cit.

Ustawa Prawo o ruchu drogowym wyróżnia pięć kategorii zezwoleń na przejazd pojazdów nienormatywnych, określonych na podstawie ich wymiarów, masy oraz nacisków na oś. Tabela 1 przedstawia kategorie zezwoleń wraz z opisem.

Tabela 1. Kategorie zezwoleń na przejazd pojazdu nienormatywnego, organy wydające zezwolenia, terminy ważności zezwoleń oraz stawki opłat za wydanie zezwolenia

Lp.	Kategoria zezwole- nia / Organ wyda- jący	Pojazdy nienormatywne	Drogi	Termin ważności	Stawka opłaty (zł)
1	I starosta	Parametry nie większe od do- puszczalnych; Szerokość $\leq 3,5$ m	publiczne (bez ekspresowych i autostrad)	12 mie- sięcy	100
2	II starosta, naczelnik UCS	Szerokość $\leq 3,2$ m; Długość: 15 m (po- jazd), 23 m (ze- spół); Wysokość $\leq 4,3$ m	publiczne	1–24 miesięcy	200–2000
3	III GDDKiA, naczelnik UCS	Szerokość $\leq 3,4$ m; Długość do 30 m; Wysokość $\leq 4,3$ m	krajowe	1–24 miesięcy	500–3000
4	IV GDDKiA	Szerokość do 4 m; Długość do 30 m; Wysokość $\leq 4,3$ m; Masa ≤ 60 t	publiczne	1–24 miesięcy	800–4800
5	V GDDKiA / prezy- dent miasta	Parametry przekra- czające kat. I–IV	trasa wska- zana w zezwo- leniu	14 lub 30 dni	wg wzoru

Źródło: opracowanie własne na podstawie gov.pl¹⁴

Najwyższe kategorie transportu nienormatywnego dotyczą przewozów o znacznym stopniu przekroczeń, które nie mogą być realizowane w oparciu o standardowe parametry infrastruktury drogowej. W takich przypadkach transport ma charakter projektowy, a jego organizacja wymaga indywidualnej analizy technicznej trasy, uwzględniającej m.in. nośność obiektów mostowych, skrajnię drogową oraz warunki geometryczne dróg. Przewozy tego typu stanowią integralny element logistyki projektowej i wymagają ścisłej koordynacji pomiędzy podmiotami technicznymi, logistycznymi i administracyjnym.

Techniczne aspekty transportu nienormatywnego

Ze względu na duże gabaryty oraz ciężar ładunków bardzo ważne jest dobranie odpowiedniego ciągnika siodłowego oraz naczepy. W transporcie jednym z kluczowych parametrów jest dopuszczalna masa całkowita (DMC) pojazdu ciężarowego oraz

¹⁴ <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/przejazdy-pojazdow-nienormatywnych> dostęp na dzień 14.12.2025r.

dopuszczalne naciski na osie pojazdu¹⁵. Pojazdy nienormatywne wykorzystywane są głównie do transportu ładunków niepodzielnych. Do przewozu ładunków ponadgabarytowych stosuje się różnorodne pojazdy członowe, składające się z ciągnika siodłowego oraz różnych typów naczep. W transporcie ponadnormatywnym używa się ciągników siodłowych o liczbie osi od dwóch do pięciu, podczas gdy naczepy mogą mieć od dwóch do kilkudziesięciu osi. Oprócz tej liczby istotnym parametrem jest moc silnika. Wpływa ona na zdolność do przewożenia ciężkich ładunków. Ciągniki przeznaczone do takich zadań są dostosowane do pracy w zestawach o masie całkowitej sięgającej nawet 250 ton. Ich konstrukcja umożliwia przenoszenie dużych nacisków naczepy na siodło oraz zapewnienie odpowiedniej siły napędowej. Zarówno ciągniki siodłowe jak i naczepy dostępne na polskim rynku charakteryzują się szerokim wyborem marek i modeli dostosowanych do różnych potrzeb transportowych¹⁶. Ostateczny dobór zespołu pojazdów jest uzależniony od przewożonego ładunku.

Kolejnym etapem organizacji przejazdu nienormatywnego jest dobranie odpowiedniej maszyny załadunkowo-rozładunkowej oraz mocowania danego ładunku. To jaki powinien być ich rodzaj czy ilość zależy przede wszystkim od wielkości ładunku, jego kształtu, wytrzymałości materiału, z którego jest wykonany oraz siły tarcia. Do przenoszenia ładunków ponadgabarytowych używane są maszyny o dużym udźwigu takie jak: różnego rodzaju podnośniki, suwnice, dźwigi czy żurawie. Sprzęt musi być odpowiednio zaopatrzony, a jego typ dobrany na podstawie właściwości przenoszonego ładunku¹⁷.

W trakcie transportu ładunek i jego części składowe muszą być odpowiednio zabezpieczone przed toceniem się, poślizgiem, przesuwaniem oraz przewróceniem w wyniku drgań w dowolnym kierunku. Można to osiągnąć poprzez zastosowanie takich metod jak unieruchamianie, blokowanie lub zwiększanie tarcia. Takie środki bezpieczeństwa mają na celu ochronę osób uczestniczących w operacjach ładunkowych, kierowców, innych użytkowników dróg, pieszych, a także samego ładunku i pojazdu. Rodzaj oraz ilości mocowań również są dobierane na podstawie wymogów przewozu danego ładunku, jego wielkości i ciężaru oraz rodzaju naczepy, tak aby nie naruszyć konstrukcji podczas całego procesu transportowego. Do osprzętu mocującego zaliczyć można: łańcuchy lub liny stalowe, pasy mocujące, różnego rodzaju odciągi, taśmy, napinacze, siatki i płachty z odciągami oraz belki blokujące¹⁸. Dobrym rozwiązaniem są również dospawane elementy – wytwarzane specjalnie do danego rodzaju ładunku.

Drogowy transport ponadgabarytowy często napotyka na przeszkody związane z infrastrukturą drogową, takie jak niskie mosty, wiadukty, sygnalizacja świetlna, znaki drogowe czy linie trakcyjne – elektryczne, kolejowe i tramwajowe. Przed realizacją przewozu zazwyczaj przeprowadza się wizję lokalną, podczas której analizuje się trasę oraz identyfikuje wszelkie ograniczenia i trudności. Dodatkowe wyzwania mogą wynikać z remontów lub przebudowy dróg, które powodują opóźnienia, wydłużają czas transportu

¹⁵ Rybiński Ł., Chojnacki D.: Przewozy ponadnormatywne w transporcie drogowym, Katowice, 2018.

¹⁶ Prochowska A., Żukowska A.: Technika transportu ładunków, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2009

¹⁷ Rybiński Ł., op. cit.

¹⁸ de Pretto U., O'Halloran M., Johansson M.: Międzynarodowe wytyczne odnośnie bezpiecznego mocowania ładunków w transporcie, IRU_CIT, Geneva, 2014

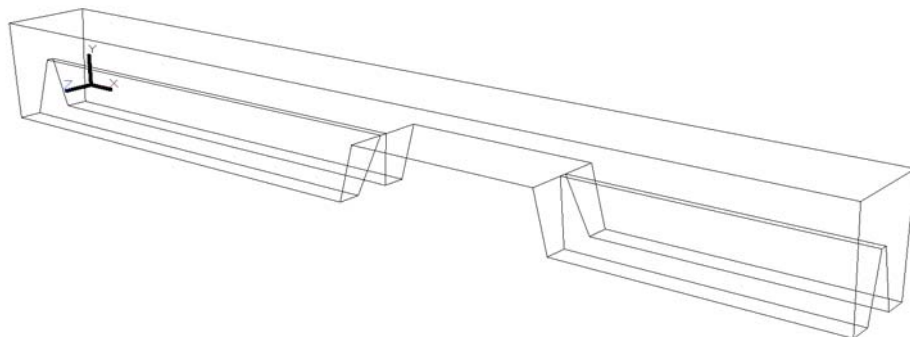
i zwiększają jego koszty. W takich sytuacjach konieczne jest wyznaczenie trasy alternatywnej, co często prowadzi do jej wydłużenia w stosunku do pierwotnego planu¹⁹. Wyznaczenie odpowiedniej trasy przejazdu oraz jej wcześniejsza analiza są niezbędnym elementem organizacji transportu nienormatywnego.

Studium przypadku – transport nienormatywny kategorii V

Transport nienormatywny kategorii V stanowi jedną z najbardziej złożonych form przewozu ładunków ze względu na znaczne przekroczenia dopuszczalnych parametrów gabarytowych i masowych, a także wysoki poziom wymagań organizacyjnych i formalnoprawnych. Realizacja tego typu transportu wymaga precyzyjnego planowania trasy, szczegółowych analiz infrastrukturalnych oraz ścisłej koordynacji wielu podmiotów, w tym zarządców dróg, służb technicznych i organów administracji publicznej.

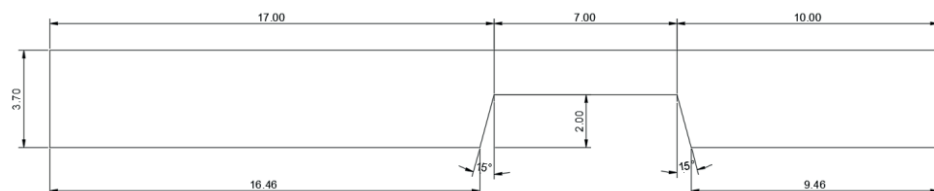
Celem niniejszego studium przypadku jest przedstawienie przebiegu rzeczywistego transportu nienormatywnego kategorii V, ze szczególnym uwzględnieniem uwarunkowań technicznych, organizacyjnych oraz logistycznych, a także identyfikacja kluczowych czynników ryzyka wpływających na efektywność realizacji przewozu. Z uwagi na złożoność oraz różnego typu ograniczenia wszystkie rysunki wykorzystane w publikacji są poglądowe.

Pierwszym i najistotniejszym elementem jest sprecyzowanie przewożonego obiektu. W tym przypadku ładunkiem ponadgabarytowym była pływająca platforma betonowa, której wymiary wynosiły: 34 m długości, 3,4 m szerokości, 3,7 m wysokości, a masa całkowita to 70 t. Widok ładunku przedstawiono na rysunkach 1-3, które zostały zobrażowane za pomocą programu AutoCad.

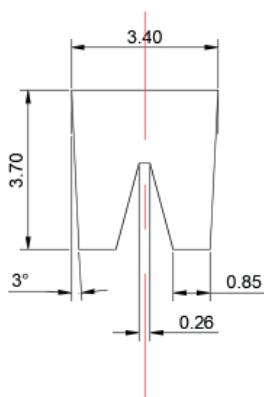


Rysunek 1. Ładunek nienormatywny w 3D jako betonowy podest wodny

¹⁹ Krygier D., Budzik R.: Planowanie transportu ponadgabarytowego, *Logistyka*, 6, 2014



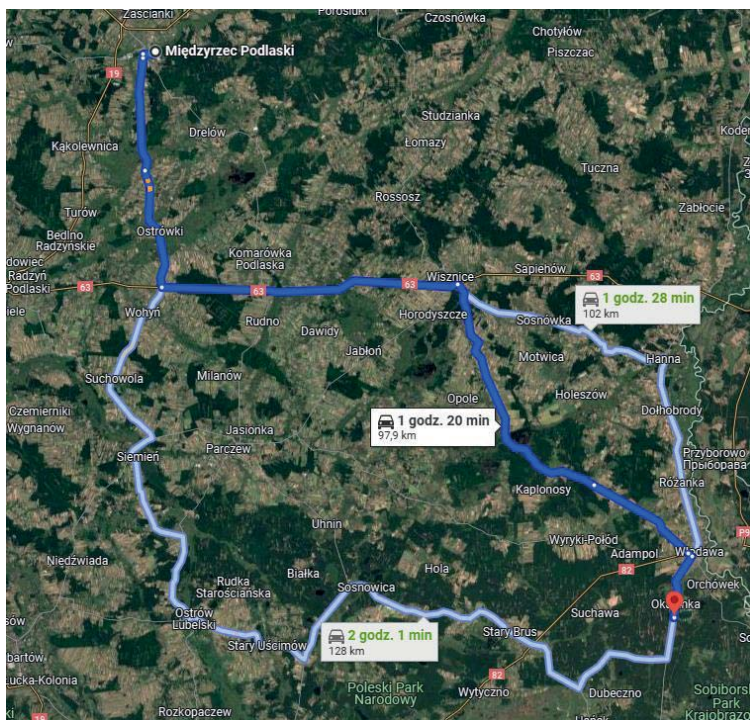
Rysunek 2. Ładunek nienormatywny – widok z boku wraz z wymiarami



Rysunek 3. Widok ładunku od przodu

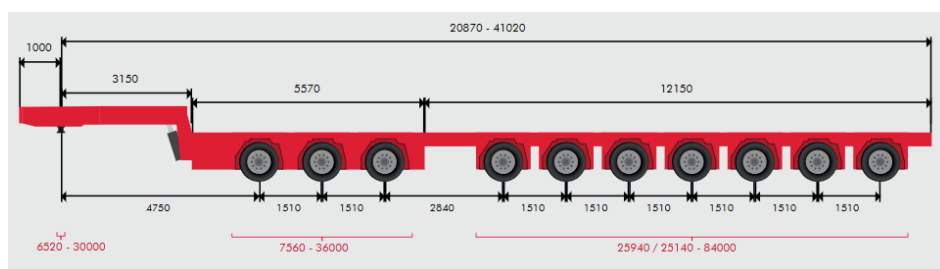
Kolejnym etapem planu transportu było przedstawienie trasy, na której miał być realizowany przewóz ładunku nienormatywnego. W tym przypadku miejsce załadunkowe znajdowało się w miejscowości Międzyrzec Podlaski, a miejsce rozładunkowe w miejscowości Okuninka. Obydwa miasta znajdują się we wschodniej części Polski - w województwie lubelskim. Trasa wynosiła około 100 km. Wizualizację trasy przedstawiono z wykorzystaniem Google Maps (rys. 4). Średnia prędkość jaką poruszał się transport była w przedziale od 10 do 15 km/h.

Do przewozu wybranego ładunku był potrzebny odpowiedni ciągnik siodłowy wraz z naczepą. Biorąc pod uwagę bardzo duży ciężar ładunku oraz jego długość, dopasowano zestaw pojazdów za pomocą nowoczesnego programu NOVAB 3.0 służącego do obliczania nacisków na osie. Program oblicza również optymalną pozycję ładunku dla różnych konfiguracji pojazdów. Użytkownicy mogą wybierać spośród predefiniowanych pojazdów lub dostosować ich parametry, a także definiować ładunek. NOVAB na tej podstawie oblicza obciążenie osi i najlepszy rozkład nacisków.



Rysunek 4. Wizualizacja analizowanej trasy

Kolejnym etapem było dobranie odpowiedniej naczepy. Przy wyborze kierowano się przede wszystkim długością oraz ciężarem ładunku. Spośród dostępnych w tym programie rodzajów, wybrano naczepę niskopodwoziową semi MULTI w kombinacji 3+7 osi. Była to jedyna naczepa, której właściwości takie jak długość oraz możliwe naciski na osie, spełniała warunki niezbędne do przewiezienia analizowanego ładunku. Na rysunku 5 przedstawiono wizualizację naczepy. Maksymalne naciski na osie sięgają w sumie około 120000 kg. Na rysunku, kolorem czarnym zaznaczono długości w (mm) oraz kolorem czerwonym wartości dopuszczalnych nacisków na osie wyrażone w (kg).



Rysunek 5. Naczepa niskopodwoziowa semi MULTI

Podczas wyboru ciągnika siodłowego wzorowano się modelem Volvo FH16, który na podstawie swoich właściwości takich jak dopuszczalny maksymalny nacisk na osie tylne wynoszący 23 t oraz konstrukcyjna dopuszczalna masa całkowita zestawu wynosząca 100 t, pozwoli na utrzymanie ciężaru naczepy wraz z ładunkiem.

Konfigurując odpowiednio wymiary ciągnika siodłowego z napędem 6x4 w programie NOVAB, przedstawiono całość zespołu pojazdów w kalkulacji koncepcji. Ze względu na to, iż naczepa jest wysuwana na odpowiednią długość, w tej sytuacji rozciągnięto naczepę na około 17,5 m. W tej konfiguracji, zestaw pojazdu wynosi w sumie około 44 m długości a jego masa wraz z ładunkiem wynosi w sumie około 117 t.

Wybór odpowiedniego środka transportu musi spełniać warunki dedykowane transportowi ponadgabarytowemu. Pomimo specyficznych wymagań technicznych, rynek oraz firmy transportowe, coraz częściej oferują duży wybór tego rodzaju pojazdów, co zapewne znaczenie upraszcza organizację całego przejazdu. Dodatkowym ułatwieniem są również programy obliczeniowe, które wspomagają operatorów transportu w doborze odpowiedniego środka transportu.

Do sprawnego i bezpiecznego załadunku jak i rozładunku, w przypadku ładunków specjalistycznych o dużej masie, potrzebna jest również odpowiednia infrastruktura oraz sprzęt techniczny. Do załadunku jak i rozładunku betonowego podestu, użyto dwóch dźwigów samojedznych, o maksymalnym udźwigu wynoszącym 80 ton. Podczas załadunku jak i rozładunku postanowiono użyć obu dźwigów jednocześnie, ustawiając je po dwóch stronach ładunku, tak aby móc go podnieść i utworzyć w ten sposób przeciwwagę, co umożliwiło stabilne i bezpiecznie przeniesienie ładunku na naczepę oraz zdjęcie go z niej po odbytym transporcie. Obiekt był podnoszony za pomocą odciągów łańcuchowych z hakami, zapiętymi o stalowe pętle, umieszczone na ładunku. W tym przypadku uznano za odpowiedni rodzaj łańcuch zawieszinowy techniczny PN-EN 818-2. Aby zestaw podniósł cały ładunek założono, że będzie potrzebne minimum 10 kompletów łańcuchów – po 5 sztuk na jeden hak, ponieważ udźwig jednego łańcucha wynosi 8 t. W ten sposób suma dopuszczalnego udźwigu łańcuchów wynosiła 80 t, a więc więcej niż masa ładunku.

Kluczowym etapem organizacji transportu nienormatywnego jest analiza i przygotowanie trasy przejazdu. Planowana trasa obejmowała głównie drogi: krajowe (DK63), wojewódzkie (DW812) oraz odcinki dróg powiatowych i gminnych we wschodniej części województwa lubelskiego. Na trasie nie występowały mosty ani wiadukty, jednak zidentyfikowano kilka newralgicznych punktów wymagających czasowej ingerencji w infrastrukturę, w tym ronda, ostre łuki, skrzyżowania oraz przejazd kolejowy z siecią trakcyjną. Przejazd kolejowy wymagał czasowego wstrzymania ruchu drogowego i kolejowego, demontażu lub nadsypania torów oraz wyłączenia i demontażu sieci trakcyjnej. Ronda i skrzyżowania wymagały usunięcia elementów drogowych (znaków, kraężników, barierek) oraz lokalnego wzmocnienia lub nadsypania nawierzchni w celu zapewnienia odpowiednich promieni skrętu. Teren charakteryzował się niewielkimi nachyleniami (do 3°), jednak miejscami konieczne było wzmocnienie nawierzchni. Przejazd zaplanowano w godzinach nocnych (23:00 - 6:00) z prędkością 10 - 15 km/h przy wsparciu pilotażu i policji. Całkowity czas operacji, wraz z załadunkiem, rozładunkiem i przerwami, oszacowano na 16 - 19 godzin. Na trasie przewidziano również punkt postoju awaryjnego. Analiza wykazała, że mimo relatywnie niewielkiej liczby

newralgicznych miejsc, każdy transport kategorii V wymagał indywidualnego przygotowania i zabezpieczenia trasy.

Niezbędne obliczenia

Obliczenia odgrywają kluczową rolę w ustalaniu transportu nienormatywnego, ponieważ pozwalają na uwzględnienie szeregu specyficznych czynników, które są niezbędne do bezpiecznego i efektywnego przeprowadzenia operacji. Umożliwiają analizę stabilności ładunku poprzez ocenę rozkładu ciężaru oraz położenia środka ciężkości, co pozwala uniknąć przewrócenia się pojazdu podczas jazdy. Właściwe obliczenia pozwalają zminimalizować ryzyko przemieszczenia się ładunku w wyniku działania tych sił, co jest istotne dla bezpieczeństwa zarówno pojazdu, jak i innych użytkowników drogi. Precyzyjne obliczenia w organizacji transportu nienormatywnego są niezbędne, aby zapewnić sprawny i bezpieczny przebieg operacji, minimalizując ryzyko wypadków, uszkodzeń infrastruktury co mogłoby powodować dodatkowe koszty.

W pierwszej kolejności należy obliczyć ciężar właściwy. Wyznaczenie ciężaru ładunku jest niezbędne do określenia przede wszystkim środka ciężkości i momentu bezwładności. Pozwala to obliczyć stabilność pojazdu, równomiernie rozmieścić ładunek oraz zapobiec przewróceniu się podczas transportu. Dokładna masa ładunku jest też konieczna do analizy zachowania pojazdu podczas manewrów.

$$G=m \cdot g$$

gdzie:

- G – ciężar ładunku (N)
- m – masa ładunku (kg)
- g – siła grawitacji ($m \cdot s^{-2}$)

Ze wzoru wyliczono ciężar przewożonego ładunku, który wynosił:

$$G=70000 \cdot 9,81=686700(N)$$

Masa przewożonego ładunku wynosiła zatem 686,7 kN.

Kolejny parametr to środek ciężkości. Wyznaczono go z układu brył danej figury skupiając się na rzucie bocznym ładunku (rzut przedni jest symetryczny). Bryłę (rzut boczny) podzielono na pięć figur, przyjmując układ współrzędnych w lewym dolnym rogu figury.

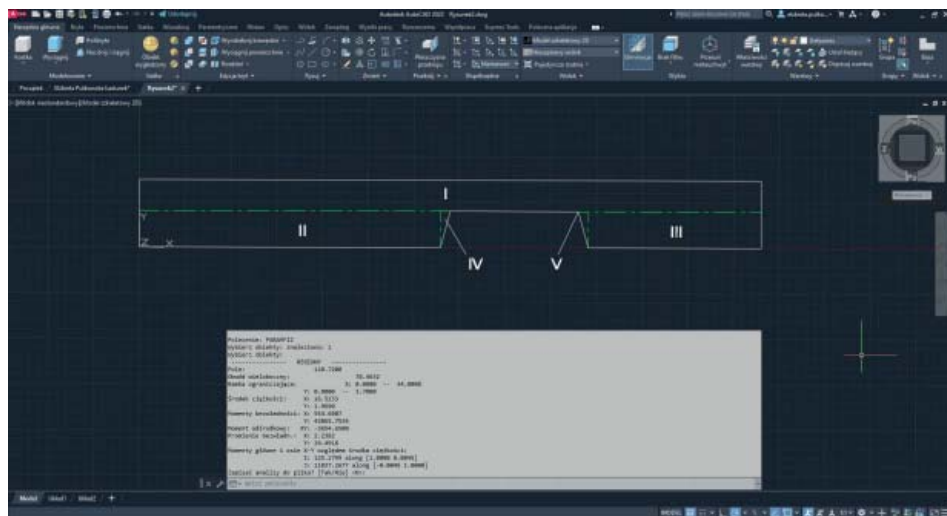
Obliczenia wykazały, że środek ciężkości ma następujące współrzędne:

$$Y= 1,97 \text{ (m)}$$

$$X= 16,52 \text{ (m)}$$

$$Z= 1,7(m)$$

Sprawdzenia wyników dokonano w programie AutoCad. Jak można zauważyć wartości otrzymane podczas obliczeń analitycznych zgadzają się z tymi, które zostały wyliczone za pomocą programu komputerowego (rysunek 6 i 7).



Rysunek 6. Analiza obliczeń ładunku

```

Polecenie: PARAMFIZ
Wybierz obiekty: znalezione: 1
Wybierz obiekty:
----- REGIONY -----
Pole: 110.7200
Obwód wieloboczny: 78.4632
Ramka ograniczająca: X: 0.0000 -- 34.0000
Y: 0.0000 -- 3.7000
Środek ciężkości: X: 16.5233
Y: 1.9690
Momenty bezwładności: X: 554.6807
Y: 42065.7534
Moment odśrodkowy: XY: -3654.6500
Promienie bezwładn.: X: 2.2382
Y: 19.4918
Momenty główne i osie X-Y względem środka ciężkości:
I: 125.1799 along [1.0000 0.0045]
J: 11837.2677 along [-0.0045 1.0000]
Zapisać analizy do pliku: [Tak/Nie] <N>:

```

Rysunek 7. Potwierdzenie obliczeń

Podane dane oraz analiza programowa wskazują, że środek ciężkości oraz bezwładności został poprawnie wykonany

W celu zapewnienia bezpieczeństwa podczas transportu niezbędne jest obliczenie współczynnika tarcia pomiędzy powierzchnią naczepy a transportowanym materiałem. Wiedza ta jest niezbędna do poznania sposobu zachowania się ładunku podczas przyspieszania czy też hamowania zestawu transportowego oraz do poprawnego zabezpieczenia ładunku na czas transportu.

Współczynnik tarcia powierzchni betonowej wynosi od 0,5 do 10. Do obliczeń dobrano współczynnik $\mu=8$. Do obliczenia siły tarcia skorzystano ze wzoru poniżej:

$$T = \mu \cdot G$$

gdzie:

- T – siła tarcia (N),
- μ – współczynnik tarcia,
- G – ciężar ładunku (N).

Z powyższego wzoru obliczono siłę tarcia:

$$T = 0,8 \cdot 686700 = 549360 \text{ (N)}$$

Można zauważyć, że siła tarcia na wysoką wartość, która wynika głównie z ciężaru ładunku.

Znając ciężar ładunku, środek ciężkości, siłę tarcia oraz wszelkie niezbędne wymiary można również wskazać czy podczas przejazdu tego pojazdu nienormatywnego, niezbędne jest mocowanie tego konkretnego ładunku. W pierwszej kolejności można obliczyć tzw. siłę zabezpieczenia, która wyrażona jest wzorem:

$$F_z = F_m - T$$

gdzie:

- F_z – siła zabezpieczenia (N)
- F_m – siła bezwładności (N)
- T – siła tarcia (N)

Siłę bezwładności wylicza się ze wzoru:

$$F_m = f \cdot G$$

gdzie:

- F_m – siła bezwładności (F)
- f – wskaźnik maksymalnej siły bezwładności działającej na ładunek, ($f=0,5$ dla przyspieszenia oraz zmiany kierunku ruchu, $f=0,8$ dla hamowania)
- G – ciężar ładunku (N)

Podstawiając do wzorów dane otrzymano odpowiednio:

$$\text{dla } f=0,5: F_z = f \cdot G - T = 0,5 \cdot 686700 \text{ N} - 549360 \text{ N} = 343350 \text{ N} - 549360 \text{ N} = -206010 \text{ N}$$

$$\text{dla } f=0,8: F_z = f \cdot G - T = 0,8 \cdot 686700 \text{ N} - 549360 \text{ N} = 549360 \text{ N} - 549360 \text{ N} = 0 \text{ N}$$

Z powyższych obliczeń można wywnioskować, że w idealnych warunkach transportu ładunku, sam jego ciężar oraz przyjęta siła tarcia powodują brak konieczności stosowania dodatkowych zabezpieczeń. Ujemna siła zabezpieczenia wskazuje duży ciężar ładunku, dzięki czemu w czasie przyspieszenia lub niewielkiej zmiany kierunku, nie powinien się on poruszyć. Siła równa 0N w momencie hamowania, powoduje, że ładunek również nie powinien się poruszyć. Mimo wszystko jest to granica, gdzie jednak siła zabezpieczenia będzie wymagana, ponieważ jak już wspomniano – obliczenia są wykonywane dla idealnych warunków przejazdu.

Podsumowanie

Praca poświęcona została zagadnieniom związanym z transportem nienormatywnym, a jej głównym celem było przedstawienie studium przypadku przewozu ładunku należącego do kategorii V.

Zostały przedstawione obowiązujące akty prawne i przepisy regulujące transport nienormatywny. Dokonano charakterystykę transportu nienormatywnego, definiując jego specyfikę oraz podział na pięć kategorii, gdzie kategoria V obejmuje przewozy najbardziej wymagające pod względem logistycznym i technicznym. Przedstawiono wyzwania związane z przewozem ładunków przekraczających standardowe wymiary i masę, a także omówiono sposoby ich realizacji w praktyce.

Część zasadnicza związana ze studium przypadku skupiła się na przypadku transportu betonowego ładunku o masie 70 ton. W oparciu o założenia dotyczące wymiarów oraz właściwości ładunku przedstawiono wybór optymalnej trasy przejazdu. Do transportu wybranego ładunku przedstawiono odpowiedni zestaw pojazdów, składający się z ciągnika siodłowego wzorowanego na modelu Volvo FH16 oraz naczepy 3+7 osi. Dobór środków transportu przeprowadzono przy użyciu specjalistycznego oprogramowania NOVAB, które pozwoliło na precyzyjną analizę rozmieszczenia środka ciężkości oraz rozkładu nacisków na poszczególne osie. Dzięki temu potwierdzono, że zaproponowany zestaw spełniał wymagania techniczne oraz gwarantował bezpieczny transport ładunku na wybranej trasie.

Kluczowym elementem analizy była ocena dynamicznego zachowania ładunku podczas transportu, w tym w warunkach przyspieszenia, hamowania. Analiza ta miała istotne znaczenie dla określenia strategii postępowania w sytuacjach awaryjnych oraz zapewnienia pełnej kontroli nad zestawem pojazdów podczas przejazdu przez trudniejsze odcinki trasy.

Przedstawione rozwiązania, w tym odpowiedni dobór środków transportu, analiza stabilności ładunku oraz ocena krytycznych punktów trasy, potwierdzają możliwość skutecznej realizacji tego rodzaju transportu.

Bibliografia

- Acciaro M., Vanelslander T., Sys Ch., Ferrari C., Environmental sustainability in seaports: A framework for successful innovation, *Maritime Policy & Management*, 2014.
- Andrzejewski M., Gallas D., Daszkiewicz P., Merksiz-Guranowska A., The latest technical solutions in rail vehicles drives, *MATEC Web Conf. Volume 118*, 2017.
- Coyle J.J., Novack R., Gigson B.J., Bardi, E.J. *Management of transportation*, South-Western Cengage Learning, 2011.
- Dekker R., Bloemhof J., Mallidis I., Operations research for green logistics – An overview. *European Journal of Operational Research*, 2012.
- de Pretto U., O'Halloran M., Johansson M.: Międzynarodowe wytyczne odnośnie bezpiecznego mocowania ładunków w transporcie, *IRU CIT*, Geneva, 2014.
- Gołębiowski P., Jacyna-Gołda I., Jachimowski R., Lewczuk K., Wybrane aspekty kształtowania zrównoważonego systemu transportowego, *Logistyka*, 2014.
- Krygier D., Budzik R.: Planowanie transportu ponadgabarytowego, *Logistyka*, 6, 2014.

- Mroczkowski M., Pilotowanie pojazdów nienormatywnych, MATERIAŁ INFORMACYJNY przygotowany przez Wojewódzki Inspektorat Transportu Drogowego w Bydgoszczy oraz Ogólnopolskie Stowarzyszenie Pracodawców Transportu Nienormatywnego, Bydgoszcz, 2024.
- Nowakowski T., Werbińska-Wojciechowska S., Data gathering problem in decision support system for means of transport maintenance processes performance development, Safety, Reliability and Risk Analysis, 2013.
- Prochowska A., Żukowska A.: Technika transportu ładunków, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa. 2009.
- Rodrigue, J.-P., The future of containerization perspectives from maritime and inland freight distribution, GeoJournal, 2009.
- Rybiński Ł., Chojnacki D.: Przewozy ponadnormatywne w transporcie drogowym, Katowice, 2018
- Turbaningsih O., The study of project cargo logistics operation: a general overview, Journal of Shipping and Trade, 2022.
- Wee H., Blos M., Yang W.H., Risk Management in Logistics, Intelligent Systems Reference Library, 2012.
- <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/przejazdy-pojazdow-nienormatywnych> dostęp na dzień 14.12.2025r.

Adres do korespondencji: tomasz.hebda@urk.edu.pl

ORCID: Elżbieta Olech 0000-0003-4405-701X

ORCID: Tomasz Hebda 0000-0002-9128-164X

ORCID: Rafał Kornas 0000-0001-8808-7849

ORCID: Beata Brzychczyk 0000-0002-38731664

OCENA DOSTĘPNOŚCI TRANSPORTU PUBLICZNEGO W LOGISTYCE MIEJSKIEJ Z WYKORZYSTANIEM MAP IZOCHRONICZNYCH I WSKAŹNIKÓW SYNTETYCZNYCH

Paweł Pysz¹, Paweł Kielbasa¹, Mirosław Zagórda¹

¹ Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wstęp

W warunkach dynamicznej urbanizacji oraz rosnącej mobilności ludności, efektywne i zrównoważone systemy transportu publicznego stają się kluczowym elementem infrastruktury miejskiej. Logistyka miejska, rozumiana jako zarządzanie przepływami ludzi, towarów i informacji w środowisku miejskim, wymaga narzędzi analitycznych umożliwiających ocenę i optymalizację dostępności transportowej. Dostępność transportowa, rozumiana jako możliwość dotarcia w określonym czasie do wybranych miejsc aktywności, jest nie tylko wskaźnikiem jakości systemu transportowego, lecz także istotnym czynnikiem wpływającym na sprawność łańcucha logistycznego, mobilność pracowniczą, planowanie przestrzenne i rozwój infrastruktury. W literaturze podkreśla się konieczność odchodzenia od podejścia „mobilności” (liczba przejazdów, prędkość) na rzecz analizy „dostępności” (osiągalność miejsc i usług)^{1,2}.

W ostatnich latach rozwój otwartych danych (GTFS³, OSM⁴) oraz narzędzi geoinformacyjnych pozwolił na wdrożenie zaawansowanych metod przestrzennych, jak mapy izochroniczne czy siatki analityczne, które umożliwiają wizualizację i pomiar czasowej dostępności systemu transportu publicznego. Projekty takie jak CityChrone⁵ udostępniły

¹ Brussel M., Zuidgeest M., Pfeiffer K., Van Maarseveen M.: Access or accessibility? A critique of the urban transport SDG indicator, ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(2), s. 67, 2019

² Saif M.A., Zefreh M.M., Torok A.: Public transport accessibility: A literature review, Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 47(1), s. 36–43, 2019

³ GTFS: Pozyskano z: <https://gtfs.org/>

⁴ OpenStreetMap: Pozyskano z: <https://www.openstreetmap.org/about>

⁵ Biazzo I.: CityChrone: an Interactive Platform for Transport Network Analysis and Planning in Urban Systems, w: Benito R.M., Cherifi C., Cherifi H., Moro E., Rocha L.M., Sales-Pardo M. (red.), Complex Networks & Their Applications X, Complex Networks 2021, Springer International Publishing, Cham, s. 780–791, 2021

zarówno koncepcje wskaźników syntetycznych (np. *velocityscore*, *socialityscore*, *cohesionscore*) jak i otwarte repozytoria kodu do analiz miejskich⁶. W efekcie możliwe stało się porównywanie miast pod względem dostępności transportowej, wykrywanie obszarów niedostatecznie obsługiwanych oraz symulowanie scenariuszy infrastrukturalnych.

Celem niniejszego rozdziału monografii jest przedstawienie metodyki oceny dostępności transportu publicznego w kontekście logistyki miejskiej z wykorzystaniem map izochronicznych oraz wskaźników syntetycznych, a następnie zastosowanie tej metody jako studium przypadku dla miasta Kraków. W pierwszej części zostaną omówione teoretyczne podstawy dostępności i jej znaczenie w logistyce miejskiej. Następnie zostanie przedstawiona metodyka: źródła danych, struktura analizy przestrzennej z wykorzystaniem siatki heksagonalnej, generowanie map izochronicznych oraz obliczanie wskaźników syntetycznych. W części empirycznej zaprezentowane zostaną wyniki analizy dostępności systemu transportu publicznego Krakowa – z podziałem czasowym (10, 20, 30 minut), rozkładem przestrzennym wskaźników i identyfikacją obszarów o wysokiej i niskiej dostępności. Na koniec podjęta zostanie dyskusja wyników z perspektywy planowania infrastruktury i logistyki miejskiej oraz zarysowane zostaną kierunki dalszych badań.

Poprzez zastosowanie opisywanej metodyki, możliwe staje się nie tylko ukazanie stanu aktualnego dostępności w konkretnej aglomeracji, lecz także dostarczenie narzędzia — adaptowalnego dla innych miast — które może wspierać decyzje logistyczne (np. lokalizację punktów dostaw, rozmieszczenie przystanków, optymalizację tras komunikacji zbiorowej) oraz zwiększyć spójność systemu mobilności miejskiej.

Znaczenie dostępności w logistyce miejskiej

Dostępność przestrzenna stanowi jeden z kluczowych aspektów oceny jakości systemów transportowych w miastach. W literaturze przedmiotu pojęcie to definiuje się jako łatwość dotarcia do miejsc, usług lub zasobów przy użyciu określonych środków transportu⁷. W logistyce miejskiej, której celem jest zapewnienie efektywnego przepływu ludzi i dóbr przy jednoczesnym ograniczaniu negatywnych skutków środowiskowych, dostępność ma wymiar nie tylko funkcjonalny, ale również społeczny i ekonomiczny⁸. Umożliwia ocenę, na ile infrastruktura transportowa pozwala mieszkańcom i przedsiębiorstwom realizować potrzeby mobilności w sposób efektywny czasowo i kosztowo.

W ujęciu klasycznym wyróżnia się kilka typów dostępności⁹:

- dostępność potencjalną, określającą możliwość dotarcia do określonych celów w zależności od czasu lub kosztu podróży,

⁶ Biazzo I., Monechi B., Loreto V.: General scores for accessibility and inequality measures in urban areas, *Royal Society Open Science*, 6(8), art. 190979, 2019

⁷ Silva C., Bertolini L., Te Brömmelstroet M., Milakis D., Papa E.: Accessibility instruments in planning practice: Bridging the implementation gap, *Transport Policy*, 53, s. 135–145, 2017

⁸ Szymczak M.: *Logistyka miejska*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań, 2008

⁹ Geurs K., van Wee B.: Accessibility: Perspectives, measures and applications, w: van Wee B., Annema J.A., Banister D., Pudane B. (red.): *The Transport System and Transport Policy: An Introduction*, Edward Elgar Publishing, s. 178–199, 2023

- dostępność kumulatywną¹⁰, mierzącą liczbę miejsc lub usług osiągalnych w ustalonym przedziale czasowym,
- oraz dostępność czasową, opisującą relację między czasem podróży a zakresem przestrzeni dostępnej z danego punktu¹¹.

W logistyce miejskiej koncepcja dostępności wykracza poza mobilność jednostek, w związku z czym staje się miarą wydajności systemu transportowego jako elementu infrastruktury logistycznej miasta. Im większa dostępność do węzłów komunikacyjnych, zakładów pracy, centrów dystrybucyjnych czy instytucji publicznych, tym większa efektywność procesów logistycznych i mniejsze obciążenie systemu drogowego¹².

Rozwój narzędzi informatycznych i systemów informacji przestrzennej (GIS) umożliwił przejście od analizy mobilności do analizy dostępności, co stanowi jakościową zmianę w badaniach logistyki miejskiej. Współczesne metody opierają się na danych dynamicznych (rozkłady jazdy GTFS, dane GPS, dane o ruchu drogowym), które pozwalają modelować czas podróży w różnych porach dnia oraz analizować jego zmienność przestrzenną. W ten sposób dostępność przestała być pojęciem statycznym, a stała się wskaźnikiem wrażliwym na realne warunki funkcjonowania systemu transportu publicznego¹³.

Dostępność transportowa odgrywa też istotną rolę w planowaniu zrównoważonego rozwoju miast. Wysoka dostępność komunikacji publicznej sprzyja ograniczaniu ruchu samochodowego, redukcji emisji zanieczyszczeń oraz zwiększeniu spójności społecznej¹⁴. Z drugiej strony, nierównomierna dostępność przestrzenna może prowadzić do marginalizacji peryferyjnych dzielnic oraz wzrostu nierówności w dostępie do usług¹⁵. W tym kontekście koncepcja dostępności jest coraz częściej wykorzystywana jako narzędzie strategicznego zarządzania miastem. Odzwierciedla się to zarówno w politykach transportowych, jak i przestrzennych. Analizy oparte na mapach izochronicznych oraz wskaźnikach syntetycznych pozwalają identyfikować „białe plamy” w systemie komunikacji publicznej, wspierać decyzje o lokalizacji nowych przystanków czy inwestycji infrastrukturalnych, a także optymalizować rozmieszczenie usług miejskich z punktu widzenia użytkowników^{16,17}.

¹⁰ Goliszek S., Połom M., Duma P.: Potential and cumulative accessibility of workplaces by public transport in Szczecin, *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*, nr 50, s. 133–146, 2020

¹¹ Vitrano C., Mellquist L.: Spatiotemporal accessibility by public transport and time wealth: Insights from two peripheral neighborhoods in Malmö, Sweden, *Time & Society*, 32(1), s. 3–32, 2023

¹² Litman T., *Evaluating accessibility for transport planning*, Victoria Transport Policy Institute, Victoria (BC), 2017

¹³ Curtis C., Scheurer J.: *Planning for public transport accessibility: An international sourcebook*, Routledge, London–New York, 2016

¹⁴ Tzvetkova S.: Increasing the social effectiveness of public transport, CBU International Conference Proceedings, t. 5, s. 486–489, 2017

¹⁵ Geurs K.T., Van Wee B.: Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions, *Journal of Transport Geography*, 12(2), s. 127–140, 2004

¹⁶ Curtis C., Scheurer J.: Planning for sustainable accessibility: Developing tools to aid discussion and decision-making, *Progress in Planning*, 74(2), s. 53–106, 2010

¹⁷ Lucas K.: Transport and social exclusion: Where are we now?, *Transport Policy*, 20, s. 105–113, 2013

Metodyka oceny dostępności transportu publicznego

Ocena dostępności transportu publicznego wymaga integracji danych przestrzennych, demograficznych oraz czasowych, które wspólnie tworzą model funkcjonowania systemu komunikacyjnego miasta. W niniejszym badaniu przyjęto podejście łączące dane otwarte, narzędzia geoinformatyczne i obliczenia syntetycznych wskaźników dostępności.

Zastosowana metodyka została opracowana w sposób umożliwiający jej wykorzystanie w innych ośrodkach miejskich, przy zachowaniu jednolitej struktury danych i procedur analitycznych.

Źródła danych

Podstawą analizy są dane pochodzące z ogólnodostępnych, otwartych źródeł, umożliwiające replikację badań i porównywanie wyników między różnymi miastami:

- Granice administracyjne miasta – pozyskane z serwisu OpenStreetMap (OSM), przy użyciu biblioteki OSMnx w środowisku Python. Dane te umożliwiły zdefiniowanie zasięgu przestrzeni badawczej i wydzielenie sieci transportowej w granicach Krakowa.
- Transport publiczny (rozkłady jazdy) – dane w formacie GTFS (*General Transit Feed Specification*), zawierające informacje o przebiegu linii, przystankach, częstotliwości kursowania oraz godzinach odjazdów¹⁸.
- Dane demograficzne – populacja i gęstość zaludnienia na podstawie modelu GHS-POP 2030¹⁹, dostępnego w postaci rastrowej o rozdzielczości 100 m/piksel.
- Model przestrzenny – generowana siatka heksagonalna o boku 200 m, pozwalająca na agregację i porównanie wartości wskaźników w jednostkach o jednakowej powierzchni.
- Wszystkie dane zostały przetworzone i zintegrowane w środowisku GIS przy użyciu bibliotek GeoPandas, NetworkX, OSMnx²⁰, oraz R5Py²¹ (dla obliczeń czasów przejazdu na podstawie danych GTFS).

Struktura przestrzenna analizy

W analizach przestrzennych istotny jest wybór odpowiedniej jednostki przestrzeni, na której oparte są obliczenia wskaźników. W niniejszym badaniu zastosowano siatkę heksagonalną. W porównaniu z tradycyjnymi siatkami kwadratowymi, układ heksagonalny zapewnia równą odległość między sąsiadami, brak kierunkowego uprzywilejowania oraz lepsze odwzorowanie ciągłości przestrzeni miejskiej²². Rysunek 1 prezentuje przykład siatki heksagonalnej, o boku 200 m, wygenerowanej dla obszaru miasta Kraków.

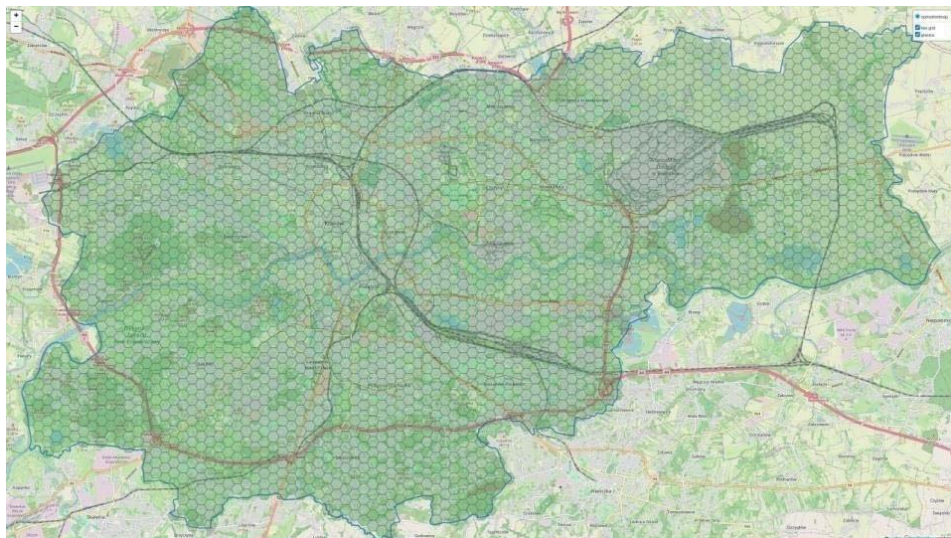
¹⁸ GTFS ZTP Kraków, Pozyskano z: <https://gtfs.ztp.krakow.pl/>

¹⁹ <https://africa-knowledge-platform.ec.europa.eu/dataset/ghs-population-2030-100-m>

²⁰ Boeing G.: Modeling and Analyzing Urban Networks and Amenities with OSMnx, *Geographical Analysis*, 57(4), s. 567–577, 2025

²¹ Fink C., Klumpenhouwer W., Saraiva M., Pereira R., Tenkanen H.: r5py: Rapid realistic routing with R5 in Python, Zenodo, 2022

²² Birch C.P., Oom S.P., Beecham J.A.: Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology, *Ecological Modelling*, 206(3–4), s. 347–359, 2007



Rysunek 1. Przykładowo siatka heksagonalna wygenerowana w obrębie granic miasta Kraków

Źródło: opracowanie własne

Siatka została utworzona w oparciu o granice Krakowa, a następnie każdy heksagon został przypisany do najbliższych przystanków transportu publicznego. W każdej komórce obliczono średni czas dotarcia do wybranych punktów centralnych (np. Rynek Główny, dworzec kolejowy, kampus uniwersytecki), przy użyciu danych z rozkładów jazdy GTFS.



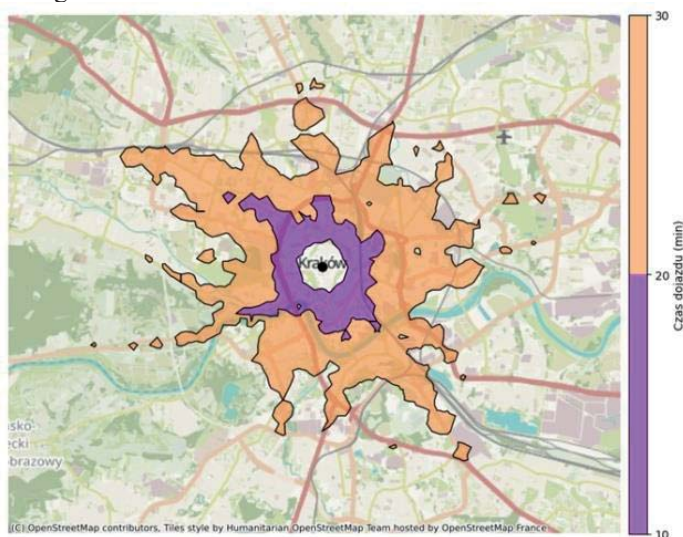
Rysunek 2. Schemat metodyki oceny dostępności transportu publicznego z wykorzystaniem danych otwartych i narzędzi GIS

Źródło: opracowanie własne

Mapy izochroniczne

Podstawowym narzędziem wizualizacji wyników są mapy izochroniczne, przedstawiające obszary osiągalne transportem publicznym w określonym czasie podróży. Dla każdego punktu startowego (np. centrum miasta) obliczono zasięg przestrzenny dostępny w czasie 10, 20 i 30 minut. Do obliczeń wykorzystano graf sieci transportu publicznego oparty na danych GTFS oraz modele czasów przejazdu generowane przez bibliotekę R5Py.

Mapy izochroniczne stanowią intuicyjny sposób prezentacji efektywności systemu komunikacji zbiorowej. Pozwalają zidentyfikować obszary o wysokiej dostępności (krótkie czasy podróży) oraz peryferia o niskiej dostępności (długie czasy). W analizie przyjęto porę poranną (7:00–9:00), odpowiadającą największemu obciążeniu systemu. Na rysunku 3 zaprezentowana została przykładowa mapa izochroniczna dla Krakowa, przedstawiająca zasięg obszarów dostępnych w 10, 20 i 30 minut transportem publicznym z Rynku Głównego w Krakowie.



Rysunek 3. Mapy izochroniczne prezentujące obszary osiągalne w wybranych przedziałach czasowych transportem publicznym

Źródło: opracowanie własne

Wskaźniki syntetyczne

Aby możliwe było ilościowe porównanie dostępności w różnych częściach miasta, wprowadzono zestaw trzech wskaźników syntetycznych, opracowanych na podstawie metodologii projektu CityChrono²³:

- Wskaźnik prędkości (*VelocityScore*)

²³Biazzo I., Monechi B., Loreto V.: General scores for accessibility and inequality measures in urban areas, Royal Society Open Science, 6(8), 2019, art. 190979.

Opisuje efektywną prędkość transportu publicznego, rozumianą jako tempo, w jakim zwiększa się obszar możliwy do osiągnięcia z danej lokalizacji. Dla izochrony o powierzchni $A(\tau, (\lambda, t_0))$ definiuje się promień ekwiwalentny (1):

$$r(\tau, (\lambda, t_0)) = \sqrt{\frac{A(\tau, (\lambda, t_0))}{\pi}} \quad (1)$$

a następnie prędkość ekspansji izochrony (2):

$$v(\tau, (\lambda, t_0)) = \frac{r(\tau, (\lambda, t_0))}{\tau} \quad (2)$$

Ostatecznie wskaźnik prędkości dla komórki siatki λ otrzymuje się poprzez uśrednienie po horyzontach czasowych τ z wagami $f(\tau)$ oraz po wybranych porach dnia (3):

$$V(\lambda) = \langle v(\tau, (\lambda, t_0)) \rangle_{f(\tau), t_0} \quad (3)$$

– Wskaźnik społeczny (*SocialityScore*)

Mierzy dostępność populacyjną, czyli liczbę mieszkańców, którzy znajdują się w obszarze izochrony dla danej komórki siatki.

Niech $P(\tau, (\lambda, t_0))$ oznacza liczbę mieszkańców w obrębie izochrony w czasie τ . Wówczas (4):

$$S(\lambda) = \langle P(\tau, (\lambda, t_0)) \rangle_{f(\tau), t_0} \quad (4)$$

Tak zdefiniowany wskaźnik odzwierciedla potencjalny zasięg interakcji społecznych i gospodarczych.

– Wskaźnik spójności (*CohesionScore*)

Jest to miara poziomu wzajemnej dostępności mieszkańców w skali całego miasta. Najpierw oblicza się wartości średnie ważone populacją (5):

$$S_{\text{miasto}} = \frac{\sum_{\lambda} S(\lambda) \text{pop}(\lambda)}{\text{pop}(\text{miasto})} \quad (5)$$

Następnie wskaźnik spójności definiuje się jako (6):

$$C_{\text{miasto}} = \frac{S_{\text{miasto}}}{\text{pop}(\text{miasto})} \quad (6)$$

Miara ta odzwierciedla ogólną spójność przestrzenną miasta pod względem możliwości przemieszczania się między mieszkańcami.

Dla każdego z opisanych wskaźników wartości zostały znormalizowane w skali 0–1 przy użyciu transformacji (7):

$$X_{\text{norm}}(\lambda) = \frac{X(\lambda) - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (7)$$

Znormalizowane wartości połączono następnie w syntetyczny wskaźnik dostępności transportowej (8):

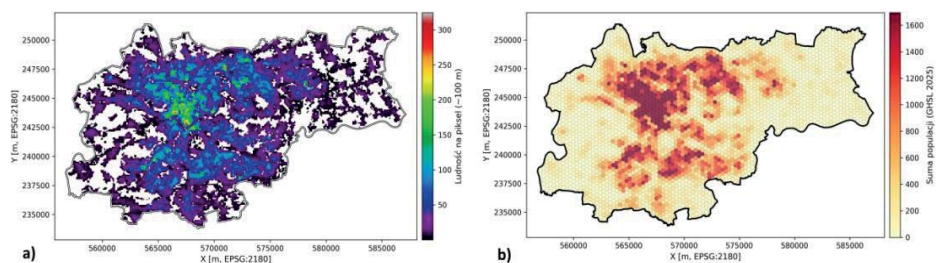
$$A(\lambda) = \frac{V_{\text{norm}}(\lambda) + S_{\text{norm}}(\lambda) + C_{\text{norm}}}{3} \quad (8)$$

co umożliwia utworzenie mapy przestrzennego zróżnicowania dostępności transportowej w całym obszarze miasta.

Studium przypadku: Kraków

Kraków jest drugim co do wielkości miastem w Polsce, o populacji przekraczającej 800 000 mieszkańców²⁴ i powierzchni około 327 km². Miasto pełni funkcję ośrodka administracyjnego, akademickiego i turystycznego o znaczeniu krajowym i międzynarodowym. Jego struktura przestrzenna jest zróżnicowana – gęsto zabudowane centrum kontrastuje z peryferyjnymi dzielnicami o charakterze mieszkaniowym i przemysłowym (rys. 4), co wpływa na zróżnicowanie popytu transportowego.

System transportu publicznego Krakowa obejmuje sieć tramwajową i autobusową (rys. 5) zarządzaną przez Zarząd Transportu Publicznego (ZTP). Łącznie funkcjonuje ponad 30 linii tramwajowych i 150 linii autobusowych, obsługujących ponad 1500 przystanków. Transport zbiorowy jest zintegrowany w ramach taryfy Krakowskiej Karty Miejskiej oraz powiązany z koleją aglomeracyjną.



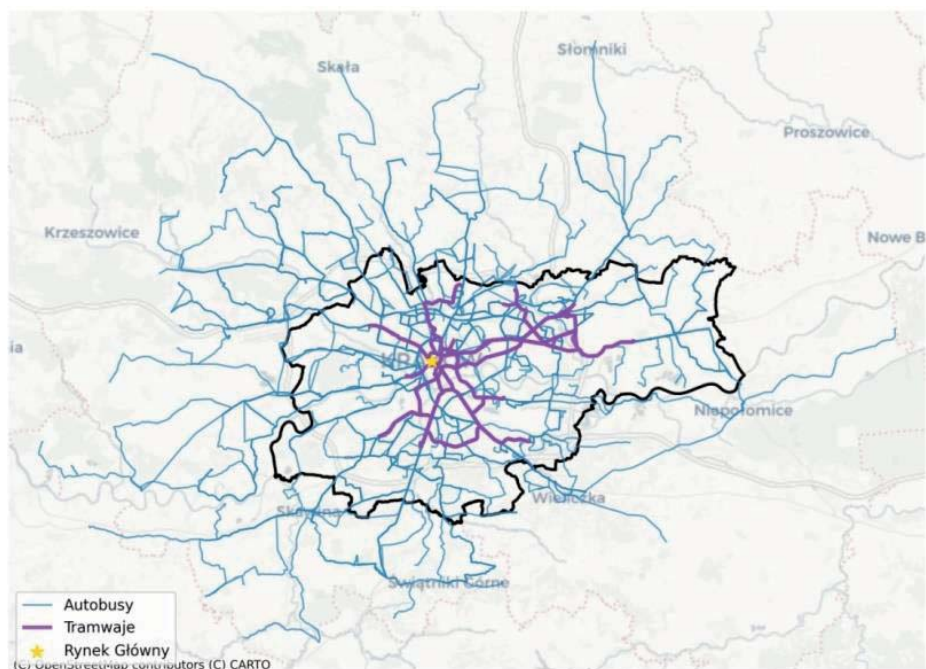
Rysunek 4. Przestrzenne rozmieszczenie populacji Krakowa. a) Rozkład ludności na podstawie danych GHSL w siatce rastrowej o rozdzielczości 100 metrów, przedstawiający szczegółowe zróżnicowanie gęstości zaludnienia w obrębie miasta. b) Przeliczenie danych populacyjnych na regularną siatkę heksagonalną stosowaną w dalszych analizach dostępności transportowej

Źródło: opracowanie własne

Pomimo wysokiej gęstości sieci w centrum, peryferyjne rejony miasta, szczególnie w południowych i północno-wschodnich dzielnicach, charakteryzują się ograniczoną częstotliwością kursowania i mniejszą liczbą połączeń bezpośrednich.

Na potrzeby niniejszej analizy granice obszaru badawczego zostały określone zgodnie z administracyjnym konturem Krakowa (*OpenStreetMap*). Punktem odniesienia dla map izochronicznych był Rynek Główny, traktowany jako centralny węzeł dostępności.

²⁴ Urząd Statystyczny w Krakowie: Rocznik Statystyczny Województwa Małopolskiego 2024, Pozyskano z: https://krakow.stat.gov.pl/download/gfx/krakow/pl/defaultaktualnosci/752/8/21/1/rocznik_statystyczny_wojewodztwa_malopolskiego_2024.pdf



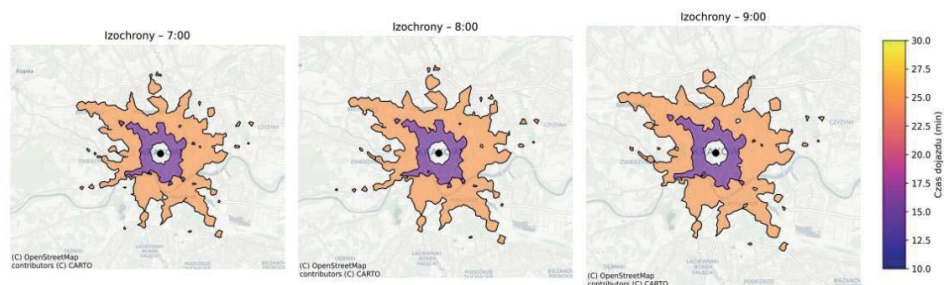
Rysunek 5. Schemat systemu transportu publicznego Krakowa wraz z punktem odniesienia analizy dostępności

Źródło: (opracowanie własne)

Wyniki analizy izochronicznej

Mapy izochroniczne opracowane dla przedziałów czasowych 10, 20 i 30 minut pozwalają na ocenę przestrzennego zasięgu transportu publicznego w Krakowie (rys. 6). Wyniki wskazują na wyraźną koncentrację wysokiej dostępności w centralnych częściach miasta – obejmujących dzielnice Stare Miasto, Grzegóřzki, Krowodrza i część Podgóřza. Obszary te są dobrze skomunikowane dzięki gęstej sieci tramwajowej i licznym liniom autobusowym o wysokiej częstotliwości kursowania.

W miarę oddalania się od centrum zauważalny jest spadek dostępności czasowej – strefa 20-minutowa obejmuje jeszcze większe osiedla, takie jak Prądnik Czerwony czy Ruczaj, natomiast w granicach 30 minut dominują już obszary o charakterze peryferyjnym (Nowa Huta, Swoszowice, Tonie). Wyniki potwierdzają typowy dla dużych miast układ koncentryczny, w którym poziom dostępności maleje wraz z odległością od śródmieścia.



Rysunek 6. Mapy izochroniczne Krakowa dla przedziałów 10, 20 i 30 minut transportem publicznym z Rynku Głównego; kolory oznaczają obszary osiągalne w danym czasie.

Źródło: (opracowanie własne)

Analiza izochron potwierdza również asymetrię między wschodnią i zachodnią częścią miasta. Wschodnie rejony (Nowa Huta) charakteryzują się gęstą siecią linii tramwajowych, jednak dłuższe czasy przejazdu wynikają z odległości i zatłoczenia w godzinach szczytu. Z kolei zachodnia część (Bronowice, Ruczaj) korzysta z nowych inwestycji infrastrukturalnych, co skraca czas dojazdu do centrum.

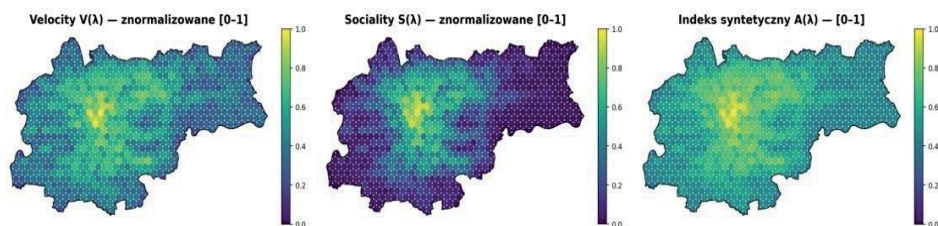
Wyniki wskaźników syntetycznych

Wskaźniki syntetyczne pozwalają na ilościową ocenę różnic w dostępności transportu publicznego między poszczególnymi obszarami miasta (rys. 7).

- Wskaźnik prędkości (*VelocityScore*) osiąga najwyższe wartości (0,8–1,0) w obszarach o dużej koncentracji połączeń tramwajowych i autobusowych – szczególnie w centrum i jego bezpośrednim otoczeniu.
- Wskaźnik społeczny (*SocialityScore*) wykazuje zróżnicowanie – najwyższe wartości w dzielnicach o dużej gęstości zaludnienia (Prądnik Czerwony, Bieżanów-Prokocim), co sugeruje dobrą dostępność populacyjną tych obszarów.

W celu uzyskania syntetycznej oceny dostępności obliczono średnią z trzech wskaźników, tworząc łączny indeks dostępności (*Accessibility Score*). Wyniki przedstawiono w formie mapy przestrzennej (rys. 7).

Z analizy wynika, że najbardziej dostępne obszary obejmują centrum i jego najbliższe otoczenie (do 5 km od Rynku Głównego). Wartości wskaźnika spadają systematycznie w kierunku obrzeży. Najniższe poziomy dostępności ($A < 0,4$) występują w rejonach peryferyjnych o ograniczonej obsłudze transportowej i małej gęstości zaludnienia, np. Olszanica, Tonie, czy Swoszowice.



Rysunek 7. Rozkład przestrzenny znormalizowanych wskaźników syntetycznych oceny dostępności transportu publicznego w Krakowie.

Źródło: (opracowanie własne)

Zależność pomiędzy wskaźnikiem społecznym a gęstością zaludnienia wskazuje, że obszary z większą liczbą mieszkańców są lepiej obsługiwane transportem publicznym, co potwierdza zasadę racjonalnego planowania sieci.

Interpretacja wyników

Przeprowadzona analiza ujawnia istotne zróżnicowanie dostępności transportu publicznego w przestrzeni miejskiej Krakowa.

Zidentyfikowano trzy charakterystyczne strefy:

- Strefa wysokiej dostępności – centrum i obszary bezpośrednio przyległe (do 20 min podróży); intensywna obsługa tramwajowa, wysoka częstotliwość kursów.
- Strefa średniej dostępności – osiedla peryferyjne z dostępem do głównych tras autobusowych, lecz dłuższym czasem przejazdu.
- Strefa niskiej dostępności – rejon graniczny miasta, często o niskiej gęstości zaludnienia, z ograniczoną liczbą połączeń.

Wyniki wskazują, że metoda oparta na mapach izochronicznych i wskaźnikach syntetycznych jest użyteczna w praktycznej ocenie efektywności systemu transportu publicznego. Może stanowić wsparcie w planowaniu nowych linii, lokalizacji przystanków oraz w optymalizacji rozkładów jazdy z uwzględnieniem potrzeb mieszkańców.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdzają, że mapy izochroniczne i wskaźniki syntetyczne stanowią skuteczne narzędzie oceny dostępności transportu publicznego. Ich zastosowanie pozwala nie tylko na wizualizację, ale i na ilościową ocenę poziomu dostępności, co ma bezpośrednie znaczenie dla logistyki miejskiej, planowania przestrzennego i polityki transportowej.

Metoda ta łączy precyzję analiz GIS z przejrzystością prezentacji wyników, dzięki czemu może być stosowana zarówno w badaniach naukowych, jak i w praktyce samorządowej.

Wyniki uzyskane dla Krakowa są zgodne z tendencjami europejskimi i stanowią punkt wyjścia do dalszych badań porównawczych – zarówno między miastami, jak i między różnymi środkami transportu (np. transport pieszy, rowerowy, samochodowy).

Bibliografia

- Annema J.A., Banister D., Pudāne B. (red.): *The Transport System and Transport Policy: An Introduction*, Edward Elgar Publishing, s. 178–199, 2023
- Biazzo I.: CityChron: an Interactive Platform for Transport Network Analysis and Planning in Urban Systems, w: Benito R.M., Cherifi C., Cherifi H., Moro E., Rocha L.M., Sales-Pardo M. (red.), *Complex Networks & Their Applications X*, Springer International Publishing, Cham, s. 780–791, 2021
- Biazzo I., Monechi B., Loreto V.: General scores for accessibility and inequality measures in urban areas, *Royal Society Open Science*, 6(8), art. 190979, 2019
- Birch C.P., Oom S.P., Beecham J.A.: Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology, *Ecological Modelling*, 206(3–4), s. 347–359, 2007
- Boeing G.: Modeling and Analyzing Urban Networks and Amenities with OSMnx, *Geographical Analysis*, 57(4), s. 567–577, 2025
- Brussel M., Zuidgeest M., Pfeffer K., Van Maarseveen M.: Access or accessibility? A critique of the urban transport SDG indicator, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), s. 67, 2019
- Curtis C., Scheurer J.: *Planning for public transport accessibility: An international sourcebook*, Routledge, London–New York, 2016
- Curtis C., Scheurer J.: Planning for sustainable accessibility: Developing tools to aid discussion and decision-making, *Progress in Planning*, 74(2), s. 53–106, 2010
- Fink C., Klumpenhower W., Saraiva M., Pereira R., Tenkanen H.: r5py, Rapid realistic routing with R5 in Python, Zenodo, 2022
- Geurs K.T., Van Wee B.: Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions, *Journal of Transport Geography*, 12(2), s. 127–140, 2004
- Geurs K., van Wee B.: Accessibility: Perspectives, measures and applications, w: van Wee B., Goliszek S., Połom M., Duma P.: Potential and cumulative accessibility of workplaces by public transport in Szczecin, *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*, nr 50, s. 133–146, 2020
- GTFS ZTP Kraków: Pozyskano z: <https://gtfs.ztp.krakow.pl/>
- GHS-POP 2030: Pozyskano z: <https://africa-knowledge-platform.ec.europa.eu/dataset/ghs-population-2030-100-m>
- GTFS: Pozyskano z: <https://gtfs.org/>
- Lucas K.: Transport and social exclusion: Where are we now?, *Transport Policy*, 20, s. 105–113, 2012
- Litman T.: *Evaluating accessibility for transport planning*, Victoria Transport Policy Institute, Victoria (BC), 2017
- OpenStreetMap: Pozyskano z: <https://www.openstreetmap.org/about>
- Saif M.A., Zefreh M.M., Torok A.: Public transport accessibility: A literature review, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 47(1), s. 36–43, 2019
- Silva C., Bertolini L., Te Brömmelstroet M., Milakis D., Papa E.: Accessibility instruments in planning practice: Bridging the implementation gap, *Transport Policy*, 53, s. 135–145, 2017
- Szymczak M.: *Logistyka miejska*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań, 2008
- Tzvetkova S.: Increasing the social effectiveness of public transport, *CBU International Conference Proceedings*, t. 5, s. 486–489, 2017

Urząd Statystyczny w Krakowie: Rocznik Statystyczny Województwa Małopolskiego 2024, Pozy-
skano z: [https://krakow.stat.gov.pl/download/gfx/krakow/pl/defaultaktualnosci/752/8/21/1/
rocznik_statystyczny_wojewodztwa_malopolskiego_2024.pdf](https://krakow.stat.gov.pl/download/gfx/krakow/pl/defaultaktualnosci/752/8/21/1/rocznik_statystyczny_wojewodztwa_malopolskiego_2024.pdf)

Vitrano C., Mellquist L.: Spatiotemporal accessibility by public transport and time wealth: Insights
from two peripheral neighbourhoods in Malmö, Sweden, *Time & Society*, 32(1), s. 3–32, 2023

Adres do korespondencji: pawel.pysz@urk.edu.pl

ORCID: Paweł Pysz 0000-0001-7083-1078

ORCID: Paweł Kielbasa 0000-0003-0249-8626

ORCID: Mirosław Zagórda 0000-0002-4514-1048

ANALIZA I OCENA POZIOMU HAŁASU WEWNĄTRZ RÓŻNYCH RODZAJÓW POJAZDÓW

Karolina Trzynieć¹, Mikołaj Kozłowski²

¹ Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych,
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

² Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki,
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

Wprowadzenie

Hałas komunikacyjny jest istotnym czynnikiem fizycznym środowiska zurbanizowanego, wywierającym bezpośredni i pośredni wpływ na funkcjonowanie organizmu człowieka. Dynamiczny rozwój transportu drogowego, wzrost liczby pojazdów oraz intensyfikacja ruchu powodują, że problem negatywnego oddziaływania hałasu nabiera coraz większego znaczenia, zarówno z punktu widzenia ochrony zdrowia, jak i komfortu życia. W ujęciu fizycznym, hałas stanowi zbiór dźwięków o przypadkowym charakterze, które są odbierane przez człowieka jako niepożądane, uciążliwe lub szkodliwe^{1,2}. W przypadku transportu drogowego źródłem hałasu są przede wszystkim pojazdy poruszające się po drogach, a jego oddziaływanie obejmuje nie tylko otoczenie zewnętrzne, lecz również przestrzeń wewnątrz kabiny pojazdu, w której przebywają kierowca i pasażerowie.

Hałas występujący wewnątrz pojazdów ma złożony charakter i jest wynikiem oddziaływania wielu czynników konstrukcyjnych oraz eksploatacyjnych. Do głównych źródeł hałasu wewnętrznego zalicza się pracę silnika spalinowego, układu wydechowego oraz elementów układu napędowego, a także drgania przenoszone przez zawieszenie i nadwozie pojazdu. Istotną rolę odgrywa również hałas powstający na styku opony z nawierzchnią drogi, którego poziom wzrasta wraz z prędkością jazdy oraz zależy od rodzaju nawierzchni i zastosowanego ogumienia³. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na warunki akustyczne w kabinie jest hałas aerodynamiczny, nasilający się przy większych prędkościach oraz praca urządzeń pomocniczych, takich jak układ wentylacji, ogrzewania i klimatyzacji⁴.

¹ Owczarek I.: Fale, cz. 2, Centrum Nauczania Matematyki i Fizyki Politechniki Łódzkiej, 2013.

² Żurowski S.: Wokół problemu definiowania pojęcia „dźwięk”, 2009

³ Grubesa S., Suhanek M.: Traffic noise, w: Noise and Environment, IntechOpen, 2020

⁴ Jędrisko W., Łazarz B., Czech P., Matyja T., Witaszek K.: Oddziaływanie hałasu na kierowcę i pasażerów w samochodach osobowych, TTS Technika Transportu Szynowego, 22, 2015

Z punktu widzenia użytkownika pojazdu hałas wewnętrzny ma bezpośredni wpływ na komfort podróży oraz samopoczucie psychofizyczne. Publikacje naukowe wskazują, że długotrwałe przebywanie w środowisku o podwyższonym poziomie dźwięku może prowadzić do szeregu niekorzystnych skutków^{5,6,7,8,9}. Oprócz zdrowotnych następstw w postaci czasowego lub trwałego podwyższenia się progu słyszenia, coraz częściej podkreśla się znaczenie tzw. efektów pozasłuchowych. Należą do nich między innymi: przewlekłe zmęczenie, rozdrażnienie, zaburzenia koncentracji, obniżenie zdolności poznawczych oraz wzrost poziomu stresu.

Wpływ hałasu na organizm człowieka jest przedmiotem zainteresowania wielu instytucji i organizacji zajmujących się ochroną zdrowia. Szczególną rolę w tym zakresie odgrywa Światowa Organizacja Zdrowia, która w 2018 roku opublikowała dokument zawierający wytyczne dotyczące hałasu środowiskowego w regionie europejskim¹⁰. Opracowanie to wskazuje, że długotrwałe narażenie na hałas komunikacyjny o poziomie przekraczającym 53 dB w porze dziennej oraz 45 dB w porze nocnej wiąże się ze zwiększonym ryzykiem wystąpienia negatywnych skutków zdrowotnych. W związku z tym zaleca się podejmowanie działań mających na celu ograniczenie ekspozycji ludności na hałas pochodzący z ruchu drogowego. Choć wartości te odnoszą się głównie do hałasu środowiskowego, stanowią one istotny punkt odniesienia również w analizach dotyczących hałasu wewnątrz pojazdów.

Problematyka ograniczania szkodliwego oddziaływania hałasu znalazła swoje odzwierciedlenie także w przepisach prawa Unii Europejskiej. Jednym z kluczowych aktów prawnych w tym zakresie jest dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady, która określa zasady oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku. Dokument ten kładzie nacisk na konieczność systematycznego monitorowania hałasu komunikacyjnego oraz podejmowania działań zmierzających do jego redukcji w celu ochrony zdrowia publicznego. Chociaż dyrektywa również koncentruje się głównie na hałasie emitowanym do otoczenia, jej założenia pośrednio odnoszą się do zagadnień komfortu akustycznego użytkowników pojazdów, stanowiąc podstawę do dalszych analiz i badań naukowych.

W kontekście bezpieczeństwa ruchu drogowego hałas wewnątrz pojazdu nabiera dodatkowego znaczenia. Nadmierny poziom dźwięku może bowiem prowadzić do obniżenia koncentracji kierowcy, zwiększenia poziomu zmęczenia oraz wydłużenia czasu reakcji na bodźce zewnętrzne. Komfort akustyczny kabiny pojazdu jest zatem jednym

⁵ Augustyńska D., Pleban D., Radosz J.: Zagrożenia hałasem na stanowiskach pracy w Polsce i innych państwach Unii Europejskiej, *Medycyna Pracy*, 63(6), 689–700, 2012

⁶ Kamp V., Davies I., Davies H.: Environmental noise and mental health: Five year review and future directions, *Proceedings of the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, Mashantucket, Connecticut, USA, 2008

⁷ Koperwas-Wojtanowska L.: Hałas i jego wpływ na życie człowieka, Pozyskano z: <http://laboratoria.net/pl/artykul/Ha%C5%82as%20i%20jego%20wp%C5%82yw%20na%20%C5%BCy-cie%20cz%C5%82owieka;26785.html>

⁸ Leśnikowska-Matusiak I., Wnuk A.: Wpływ hałasu komunikacyjnego na stan środowiska akustycznego człowieka, *Transport Samochodowy*, 2014

⁹ Stansfeld S., Haines M., Brown B.: Noise and health in the urban environment, *Reviews on Environmental Health*, 15(1–2), 43–82, 2000

¹⁰ Environmental noise guidelines for the European Region, Pozyskano z: <https://www.who.int/environmentalpublications/item/9789289053563>

z istotnych elementów ergonomii stanowiska kierowcy, wpływającym na jakość prowadzenia pojazdu, zwłaszcza podczas długotrwałych podróży. Z tego względu producenci pojazdów coraz częściej stosują rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe mające na celu redukcję hałasu i drgań, jednak rzeczywiste warunki eksploatacyjne mogą znacząco odbiegać od wartości deklarowanych w badaniach homologacyjnych¹¹.

W związku z powyższym, podjęto próbę zbadania i przeanalizowania poziomu natężenia hałasu występującego wewnątrz pojazdów różnych kategorii. Uzyskane wyniki umożliwiły porównawczą ocenę warunków akustycznych panujących wewnątrz badanych pojazdów oraz identyfikację czynników mających istotny wpływ na poziom hałasu odczuwanego przez kierowców i pasażerów.

Cel i zakres badań

Celem poznawczym badań była weryfikacja, czy współcześnie produkowane pojazdy samochodowe spełniają obowiązujące normy dotyczące dopuszczalnych poziomów hałasu, tj. poziomów nieniosących ryzyka uszkodzenia słuchu kierowców.

Wymiar użyteczny przeprowadzonych badań odnosi się do możliwości poprawy komfortu oraz bezpieczeństwa użytkowników pojazdów. Ponadto identyfikacja potencjalnych nieprawidłowości może przyczynić się do podjęcia działań zmierzających do przywrócenia norm określających dopuszczalny poziom hałasu wewnątrz pojazdów, które zostały wycofane z końcem 2011 roku i dotychczas nie zostały zaktualizowane.

Zakres pracy obejmował pomiar wybranych parametrów hałasu wewnątrz wybranych pojazdów, w różnych punktach pomiarowych, przy różnej prędkości jazdy oraz przy włączonym i wyłączonym nawiewie.

Jako obiekty badań wybrano:

- 6 pojazdów z kategorii M1¹²:
 - Audi A3 – liczba miejsc: 5,
 - Opel Vectra – liczba miejsc: 5,
 - Suzuki Swift - liczba miejsc: 5,
 - Seat Altea - liczba miejsc: 5,
 - Volkswagen Multivan - liczba miejsc: 7,
 - Volkswagen Passat – liczba miejsc: 5,
- 2 samochody dostawcze do 3,5t:
 - Opel Vivaro – waga pojazdu 1,95 tony,
 - Renault Master – waga pojazdu 2,2 tony.

Metodyka

Przedmiotem badań było natężenie hałasu występującego wewnątrz kabiny wybranych środków transportu. Pojazdy, w których zostały przeprowadzone badania różniły

¹¹ Chen H., Samarasinghe P., Abhayapala T.: In-car noise field analysis and multi-zone noise cancellation quality estimation, w: 2015 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA), IEEE, 773–778, 2015

¹² Pojazdy do przewozu osób, mające nie więcej niż osiem miejsc oprócz siedzenia kierowcy

się segmentem nadwozia oraz klasą wykończenia pojazdu. Pomimo przynależności do jednej kategorii, pojazdy odróżniała: bryła nadwozia, masa, przeznaczenie itp., co mogło być czynnikiem wpływającym na uzyskane wyniki. Specyfikację pojazdów osobowych dla kategorii M1 prezentuje tabela 1, a specyfikację pojazdów dostawczych o ładowności do 3,5 tony – tabela 2.

Tabela 1. Charakterystyka badanych pojazdów osobowych

Marka pojazdu	Model pojazdu	Rok produkcji	Liczba miejsc	Pojemność silnika cm ³	Skrzynia biegów	Rodzaj paliwa
Audi	A3	2014	5	2.0	Manualna	Diesel
Opel	Vectra	2010	5	1.9	Manualna	Diesel
Suzuki	Swift	2018	5	1.4	Automatyczna	Benzyna
Seat	Altea	2006	5	1.6	Manualna	Benzyna
Volkswagen	Multivan	2022	7	2.0	Automatyczna	Diesel
Volkswagen	Passat	2006	5	1.9	Manualna	Diesel

Tabela 2. Charakterystyka badanych pojazdów dostawczych

Marka pojazdu	Model pojazdu	Rok produkcji	Liczba miejsc	Pojemność silnika cm ³	Skrzynia biegów	Rodzaj paliwa
Opel	Vivaro	2008	3	2.0	Manualna	Diesel
Renault	Master	2005	3	2.5	Manualna	Diesel

Wszystkie analizowane pojazdy posiadały ważne badania techniczne i znajdowały się w stanie pełnej sprawności. Pomiary realizowano w zbliżonych porach dnia, przy jednokowych warunkach nawierzchniowych dla każdego przejazdu, tj. na mokrym asfalcie po opadach śniegu. Każdy z pojazdów poddano pomiarom w wcześniej wyznaczonych punktach badawczych, a czas trwania rejestracji dla każdego przypadku był identyczny.

W pojazdach osobowych wyznaczono cztery punkty pomiarowe, natomiast w pojazdach dostawczych – dwa. W przypadku samochodów osobowych punkty te zlokalizowano w obszarze siedzenia kierowcy, siedzenia pasażera zajmującego przednie miejsce oraz przy siedzeniach pasażerów w drugim rzędzie, na wysokości uszu kierowcy lub pasażera. Zamieszczone poniżej ilustracje przedstawiają miejsca umieszczenia mikrofonu urządzenia pomiarowego w trakcie realizacji badań (oznaczone pomarańczowymi punktami), jak również fotografię dokumentującą sposób przeprowadzenia pomiarów (rys. 1 i 2).

W samochodach dostawczych punkty pomiarowe zostały zlokalizowane przy siedzeniu kierowcy oraz przy siedzeniu pasażera z przodu pojazdu, na wysokości uszu kierowcy/pasażera. Analogicznie jak w przypadku pojazdów osobowych, pomarańczowe punkty na zdjęciu przedstawiają miejsce na jakim przyrząd pomiarowy był trzymany (rys. 3).



Rysunek 1. Lokalizacja punktów pomiarowych w pojeździe osobowym

Źródło: (Opracowanie własne na podstawie zdjęcia <https://pl.dreamstime.com/>)



Rysunek 2. Wykonywanie pomiaru dla miejsca kierowcy

Fot: M. Kozłowski



Rysunek 3. Punkty pomiarowe w pojeździe dostawczym

Źródło: Opracowanie własne na podstawie zdjęcia z <https://jedz-bezpiecznie.pl/>

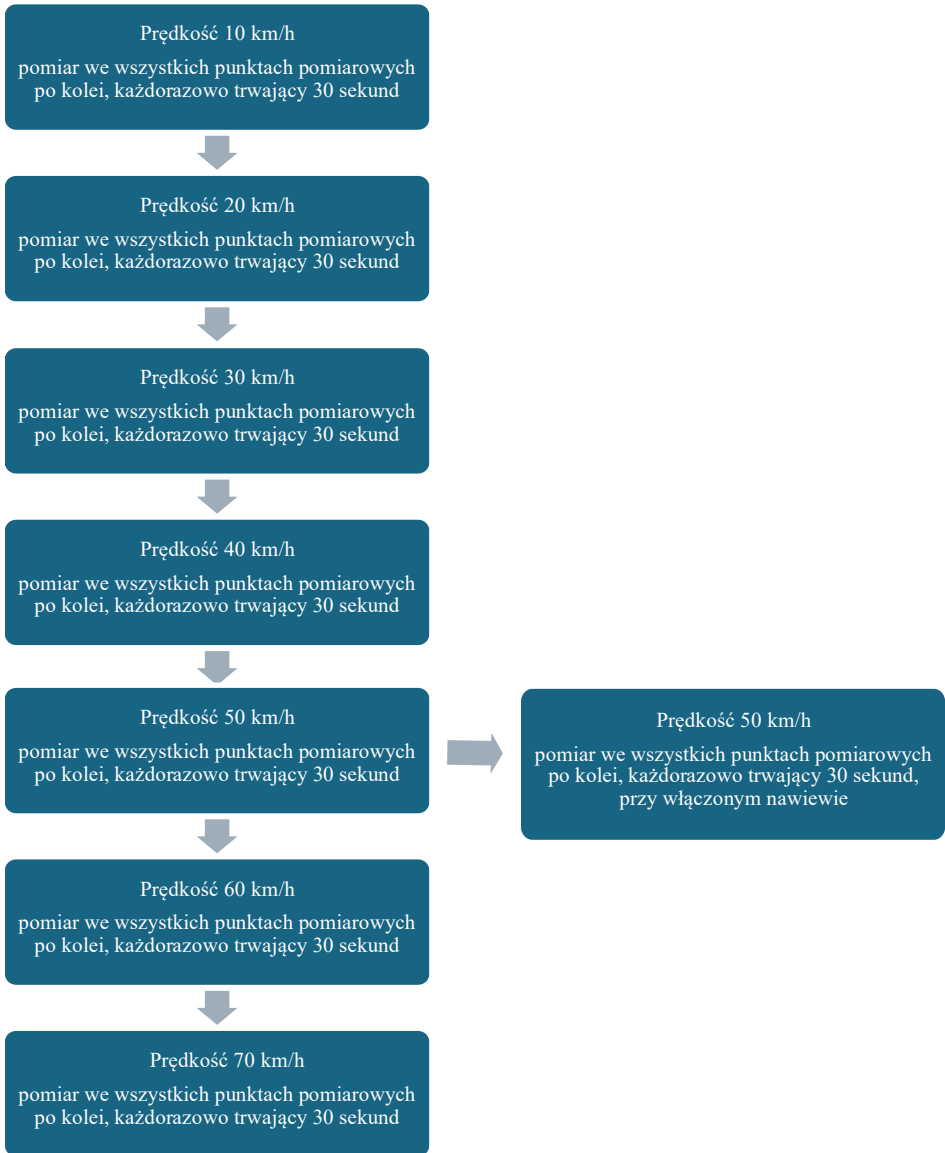
Pomiary realizowano zgodnie z wymaganiami normy PN-S-04052:1990¹³. Bezpośrednio przed rozpoczęciem badań silnik każdego z pojazdów był doprowadzony do nominalnej temperatury eksploatacyjnej. W trakcie pomiarów parametry pracy silnika, obejmujące m.in. rodzaj stosowanego paliwa i olejów oraz ustawienia zapłonu, a także rodzaj ogumienia i wartość ciśnienia w oponach, pozostawały zgodne z zaleceniami producenta pojazdów. Podczas badań wszystkie okna oraz zamykane wywietrzniki były zamknięte. Siedzenia wyposażone w regulację, przy których prowadzono pomiary, ustawiono w położeniu odpowiadającym środkowemu zakresowi regulacji, natomiast regulowane oparcia ustawiono w możliwie najbardziej pionowej pozycji¹⁴.

Pomiary poziomu hałasu realizowano zarówno podczas postoju pojazdów, jak i w trakcie ich ruchu, przy prędkościach wynoszących odpowiednio: 10, 20, 30, 40, 50, 60 oraz 70 km/h. Prędkość jazdy ustalano z dokładnością do 2 km/h. Badania przeprowadzono na drodze o nawierzchni asfaltowej, przy czym jezdnia była mokra na skutek panujących warunków atmosferycznych, a miejscami występowały zalegające pozostałości śniegu. Rejestracja sygnału akustycznego dla każdej prędkości jazdy oraz dla biegu jałowego trwała 30 sekund, co umożliwiło uśrednienie wyników oraz ograniczenie wpływu przypadkowych błędów pomiarowych.

Oprócz analizy zależności poziomu hałasu od prędkości poruszania się pojazdu oceniano również wpływ pracy dmuchawy układu ogrzewania. Pomiary hałasu przy włączonym oraz wyłączonym nawiewie realizowano przy prędkości dopuszczalnej w obszarze zabudowanym, tj. 50 km/h. Schemat procedury pomiarowej przedstawiono na rysunku 4.

¹³ PN-S-04052:1990: Samochody -- Dopuszczalny poziom hałasu wewnątrz pojazdu -- Wymagania i badania (norma wycofana)

¹⁴ Jędrisko W., Łazarz B., Czech P., Matyja T., Witaszek K.: Oddziaływanie hałasu na kierowcę i pasażerów w samochodach osobowych, TTS Technika Transportu Szynowego, 22, 2015



Rysunek 4. Schemat przeprowadzania pomiarów

Źródło: Opracowanie własne

Do pomiaru hałasu drogowego wewnątrz pojazdu wykorzystany został całkujący miernik poziomu dźwięku Sauter SU 130 marki Conrad (rys. 5), wyposażony w mikrofon o średnicy $\frac{1}{2}$ cala. Zakres pomiarowy równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego rejestrowanego przez zastosowany miernik obejmuje wartości od 30 do 130 dB, przy

maksymalnym błędzie pomiaru nieprzekraczającym $\pm 1,0$ dB. Zestaw pomiarowy przystosowany jest do pracy w zakresie temperatur od -5 do $+50$ °C oraz wilgotności względnej od 30 do 95%. Przed rozpoczęciem badań przeprowadzono kontrolę poprawności działania aparatury pomiarowej. W tym celu wykorzystano wzorcowany kalibrator akustyczny typu KA-10 firmy Sonopan, służący do weryfikacji emisji sygnału dźwiękowego o poziomie 94 dB. Odchylenie wyników uzyskanych w trzech próbach kontrolnych wyniosło 0 dB. Wszystkie pomiary realizowano z zastosowaniem charakterystyki korekcyjnej A.



Rysunek 5. Miernik poziomu dźwięku Sauter SU 130

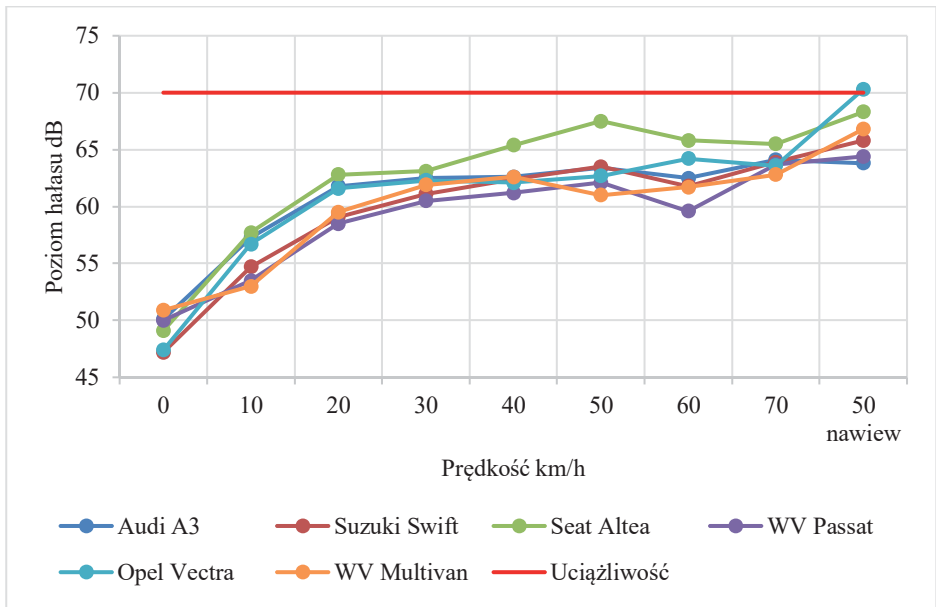
Źródło: <https://pl.rs-online.com/web/p/mierniki-akustyczne/7898902>

Wyniki badań

W trakcie realizacji badań zarejestrowano wyniki pomiarów poziomu hałasu panującego wewnątrz wybranych pojazdów przy określonych warunkach eksploatacyjnych, w szczególności przy zróżnicowanych prędkościach jazdy. Analizie poddano równoważny poziom dźwięku L_{Aeq} , stanowiący podstawowy parametr stosowany w akustyce i badaniach hałasu, który opisuje średni poziom dźwięku w zadanym przedziale czasu. Wskaźnik ten odzwierciedla całkowitą energię akustyczną oraz potencjalne ryzyko uszkodzenia słuchu wynikające ze skumulowanej ekspozycji na hałas. W celu uwzględnienia charakterystyki percepcji słuchowej człowieka, zależnej od częstotliwości i poziomu ciśnienia akustycznego, zastosowano charakterystykę korekcyjną A, której przebieg w przybliżeniu odpowiada odwróconej krzywej czułości słuchu ludzkiego.

Rejestrację sygnału akustycznego prowadzono w 30-sekundowych przedziałach czasowych, z uwzględnieniem podziału wnętrza pojazdu na poszczególne strefy pomiarowe. Na podstawie uzyskanych danych obliczono wartości średnie dla każdej strefy, a także odchylenie standardowe, współczynnik zmienności oraz współczynnik korelacji pomiędzy poziomem hałasu, a prędkością jazdy.

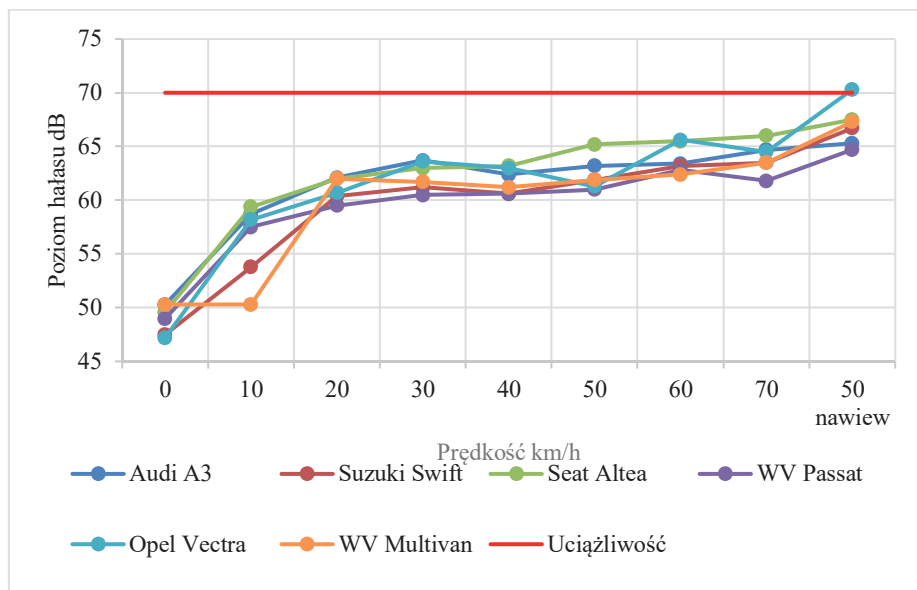
Na wykresach poniżej (rys. 6-11) przedstawiono wyniki pomiarów hałasu dla wszystkich pojazdów, z zaznaczeniem prędkości jazdy, osobno dla każdej badanej strefy. Każdy z pomiarów znajduje się poniżej 80 dB, czyli wartości maksymalnego dopuszczalnego hałasu wewnątrz pojazdu, określonej w normie PN-S-04052:1990. Jak podają Leśnikowska-Matusiak i Wnuk¹⁵, długotrwałe przebywanie w hałasie o natężeniu powyżej 70 dB znacznie zmniejsza wydajność pracy i zwiększa ryzyko przesuwana się progu słyszenia kierowcy. Z tego też powodu, dopuszcza się pracę w hałasie do 85 dB, przy jednoczesnej rekomendacji stosowania środków ochrony indywidualnej przed nadmiernym dźwiękiem. Na wykresach poniżej, poziom ten został zaznaczony czerwoną poziomą linią.



Rysunek 6. Poziomy hałasu dla strefy kierowcy w pojazdach osobowych

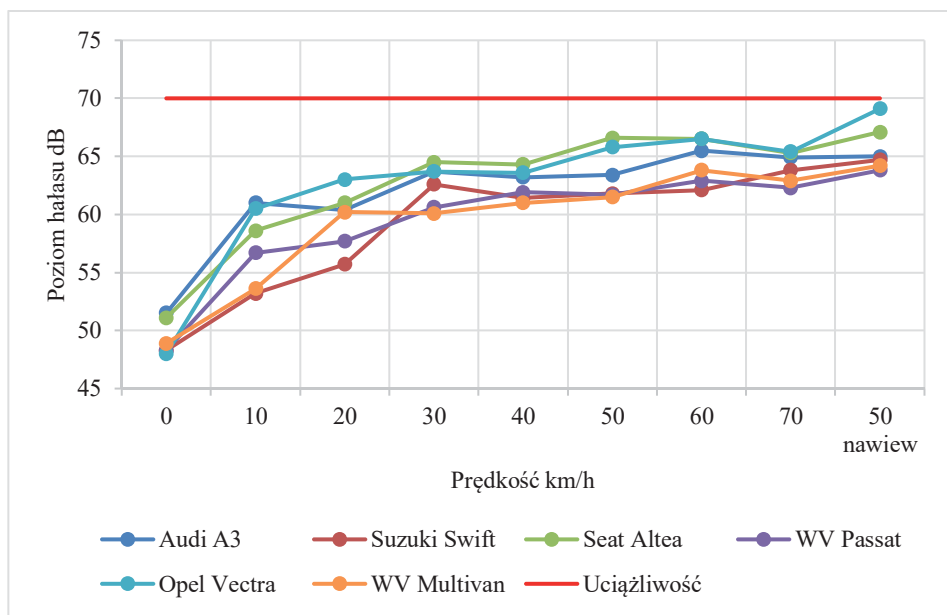
Źródło: Opracowanie własne

¹⁵ Leśnikowska-Matusiak I., Wnuk A.: Wpływ hałasu komunikacyjnego na stan środowiska akustycznego człowieka, Transport Samochodowy, 2014



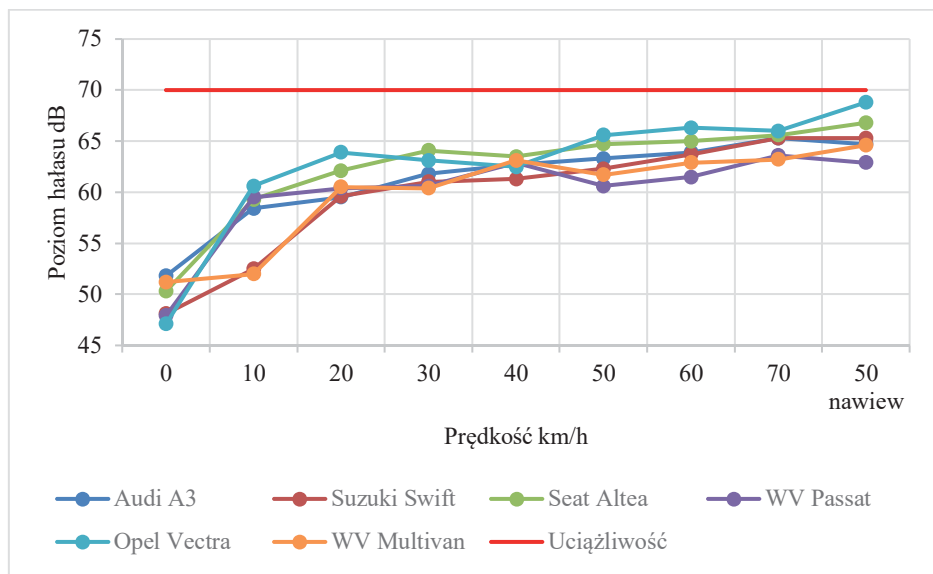
Rysunek 7. Poziomy hałas dla strefy pasażera z przodu w pojazdach osobowych

Źródło: Opracowanie własne



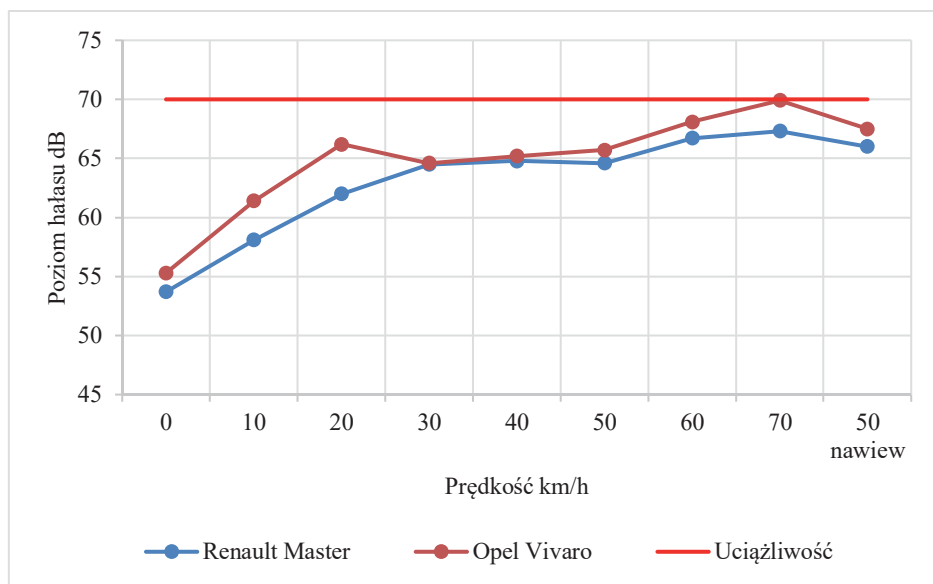
Rysunek 8. Poziomy hałas dla strefy pasażera (lewy tył) w pojazdach osobowych

Źródło: Opracowanie własne



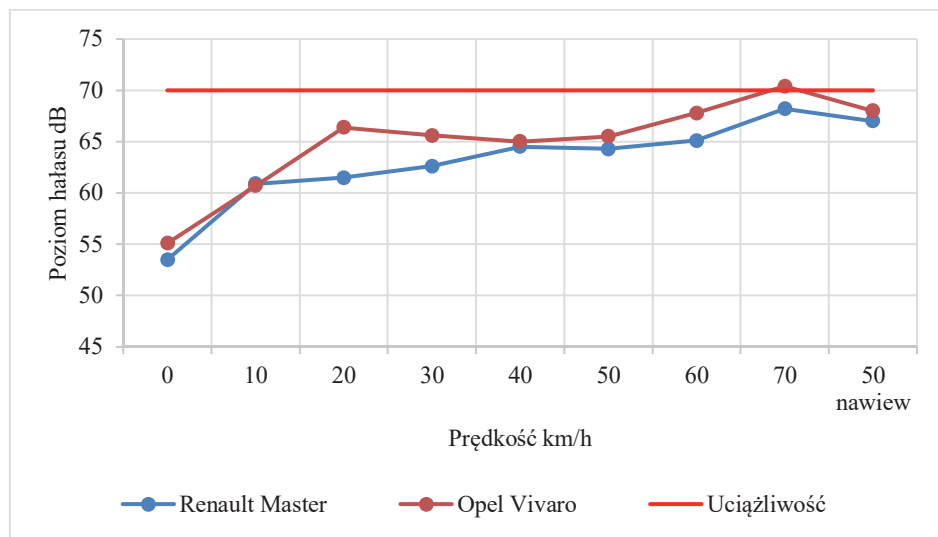
Rysunek 9. Poziomy hałas dla strefy pasażera (prawy tył) w pojazdach osobowych

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 10. Poziomy hałas dla strefy kierowcy w pojazdach dostawczych

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 11. Poziomy hałas dla strefy pasażera w pojazdach dostawczych

Źródło: Opracowanie własne

Poziom hałasu równy 70 dB, uznawany za próg uciążliwości akustycznej mogący prowadzić do pogorszenia wydolności oraz potencjalnych uszkodzeń narządu słuchu, został odnotowany jedynie w przypadku dwóch pojazdów, po jednym z każdej analizowanej kategorii. Na podstawie zależności poziomu hałasu od prędkości jazdy określono zakresy prędkości charakteryzujące się największą szkodliwością akustyczną. Dla samochodów osobowych był to zakres odpowiadający prędkości 50 km/h przy włączonym nawiewie, natomiast dla pojazdów dostawczych – prędkość 70 km/h. Uzyskane wyniki wskazują, że kierowcy poruszający się z analizowanymi prędkościami nie są narażeni na hałas o natężeniu mogącym powodować uszkodzenia układu słuchowego. Jednocześnie stwierdzona wysoka korelacja pomiędzy prędkością jazdy, a poziomem hałasu wskazuje na istotne prawdopodobieństwo jego dalszego wzrostu przy wyższych prędkościach, co może skutkować znacznie bardziej niekorzystnym oddziaływaniem akustycznym.

Niezależnie od modelu pojazdu, poziom hałasu rejestrowany w poszczególnych strefach wnętrza dla analizowanych prędkości pozostawał na zbliżonym poziomie, przy jedynie niewielkich odchyleniach. Zauważono jednak, że w warunkach pracy nawiewu najbardziej korzystne warunki akustyczne występowały w tylnej części pojazdu. Szum generowany przez układ nawiewu istotnie podwyższał natomiast poziom hałasu odbierany w przedniej części kabiny.

Zaobserwowano również zależność pomiędzy poziomem hałasu, a rodzajem zastosowanej skrzyni biegów. W pojazdach wyposażonych w automatyczne skrzynie biegów wartości poziomu hałasu były, dla większości analizowanych prędkości, wyraźnie niższe w porównaniu do pojazdów z przekładniami manualnymi.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania miały na celu umożliwienie oceny poziomu hałasu występującego wewnątrz wybranych pojazdów osobowych i dostawczych. Ich celem było zwerifikowanie, czy rejestrowane wartości mieszczą się w granicach dopuszczalnych norm, a także dokonanie oceny stopnia ich potencjalnej szkodliwości dla organizmu człowieka. Żaden z uzyskanych wyników pomiarowych, zarówno w odniesieniu do pojazdów osobowych, jak i dostawczych, nie przekroczył wartości granicznych określonych w normie PN-S-04052:1990. W przypadku obu kategorii pojazdów jedynie trzykrotnie odnotowano poziom hałasu przekraczający 70 dB, który może stanowić potencjalne zagrożenie dla narządu słuchu.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- w badanych pojazdach osobowych stwierdzono korzystniejszy klimat akustyczny w porównaniu do pojazdów dostawczych;
- w tylnej części samochodów osobowych odnotowano niższy poziom hałasu niż w strefie kierowcy oraz przy przednim siedzeniu pasażera. Na tę różnicę mogły wpływać m.in. opływowość pojazdu, położenie silnika oraz bezpośredni kontakt z nawiewem włączonym podczas pomiarów;
- zaobserwowano zależność pomiędzy poziomem hałasu, a rodzajem skrzyni biegów. Pojazdy wyposażone w automatyczną skrzynię biegów wykazywały wyraźnie niższy poziom hałasu w porównaniu do samochodów z przekładnią manualną. W przypadku skrzyń manualnych, gdzie proces zmiany biegów jest mniej płynny i bardziej zależny od interwencji kierowcy, rejestrowano wyższe wartości generowanego hałasu;
- stwierdzono istotną zależność pomiędzy prędkością poruszającego się pojazdu, a poziomem hałasu odczuwanego zarówno przez kierowcę, jak i pasażerów wewnątrz kabiny. Odwołując się do klasyfikacji Guilforda, korelacja ta osiągała status bardzo wysoki dla wszystkich analizowanych stref pomiarowych;
- nie zaobserwowano znaczącego wpływu roku produkcji pojazdu, rodzaju paliwa ani pojemności silnika na poziom hałasu. Poziomy hałasu były niskie i stosunkowo zbliżone, nawet w przypadku pojazdów charakteryzujących się odmiennymi parametrami technicznymi.

Oddziaływanie hałasu na osoby podróżujące pojazdami osobowymi i dostawczymi ma istotny wpływ na ich zdrowie. Z punktu widzenia szkodliwości akustycznej, przeprowadzone badania klimatu akustycznego wnętrza wybranych pojazdów wykazały wyniki mieszczące się w granicach zadowalających. Należy jednak podkreślić konieczność ciągłego monitorowania poziomu hałasu, ponieważ analiza wyników wskazuje na silną zależność natężenia hałasu od prędkości pojazdu.

Adres do korespondencji: karolina.trzyniec@urk.edu.pl

ORCID: Karolina Trzyniec 0000-0003-3178-4410

BEZZAŁOGOWE STATKI POWIETRZNE W LOGISTYCE

Mirosław Zagórda¹, Paweł Pysz¹, Paweł Kielbasa¹

¹ Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wstęp

Bezzałogowe statki powietrzne (BSP) w ostatnich latach stały się jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się segmentów technologii lotniczych. Szczególnie intensywny rozwój obserwuje się w obszarze logistyki, gdzie drony stają się istotnym elementem decydującym o efektywności ostatniej mili, operacjach magazynowych, a także dostawach medycznych i specjalnych¹.

Globalna wartość sektora dronów komercyjnych w 2023 r. przekroczyła 30 mld USD, a prognozy wskazują na dalszy wzrost napędzany automatyzacją procesów, spadkiem kosztów podzespołów oraz rozwojem regulacji umożliwiających operacje poza linią widoczności (BVLOS - ang. *Beyond Visual Line Of Sight*)².

Technologia BSP wnosi do logistyki szereg korzyści. Drony umożliwiają skrócenie czasu dostawy, redukcję kosztów operacyjnych w wybranych scenariuszach oraz zwiększenie elastyczności łańcuchów dostaw poprzez dostęp do obszarów trudno dostępnych lub o ograniczonej infrastrukturze transportowej³. Zastosowanie systemów automatycznych i półautonomicznych sprzyja również podnoszeniu poziomu bezpieczeństwa operacji, szczególnie w środowisku magazynowym i przemysłowym, gdzie drony mogą przejmować zadania wymagające powtarzalności i precyzji⁴. Jednocześnie rosnąca rola BSP w logistyce jest bezpośrednio związana z rozwojem regulacji unijnych, w tym ram kategorii operacji Open, Specific i Certified, które wyznaczają granice dopuszczalnych zastosowań oraz wpływają na możliwości wprowadzania nowych usług⁵.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie kompleksowego przeglądu technologii dronów w kontekście logistyki, obejmującego zarówno aktualny stan rynku, jak

¹ Silva V., Amaral A., Fontes T.: Sustainable urban last-mile logistics: A systematic literature review. *Sustainability*, 15(3), 2285, 2023.

² Drone Industry Insights. Drone Market Report 2023–2030. Hamburg: DII, 2023.

³ Shuaibu A. S., Mahmoud A. S., Sheltami T. R.: A review of last-mile delivery optimization: Strategies, technologies, drone integration, and future trends. *Drones*, 9(3), 158, 2025.

⁴ Malang C., Charoenkwan P., Wudhikarn R.: Implementation and critical factors of unmanned aerial vehicle (UAV) in warehouse management: A systematic literature review. *Drones*, 7(2), 80, 2020.

⁵ EASA. Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations 2019/947 and 2019/945). European Union Aviation Safety Agency, 2024.

i uwarunkowania regulacyjne w Unii Europejskiej i Polsce. W rozdziale zaprezentowano również główne kierunki zastosowań dronów w logistyce, ze szczególnym uwzględnieniem dostaw ostatniej mili, logistyki magazynowej oraz operacji medycznych. Omówiono również najważniejsze bariery technologiczne, prawne i społeczne, które wpływają na tempo wdrażania usług opartych na BSP. Zakres rozdziału obejmuje tym samym analizę aktualnych regulacji, przegląd literatury naukowej oraz syntetyczny opis przykładów zastosowań, stanowiąc punkt wyjścia do dalszej dyskusji nad integracją dronów z nowoczesnymi łańcuchami dostaw.

Klasyfikacja bezzałogowych statków powietrznych

Rozwój bezzałogowych statków powietrznych (BSP) w logistyce wymaga odniesienia zarówno do podziału konstrukcyjnego, jak i do klasyfikacji ze względu na regulacje prawne obowiązujące w Unii Europejskiej. Te dwa wymiary – techniczny i prawny – wprost determinują możliwe scenariusze operacyjne (VLOS/BVLOS), dopuszczalne ładunki, wymaganą infrastrukturę, a także poziom formalności po stronie operatora^{6,7,8}.

Podział dronów ze względów konstrukcyjnych określa trzy grupy statków powietrznych: multirotory, skrzydłowe i hybrydowe.

Najczęściej stosowane platformy w zadaniach bliskiego zasięgu to BSP z grupy multirotorów (rys. 1), dzięki pionowemu startowi i lądowaniu (VTOL - ang. *Vertical Take-Off and Landing*), zawisowi i precyzyjnemu pozycjonowaniu. Sprawdzają się w gęstej zabudowie oraz w przestrzeniach ograniczonych, np. w magazynach lub przy dostawach punkt–punkt na krótkich dystansach. Ich ograniczeniem jest mniejsza efektywność energetyczna w dłuższych przelotach⁹.

Konstrukcje stałoskrzydłowe (ang. *fixed-wing*) (rys. 2) zapewniają większą efektywność aerodynamiczną i dłuższy czas lotu, co predestynuje je do zadań na większe odległości (np. łączących ośrodki poza centrami miast). Brak zawisu i potrzeba przygotowanej przestrzeni do startu/lądowania komplikują precyzyjne zrzuty/przekazania ładunku w ciasnych lokalizacjach⁹.

Hybrydowe (VTOL *fixed-wing*: „*lift-and-cruise*”/„*vectored thrust*”) (rys. 3) łączą zalety obu powyższych grup: start pionowy i ekonomiczny lot poziomy. W logistyce zwiększają elastyczność operacyjną w zadaniach średniego i większego zasięgu, gdzie jednocześnie wymagana jest precyzja podejścia do miejsca dostawy⁹.

⁶ EASA. Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and 2019/945). European Union Aviation Safety Agency. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems-regulations-eu>, EASA, 2024.

⁷ European Commission. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 of 24 May 2019 on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft. EUR-Lex. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2019/947/oj/eng, EUR-Lex, 2019.

⁸ European Commission. Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 of 12 March 2019 on unmanned aircraft systems and on third-country operators of unmanned aircraft systems. EUR-Lex (consolidated). https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2019/945/oj/eng, 2019b.

⁹ EASA. Drones eVTOL Designs (web page, accessed Nov 2025). European Union Aviation Safety Agency. <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-evtol-designs> EASA, 2025.



Rysunek 1. Przykład BSP multirotorów

Źródło: <https://www.flyeye.io/multirotor-drones/>



Rysunek 2. Przykład BSP skrzydłowych (fixed-wing)

Źródło: <https://www.globvision.com/fixed-wing-uav-fdir/>



Rysunek 3. Przykład BSP hybrydowego

Źródło: <https://geomarket.pl/produkt/dron-geodezyjny-south-skycruiser-mf2500/>

W praktyce logistycznej wybór platformy jest kompromisem między precyzją operacji w punkcie dostawy (na korzyść multirotorów) a zasięgiem i czasem lotu (na korzyść skrzydłowych i hybrydowych)¹⁰.

Ramy prawne w UE definiują trzy kategorie operacji zależne od poziomu ryzyka: Open (niskie), Specific (średnie), Certified (wysokie). System jest określony przez rozporządzenie 2019/947 (zasady operacji) oraz 2019/945 (wymagania techniczne, klasy C0–C6) i skonsolidowany w EASA Easy Access Rules^{11,12,13,14}.

Kategoria Open (niskie ryzyko) to operacje w zasięgu wzroku (VLOS) z dodatkowymi ograniczeniami wysokości i środowiska (podkategorie A1–A3). Sprzęt odpowiada oznaczeniom klasowym C0–C4 zgodnie z 2019/945. Z perspektywy logistyki, kategoria Open ma zastosowanie głównie do zadań nieniosących istotnego ryzyka (np. inwentaryzacje magazynowe w kontrolowanym środowisku); większość usług dostawczych wykracza poza jej ramy i wymaga dodatkowych uprawnień¹¹.

Kategoria Specific (średnie ryzyko) jest najczęściej wykorzystywana w przypadku logistyki, dopuszcza BVLOS oraz loty w środowiskach o zwiększonym ryzyku, pod warunkiem posiadania autoryzacji operacyjnej opartej na SORA (ang. *Specific Operations Risk Assessment*) lub spełnienia wymagań standardowych scenariuszy (STS) oraz wstępnej oceny ryzyka PDRA (ang. *Pre-defined Risk Assessment*). W tej kategorii mieszczą się typowe dostawy ostatniej mili i operacje na średnich dystansach; wymagania sprzętowe i organizacyjne wynikają z oceny ryzyka danego profilu misji¹¹.

Kategoria Certified obejmuje operacje obciążone wysokim ryzykiem. Dla operacji zbliżonych do lotnictwa załogowego (duże statki, loty nad zgromadzeniami ludzi, operacje o podwyższonym ryzyku). Wymaga certyfikacji statku, operatora i personelu. Ta kategoria jest punktem odniesienia dla przyszłych usług cargo eVTOL (ang. *electric Vertical Take-Off and Landing*) i elementów miejskiej mobilności powietrznej (U-space jako warstwa usług dla zarządzania ruchem)^{11,15}.

Funkcjonowanie złożonych operacji (zwłaszcza BVLOS w środowisku miejskim) wiąże się z usługami U-space zdefiniowanymi w rozporządzeniu 2021/664 (wraz

¹⁰ Jazairy A., Persson E., Brho M., von Haartman R., Hilletoft P.: Drones in last-mile delivery: a systematic literature review from a logistics management perspective. *The International Journal of Logistics Management*, 36(7), 1-62, 2025.

¹¹ EASA. Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and 2019/945). European Union Aviation Safety Agency. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems-regulations-eu> EASA, 2024.

¹² European Commission. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 of 24 May 2019 on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft. EUR-Lex. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2019/947/oj/eng EUR-Lex, 2019.

¹³ European Commission. Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 of 12 March 2019 on unmanned aircraft systems and on third-country operators of unmanned aircraft systems. EUR-Lex (consolidated). https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2019/945/oj/eng, 2019.

¹⁴ EASA. Rules Standards: Open, Specific, Certified (overview page). European Union Aviation Safety Agency. <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/rules-standards>, 2024.

¹⁵ European Commission. Commission Implementing Regulation (EU) 2021/664 of 22 April 2021 on a regulatory framework for the U-space. EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32021R0664> EUR-Lex, 2021.

z aktami powiązanymi), obejmującymi m.in. e-identyfikację, geofencing i dynamiczne zarządzanie przestrzenią¹⁶.

Wpływ na wykorzystanie BSP w logistyce będzie miało kilka czynników. Pierwszy z nich to nośność i architektura płatowca. Multirotory oferując precyzję dostawy i prostotę zawisu dla lekkich ładunków i gęstych siatek punktów odbioru; fixed-wing i hybrydy ułatwiają obsługę większych odległości dzięki korzystniejszej charakterystyce aerodynamicznej¹⁷.

Kolejnym ważnym aspektem są systemy autonomii i wsparcia nawigacji. Funkcje takie jak planowanie misji, RTK/GNSS, oraz sensory unikania kolizji DAA (ang. *Detect-And-Avoid*) zwiększają bezpieczeństwo i niezawodność misji, co jest krytyczne dla powtarzalnych usług logistycznych. Wymogi w zakresie identyfikacji zdalnej i ograniczeń geograficznych są elementem ram prawnych UE^{18,19}.

Dla prawidłowego funkcjonowania ważna jest też łączność i integracja z zarządzaniem ruchem. Zapewnienie łączności, monitoring położenia i wymiana danych z usługodawcami U-space będą determinować skalowalność operacji w miastach oraz koegzystencję z innymi użytkownikami przestrzeni^{16,19}.

Tabela 1. Kategorie operacji wymogów prawnych dla planowania usług logistycznych w UE

Kategoria	Poziom ryzyka	Przykładowe warunki prawne (UE)	Znaczenie dla logistyki
Open (A1/A2/A3)	Niskie	VLOS; ograniczenia odległości od osób; klasy C0–C4; szkolenie A1/A3 (online), A2 (egzamin + praktyka własna)	Inwentaryzacje magazynowe, krótkie loty na terenach kontrolowanych
Specific	Średnie	BVLOS dopuszczalne po autoryzacji (SORA) lub w ramach STS-01/STS-02; klasy C5/C6 dla STS; dodatkowe warunki operacyjne	Podstawa usług logistycznych (ostatnia mila, medyczne, między ośrodkami)
Certified	Wysokie	Certyfikacja statku, operatora i (jeśli dotyczy) personelu; wymogi zbliżone do lotnictwa załogowego	Docelowe systemy cargo/eVTOL i operacje o najwyższym ryzyku

Źródło: opracowanie własne na podstawie 2019/947, 2019/945, EASA

¹⁶ European Commission. Commission Implementing Regulation (EU) 2021/664 of 22 April 2021 on a regulatory framework for the U-space. EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32021R0664> EUR-Lex, 2021.

¹⁷ EASA. Drones eVTOL Designs (web page, accessed Nov 2025). European Union Aviation Safety Agency. <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-evtol-designs>, 2025.

¹⁸ European Commission. Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 of 12 March 2019 on unmanned aircraft systems and on third-country operators of unmanned aircraft systems. EUR-Lex (consolidated). https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2019/945/oj/eng, 2019.

¹⁹ EASA. Rules Standards: Open, Specific, Certified (overview page). European Union Aviation Safety Agency. <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/rules-standards>, 2024.

W logistyce zadanie do wykonania będzie determinować wybór kategorii (Open/Specific/Certified). Będzie to wynikać z oceny ryzyka i sposobu zapewnienia bezpieczeństwa (np. SORA w Specific) co przekłada się na dobór środków technicznych: poziom redundancji, systemy DAA, procedury utraty łączności czy ograniczenia obszarowe¹⁹.

Zestawienie warunków jakie musi spełniać operator BSP i sam sprzęt zostało zebrane w postaci tabeli 1.

Krajowe przepisy i nadzór lotniczy

Polski porządek prawny w obszarze BSP opiera się na implementacji regulacji UE, przy czym Urząd Lotnictwa Cywilnego (ULC) pełni rolę krajowej władzy lotniczej odpowiedzialnej za rejestr operatorów i nadzór nad kompetencjami pilotów, a Polska Agencja Żeglugi Powietrznej (PAŻP) odpowiada za operacyjne zarządzanie przestrzenią i koordynację lotów poprzez system PANSa UTM oraz aplikację DroneTower. Ten podział zadań przekłada się bezpośrednio na praktykę planowania i realizacji misji logistycznych w kategoriach Open/Specific/Certified²⁰.

ULC prowadzi rejestr operatorów UAS (jednolity w całym obszarze EASA), wydaje potwierdzenia kompetencji (A1/A3, A2, STS) i publikuje krajowe informacje operacyjne dla kategorii Open/Specific. Rejestracja odbywa się w krajowym systemie cyfrowym drony.gov.pl, który umożliwia także weryfikację statusu operatorów/pilotów. W praktyce jest to pierwszy krok dla podmiotów logistycznych planujących wejście w operacje dronowe²¹.

W operacjach Specific ULC jest organem właściwym do oceny wniosków o autoryzację operacyjną (np. na podstawie SORA) albo potwierdza spełnienie warunków scenariuszy STS. Tym samym to ULC decyduje o formalnym dopuszczeniu profilu misji typowych dla logistyki (BVLOS nad terenami zamieszkałymi / w pobliżu infrastruktury)²⁰.

PAŻP zapewnia służby ruchu lotniczego oraz koordynację lotów BSP w polskiej przestrzeni. System informatyczny do zarządzania lotami dronów to PansaUTM oraz aplikacja DroneTower, która służy operatorom do zgłaszania lotów, uzyskiwania koordynacji i bieżącej łączności informacyjnej. Oficjalny podręcznik użytkownika DroneTower potwierdza integrację z PansaUTM i opisuje proces „mission planning → check-in → koordynacja/aktywacja → lot → zamknięcie”²².

Aplikacja DroneTower jest obecnie utrzymywanym przez PAŻP następcą wcześniejszych rozwiązań (jak „Check-in PANSa”/DroneRadar). Jej rozwój i udostępnienie użytkownikom od 2024 r. zostały oficjalnie komunikowane przez PAŻP i branżowe serwisy²³.

Operator planujący misję (zwłaszcza BVLOS lub w CTR) tworzy zgłoszenie w DroneTower/PansaUTM, sprawdza aktywne ograniczenia (strefy stałe i czasowe) oraz ocenia decyzji koordynacyjnej właściwych służb (FIS/TWR). Wymagania dotyczące konta

²⁰ Urząd Lotnictwa Cywilnego. Informacje ogólne – rejestr operatorów UAS [Serwis informacyjny]. <https://ulc.gov.pl/drony/informacje-ogolne>, 2025.

²¹ Urząd Lotnictwa Cywilnego. e-Registration – Digital Services for UAVs [Serwis informacyjny]. <https://drony.gov.pl/e-registration>, 2023.

²² Polska Agencja Żeglugi Powietrznej. PansaUTM – system zarządzania operacjami dronów [Serwis informacyjny]. <https://utm.pansa.pl/>, 2024.

²³ <https://dlapilota.pl/wiadomosci/polska/zmiany-w-zakresie-rozwiazan-cyfrowych-dla-bsp>

i zgłaszania lotów w CTR są zebrane m.in. w oficjalnych materiałach PAŻP oraz poradnikach branżowych odnoszących się wprost do systemów PAŻP/ULC²².

PAŻP publikuje AUP/UUP (planowane/aktualne użycie przestrzeni) oraz NOTAM dotyczące m.in. aktywacji stref (TRA/TSA/MRT/R), wydarzeń masowych czy czasowych ograniczeń. Te informacje są dostępne w oficjalnych serwisach (AUP/UUP, DroneMap) i są również w systemie UTM/DroneTower – operator jest zobowiązany uwzględnić je na etapie planowania i przed lotem²⁴.

W Polsce trwają działania przygotowujące do wyznaczania przestrzeni U-space; ścieżka obejmuje ocenę wniosku, analizę ryzyka przestrzeni, testy i decyzję Prezesa ULC. To pokazuje, że w perspektywie świadczenie usług logistycznych przy użyciu BSP (zwłaszcza BVLOS w środowisku miejskim) oraz rola usługodawców U-space i integracja z PansaUTM będą rosły²⁵.

Dla operacji logistycznych o charakterze powtarzalnym (np. dostawy medyczne BVLOS) kluczowe są: (1) formalna ścieżka w ULC (rejestr/kompetencje/autoryzacja), (2) codzienne procedury koordynacyjne w PAŻP (PansaUTM/DroneTower), (3) stały monitoring NOTAM/AUP/UUP oraz aktywności stref.

Zestawienie kompetencji ULC i PAŻP oraz narzędzi, z których musi korzystać operator prowadzący operacje logistyczne BSP (VLOS/BVLOS) zostały zestawione w tabeli 2.

Tabela 2. Role instytucji i narzędzia operacyjne w Polsce

Podmiot / system	Zakres	Co to oznacza dla operatora logistycznego
ULC / drony.gov.pl	rejestr operatorów i weryfikacja kompetencji (A1/A3, A2, STS); autoryzacje Specific	rejestracja, certyfikaty pilota, ścieżka SORA/STS dla BVLOS
PAŻP / PANSA UTM	koordynacja lotów, integracja danych o przestrzeni, łączność z FIS/TWR	składanie planów, uzyskiwanie zgód/koordynacji, status lotu w czasie rzeczywistym
DroneTower (app)	zgłoszenia/aktywacje lotów, check-in/out, komunikaty operacyjne	interfejs „mission-centric”; obowiązkowy w CTR i operacjach wymagających koordynacji
AUP/UUP, DroneMap	publikacje o użyciu przestrzeni, aktywacje stref, NOTAM	sprawdzenie ograniczeń przed lotem; aktualizacja planu i profilu ryzyka

Źródło: opracowanie własne

Obszary geograficzne i ograniczenia przestrzeni powietrznej

Operacje logistyczne z użyciem BSP w Polsce odbywają się w przestrzeni zorganizowanej według przepisów UE i krajowych zasad zarządzania ruchem. Kluczowe jest

²⁴ Polska Agencja Żeglugi Powietrznej. AUP/UUP – Serwis informacji o przestrzeni [Serwis operacyjny]. <https://airspace.pansa.pl/>, 2025.

²⁵ Paprocki P.: U-space implementation approach of Poland [Prezentacja, EUROCONTROL]. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2023-12/2023-11-22-uspace-meeting-katowice-paprocki-uspace-implementation-poland.pdf>, 2023.

rozróżnienie stref kontrolowanych lotnictwa załogowego (np. CTR) oraz stref geograficznych UAS ustanawianych na podstawie art. 15 rozporządzenia 2019/947, które mogą nakładać dodatkowe warunki dla dronów^{26,27}. Dane operacyjne o aktualnym wykorzystaniu przestrzeni (AUP/UUP, NOTAM) publikuje PAŻP i udostępnia w systemie PansaUTM / DroneTower oraz serwisie DroneMap^{28,29,30}.

Strefy zakazów i ograniczeń są oznaczane skrótami literowymi: CTR, P, R, D (oraz strefy czasowe TSA/TRA).

CTR (Control Zone) – kontrolowana strefa wokół lotniska, gdzie ruch jest separowany przez służby ATS. Loty BSP mogą wymagać koordynacji i spełnienia warunków lokalnych (wysokość, czas, łączność), a w praktyce zgłoszenia/aktywacji poprzez DroneTower z integracją do PansaUTM³¹.

P (Prohibited) – strefa zakazana; loty są niedozwolone.

R (Restricted) – strefa o ograniczonym użytkowaniu; loty możliwe tylko na określonych warunkach lub za zgodą zarządzającego.

D (Danger) – strefa niebezpieczna ze względu na określoną aktywność (np. ćwiczenia); loty wymagają uwzględnienia czasu aktywacji i ograniczeń.

Informacje o aktywnościach w strefach P/R/D (oraz MRT) są dystrybuowane m.in. depeszami NOTAM i prezentowane w serwisach DroneMap oraz AUP/UUP^{28,30}.

TSA/TRA – czasowo wydzielone (TSA) i czasowo zarezerwowane (TRA) obszary przestrzeni, aktywowane zgodnie z dziennym planem użycia przestrzeni AUP oraz jego aktualizacjami UUP. To szczególnie istotne dla planowania korytarzy BVLOS – aktywacja TSA/TRA może zmienić profil ryzyka i trasę operacji²⁸.

Operator logistyczny planujący misję BVLOS powinien przyjąć sekwencję: (1) sprawdzenie AUP/UUP i NOTAM, (2) analiza stref w DroneMap, (3) zgłoszenie i koordynacja lotu w DroneTower/PansaUTM, (4) monitoring zmian w trakcie realizacji^{28,29,31}.

Rozporządzenie 2019/947 przewiduje, że państwa członkowskie mogą definiować geograficzne strefy UAS nakładające warunki lub ograniczenia z przyczyn bezpieczeństwa, ochrony, prywatności czy środowiska (np. maks. wysokość, wymóg identyfikacji zdalnej, zakaz lotów)²⁶. W Polsce publikacja informacji o strefach i warunkach oraz ich praktyczne „wizualizowanie” dla operatora realizowane jest przez PAŻP (DroneMap, AUP/UUP) i narzędzia operacyjne PansaUTM/DroneTower^{28,29,31}. EASA Easy Access Rules porządkują sposób stosowania geo-stref, a ich warunki pojawiają się także

²⁶ European Commission. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 of 24 May 2019 on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft systems (incl. Art. 15 on UAS geographical zones). EUR-Lex, 2019.

²⁷ EASA. Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and 2019/945). European Union Aviation Safety Agency, 2024.

²⁸ Polska Agencja Żeglugi Powietrznej. AUP/UUP – serwis informacji o przestrzeni (Airspace Use Plan / Updated Airspace Use Plan). <https://airspace.pansa.pl/>, 2025.

²⁹ Polska Agencja Żeglugi Powietrznej. PANSA UTM DroneTower – koordynacja lotów BSP [materiały informacyjne]. <https://pansa.pl/>, 2024.

³⁰ Polska Agencja Żeglugi Powietrznej. DroneMap – serwis mapowy stref i komunikatów dla BSP. <https://dronemap.pansa.pl/>, 2023–2025.

³¹ Polska Agencja Żeglugi Powietrznej. DroneTower – podręcznik użytkownika [PDF]. <https://www.pansa.pl/wp-content/uploads/2024/04/DroneTower-podrecznik-uzytownika.pdf>, 2024.

w materiałach AMC/GM²⁷. Zestawienie stref i zasady lotów w tych strefach przedstawiono na rysunku 4.

Strefy geograficzne oraz ogólne zasady lotów

Strefy geograficzne	Struktury przestrzeni powietrznej opublikowane w AIP Polska lub wprowadzane via NOTAM oraz strefy geograficzne obowiązujące tylko BSP	Zasady lotów BSP ze względu na masę			
		do 900 g	900 g - 25 kg	powyżej 25 kg	
DRA-P	TSA, MRT, TMA, MTMA	Zakaz wykonywania lotów BSP			
	strefy DRA-P tylko dla BSP	Zakaz wykonywania lotów BSP lub mogą być wykonywane przez służby wskazane przez PAŻP			
DRA-R	P > 500 m od terenu obiektu chronionego przez strefę	Do 30 m AGL bez zgody zarządzającego	Wyżej niż 30 m AGL za zgodą zarządzającego	Na warunkach określonych w zezwoleniu ULC	
	P < 500 m od terenu obiektu chronionego przez strefę	Za zgodą zarządzającego			
	R nad parkami narodowymi	Za zgodą i na warunkach zarządzającego			
	MCTR, TRA	Do 100 m AGL bez zgody			
DRA-RH	CTR, ATZ >6 km od granicy terenu lotniska lub lądowiska	100-120 m AGL: Misja w PansaUTM / Akceptacja misji / Zgoda TWR Powyżej 120 m AGL dodatkowo wymagane zezwolenie ULC			
	CTR, ATZ >6 km od granicy terenu lotniska	100-120 m AGL: za zgodą i na warunkach zarządzającego Powyżej 120 m AGL dodatkowo wymagane zezwolenie ULC			
	ATZ <6 km od granicy terenu lotniska lub lądowiska	Za zgodą zarządzającego			
	nowe strefy DRA-RH tylko dla BSP	Wyżej niż 30 m za zgodą i na warunkach zarządzającego			
DRA-RM	ATZ 1-6 km	Do 30 m AGL bez zgody	Wyżej niż 30 m misja w PansaUTM / Akceptacja misji / Zgoda TWR		
	CTR 1-6 km		Za zgodą zarządzającego		
DRA-RL	strefy DRA-RM tylko dla BSP	Za zgodą i na warunkach zarządzającego			
	ATZ <1 km MCTR <2 km D	Misja w PansaUTM / Akceptacja misji / Zgoda TWR			
	CTR <1 km	Za zgodą zarządzającego			
	strefy DRA-RL tylko dla BSP	Dodatkowe wymagania techniczne określone przez PAŻP			
DRA-T	nowe strefy	Informacje konieczne dla zapewnienia bezpieczeństwa wykonywania operacji przy użyciu systemów bezzałogowych: statków powietrznych			
DRA-I	NW, AREA, ADIZ, AAA, RMZ, strefy DRA-I tylko dla BSP				

Rysunek 4. Strefy geograficzne w Polsce

Źródło: <https://www.pansa.pl/strefy-geograficzne/>

Systemy zgłoszeniowe – od DroneRadar do DroneTower (PANSA UTM)

Historycznie popularna wśród pilotów aplikacja DroneRadar pełniła funkcję informacyjną i „check-in”. Obecnie PAŻP utrzymuje i rozwija oficjalny system PansaUTM oraz aplikację DroneTower, które stanowią podstawowy kanał zgłaszania, koordynacji i aktywacji lotów BSP, zwłaszcza w CTR i innych strefach wymagających koordynacji (PAŻP, 2024a; 2024b)^{32,33}. Instrukcja użytkownika DroneTower opisuje krok po kroku proces planowania misji, check-in, koordynacji z FIS/TWR oraz zamykania lotu; narzędzie jest zintegrowane z danymi przestrzennymi i komunikatami³³. Serwis DroneMap wyświetla

³² Polska Agencja Żeglugi Powietrznej. PANSA UTM DroneTower – koordynacja lotów BSP [materiały informacyjne]. <https://pansa.pl/>, 2024.

³³ Polska Agencja Żeglugi Powietrznej. DroneTower – podręcznik użytkownika [PDF]. <https://www.pansa.pl/wp-content/uploads/2024/04/DroneTower-podrecznik-uzytkownika.pdf>, 2024.

strefy, ich status i ostrzeżenia, z zastrzeżeniem, że nie zastępuje on obowiązku sprawdzania NOTAM/AUP/UUP³⁴.

Bezpieczeństwo operacji i wymogi techniczne

Bezpieczeństwo operacji BSP w UE opiera się na trzech filarach: identyfikacji zdalnej, funkcjach świadomości geograficznej (geo-awareness) / geofencingu oraz procedurach oceny i minimalizacji ryzyka (SORA) w kategorii Specific. Ramy prawne wynikają z rozporządzeń 2019/947 (zasady wykonywania operacji) i 2019/945 (wymagania techniczne i klasy CE), ujętych w skonsolidowanych EASA Easy Access Rules^{35,36,37}.

Od 1 stycznia 2024 r. aktywny system DRI (ang. *Direct Remote Identification*) jest wymagany dla wszystkich operacji w kategorii Specific oraz dla dronów z oznaczeniami klasowymi używanych w kategorii Open^{38,39}. DRI to lokalna transmisja danych identyfikacyjnych (swego rodzaju „cyfrowa tablica rejestracyjna”), obejmująca m.in. numer rejestracyjny operatora oraz identyfikator statku; definicję DRI zawiera 2019/947 (art. 2), a wymagania techniczne – 2019/945 (załącznik, w tym także Part 6 – add-on DRI)^{35,37}. W praktyce logistycznej DRI ułatwia nadzór i egzekwowanie przepisów w środowisku zurbanizowanym i w pobliżu infrastruktury krytycznej.

W związku z powyższym niesie to konsekwencje dla operatorów logistyki, którzy dla statków w Open (C1–C3), gdzie DRI jest funkcją fabryczną oraz w kategorii Specific muszą dopilnować czy jest aktywna i aktualna konfiguracja DRI, także przy zastosowaniu modułów „add-on”, jeśli statek nie ma DRI wbudowanego^{37,38,39}.

Rozporządzenie 2019/945 nakłada na część klas (m.in. C1–C3) wymóg funkcji świadomości geograficznej (geo-awareness), która ostrzega pilota o zbliżaniu się do stref ograniczeń i wspiera utrzymanie zgodności z przepisami⁴⁰. Geofencing (automatyczne zapobieganie wejściu do strefy) nie jest co do zasady obligatoryjny we wszystkich

³⁴ Polska Agencja Żeglugi Powietrznej. DroneMap – serwis mapowy stref i komunikatów dla BSP. <https://dronemap.pansa.pl/>, 2023–2025.

³⁵ European Commission. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft systems (incl. definition of direct remote identification). EUR-Lex, 2019.

³⁶ European Commission. Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 on unmanned aircraft systems and on third-country operators of unmanned aircraft systems (consolidated). EUR-Lex, 2024.

³⁷ EASA. Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and 2019/945), 2024.

³⁸ EASA. Remote identification will become mandatory for drones across Europe. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/remote-identification-will-become-mandatory-drones-across>, 2023.

³⁹ EASA. Drone Open Category — Applicable requirements to fly (from 1st January). EASA <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/drone-open-category-applicable-requirements-fly-1st-january>, 2023.

⁴⁰ EASA. Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and 2019/945), 2024.

klasach, lecz może być stosowany i jest oczekiwany przez zarządzających przestrzenią w trudnych środowiskach operacyjnych^{41,42}.

W UE ustanawiane są geograficzne strefy UAS (art. 15 rozporządzenia 2019/947), które mogą: ułatwiać loty, nakładać warunki (np. maksymalną wysokość, wymóg DRI) lub w ogóle je wyłączać. Informacja o strefach publikowana jest w formacie cyfrowym, a EASA prowadzi edukacyjne materiały nt. geo-zones^{43,44}. W Polsce praktyczny dostęp zapewniają PansaUTM/DroneTower i serwisy mapowe.

Transport przesyłek i ostatnia mila

Dostawy dronami w ostatniej mili obejmują przede wszystkim przesyłki lekkie (zwykle do ~2–3 kg) dostarczane na krótkich dystansach, w ściśle zdefiniowanych korytarzach i z wysoką powtarzalnością operacji. Literatura wskazuje na dwie dominujące architektury: (1) point-to-point (hub → punkt odbioru u klienta lub paczkomat/skyport) oraz (2) hybrydę truck-and-drone (pojazd naziemny jako mobilny hub, z którego startują drony). Efekty ekonomiczne i środowiskowe są największe w gęstych sieciach popytu, przy krótkich oknach czasowych i trasowaniu, które minimalizuje puste przeloty oraz „zwroty” energii⁴⁵. Badania syntetyczne z lat 2023–2025 potwierdzają, że wartościowanie rozwiązań powinno uwzględniać pogodę, ukształtowanie terenu, masę ładunku i profil energetyczny platformy; w wielu scenariuszach hybrydy (van + dron) dają lepszą skalowalność niż „czysty” model door-to-door^{45,46}.

W praktyce operacyjnej krytyczne pozostają: precyzyjne lądowanie/zrzut, niezawodność łączności, integracja z U-space/UTM i akceptacja społeczna (hałas, prywatność). Analizy programów Wing (Alphabet) podkreślają znaczenie stopniowego skalowania – od stref pilotażowych do bardziej złożonych korytarzy w obszarach miejskich – oraz roli partnerstw z detalistami/platformami dostaw (np. sieci spożywcze, apteki)⁴⁷.

Amazon prowadził pierwsze europejskie testy komercyjnych dostaw w San Salvo (Włochy) na przełomie 2024/2025, wykorzystując platformę MK30 (ładunek do ok. 2,27 kg), po wcześniejszych zapowiedziach ekspansji do Włoch i Wielkiej Brytanii (2023). Testy były koordynowane z włoskim regulatorem ENAC, a spółka deklarowała rozpoczęcie usług komercyjnych w 2025 r. (równolegle do kontynuowanych operacji w USA

⁴¹ Luftfahrt-Bundesamt (LBA). UAS classification — geo-awareness vs geofencing (fact sheet). <https://lba-openuav.de/>, 2021.

⁴² SKYbrary Aviation Safety. Geofencing basics. skybrary.aero, 2024.

⁴³ European Commission. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft systems (incl. definition of direct remote identification). EUR-Lex, 2019.

⁴⁴ EASA. Geo-zones — know where to fly your drone, 2024.

⁴⁵ Jazairy A., Persson E., Brho M., von Haartman R., Hilletoft P.: Drones in last-mile delivery: a systematic literature review from a logistics management perspective. *The International Journal of Logistics Management*, 36(7), 1-62, 2025.

⁴⁶ Shuaibu A. S., Mahmoud A. S., Sheltami T. R.: A review of last-mile delivery optimization: Strategies, technologies, drone integration, and future trends. *Drones*, 9(3), 158, 2025.

⁴⁷ Zenz A., Powles J.: Resisting technological inevitability: Google Wing’s delivery drones and the fight for our skies. *Philosophical Transactions A*, 382(2285), 20240107, 2024.

– m.in. College Station, Phoenix)^{48,49,50}. W 2025 r. kontynuowano przeglądy z ENAC i dalsze testy przed szerszym uruchomieniem⁵¹. Operacyjnie Prime Air opiera się na dostawach „z góry” na wyznaczoną strefę klienta (yard-drop) z automatycznym zrzutem, co minimalizuje czas zawisu i ekspozycję na ryzyko (zgody lokalne, hałas)^{48,49,51}.

Wing prowadzi realne usługi w Australii (od 2017), Finlandii (od 2019), USA (od 2019) oraz w Irlandii (od 2022), współpracując z sieciami detalicznymi i platformami zamówień. Analizy akademickie Wing akcentują w szczególności operacyjny model „on-demand, single-item” dla małych zamówień konsumenckich (kawa, jedzenie, leki OTC), a także „sieć portali” (niewielkie huby startowe blisko popytu), co skraca czas dotarcia i obniża wymagania co do zasięgu drona⁴⁷. Niezależne studium (Accenture na zlecenie Wing) dla aglomeracji Dublina sugeruje znaczące skrócenie czasu dostawy i redukcję przejazdów pojazdów w godzinach szczytu – przy założeniu wzorcowej gęstości popytu i odpowiednich korzyści^{47,52}.

DHL rozpoczął program Parcelcopter już w 2013–2014 r. (Bonn – misje testowe; wyspa Juist 2014 – dostawy medyczne), a w 2016 r. zrealizował ponad 100 autonomicznych dostaw między alpejskimi miejscowościami w Bawarii (Reit im Winkl – Alm), wykorzystując platformę tilt-rotor (tzw. „Paketcopter”). W badaniach i raportach wskazywano prędkości do ~80 mph, ładowność do ~2 kg i znaczącą przewagę czasową nad pojazdem w trudnym terenie. Program był czasowy/pilotażowy, ale dostarczył wymiernych danych o integracji „skyportów”, ścieżkach VLOS/BVLOS i odporności na warunki pogody^{53,54,55,56}.

Logistyka magazynowa

Zastosowania dronów w magazynach koncentrują się przede wszystkim na cyklicznych inwentaryzacjach (cycle counting) i wall-to-wall — jako substytut pracy z podnośników oraz skanerów ręcznych. Literatura wskazuje, że największy potencjał wdrożeniowy dotyczy właśnie inwentaryzacji, podczas gdy intralogistyka transportowa czy

⁴⁸ Reuters. Amazon successfully tests using delivery drones in Italy, 2024.

⁴⁹ The Verge. Amazon just completed its first delivery by drone in Italy, 2024.

⁵⁰ Amazon. Amazon to expand Prime Air drone delivery in Italy, the UK and U.S. Retrieved October 18, 2023, from Amazon About News, 2023.

⁵¹ Unmanned Airspace. Further tests for Prime Air delivery before operations launch in Italy. unmannedairspace.info 2025.

⁵² Wing. Study explores the potential benefits of small package drone delivery in Ireland. (Accenture study summary), 2023.

⁵³ Wired. DHL's delivery drone can make drops quicker than a car, 2015.

⁵⁴ Wired. DHL's tilt-rotor 'Parcelcopter' is both awesome and useful, 2016.

⁵⁵ Li F., Kunze O.: A comparative review of air drones (UAVs) and delivery bots (SUGVs) for automated last mile home delivery. *Logistics*, 7(2), 21, 2023.

⁵⁶ Scott J., Scott C.: Drone Delivery Models for Healthcare. In *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*, Hilton Waikoloa Village, Hawaii; pp. 3297–3304, ISBN 978-0-9981331-0-2. Available online: <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/items/947f05d9-71f2-467a-8291-084642e402ad>, 2017.

kompletacja towaru wymagają jeszcze dojrzałości technologii⁵⁷. W opracowaniu zidentyfikowano 12 klas przypadków zastosowań dronów wewnątrzmagazynowych i wskazano inwentaryzację jako obszar o najwyższej dojrzałości⁵⁷.

Badania nad planowaniem tras skanowania i nawigacją bez GNSS (SLAM, wizyjna lokalizacja, markery) podkreślają znaczenie optymalizacji ścieżek pod ograniczoną energię i bezpieczeństwo lotu w alejkach regałowych. Prace z ostatnich lat (np. Radácsi, 2022) łączą modelowanie tras z integracją automatycznego odczytu etykiet (kody kreskowe/2D) oraz podkreślają rolę gotowych systemów komercyjnych (Eyeseer/Hardis) jako referencji implementacyjnej⁵⁸.

Równolegle rozwijają się rozwiązania RFID-owe. Klasyczne badanie MIT (RFly) pokazało możliwość relaying-u sygnału RFID przez platformę UAV w celu lokalizacji tagów w dużych przestrzeniach magazynowych, co wyznaczyło kierunek badań nad długiego zasięgu, pasywnym odczytem identyfikatorów bez konieczności zbliżania głowicy do etykiety⁵⁹. W praktyce magazynowej oznacza to potencjał redukcji „ślepych punktów” i uzupełnienie skanowania wizyjnego⁵⁹.

Jak podaje IKEA (Ingka Group) dysponują oni flotą >250 autonomicznych dronów (Verity) w 73 magazynach w 9 krajach, a od 2024 r. - prowadzą pracę również w godzinach operacyjnych (z obustronną współpracą człowiek-dron, własny system pozycjonowania indoor, unikanie kolizji)^{60,61}. Modele Gather AI i Eyeseer wskazują z kolei na wysoką skuteczność skanowania z poziomu wysokich kondygnacji regałów i integrację z WMS/ERP^{62,63}. W doniesieniach rynkowych i studiach przypadków pojawiają się deklaracje dokładności rzędu ~99% oraz wielokrotnego przyspieszenia cyklu inwentaryzacji, co wymaga jednak weryfikacji w każdym obiekcie (różne layouty, jakość etykiet, oświetlenie)⁶⁴.

Inwentaryzacja dronowa sprawdza się szczególnie tam, gdzie: (I) regały są wysokie, (II) rotacja SKU jest duża, (III) występuje rozbieżność między stanem systemowym a fizycznym, a ręczne skanowanie wymaga podnośników i zamykania alejek. W takich warunkach drony redukują ekspozycję BHP i skracają czas rund inwentaryzacyjnych,

⁵⁷ Wawrla L., Maghazei O., Netland T.: Applications of drones in warehouse operations. Whitepaper. ETH Zurich, D-MTEC, 212, 1-12, 2019.

⁵⁸ Radácsi L., Gubán M., Szabó L., Udvaros J.: A path planning model for stock inventory using a drone. Mathematics, 10(16), 2899, 2022.

⁵⁹ Ma Y., Selby N., Adib F.: Drone Relays for Battery-Free Networks. In Proceedings of the conference of the ACM special interest group on data communication (pp. 335-347). <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/125328>, 2017.

⁶⁰ Ingka Group (IKEA). IKEA is elevating human-AI-powered drone collaboration (newsroom). <https://www.ingka.com/>, 2024.

⁶¹ The Verge. IKEA's stock-counting warehouse drones will fly alongside workers in the US. 2024.

⁶² Gather AI. Romark Logistics and Gather AI: A Case Study (video article). SupplyChainBrain, 2024.

⁶³ Eyeseer. Warehouse drone for cycle counting and wall-to-wall inventory (product/white paper page). <https://www.eyeseer-drone.com/>, 2025.

⁶⁴ SupplyChainBrain. Watch: Romark Logistics and Gather AI — A Case Study. <https://www.supplychainbrain.com/>, 2024.

zwłaszcza gdy harmonogram lotów jest zautomatyzowany i sprzężony z oknami dostępności stref^{65,66}.

Poza inwentaryzacją, platformy UAV wspierają: monitoring lokalizacji jednostek ładunkowych, identyfikację błędnych odładek (slotting errors), wykrywanie pustych miejsc paletowych oraz obserwację stanu infrastruktury (np. deformacje belek regałowych). W zastosowaniach zaawansowanych drony integruje się z AI-vision (detekcja kodów i etykiet, rozpoznawanie wolumenów, inferencja case-count) i utrzymuje jako element digital twin magazynu⁶⁷. Ujęcia przeglądowe i studia Delphi (Axén, 2023) potwierdzają, że inventory/monitoring to obszar najbliższy pełnej automatyzacji, podczas gdy „pick-by-drone” pozostaje ograniczony wymaganiami bezpieczeństwa, udźwigu i precyzji manipulacji⁶⁸.

Technicznie rozwiązania magazynowe pracują indoor (poza GNSS), korzystając z: (1) wizyjnej lokalizacji (VIO/SLAM), (2) markerów/znaczników (np. WhyCon/ArUco) i (3) systemów IPS (UWB/LiDAR). Literatura akcentuje rolę planowania ścieżek pod ograniczenia energetyczne i bezpieczne separacje od infrastruktury oraz ludzi^{65,69}. Wdrożenia IKEA/Verity pokazują dodatkowo przejście z trybu „off-hours” do kooperacji w czasie pracy magazynu przy jednoczesnej kontynuacji misji i aktywnym omijaniu przeszkód⁷⁰.

W praktyce dane z kamer i czujników (oraz ewentualnie RFID) są mapowane do lokacji WMS i weryfikowane na poziomie regału/półki. W modelu „AI-vision first” (Gather AI) oprogramowanie dokonuje rekonsyliacji odczytów z master-danymi i flaguje rozbieżności (lokacja, ilość, brak etykiety), a następnie generuje zlecenia korygujące^{64,71}. W modelu „barcode-first” (Eyesee) nacisk kładzie się na deterministyczny odczyt kodów i pełną trasę wall-to-wall⁷².

Logistyka przemysłowa i wewnątrzzakładowa

Logistyka wewnątrzzakładowa obejmuje przepływy materiałów, komponentów i informacji w obrębie fabryk oraz kampusów produkcyjnych. W tym środowisku drony

⁶⁵ Radácsi L., Gubán M., Szabó L., Udvaros J.: A path planning model for stock inventory using a drone. *Mathematics*, 10(16), 2899, 2022.

⁶⁶ Wawrla L., Maghazei O., Netland T.: Applications of drones in warehouse operations. Whitepaper. ETH Zurich, D-MTEC, 212, 1-12, 2019.

⁶⁷ SCMR. Gather AI's next chapter: From drone vision to warehouse intelligence. *Supply Chain Management Review*, 2025.

⁶⁸ Axén F., Forsgren I.J.: The Future of Warehouse Automation: Will Drones Ever Be Used in Warehouses? (Master's thesis). Lund University, 2023.

⁶⁹ Tong C., et al.: An Efficient Intelligent Semi-Automated Warehouse Inventory Stocktaking System (preprint). arXiv:2309.12365, 2023.

⁷⁰ Ingka Group (IKEA). IKEA is elevating human-AI-powered drone collaboration (newsroom). <https://www.ingka.com/>, 2024.

⁷¹ Peak Technologies. Revolutionise Your Warehouse Inventory with Autonomous Drones. <https://www.peaktech.com/revolutionise-your-warehouse-inventory-with-autonomous-drones/>, 2025.

⁷² Eyesee. Warehouse drone for cycle counting and wall-to-wall inventory (product/white paper page). <https://www.eyesee-drone.com/>, 2025.

pełnią dwie zasadnicze role: (1) szybki transport lekkich elementów i dokumentów między gniazdami produkcyjnymi lub magazynami oraz (2) inspekcje infrastruktury, zwłaszcza w miejscach trudno dostępnych lub niebezpiecznych. Przeglądy i studia wdrożeń wskazują, że drony najlepiej uzupełniają AMR/AGV w zadaniach czasokrytycznych, gdzie liczy się ominięcie „korków” intralogistycznych i krótki czas reakcji⁷³.

W zastosowaniach intralogistycznych drony realizują powtarzalne przeloty punkt-punkt: dostarczają drobne części, narzędzia, próbki i dokumenty pomiędzy strefami montażu, magazynami buforowymi i kontrolą jakości⁷³. Źródła naukowe podkreślają, że skuteczność takich misji zależy od precyzyjnej lokalizacji indoor (SLAM/VIO, UWB-IMU) oraz planowania tras pod ograniczenia energetyczne⁷⁴. Nowsze prace pokazują także wzrost niezawodności dzięki wizyjno-inercyjnej nawigacji zdarzeniowej, poprawiającej działanie w słabym oświetleniu i przy szybkich ruchach^{73,74,75}.

Inspekcje obejmują konstrukcje na wysokości (kominy, dachy, konstrukcje stalowe), urządzenia procesowe oraz przestrzenie zamkowe (zbiorniki, tunele, kotły). Literatura przeglądowa opisuje techniki wizyjne/IR i LiDAR oraz ścieżkę dojścia do rekonstrukcji 3D i detekcji defektów^{76,77,78}. W środowiskach ograniczonych rosną zastosowania platform klatkowych („caged UAV”), które minimalizują potrzebę rusztowań i ekspozycję prac na wysokości⁷⁹.

Obok inspekcji wizyjnych rozwijane są techniki NDT kompatybilne z UAV, m.in. pomiary ultradźwiękowe grubości płaszcza zbiorników wykonywane in-service; wyniki wskazują na możliwość znacznego skrócenia okien serwisowych i poprawę bezpieczeństwa⁷⁹. Praktyczne studia przypadków branżowych (Flyability/Elios) dokumentują redukcję czasu i ryzyka w inspekcjach przestrzeni zamkowych oraz kominów i silosów⁸⁰.

Operacje indoor w halach produkcyjnych co do zasady nie podlegają przepisom EASA dotyczącym operacji w przestrzeni powietrznej; decydują procedury BHP przedsiębiorstwa, ocena ryzyka (np. ISO 12100) i polityki bezpieczeństwa systemów autonomicznych. Dla operacji na zewnątrz (np. dachy, kominy na terenie zakładu) zastosowanie mogą mieć kategorie Open/Specific w zależności od profilu ryzyka i miejsca lotu.

⁷³ Wawrla L., Maghazei O., Netland T.: Applications of drones in warehouse operations. Whitepaper. ETH Zurich, D-MTEC, 212, 1-12, 2019.

⁷⁴ Alarifi A., Al-Salman A., Alsaleh M., Alnafessah A., Al-Hadhrani S., Al-Ammar M. A., Al-Khalifa H. S.: Ultra wideband indoor positioning technologies: Analysis and recent advances. *Sensors*, 16(5), 707, 2016.

⁷⁵ Elamin A., El-Rabbany A., Jacob S.: Event-based visual/inertial odometry for UAV indoor navigation. *Sensors*, 25(1), 61, 2024.

⁷⁶ Jordan S., Moore J., Hovet S., Box J., Perry J., Kirsche K., ... Tse Z. T. H.: State-of-the-art technologies for UAV inspections. *IET Radar, Sonar Navigation*, 12(2), 151-164, 2018.

⁷⁷ Molina A. A., Huang Y., Jiang Y.: A review of unmanned aerial vehicle applications in construction management: 2016–2021. *Standards*, 3(2), 95-109, 2023.

⁷⁸ Hajjar M., Zappa E., Bolzon G.: The State of the Art and Potentialities of UAV-Based 3D Measurement Solutions in the Monitoring and Fault Diagnosis of Quasi-Brittle Structures. *Sensors*, 25(16), 5134, 2025.

⁷⁹ Zhang R., Hao G., Zhang K., Li Z.: Unmanned aerial vehicle navigation in underground structure inspection: A review. *Geological Journal*, 58(6), 2454-2472, 2023.

⁸⁰ Flyability. Optimizing Confined Space Inspections: A Success Case With Elios And Waco S.R.L. flyability.com, 2024.

W sektorach podlegających wymaganiom klasyfikacyjnym (np. morski/offshore) dostępne są szczegółowe wytyczne dla „Remote Inspection Technologies” obejmujące wymagania dot. danych, kwalifikacji pilotów i procedur⁸¹.

Logistyka medyczna i ratunkowa

Logistyka medyczna z udziałem BSP obejmuje transport materiału biologicznego, krwi i leków, a w operacjach ratunkowych – także szybkie dostawy defibrylatorów lub wyposażenia ratującego życie. W porównaniu z klasycznym transportem drogowym drony skracają czas dostawy na obszarach słabo skomunikowanych, zmniejszają ryzyko degradacji ładunku w trakcie przejazdu oraz pozwalają ustabilizować zapasy krwi i produktów krwiopochodnych⁸².

Badania kliniczne i przeglądowe potwierdzają, że właściwie opakowane próbki i komponenty krwi utrzymują parametry jakościowe w profilu lotu dronem: temperaturę (np. 2–10°C dla KKCz), brak istotnych różnic dla wskaźników hemolizy czy aktywacji płytek oraz stabilność wybranych analitów^{82,83}. W nowszych pracach wykazano także stabilność indeksów HIL (hemolityczny, lipemiczny, ikteryczny) oraz brak istotnych odchyleń przy powtarzanym transporcie próbek⁸⁴. W warunkach europejskich (środowisko zurbanizowane) bezpieczeństwo operacyjne modeluje się metodą SORA, co umożliwia planowanie tras o minimalnym ryzyku dla lotów w kategorii Specific⁸⁵.

Na rynku dostępne są dojrzałe łańcuchy „próbka → opakowanie → lot → odbiór w laboratorium”. W Szwajcarii sieć zbudowana przez Matternet, Swiss Post i grupę szpitalną EOC w Ticino regularnie przewoziła próbki na trasie szpital–laboratorium (ok. 1–2 km w terenie miejskim), skracając czasy dostawy i odciążając drogi wewnątrzmiestne^{86,87}. W ujęciu operacyjnym kluczowa jest integracja z procedurami laboratoriów (łańcuch chłodniczy, skanowanie odbioru) oraz redundancja opakowań zgodna z wymogami dla materiałów biologicznych kategorii B (UN3373).

⁸¹ ABS (American Bureau of Shipping). Guidance Notes on the Use of Remote Inspection Technologies. ww2.eagle.org, 2022.

⁸² Wiltshire M., Boxshall J., Milne J., Oleniacz K., Theobald K., Phillips B.: The effects of drone transportation on blood component quality: A prospective randomised controlled laboratory study. *British Journal of Haematology*, 205(5), 2022–2030, 2024.

⁸³ Callewaert N., Pareyn I., Acke T., Desplinter B., Van de Pitte K., Van Vooren J., Tersteeg C.: Limited Impact of Drone Transport of Blood on Platelet Activation. *Drones*, 8(12), 752, 2024.

⁸⁴ Stierlin N., Loertscher F., Renz H., Risch L., Risch M.: Impact of Repeated Drone Transport on Blood Sample integrity: A Focused Analysis. *ADLM 2025 – Special Events "Bring the Wonder"*, 4172088; A-221, 2025.

⁸⁵ Molinari S., Patriarca R., Ducci M.: The Challenges of Blood Sample Delivery via Drones in Urban Environment: A Feasibility Study through Specific Operation Risk Assessment Methodology. *Drones*, 8(5), 210, 2024.

⁸⁶ Krey M., Seiler R.: Usage and acceptance of drone technology in healthcare: exploring patients and physicians perspective. In *52nd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, Grand Wailea HI, USA, 8–11 January 2020 (pp. 4135–4144). University of Hawai'i at Manoa, 2019.

⁸⁷ RapidMicrobiology. Drones Fly Specimens Between Swiss Hospital Labs. rapidmicrobiology.com, 2007.

W operacjach lekowych i materiałów krytycznych (np. antytoksyny, leki ratujące życie) modele hybrydowe dron + sieć dystrybucyjna pozwalają utrzymać niskie czasy dostarczenia w oknach „time-critical”. W kontekście zdrowia publicznego wykazano, że wykorzystanie dronów przyspiesza transport próbek testowych i zmniejsza presję na zasoby naziemne⁸⁸. Przykłady wdrożeń z Ghany podczas COVID-19 pokazały redukcję czasów transportu próbek z godzin do kilkudziesięciu minut⁸⁹.

System Zipline jest referencyjnym wdrożeniem dla krajów o zróżnicowanej infrastrukturze. Retrospektywne badanie w *The Lancet Global Health* (Rwanda) wykazało redukcję marnotrawstwa krwi o 67% oraz skrócenie czasów dostawy po wdrożeniu dostaw dronami⁹⁰. Dane firmowe i raporty branżowe potwierdzają skalę – tysiące dostaw dziennie w Rwandzie i Ghanie, rozwój usług w Tanzanii i innych lokalizacjach oraz wpływ na stabilność zapasów komponentów krwi^{90,91}. Operacyjnie Zipline stosuje starty katapultowe i zrzut linowy do wyznaczonej strefy odbioru, co skraca czas zawisu i minimalizuje ekspozycję na ryzyko lokalne⁹².

Matternet rozwinął sieci między-szpitalne w Szwajcarii (Lugano/EOC) i jako pierwszy uzyskał standardowy FAA Type Certificate i Production Certificate dla bezałogowego statku dostawczego (M2) w USA⁹³. Wspólnie z UPS Flight Forward i partnerami (m.in. Ameriflight) Matternet realizuje skalowalne operacje w środowiskach zurbanizowanych;

w 2024 r. odnotowano loty BVLOS w USA w reżimie Part 135, z centrum zdalnych operacji^{93,94}. W Szwajcarii uruchomiono również w pełni zautomatyzowaną stację dronową (Lugano), co skraca czas przebrojenia i standaryzuje „last-20-meters” procesy⁹⁵.

Przewagą dostaw przy użyciu BSP są scenariusze o dużej wrażliwości czasowej (PTH, krioterapia, postępowanie w krwotokach) oraz obszary o utrudnionym dojeździe drogą (góry, pora deszczowa) – tu obserwuje się skrócenie czasów i spadek marnotrawstwa krwi⁹⁶. Kolejną zaletą jest możliwość dotrzymania warunków jakościowych. Walidacja łańcucha chłodniczego i opakowań jest krytyczna dla utrzymania parametrów klinicznych⁹⁷. Gotowość operacyjna proponowanych rozwiązań (Zipline, Matternet)

⁸⁸ O’Sullivan B., Zhong A., Litchfield H., Wong B. L. H., Nouvet E.: Medical drones for public health emergency preparedness, response, and resilience: delivering health for all. *Drones and Autonomous Vehicles*, 1(4), 10011, 2024.

⁸⁹ Time. Drones Are Delivering COVID-19 Tests in Ghana. Could the U.S. Be Next?, 2020.

⁹⁰ Wired. Drones Have Transformed Blood Delivery in Rwanda, 2022.

⁹¹ Zipline. Zipline Fact Sheet, 2025.

⁹² SSIR. Making Health Innovations Thrive in Africa, 2024.

⁹³ Matternet. Type Certificate/Production Certificate (M2); BVLOS z UPS FF, 2022–2024.

⁹⁴ Business Wire. Matternet Partner Ameriflight Receives Part 135 Certificate Approval to Offer Matternet’s Drone Delivery Services Across the United States, 2023.

⁹⁵ Axios. What’s next: A drone station on every corner, 2021.

⁹⁶ Harshe S. J., Trostle G. L., Teoh R.: Drone Medical Deliveries in Low and Moderate Income Countries: Insights from Vanuatu, Malawi, Rwanda, and Ghana. In *NASA Final Case Study Analysis*, 2023.

⁹⁷ Wiltshire M., Boxshall J., Milne J., Oleniacz K., Theobald K., Phillips B.: The effects of drone transportation on blood component quality: A prospective randomised controlled laboratory study. *British Journal of Haematology*, 205(5), 2022–2030, 2024.

wskazuje, że proponowane rozwiązania wymagają standaryzacji lotnisk mikro (hubów), integracji z HIS/LIS/WMS i powtarzalnych korzyarzy BVLOS zgodnych z SORA.

Zastosowania specjalne

Zastosowania specjalne obejmują operacje BSP w trudno dostępnych terenach oraz obszar „dual-use”, gdzie technologie cywilne i wojskowe wzajemnie się przenikają w łańcuchach dostaw. W badaniach nad logistyką kryzysową i pomocą humanitarną drony wskazywane są jako narzędzie skracające czas dotarcia, zwiększające redundancję sieci i odporność na przerwy w infrastrukturze, przy równoczesnych wyzwaniach etycznych i regulacyjnych^{98,99,100,101}.

W terenach górskich, wyspiarskich lub dotkniętych katastrofami drony skracają „ostatnią milę” tam, gdzie drogi są nieprzejezdne lub dojazd jest kosztowny czasowo. Przeglądy literatury podkreślają ich użyteczność w fazie reagowania (transport medykamentów, krwi, próbek) i fazie odbudowy (monitoring, mapowanie), ale też potrzebę planowania tras z uwzględnieniem pogody, profilu wysokościowego i limitów energii^{98,99}. W praktyce humanitarnej wytyczne WFP standaryzują opakowania, ścieżki danych i procedury pracy z dronami, co przyspiesza interoperacyjność między aktorami pomocy^{98,99,102}.

Aspekt społeczny tych operacji: zaufanie, prywatność, przejrzystość celu; jest krytyczny dla akceptacji społeczności lokalnych; organizacje humanitarne (ICRC) akcentują wartości-wrażliwe podejście do planowania misji¹⁰¹. Jednocześnie literatura wskazuje na konieczność przejrzystego zarządzania danymi i informowania o lotach, aby uniknąć skojarzeń z użyciem militarnym oraz zmniejszyć ryzyko odrzucenia technologii przez społeczność¹⁰¹.

W logistyce wojskowej drony służą do zaopatrywania wysuniętych posterunków, ograniczając ekspozycję konwojów na zagrożenia. Historycznie bezzałogowy K-MAX dostarczał ładunki USMC w Afganistanie, demonstrując wykonalność autonomicznego

⁹⁸ Yucesoy E., Balcik B., Coban E.: The role of drones in disaster response: A literature review of operations research applications. *International Transactions in Operational Research*, 32(2), 545-589, 2025.

⁹⁹ Edwards D., Subramanian N., Chaudhuri A., Morlacchi P., Zeng W.: Use of delivery drones for humanitarian operations: analysis of adoption barriers among logistics service providers from the technology acceptance model perspective. *Annals of Operations Research*, 335(3), 1645-1667, 2024.

¹⁰⁰ Alfariis E.R., Vafakhah Z., Jalayer M.: Application of drones in humanitarian relief: a review of state of art and recent advances and recommendations. *Transportation research record*, 2678(7), 689-705, 2024.

¹⁰¹ Wang N., Christen M., Hunt M., Biller-Andorno N.: Supporting value sensitivity in the humanitarian use of drones through an ethics assessment framework. *International Review of the Red Cross*, 104(919), 1397-1428, 2022.

¹⁰² WFP. Drones Information Management – Field Guide; A Guide for Information Management Officers Deployed to Emergency Response in Support of Humanitarian Drone Operations, 2020.

transportu w górach i w trudnej pogodzie^{103,104}. Wnioski z tych misji – profil pogody, redundancja łączności, procedury awaryjne – są dziś punktem odniesienia dla projektowania wojskowych i cywilnych korytarzy dronowych¹⁰³.

Współczesne konflikty pokazały także skalę wykorzystania dronów w zakłócaniu i ochronie łańcuchów dostaw: od rozpoznania i ataków na węzły logistyczne po szybkie zaopatrzenie małych jednostek. Analizy RAND podkreślają, że przewagi kosztowe, tempo produkcji i elastyczność „systemów tanich i licznych” zmieniają rachunek ekonomiczny logistyki i przeciwdziałania^{105,106}. Doniesienia prasowe i wojskowe wskazują, że masowe użycie dronów potrafi oddziaływać na przepływy paliw i zdolności remontowe przeciwnika, a jednocześnie wymusza nowe praktyki maskowania i decentralizacji zapasów^{107,108,109}.

Technologie, architektury i procedury wypracowane w sektorze wojskowym (autonomia, łączność C2, odporność na zakłócenia, operacje w trudnym terenie) przenikają do logistyki cywilnej w formie standardów niezawodności i bezpieczeństwa. Z drugiej strony dojrzałe łańcuchy cywilne (huby mikro, stacje automatyczne, integracja z systemami WMS/LIS) przyspieszają wdrożenia w sektorze publicznym i bezpieczeństwa. Badania i przeglądy literaturowe wskazują na potrzebę wspólnych ram oceny ryzyka i kosztów (TCO) dla sieci mieszaných, z uwzględnieniem ochrony danych, dopuszczeń BVLOS i cyberodporności^{110,111,112}.

Bariery i wyzwania w integracji dronów z logistyką

Integracja BSP z logistyką napotyka jednocześnie bariery technologiczne (zasięg, udźwig, niezawodność autonomii/łączności), prawne i społeczne (ramy UE/EASA, hałas, prywatność, akceptacja) oraz wyzwania systemowe związane z interoperacyjnością z ITS i U-space.

¹⁰³ Lockheed Martin. Unmanned K-MAX returns from deployment. (Lockheed Martin, 2014). Media - Lockheed Martin, 2014.

¹⁰⁴ Army Technology. K-MAX Unmanned Aircraft System. army-technology.com, 2014.

¹⁰⁵ Hvizda M., Frederick B. A., Laufer A., Evans A. T., Gunness K., Ochmanek D. A.: Dispersed, Disguised, and Degradable: The Implications of the Fighting in Ukraine for Future US-Involved Conflicts. RAND, 2025.

¹⁰⁶ RAND. Logistics and Sustainment in the Russian Armed Forces. rand.org, Boston, 2023.

¹⁰⁷ AP News. Russia is attacking Ukraine's vital rail network with more precise drones. AP News, 2025.

¹⁰⁸ Reuters. NATO armies unprepared for drone wars – interview. Reuters, 2025.

¹⁰⁹ Business Insider. Ukrainian drones and target statistics. Business Insider, 2025.

¹¹⁰ Ostermann L., Gobachew A., Schwung A., Lier S.: Planning of Logistic Networks with Automated Transport Drones: A Systematic Review of Application Areas, Planning Approaches, and System Performance. Logistics, 9(3), 111, 2025.

¹¹¹ Alfariš E.R., Vafakhah Z., Jalayer M.: Application of drones in humanitarian relief: a review of state of art and recent advances and recommendations. Transportation research record, 2678(7), 689-705, 2024.

¹¹² Edwards D., Subramanian N., Chaudhuri A., Morlacchi P., Zeng W.: Use of delivery drones for humanitarian operations: analysis of adoption barriers among logistics service providers from the technology acceptance model perspective. Annals of Operations Research, 335(3), 1645-1667, 2024.

Zasięg i udźwig ogranicza gęstość energii ogniów i charakterystyka aerodynamiczna platform. Nawet najnowsze pakiety Li-ion w klasie dronowej rzadko przekraczają ~250 Wh/kg, a wzrost masy ładunku powoduje nieliniowy wzrost poboru mocy w multirotorach; hybrydy/fixed-wing łagodzą to tylko częściowo¹¹³. W praktyce na niezawodność misji silnie wpływają wiatr i temperatura (rezerwy energetyczne, degradacja ogniów), co wymusza konserwatywne profile pułapów i bufor energii dla RTB/RTL¹¹³. Dla tras średniego dystansu pozostaje kompromis: multirotor (precyzja podejścia) vs. fixed-wing/hybryda (ekonomia przelotu).

W środowisku rzeczywistym wymagane są aktywne środki „detect-and-avoid”. Zestaw ACAS sXu zaprojektowano dla sUAS operujących BVLOS; dostarcza wskazania manewrów na podstawie wektorów ruchu „intruder-ownship” i jest badany pod kątem testów skrajnych¹¹⁴. Integracja DAA z czujnikami pokładowymi (wizyjne, radar, ADS-B-in/RID-in) oraz z danymi usług U-space pozostaje wymogiem skalowania operacji w gęstym ruchu¹¹⁴.

Łącze sterowania i łączność danych (C2) przesądzają o bezpieczeństwie BVLOS. Standardy 3GPP (Release 17/ETSI) dodają funkcje pozycjonowania, geofencingu wspomaganego siecią i wsparcia UTM przez sieć komórkową, co zwiększa zasięg i dostępność łącza w terenie zurbanizowanym^{115,116}. Jednocześnie środowiska „urban canyon” pozostają podatne na degradację GNSS i multipath, co wymaga fuzji VIO/SLAM/UWB i procedur „lost-link”¹¹⁶.

Hałas śmigieł o wysokiej zawartości tonów wąskopasmowych jest kluczowym źródłem uciążliwości. Badania psychoakustyczne UAM wskazują, że percepcja uciążliwości rośnie przy tonach tonalnych i modulacjach, nawet przy podobnym LAeq, co wymusza inne strategie niż w klasycznym lotnictwie¹¹⁷. Praktyczne mitigacje to: mniejsza liczba dużych, wolnoobrotowych wirników, zoptymalizowane profile łopat, trajektorie o mniejszej ekspozycji akustycznej i „quiet approach”¹¹⁷.

Kierunki rozwoju technologii i regulacji prawnych

Najbliższe lata będą kształtowane przez trzy równoległe wektory zmian: dojrzewanie usług U-space/UTM (automatyzacja, interoperacyjność), autonomizację operacji BVLOS (reguły, DAA, łączność), oraz wejście eVTOL/UAM do ekosystemu – wszystko to w cieniu mocno rozbieżnych prognoz rynkowych dla logistyki.

Podstawową kwestią do rozwiązania będzie standaryzacja usług i certyfikacja dostawców. Publikacja *Easy Access Rules for U-space* (2021/664) porządkuje zakres usług (m.in. e-ID, zarządzanie konfliktem strategicznym i taktycznym, informacja o

¹¹³ Zhao T., Zhang Y., Wang M., Feng W., Cao S., Wang G.: A Critical Review on the Battery System Reliability of Drone Systems. *Drones*, 9(8), 539, 2025.

¹¹⁴ Lipkis R., Lee R., Silbermann J., Young T.: Adaptive stress testing of collision avoidance systems for small uass with deep reinforcement learning. In *AIAA SciTech 2022 Forum* (p. 1854), 2022.

¹¹⁵ 3GPP. Release 17 Highlights. 2023.

¹¹⁶ Tomaszewski L., Kołakowski R.: Advanced air mobility and evolution of mobile networks. *Drones*, 7(9), 556. repo.pw.edu.pl, 2023.

¹¹⁷ Rizzi S. A.: Activities of the NASA Urban Air Mobility Noise Working Group (UNWG). In *Quiet Drones Symposium*, 2022.

przestrzeni) oraz ramy certyfikacji dostawców USSP i CISP. W praktyce przyspiesza to automatyzację procesów (planowanie/aktywacja/closing) i przygotowuje grunt pod wielo-USSP w jednej strefie¹¹⁸. Na poziomie metodycznym EUROCONTROL wprowadził Airspace Risk Assessment (ARA) jako obowiązkowy krok przy wyznaczaniu U-space – co przekłada się na wymagania wydajnościowe usług i ograniczenia operacyjne w danej objętości przestrzeni¹¹⁹. Po stronie standardów branżowych kluczowe pozostają ASTM F3548 (interoperacyjność USSP) i F3411-22a (Remote ID) – fundamenty wymiany danych i identyfikacji¹²⁰.

U-space naturalnie łączy się z sieciami komórkowymi i miejską infrastrukturą danych. W 3GPP Rel-17/18 ustandaryzowano funkcje pod UAS C2 (QoS), pozycjonowanie 3D i architekturę identyfikacji/śledzenia w sieci (3GPP/ETSI TS 23.256; TS 22.125), co ułatwia monitorowanie łącza i *service assurance* dla misji BVLOS. Dla miast oznacza to możliwość łączenia C-ITS/5G z U-space (np. udostępnianie danych pogodowych, drogowych, infrastrukturalnych do taktycznej dekonflikcji)¹²¹.

Dorobek NASA UTM (TCL4) oraz europejskiego SESAR CORUS-XUAM pokazał, że automatyzacja zarządzania gęstym ruchem na małej wysokości jest wykonalna, o ile dostępna jest interoperacyjna sieć usług (wielu dostawców) i spójna wymiana intencji lotu^{122,123}. W ujęciu operacyjnym: automatyczne rezerwacje wolumenów, dzielenie się planem lotu i taktyczna dekonflikcja stały się „bazową funkcją” docelowego U-space.

Dla stałych korytarzy dostaw (medyczne, ostatnia mila) wyznaczenie U-space z ARA + integracja z Rel-17/18 (monitoring C2) tworzą przewidywalne środowisko – warunek wejścia na poziom „rutynowy” w miastach.

W USA FAA opublikowała NPRM „Normalizing UAS BVLOS Operations” – podejście performance-based do bezpiecznych, rutynowych operacji BVLOS (w tym rola usług stron trzecich/UTM), co ma zastąpić dominację indywidualnych zwolnień. Wprowadza to spójny tor prawny dla *package delivery* i innych usług automatycznych (FAA, 2025)¹²⁴. W UE operacje o profilu logistycznym nadal projektuje się w Specific (SORA/STS) i – docelowo – w wyznaczonych strefach U-space¹²⁵.

Autonomia wymaga warstwowego DAA (pokładowe + usługi U-space). W logistyce miejskiej będzie standardem fuzja wizyjna/radar + ADS-B-in/RID-in, wspierana przez taktyczną separację w U-space (NASA/ACAS sxu – wyniki testów skrajnych; ujęcie praktyczne w TCL4)¹²⁶. Łącze C2 migruje do 5G-Advanced z monitorowaniem jakości

¹¹⁸ EASA. Easy Access Rules for U-space (Reg. 2021/664), 2024.

¹¹⁹ EUROCONTROL. U-space Airspace Risk Assessment. 2023.

¹²⁰ ASTM. Aerospace Material Standards. ASTM International, 2025.

¹²¹ ETSI/3GPP. 5G; Support of Uncrewed Aerial Systems (UAS) connectivity, identification and tracking; Stage 2, 2024.

¹²² Rios J. L., Aweiss A. S., Jung J., Homola J., Johnson M., Johnson R.: Flight demonstration of unmanned aircraft system (UAS) traffic management (UTM) at technical capability level 4. In Aiaa Aviation 2020 Forum (p. 2851), 2020.

¹²³ SESAR/CORUS-XUAM. U-space ConOps and architecture. 2023.

¹²⁴ FAA. NPRM: Normalizing UAS BVLOS Operations. faa.gov, 2025.

¹²⁵ EASA. Easy Access Rules for U-space (Reg. 2021/664). 2024.

¹²⁶ Rios J. L., Aweiss A. S., Jung J., Homola J., Johnson M., Johnson R.: Flight demonstration of unmanned aircraft system (UAS) traffic management (UTM) at technical capability level 4. In Aiaa Aviation 2020 Forum (p. 2851). 2020.

i pozycjonowaniem sieciowym (Rel-18), co redukuje podatność na „urban canyon” i ułatwia nadzór operatora¹²⁷.

Przejście z *waiver-based* na rule-based BVLOS + U-space powinno skrócić czas wdrożeń i zmniejszyć koszt jednostkowy w logistyce (stałe korytarze, harmonogramy slotów, automatyczne „go/no-go”). W Europie – przewidziane profile STS oraz SORA 2.x pozostaną ścieżką dla scenariuszy niestandardowych.

EASA rozwija Special Condition for VTOL wraz z kolejnymi publikacjami Means of Compliance (MOC) – zakres od niezawodności napędu po *continued safe flight landing*¹²⁸.

Joby Aviation raportował wejście w finalną fazę certyfikacji TIA (grudzień 2024) i dalsze kamienie milowe w 2025 r. (testy FAA, loty między lotniskami), przy planach pierwszych usług w dużych metropoliach¹²⁹. Volocopter kontynuował ścieżkę EASA i operacyjne testy w regionie paryskim; spółka deklaruje kontynuację certyfikacji po turbulencjach właścicielskich. Dla logistyki: eVTOL cargo (i *lift-and-cruise*) tworzą warstwę mid-mile nad miastem–regionem (między hubami/ze skyportów), komplementarną wobec małych BSP ostatniej mili.

W literaturze (Schuchardt, 2024) i w projektach CORUS-XUAM zakłada się, że zarządzanie vertidromami/vertiportami zostanie włączone w usługi U-space (koordynacja operacji, *slotting*, informacja o stanie pola) – to warunek bezkolizyjnego współistnienia eVTOL, dronów logistycznych i ruchu załogowego^{130,131}.

Szacunki dla „drone logistics/transportation” silnie się różnią: od ~1.6 mld USD (2024) → 16 mld USD (2030)¹³² przez ~0.66 mld USD (2025) → 4.8 mld USD (2030)¹³³ po agresywne scenariusze niektórych ośrodków. Z kolei Drone Industry Insights prognozuje cały rynek dronów komercyjnych do ~58 mld USD do 2030 r., przy czym segmenty cargo/courier/intralogistics mają należeć do najszybciej rosnących¹³⁴. Wspólny mianownik: akceleracja wraz z regułami BVLOS i wyznaczaniem U-space w dużych aglomeracjach.

Badania rynkowe (McKinsey, 2023–2024)¹³⁵ wskazują rosnącą otwartość konsumentów na szybkie dostawy lekkich ładunków, ale wrażliwość na hałas, prywatność i przejrzystość danych – czyli czynniki, które muszą być „wbudowane” w projekt korytarzy

¹²⁷ ETSI/3GPP. 5G; Support of Uncrewed Aerial Systems (UAS) connectivity, identification and tracking; Stage 2, 2024.

¹²⁸ EASA. Fourth Publication of Means of Compliance with the Special Condition VTOL. 2025.

¹²⁹ Joby. Joby Successfully Conducts First FAA Testing under TIA, Begins Final Phase of Certification Program. 2024/2025.

¹³⁰ Schuchardt, B. I., Devta, A., Volkert, A.: Integrating vertidrome management tasks into u-space. CEAS Aeronautical Journal, 1-16, 2024.

¹³¹ SESAR/CORUS-XUAM. U-space ConOps and architecture. 2023.

¹³² RM. Drone Logistics Transportation Market 2025–2030. businesswire.com, 2025.

¹³³ Mordor. Drone Transportation Services Market Size Share Analysis - Growth Trends and Forecast (2025 - 2030), 2025.

¹³⁴ DroneII. Global Drone Market Report 2025–2030. Drone Industry Insights, 2025.

¹³⁵ McKinsey. Drones take to the sky, potentially disrupting last-mile delivery). 2023/2024.

i okien operacyjnych. Metaanalizy naukowe pokazują, że ekonomia jest silnie kontekstowa (gęstość popytu, pogoda, miks energetyczny, hybrydyzacja *truck-and-drone*)^{135,136}.

Równolegle rośnie nacisk na cięższe platformy cargo i regionalne korytarze (np. chińskie testy SA750U o ładowności >3 t), co rozszerza spektrum zastosowań od *mid-mile* po *middle-mile* – ale wymaga odmiennych ścieżek certyfikacyjnych i infrastruktury¹³⁷.

Podsumowanie

Integracja dronów z logistyką ewoluuje z fazy demonstracji do fazy stopniowego wdrażania, szczególnie w obszarach o wysokiej wartości operacyjnej – medycynie, logistyce miejskiej, intralogistyce i działaniach w trudnym terenie. Analiza technologii, regulacji oraz dojrzałości rynkowej wskazuje, że przyszłość usług dronowych zależy przede wszystkim od trzech elementów: automatyzacji zarządzania ruchem (U-space/UTM), możliwości prowadzenia rutynowych operacji BVLOS oraz integracji dronów z szerszymi systemami mobilności powietrznej (UAM/eVTOL). Z perspektywy logistyki kluczowym warunkiem skalowania pozostaje stworzenie przewidywalnego środowiska operacyjnego – zarówno technicznego (DAA, łączność C2, procedury lost-link), jak i prawnego (reguły BVLOS, certyfikacja operatorów, interoperacyjność między usługodawcami USSP).

W obszarze zastosowań drony pełnią coraz bardziej zróżnicowane role – od szybkiego transportu próbek i leków, przez wsparcie dostaw ostatniej mili, aż po zadania specjalne i działania dual-use w łańcuchach dostaw. Dojrzałość technologiczna i regulacyjna rośnie, ale nadal istnieją istotne bariery: ograniczenia energetyczne, hałas, integracja z przestrzenią miejską, akceptacja społeczna czy wymogi dotyczące cyberbezpieczeństwa. Jednocześnie wiodące wdrożenia komercyjne (np. Zipline, Matternet) oraz standardy europejskie (EASA, EUROCONTROL, ASTM/3GPP) tworzą jasny kierunek rozwoju oraz fundament pod przyszłe skalowalne modele biznesowe.

Dalszy rozwój bezałogowych statków powietrznych i ich popularyzacja w transporcie, logistyce czy innych działach gospodarki wymaga dalszych badań i wprowadzania nowych rozwiązań w takich kierunkach jak:

1. Optymalizacja energetyczna i nowe źródła zasilania – badania nad bateriami o wyższej gęstości energii, hybrydami, ogniwami wodorowymi oraz modelami predykcji zużycia energii w zmiennych warunkach środowiskowych.
2. Autonomiczne systemy DAA i fuzja sensoryczna – analiza skuteczności połączenia wizyjnych, radarowych i sieciowych systemów wykrywania oraz ich integracja z taktyczną dekonflikcją w U-space.
3. Ekonomia operacji i zrównoważony rozwój – modele TCO, ocena wpływu środowiskowego, hybrydowe sieci truck-and-drone i analiza progów opłacalności dla różnych typów zabudowy miejskiej.

¹³⁶ Bao D., Yan Y., Li Y., Chu J.: The Future of Last-Mile Delivery: Lifecycle Environmental and Economic Impacts of Drone-Truck Parallel Systems. *Drones*, 9(1), 54, 2025.

¹³⁷ Reuters. China trials cargo drone with biggest payload capacity yet. 2024.

4. Akceptacja społeczna i etyka – badania nad percepcją hałasu, prywatności, wizualnym oddziaływaniem dronów w miastach oraz narzędzia wspierające transparentność danych.
5. UAM i integracja warstw przestrzeni – projektowanie vertiportów, procedur współdzielenia przestrzeni między eVTOL, dronami logistycznymi i ruchem załogowym.
6. Cyberbezpieczeństwo i odporność sieciowa – analiza zagrożeń dla łączności C2, usług USSP i infrastruktury ITS oraz tworzenie wspólnych standardów bezpieczeństwa informacji.

Bibliografia

- ABS (American Bureau of Shipping): Guidance Notes on the Use of Remote Inspection Technologies. Pozyskano z: <https://www2.eagle.org>, 2022.
- Alarifi A., Al-Salman A., Alsaleh M., Alnafessah A., Al-Hadhrami S., Al-Ammar M. A., Al-Khalifa H. S.: Ultra wideband indoor positioning technologies: Analysis and recent advances. *Sensors*, 16(5), 707, 2016.
- Alfaris E.R., Vafakhah Z., Jalayer M.: Application of drones in humanitarian relief: a review of state of art and recent advances and recommendations. *Transportation research record*, 2678(7), 689-705, 2024.
- Amazon: Amazon to expand Prime Air drone delivery in Italy, the UK and U.S. Retrieved October 18, from Amazon About News, 2023.
- AP News: Russia is attacking Ukraine's vital rail network with more precise drones. AP News, 2025.
- Army Technology: K-MAX Unmanned Aircraft System. army-technology.com, 2014.
- ASTM: Aerospace Material Standards. ASTM International, 2025.
- Axén F., Forsgren I.J.: The Future of Warehouse Automation: Will Drones Ever Be Used in Warehouses? (Master's thesis), Lund University, 2023.
- Axios: What's next: A drone station on every corner. 2021.
- Bao D., Yan Y., Li Y., Chu J.: The Future of Last-Mile Delivery: Lifecycle Environmental and Economic Impacts of Drone-Truck Parallel Systems. *Drones*, 9(1), 54, 2025.
- Business Insider: Ukrainian drones and target statistics. Business Insider, 2025.
- Business Wire: Matternet Partner Ameriflight Receives Part 135 Certificate Approval to Offer Matternet's Drone Delivery Services Across the United States. 2023.
- Callewaert N., Pareyn I., Acke T., Desplinter B., Van de Pitte K., Van Vooren J., ... Tersteeg C.: Limited Impact of Drone Transport of Blood on Platelet Activation. *Drones*, 8(12), 752, 2024.
- Drone Industry Insights: Drone Market Report 2023–2030. Hamburg, DII, 2023.
- DroneII: Global Drone Market Report 2025–2030. Drone Industry Insights, 2025.
- EASA: Remote identification will become mandatory for drones across Europe. Pozyskano z: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/remote-identification-will-become-mandatory-drones-across>, November 28, 2023a.
- EASA: Drone Open Category — Applicable requirements to fly (from 1st January). Pozyskano z: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/drone-open-category-applicable-requirements-fly-1st-january>, December 20, 2023b.
- EASA: Easy Access Rules for U-space (Reg. 2021/664). 2024.
- EASA: Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and 2019/945). European Union Aviation Safety Agency. Pozyskano z: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems-regulations-eu>, 2024a.

- EASA: Rules Standards: Open, Specific, Certified (*overview page*). European Union Aviation Safety Agency. Pozyskano z: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/rules-standards>, 2024b.
- EASA: Geo-zones — know where to fly your drone. 2024c.
- EASA: Fourth Publication of Means of Compliance with the Special Condition VTOL. 2025.
- EASA: Drones eVTOL Designs (web page, accessed Nov 2025). European Union Aviation Safety Agency. Pozyskano z: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-evtol-designs>, 2025a.
- Edwards D., Subramanian N., Chaudhuri A., Morlacchi P., Zeng W.: Use of delivery drones for humanitarian operations: analysis of adoption barriers among logistics service providers from the technology acceptance model perspective. *Annals of Operations Research*, 335(3), 1645-1667, 2024.
- Elamin A., El-Rabbany A., Jacob S.: Event-based visual/inertial odometry for UAV indoor navigation. *Sensors*, 25(1), 61, 2024.
- ETSI/3GPP: 5G; Support of Uncrewed Aerial Systems (UAS) connectivity, identification and tracking; Stage 2, 2024.
- EUROCONTROL: U-space Airspace Risk Assessment. 2023.
- European Commission: Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 of 24 May 2019 on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft. EUR-Lex. Pozyskano z: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2019/947/oj/eng, 2019a.
- European Commission: Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 of 12 March 2019 on unmanned aircraft systems and on third-country operators of unmanned aircraft systems. EUR-Lex (consolidated). Pozyskano z: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2019/945/oj/eng, 2019b.
- European Commission: Commission Implementing Regulation (EU) 2021/664 of 22 April 2021 on a regulatory framework for the U-space. EUR-Lex. Pozyskano z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32021R0664>, 2021.
- Eyese: Warehouse drone for cycle counting and wall-to-wall inventory (product/white paper page). Pozyskano z: <https://www.eyese-drone.com/>, 2025.
- FAA: NPRM: Normalizing UAS BVLOS Operations. Pozyskano z: <https://faa.gov>, 2025.
- Flyability: Optimizing Confined Space Inspections: A Success Case With Elios And Waco S.R.L. Pozyskano z: <https://flyability.com>, 2024.
- Gather AI: Romark Logistics and Gather AI: A Case Study (video article). SupplyChainBrain, April 10, 2024.
- 3GPP: Release 17 Highlights. 2023.
- Hajjar M., Zappa E., Bolzon G.: The State of the Art and Potentialities of UAV-Based 3D Measurement Solutions in the Monitoring and Fault Diagnosis of Quasi-Brittle Structures. *Sensors*, 25(16), 5134, 2025.
- Harshe S. J., Trostle G. L., Teoh R.: Drone Medical Deliveries in Low and Moderate Income Countries: Insights from Vanuatu, Malawi, Rwanda, and Ghana. In *NASA Final Case Study Analysis*, 2023.
- Hvizda M., Frederick B. A., Laufer A., Evans A. T., Gunness K., Ochmanek D. A.: Dispersed, Disguised, and Degradable: The Implications of the Fighting in Ukraine for Future US-Involved Conflicts. *RAND*, 2025.
- Ingka Group (IKEA): IKEA is elevating human-AI-powered drone collaboration (newsroom). Pozyskano z: <https://www.ingka.com/>, August 16, 2024.
- Jazairy A., Persson E., Brho M., von Haartman R., Hilletoft P.: Drones in last-mile delivery: a systematic literature review from a logistics management perspective. *The International Journal of Logistics Management*, 36(7), 1-62, 2025.
- Joby: Joby Successfully Conducts First FAA Testing under TIA, Begins Final Phase of Certification Program. 2024/2025.

- Jordan S., Moore J., Hovet S., Box J., Perry J., Kirsche K., ... Tse Z. T. H.: State-of-the-art technologies for UAV inspections. *IET Radar, Sonar Navigation*, 12(2), 151-164, 2018.
- Krey M., Seiler R.: Usage and acceptance of drone technology in healthcare: exploring patients and physicians perspective. In 52nd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Grand Wailea HI, USA, 8-11 January 2020 (pp. 4135-4144). University of Hawai'i at Manoa, 2019.
- Li F., Kunze O.: A comparative review of air drones (UAVs) and delivery bots (SUGVs) for automated last mile home delivery. *Logistics*, 7(2), 21, 2023.
- Lipkis R., Lee R., Silbermann J., Young T.: Adaptive stress testing of collision avoidance systems for small uass with deep reinforcement learning. In AIAA SciTech 2022 Forum (p. 1854), 2022.
- Lockheed Martin: Unmanned K-MAX returns from deployment. Media - Lockheed Martin, 2014.
- Luftfahrt-Bundesamt (LBA): UAS classification — geo-awareness vs geofencing (fact sheet). Pozyskano z: <https://lba-openuav.de/>, 2021.
- Ma Y., Selby N., Adib F.: Drone Relays for Battery-Free Networks. In Proceedings of the conference of the ACM special interest group on data communication (pp. 335-347). Pozyskano z: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/125328>, 2017.
- Malang C., Charoenkwan P., Wudhikarn R.: Implementation and critical factors of unmanned aerial vehicle (UAV) in warehouse management: A systematic literature review. *Drones*, 7(2), 80, 2023.
- Matternet: Type Certificate/Production Certificate (M2); BVLOS z UPS FF. 2022–2024.
- McKinsey: Drones take to the sky, potentially disrupting last-mile delivery. 2023/2024.
- Molina A. A., Huang Y., Jiang Y.: A review of unmanned aerial vehicle applications in construction management: 2016–2021. *Standards*, 3(2), 95-109, 2023.
- Molinari S., Patriarca R., Ducci M.: The Challenges of Blood Sample Delivery via Drones in Urban Environment: A Feasibility Study through Specific Operation Risk Assessment Methodology. *Drones*, 8(5), 210, 2024.
- Mordor: Drone Transportation Services Market Size Share Analysis - Growth Trends and Forecast (2025 - 2030). 2025.
- Ostermann L., Gobachew A., Schwung A., Lier S.: Planning of Logistic Networks with Automated Transport Drones: A Systematic Review of Application Areas, Planning Approaches, and System Performance. *Logistics*, 9(3), 111, 2025.
- O'Sullivan B., Zhong A., Litchfield H., Wong B. L. H., Nouvet E.: Medical drones for public health emergency preparedness, response, and resilience: delivering health for all. *Drones and Autonomous Vehicles*, 1(4), 10011, 2024.
- Paprocki P.: U-space implementation approach of Poland [Prezentacja, EUROCONTROL]. Pozyskano z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2023-12/2023-11-22-ospace-meeting-katowice-paprocki-ospace-implementation-poland.pdf>, 2023.
- Peak Technologies: Revolutionise Your Warehouse Inventory with Autonomous Drones. Pozyskano z: <https://www.peaktech.com/revolutionise-your-warehouse-inventory-with-autonomous-drones/>, 2025.
- Polska Agencja Żeglugi Powietrznej: PansaUTM – system zarządzania operacjami dronów [Serwis informacyjny]. Pozyskano z: <https://utm.pansa.pl/>, 2024.
- Polska Agencja Żeglugi Powietrznej: DroneMap – serwis mapowy stref i komunikatów dla BSP. Pozyskano z: <https://dronemap.pansa.pl/>, 2023–2025.
- Polska Agencja Żeglugi Powietrznej: DroneTower – podręcznik użytkownika [PDF]. Pozyskano z: <https://www.pansa.pl/wp-content/uploads/2024/04/DroneTower-podrecznik-uzytkownika.pdf>, 2024b.
- Polska Agencja Żeglugi Powietrznej: PANSA UTM DroneTower – koordynacja lotów BSP [materiały informacyjne]. Pozyskano z: <https://pansa.pl/>, 2024a.
- Polska Agencja Żeglugi Powietrznej: AUP/UUP – Serwis informacji o przestrzeni [Serwis operacyjny]. Pozyskano z: <https://airspace.pansa.pl/>, 2025.

- Radácsi L., Gubán M., Szabó L., Udvaros J.: A path planning model for stock inventory using a drone. *Mathematics*, 10(16), 2899, 2022.
- RAND: Logistics and Sustainment in the Russian Armed Forces. *rand.org*, Boston, 2023.
- RapidMicrobiology: Drones Fly Specimens Between Swiss Hospital Labs. *rapidmicrobiology.com*, 2017.
- Reuters: Amazon successfully tests using delivery drones in Italy. December 5, 2024.
- Reuters: China trials cargo drone with biggest payload capacity yet. 2024.
- Reuters: NATO armies unprepared for drone wars – interview. Reuters, 2025.
- Rios J. L., Aweiss A. S., Jung J., Homola J., Johnson M., Johnson R.: Flight demonstration of unmanned aircraft system (UAS) traffic management (UTM) at technical capability level 4. In *Aiaa Aviation 2020 Forum* (p. 2851). 2020.
- Rizzi S. A.: Activities of the NASA Urban Air Mobility Noise Working Group (UNWG). In *Quiet Drones Symposium*, 2022.
- RM: Drone Logistics Transportation Market 2025–2030. *businesswire.com*, 2025.
- Schuchardt B. I., Devta A., Volkert A.: Integrating vertidrome management tasks into u-space. *CEAS Aeronautical Journal*, 1-16, 2024.
- SCMR: Gather AI's next chapter: From drone vision to warehouse intelligence. *Supply Chain Management Review*, October 24, 2025.
- Scott J.; Scott C.: Drone Delivery Models for Healthcare. In *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*, Hilton Waikoloa Village, Hawaii; pp. 3297–3304, ISBN 978-0-9981331-0-2. Pozyskano z: <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/items/947f05d9-71f2-467a-8291-084642e402ad>, 2017.
- SESAR/CORUS-XUAM: U-space ConOps and architecture. 2023.
- Shuaibu A. S., Mahmoud A. S., Sheltami T. R.: A review of last-mile delivery optimization: Strategies, technologies, drone integration, and future trends. *Drones*, 9(3), 158, 2025.
- Silva V., Amaral A., Fontes T.: Sustainable urban last-mile logistics: A systematic literature review. *Sustainability*, 15(3), 2285, 2023.
- SKYbrary Aviation Safety: *Geofencing basics*. *skybrary.aero*, 2024.
- SSIR: Making Health Innovations Thrive in Africa, 2024.
- Stierlin N., Loertscher F., Renz H., Risch L., Risch M.: Impact of Repeated Drone Transport on Blood Sample integrity: A Focused Analysis. *ADLM 2025 – Special Events "Bring the Wonder"*, 4172088; A-221, 2025.
- SupplyChainBrain: Watch: Romark Logistics and Gather AI — A Case Study. Pozyskano z: <https://www.supplychainbrain.com/>, April 10, 2024.
- The Verge: IKEA's stock-counting warehouse drones will fly alongside workers in the US. August 16, 2024a.
- The Verge: Amazon just completed its first delivery by drone in Italy. December 6, 2024b.
- Time: Drones Are Delivering COVID-19 Tests in Ghana. Could the U.S. Be Next?. 2020.
- Tong C., et al.: An Efficient Intelligent Semi-Automated Warehouse Inventory Stocktaking System (preprint). *arXiv:2309.12365*, 2023.
- Tomaszewski L., Kołakowski R.: Advanced air mobility and evolution of mobile networks. *Drones*, 7(9), 556. Pozyskano z: repo.pw.edu.pl, 2023.
- Unmanned Airspace: Further tests for Prime Air delivery before operations launch in Italy. *unmannedairspace.info*, June 23, 2025.
- Urząd Lotnictwa Cywilnego: e-Registration – Digital Services for UAVs [Serwis informacyjny]. Pozyskano z: <https://drony.gov.pl/e-registration>, 2023.
- Urząd Lotnictwa Cywilnego: Informacje ogólne – rejestr operatorów UAS [Serwis informacyjny]. Pozyskano z: <https://ulc.gov.pl/drony/informacje-ogolne>, 2025.
- Wang N., Christen M., Hunt M., Biller-Andorno N.: Supporting value sensitivity in the humanitarian use of drones through an ethics assessment framework. *International Review of the Red Cross*, 104(919), 1397-1428, 2022.

- Wawrla L., Maghazei O., Netland T.: Applications of drones in warehouse operations. Whitepaper. ETH Zurich, D-MTEC, 212, 1-12, 2019.
- WFP: Drones Information Management – Field Guide;: A Guide for Information Management Officers Deployed to Emergency Response in Support of Humanitarian Drone Operations. 2020.
- Wiltshire M., Boxshall J., Milne J., Oleniacz K., Theobald K., Phillips B.: The effects of drone transportation on blood component quality: A prospective randomised controlled laboratory study. *British Journal of Haematology*, 205(5), 2022-2030, 2024.
- Wing: Study explores the potential benefits of small package drone delivery in Ireland. (Accenture study summary). March 21, 2023.
- Wired: DHL's delivery drone can make drops quicker than a car. December 7, 2015.
- Wired: DHL's tilt-rotor 'Parcelcopter' is both awesome and useful. May 9, 2016.
- Wired: Drones Have Transformed Blood Delivery in Rwanda. 2022.
- Yucesoy E., Balcik B., Coban E.: The role of drones in disaster response: A literature review of operations research applications. *International Transactions in Operational Research*, 32(2), 545-589, 2025.
- Zhao T., Zhang Y., Wang M., Feng W., Cao S., Wang G.: A Critical Review on the Battery System Reliability of Drone Systems. *Drones*, 9(8), 539, 2025.
- Zhang R., Hao G., Zhang K., Li Z.: Unmanned aerial vehicle navigation in underground structure inspection: A review. *Geological Journal*, 58(6), 2454-2472, 2023.
- Zipline: Zipline Fact Sheet. 2025.
- Zenz A., Powles J.: Resisting technological inevitability: Google Wing's delivery drones and the fight for our skies. *Philosophical Transactions A*, 382(2285), 20240107, 2024.
- <https://www.flyeye.io/multirotor-drones/>
- <https://www.globvision.com/fixed-wing-uav-fdir/>
- <https://geomarket.pl/produkt/dron-geodezyjny-south-skycruiser-mf2500/>
- <https://dlapilota.pl/wiadomosci/polska/zmiany-w-zakresie-rozwiazan-cyfrowych-dla-bsp>
- <https://www.pansa.pl/strefy-geograficzne/>

Adres do korespondencji: mirosław.zagorda@urk.edu.pl

ORCID: Mirosław Zagórda 0000-0002-4514-1048

ORCID: Paweł Pysz 0000-0001-7083-1078

ORCID: Paweł Kielbasa 0000-0003-0249-8626

OCENA ORGANIZACJI I KOSZTÓW TRANSPORTU CAŁOPOJAZDOWEGO I CZĘŚCIOWEGO W WYBRANEJ FIRMIE

**Wiktoria Żurek¹, Dariusz Kwaśniewski², Maciej Kuboń^{2,3},
Urszula Malaga-Toboła², Elżbieta Olech²**

¹ Dyplomantka w Katedrze Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

² Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

³ Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych Przemysłu

Wstęp

Współcześnie transport jest niezwykle dynamicznie rozwijającą się dziedziną i odgrywa bardzo ważną rolę w funkcjonowaniu gospodarki, społeczności oraz globalnego handlu. Obejmuje on szeroki zakres związany z planowaniem, organizowaniem i zarządzaniem. Nieustannie musi się dostosowywać do zmieniających warunków i wyzwań, tak aby sprostać coraz to większym wymaganiom społeczeństwa oraz przemysłu¹.

W najogólniejszym znaczeniu transport to działalność, której celem jest pokonywanie przestrzeni. Przyglądając się tej działalności bardziej dokładnie, można zauważyć, iż polega ona na odpłatnym świadczeniu usług, dających efekt w postaci przemieszczania osób i ładunków oraz świadczenia bezpośrednio z tym związanych usług dodatkowych².

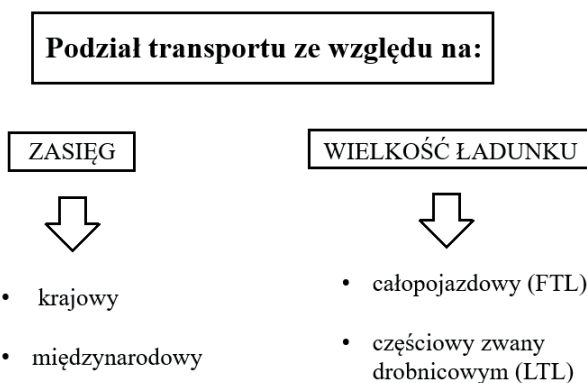
Można zauważyć, że ze wszystkich rodzajów transportu, do przewozu ładunków najczęściej wykorzystywany jest właśnie transport drogowy oraz, że jego wartość z roku na rok ciągle rośnie. Może to wynikać z faktu, że ten rodzaj transportu charakteryzuje się tym, iż pojazd ma możliwość dostarczenia towaru w dokładnie określone miejsce, ze względu na szeroko rozbudowane sieci dróg.

Na rysunku 1 przedstawiono podział transportu ze względu na przyjęte kryteria. Uwzględniając podział pokazany na rysunku oraz biorąc pod uwagę podział transportu można wnioskować, iż istnieją różne grupy jego klasyfikacji. Przedstawiony podział

¹ Wojewódzka-Król, K., Załoga, E.: Transport: tendencje zmian. Wydawnictwo Naukowe PWN. s.11. 2022

² Przybylska, E.: Analiza usługi transportowej w wybranym przedsiębiorstwie sektora TSL. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 56, s. 240. 2011

będzie się opierał na transporcie drogowym. Pierwsza grupa odnosi się do zasięgu terytorialnego wykonywanych operacji transportowych, co przekłada się na wyróżnienie transportu krajowego oraz międzynarodowego. Transport krajowy to przewóz ładunków z punktu A do punktu B, przy czym oba te punkty muszą znajdować się na terenie Rzeczypospolitej Polskiej. Dodatkowo użyte do ich przetransportowania środki transportu zgodnie z prawem, muszą być w tym właśnie kraju zarejestrowane. Natomiast transport międzynarodowy obejmuje przewozy, które są wykonywane między różnymi państwami, a więc odbywa się on z jednego kraju do drugiego. Zarówno do realizacji transportu na terenie kraju, jak i poza jego granicami, za prawidłowy stosowany do tego pojazd, przyjęto zestawy pojazdów, składające się z pojazdu samochodowego wraz z przyczepą lub naczepą. Transport krajowy i międzynarodowy podlega określonym przepisom i regulacjom prawnym, przy czym przewozy między dwoma państwami są o wiele bardziej skomplikowane.



Rysunek 1. Podział transportu ze względu na przyjęte kryteria

Źródło: Opracowanie własne na podstawie³

Drugą grupą, która klasyfikuje transport, jest wielkość przewożonego ładunku. Możemy wyróżnić przewozy całopojazdowe (z angielskiego FTL - *Full Truckload*) i częściowe, nazywane również drobnicą (z angielskiego LTL - *Less Than Truckload*).

Transport całopojazdowy oznacza, że przewożone towary zajmują całą przestrzeń ładunkową pojazdu, który jest używany do ich translokacji. W tego typu transporcie towar trafia bezpośrednio od nadawcy do odbiorcy, czego zaletą jest krótszy czas dostawy, a także mniejsze ryzyko wystąpienia uszkodzeń podczas trwania procesu transportowego. Transport częściowy z kolei charakteryzuje się dłuższym czasem dostawy. Wynika to z faktu, iż przestrzeń ładowna pojazdów używanych do przewozu przesyłek, jest dzielona pomiędzy kilku nadawców, minimum dwóch. Ładunki mogą różnić się od siebie wymiarami, ilością, sposobem załadunku/rozładunku, czy terminami odbioru i dostaw, co wiąże się z tym, iż zorganizowanie tego typu transportu jest znacznie trudniejsze i wymaga

³ Urbanyi-Popiołek, I.: Ekonomiczne i organizacyjne aspekty transportu. Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Gospodarki w Bydgoszczy, Bydgoszcz, 9. s.10, s. 34. 2013

odpowiedniej wiedzy oraz doświadczenia, aby cały proces transportowy od początku do końca przebiegał prawidłowo⁴.

Przejazd całopojazdowy (FTL) charakteryzuje się tym, że zleceniodawca wynajmuje całą powierzchnię ciężarówki, czyli płaci za zdolność załadowniczą samochodu bez względu na ilość przewożonego ładunku. Ładunek ten jest jednorodny bądź różnorodny, lecz zawsze jest jedno miejsce nadania i jedno miejsce jego odbioru. Z reguły ładunki te zajmują całą lub prawie całą ładowność danego samochodu i są przewożone z użyciem tego samego środka transportowego. Podczas tego procesu nie następuje przeładunek ani żadna fizyczna manipulacja towarem.

Ładunki drobnicowe (LTL) to produkty i wyroby gotowe, które są przewożone w opakowaniach jednostkowych lub zbiorczych. Charakteryzują się one małą masą pojedynczych przesyłek o różnych kształtach i opakowaniach. Właśnie ze względu na małą objętość są zbierane i łączone przez spedytora, a następnie wysyłane jako ładunek zbiorowy do poszczególnych odbiorców. Klient płaci za rzeczywistą wagę towaru. Pojazd jest dobierany przez spedytora i jego rodzaj nie ma wpływu na stawkę przewozową. Transportowanie tych ładunków jest bardziej niebezpieczne ze względu na ich podatność na uszkodzenia oraz uciążliwe ze względu na dłuższy i bardziej pracochłonny proces ich załadunku i wyładunku⁵.

Według Mądziela⁶ potrzeby transportowe mają różnorodny charakter oraz wynikają z subiektywnych przyczyn takich jak przejazdy: służbowe, pracownicze, do szkół. A także z obiektywnych przyczyn, do których zalicza się potrzeby realizacji procesu produkcyjnego, zmiany w zaopatrzeniu rynków oraz dystrybucji produktów, różnych wielkości obrotów i asortymentu w handlu.

Z kolei Gaschi-Uciecha⁷ twierdzi, że prawidłowe zrealizowanie procesu transportowego nie zależy tylko od przestrzegania obowiązujących przepisów prawnych, ale także od jego organizacji oraz zaangażowania wszystkich uczestników tego procesu.

Dlatego istotną rolę w organizowaniu transportu całopojazdowego FTL i częściowego LTL odgrywa w firmie transportowej spedytora. Spedycja jest działalnością, której głównym zadaniem jest sprawne i efektywne organizowanie i zarządzanie kursami w kontekście przewozów dóbr pomiędzy nadawcą, a odbiorcą. Jednak nie byłoby to możliwe bez osób, które czuwają nad koordynacją całego procesu transportowego – spedytatorów. Są oni w głównej mierze odpowiedzialni za bezpieczne, sprawne i ekonomiczne

⁴ Wojewoda, P., Szkoda, M.: Spedycja międzynarodowa ładunków częściowych w transporcie drogowym. *Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 18(6), 1620–1624, s. 1621. 2017

⁵ Górniak, J. Krajewski, P.: Logistyka szyta na miarę na przykładzie przewozu wybranych rodzajów ładunków. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie*. Nr 64. 2015

⁶ Mądziel, M.: Potrzeby transportowe w odniesieniu do systemów komunikacji miejskiej, *Autobusy* numer 12. s. 1634-1636. 2016

⁷ Gaschi-Uciecha, A.: Analiza i ocena procesu transportowego w wybranym przedsiębiorstwie sektora TSL. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie* Z. 121. s. 11-123. 2018

zorganizowanie transportu przesyłek, a także bezpośredni nadzór nad właściwym ich przebiegiem^{8,9}.

Spedytor podczas aranżowania procesu spedycyjnego powinien otrzymać od zlecniodawcy informacje, które są niezbędne do zorganizowania wysyłki zgodnej z wszelkimi wymaganiami i normami. Przede wszystkim specyfikację ładunku, która pozwoli mu na odpowiednie dobranie środka transportowego, a także adresy załadunku i rozładunku, w celu określenia odległości poszczególnych lokacji¹⁰.

Cel, zakres i metodyka pracy

Celem pracy była ocena organizacji wykonanych procesów transportowych oraz kosztów transportu w wybranej firmie. Realizowane procesy dotyczyły transportu międzynarodowego i krajowego. Do oceny wykorzystane zostały dane pozyskane z firmy oraz wskaźniki przyjęte na podstawie literatury przedmiotu.

Zakresem pracy objęte zostały badania dotyczące procesów transportowych w ramach transportu krajowego i międzynarodowego realizowanych w firmie ELKADO Sp. z o.o. w latach 2022-2023. Dane zostały opracowane z podziałem na FTL (transport całopojazdowy) i LTL (transport częściowy zwany drobnicowym).

Dane potrzebne do zrealizowania celu pracy zostały udostępnione przez właściciela firmy. Są to takie dane jak:

- liczba wszystkich zleceń,
- liczba zleceń krajowych i międzynarodowych,
- koszty wszystkich transportów,
- koszty krajowych transportów i koszty międzynarodowych transportów wyrażone

w euro (zostały one przeliczone z kursu Euro na PLN - dla roku 2022 uśredniony kurs przyjęto 4,6876 PLN, a dla roku 2023 było to 4,5437 PLN). W pracy wykorzystano statystykę opisową (wartości minimum, średnia, maksimum, odchylenie standardowe oraz zmienność) dla danych i oceniach parametrów procesów transportowych.

Do oceny organizacji transportu przyjęto wskaźnik dotyczący przejechanych kilometrów na jedno zlecenie, a do oceny kosztów transportu określono koszty w przeliczeniu na jedno zlecenie oraz w przeliczeniu na jeden kilometr¹¹.

Przedmiot badań

Przedmiotem badań była firma spedycyjno-transportowa ELKADO istniejąca od 2015 roku. Posiada ona swoją siedzibę w województwie małopolskim. Firma zajmuje się

⁸ Długołęcka, K., Simiński, P. K.: Spedytor jako istotne ogniwo w łańcuchu dostaw. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie, (32). s. 37-38. 2015

⁹ Łukasik, Z., Kuśmińska-Fijałkowska, A., Olszańska, S.: Rola spedytora w organizacji procesu transportowego na rynku europejskim, Autobusy nr 6. s. 919-923. 2018

¹⁰ Topolska, K., Topolski, M.: Rozwój przedsiębiorstw transportowo-spedycyjnych w warunkach międzynarodowych. Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe, 17(12), s. 740. 2016

¹¹ Twaróg J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne. Poznań. Wyd. Instytut Logistyki i Magazynowania. 2005

organizacją transportu ładunków całopojazdowych oraz doładunków zarówno na terenie kraju, jak również poza jego granicami. Najczęściej obsługiwane kierunki to Niemcy, Francja, Austria, Słowacja, Belgia, Czechy, Holandia, Rumunia, Dania czy Wielka Brytania.

Firma od lat współpracuje z popularnymi, dużymi producentami, a do najczęściej przewożonych ładunków należą m.in. lody chłodnicze, profile aluminiowe, konstrukcje stalowe, puste palety, nawęglacze czy wszelkiego rodzaju artykuły spożywcze na przykład kawa, herbata czy kasza. Firma opiera swoją działalność głównie na giełdach transportowych, gdzie pozyskuje przewoźników, którym zleca wykonanie transportu, ponieważ nie posiada ona taboru własnego. Z tego względu oferuje przewóz towarów szeroką gamą przeznaczonych do tego pojazdów o ładowności od 1,2 t do 24 t. Zaliczyć do nich można busy, solówki czy też ciągniki siodłowe z naczepami oraz przyczepami o różnym typie zabudowy.

ELKADO oferuje plandeki, kurtyny, chłodnie, izotermie, kontenery, wywrotki, platformy, czy też lawety. Większość wykorzystywanych busów oraz solówek jest wyposażona w windę wraz z wózkiem paletowym. Działanie firmy na rynku od 9 lat, przyczyniło się do tego, iż posiada już ona wielu stałych przewoźników, którym zleca usługę przewozu na określonych trasach.

Firma nie posiada własnej floty transportowej i korzysta z usług elektronicznych giełd transportowych. W Europie największą popularnością cieszy się giełda TimoCom oraz Trans.eu z uwagi na szybkość oraz niezawodność działania. Omówiona natomiast zostanie tylko giełda Trans.eu, ponieważ to właśnie na niej ELKADO opiera swoją działalność. Po wykupieniu subskrypcji oraz założeniu konta, a tym samym rejestracji firmy, uzyskuje się dostęp do wybranej przez firmę platformy. Jednak, żeby go uzyskać trzeba najpierw spełnić kilka podstawowych wymagań w celu weryfikacji rzetelności oraz wiarygodności firmy. Aby zostało to potwierdzone należy przesłać dokumenty, takie jak wpis w Krajowym Rejestrze Sądowym (KRS) lub też ewidencji gospodarczej, numer REGON oraz numer NIP. Giełdy elektroniczne służą do publikowania ofert wolnych nie tylko ładunków, ale także pojazdów.

Są one wystawiane zarówno przez spedytorów, przewoźników jak również pracowników firm produkcyjnych czy też handlowych. Oferty te dotyczą zarówno transportu krajowego jak i międzynarodowego, a także ładunków całopojazdowych oraz częściowych. Platforma posiada komunikator, bez którego ciężko byłoby dograć najistotniejsze warunki zlecenia, takie jak chociażby cena za wykonanie usługi. Bez problemu można negocjować z kilkoma osobami jednocześnie. Istnieje również funkcja potwierdzenia zawarcia transakcji między zleceniodawcą, a zleceniobiorcą oraz ustalenia frachtu, co pozwala po wykonaniu danej usługi na wzajemne wystawienie opinii odnośnie współpracy¹².

Najistotniejsze informacje jakie należy umieścić przy publikowaniu frachtu to data załadunku oraz rozładunku wraz z ich miejscami przeznaczenia, wielkość pojazdu, jego ładowność oraz typ nadwozia, a także termin płatności. Należy również określić, zaznaczając odpowiednio czy oferta dotyczy transportu całopojazdowego (FTL), czy też

¹² Kisielewski, P., Leśniakiewicz, M.: Charakterystyka i analiza porównawcza europejskich elektronicznych giełd transportowych. Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe, 17(6), 1368–1377, 2016

doładunku (LTL). Te informacje będą wystarczające, aby móc opublikować daną ofertę na giełdzie, jeśli jednak istnieją dodatkowe wymagania można umieścić je w miejscu „dodatkowy opis”. Pomocną i ważną kwestią do podania są również metry ładowne. Wszystkie szczegóły dotyczące transportu spedytor dogrywa z przewoźnikiem za pośrednictwem wcześniej wspomnianego komunikatora. Następnie przewoźnik przyjmując zlecenie do realizacji, zobowiązuje się do wykonania danej usługi przewozu, zgodnie z zawartymi w nim warunkami¹³.

Liczba zrealizowanych zleceń transportowych

Dane dotyczące wszystkich zleceń transportowych (czyli sumy zleceń krajowych oraz międzynarodowych) oraz oddzielnie zleceń krajowych i międzynarodowych, zrealizowanych w roku 2022 i 2023 w badanej firmie przedstawiono w tabeli 1. Dane te pokazano z podziałem na transport całopojazdowy (FTL) oraz częściowy (LTL).

Tabela 1. Liczba zleceń transportowych w latach 2022-2023 z podziałem na FTL i LTL

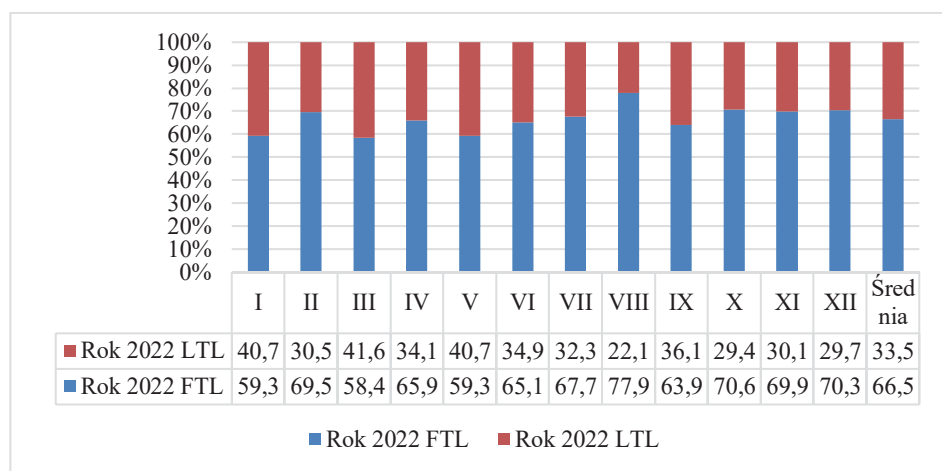
Parametr	Rok 2022 - transport			Rok 2023 - transport		
	całopojazdowy	częściowy	razem	całopojazdowy	częściowy	razem
	FTL	LTL		FTL	LTL	
Liczba wszystkich zleceń transportowych w ciągu roku (szt.)						
	837	422	1259	949	748	1697
Liczba wszystkich zleceń transportowych w miesiącu (szt.)						
Minimum	35	22	59	33	22	63
Średnia	70	35	105	79	62	141
Maximum	101	52	143	127	98	209
Odch. Stand.	17	11	25	22	21	41
Zmienność	24,7%	30,0%	23,6%	28,4%	33,6%	29,0%
Liczba zleceń transportowych krajowych w ciągu roku (szt.)						
	512	129	641	761	265	1026
Liczba zleceń transportowych krajowych w miesiącu (szt.)						
Minimum	19	1	20	21	6	29
Średnia	43	11	53	63	22	86
Maximum	64	22	74	102	43	138
Odch. Stand.	11	6	14	18	13	28
Zmienność	26,0%	59,8%	25,7%	28,8%	57,1%	33,0%
Liczba zleceń transportowych międzynarodowych w ciągu roku (szt.)						
	325	293	618	188	483	671

¹³ Dziechciarz, M.: Giełdy frachtowe jako narzędzia wspomagające efektywność wykorzystania taboru samochodowego. Zeszyty Naukowe. Problemy Transportu i Logistyki/Uniwersytet Szczeciński. s. 362-367, 2015

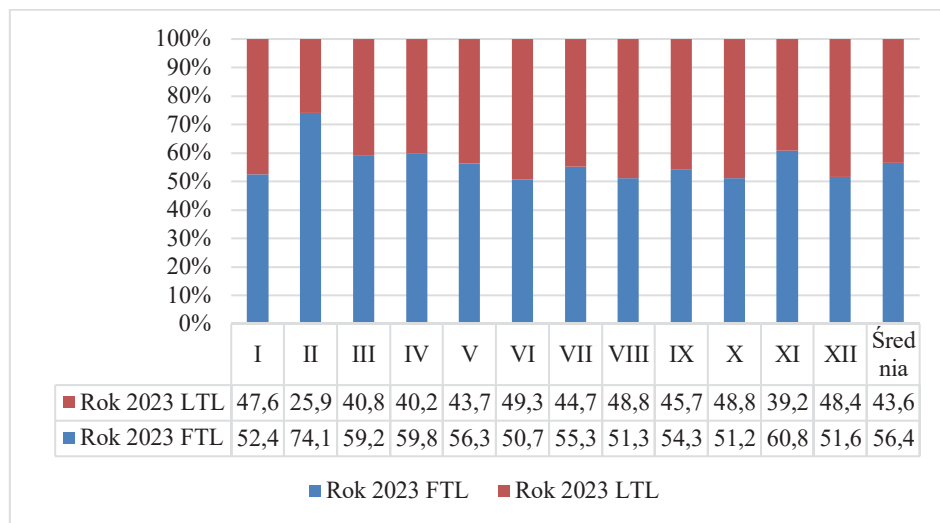
Liczba zleceń transportowych międzynarodowych w miesiącu (szt.)						
Minimum	10	15	25	7	16	23
Średnia	27	24	52	16	40	56
Maximum	47	36	71	25	55	78
Odch. Stand.	11	7	16	6	12	17
Zmienność	42,0%	28,7%	30,3%	36,4%	30,1%	30,1%

Liczba zleceń dla roku 2022 w odniesieniu do transportu FTL wynosiła 837 sztuk (średnio to było 70 szt.), a dla transportu LTL 422 sztuki (średnia 35 szt.), co daje łącznie 1259 zleceń. Dla roku 2023 w transporcie FTL ich liczba wzrosła do 949 sztuk (średnia 79 szt.), natomiast LTL do 748 sztuk (średnia 62 szt.). Suma zleceń w 2023 roku wynosiła 1697 sztuk. Zarówno dla transportu FTL jak i LTL w czasie roku, wartości te wzrosły, a różnica w liczbie zleceń wynosiła 439 sztuk. Biorąc pod uwagę analizę miesięcy w roku 2022 najczęściej ich było w październiku (143 szt.), natomiast najmniej w styczniu (59 szt.). Z kolei w roku 2023 najczęściej w listopadzie (209), a najmniej również w styczniu (63).

Strukturę procentową wszystkich zleceń transportowych dla roku 2022 i 2023 pokazano na rysunku 2 oraz 3.



Rysunek 2. Struktura wszystkich zleceń transportowych z podziałem na FTL i LTL dla roku 2022



Rysunek 3. Struktura wszystkich zleceń transportowych z podziałem na FTL i LTL dla roku 2023

W roku 2022 dla zleceń LTL średnia wynosiła 33,5%, rok później wzrosła ona do 43,6%. Z kolei dla zleceń FTL średnia na przestrzeni roku spadła z 66,5% do 56,4% (rys. 2). Biorąc pod uwagę analizę miesięcy dla wszystkich zleceń częściowych w 2022 roku najlepiej wypadł marzec (41,6%), a najgorzej sierpień (22,1%). Natomiast w 2023 roku (rys. 3) najlepiej czerwiec (49,3%), a najgorzej luty (25,9%). W odniesieniu do zleceń całopojazdowych dla roku 2022 najlepszy okazał się miesiąc sierpień (77,9%), a najgorszy marzec (58,4%). W kolejnym roku natomiast najlepiej wypadł luty (74,1%), a najgorszy czerwiec (50,7%).

W tabeli 1 zostały zawarte także dane dotyczące liczby zleceń krajowych w latach 2022-2023 podzielone ze względu na wielkość ładunku (FTL lub LTL). Liczba zrealizowanych zleceń całopojazdowych w 2022 roku wynosiła średnio 43 szt., a dla całego roku było to łącznie 512 zleceń, natomiast częściowych średnio 11 szt. (129 szt. rocznie). W kolejnym roku wartość ta dla zleceń FTL wzrosła i wynosiła średnio 63 szt. (w skali roku było to 761 zleceń) oraz średnio 22 szt. czyli łącznie 265 zleceń dla LTL. Podsumowując w roku 2022 było razem 641 zleceń, a w 2023 liczba ta wynosiła 1026, co daje wzrost o 385 sztuk. W kategorii miesięcy w 2022 roku najlepiej wypadł październik (74 szt.), a najgorzej styczeń (20 szt.). Dla roku 2023 natomiast najlepszy okazał się listopad (138 szt.), a najgorszy podobnie jak rok wcześniej, również styczeń (29 szt.).

Natomiast biorąc pod uwagę dane dotyczące międzynarodowych zleceń dla roku 2022 oraz 2023 (tabela 1), liczba zleceń całopojazdowych w 2022 roku wynosiła 325 sztuk (średnio 27), a częściowych 293 sztuki (średnio było to 24), z czego wynika, że zrealizowanych łącznie zleceń było 618 sztuk. Z kolei w roku 2023 łącznie było ich 671 sztuk. Zleceń FTL było 188 sztuk (średnio 16), a LTL 483 sztuki (średnio 40). Analizując miesiące najwięcej zleceń w roku 2022 było we wrześniu (71), a najmniej w grudniu (25 szt.). W roku kolejnym najwięcej w lipcu oraz październiku (po 78), a najmniej w lutym (23).

Przejechane kilometry w procesach transportowych

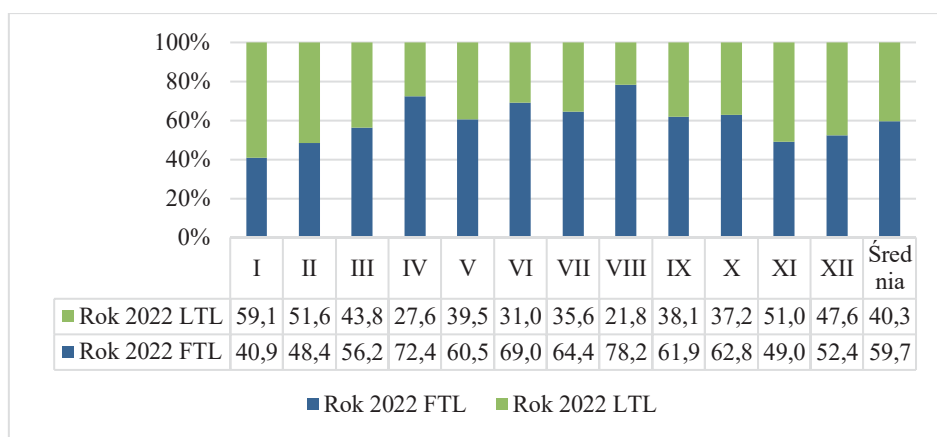
Dane dotyczące przejechanych wszystkich kilometrów w czasie realizacji procesów transportowych oraz kilometrów krajowych i międzynarodowych, przejechanych w roku 2022 oraz 2023 z podziałem na transport całopojazdowy oraz częściowy przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Liczba przejechanych kilometrów w latach 2022-2023 z podziałem na FTL i LTL

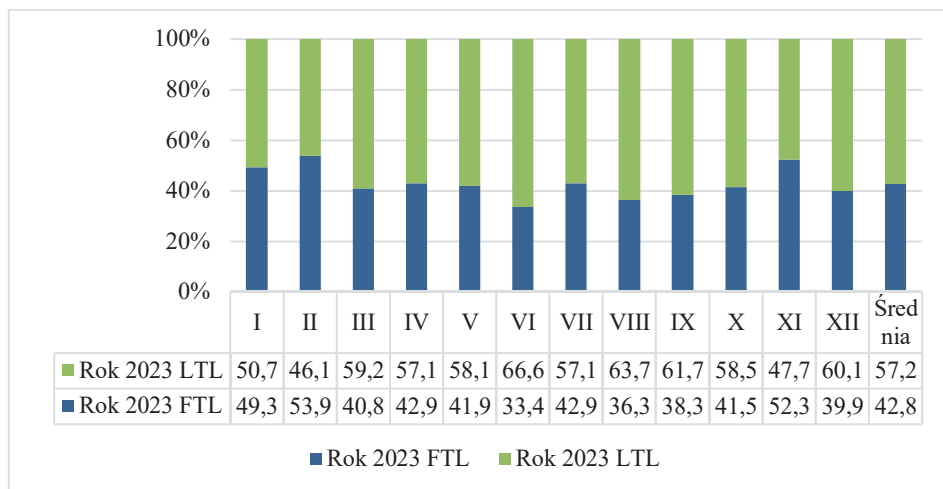
Parametr	Rok 2022 - transport			Rok 2023 - transport		
	całopojazdowy	częściowy	razem	całopojazdowy	częściowy	razem
	FTL	LTL		FTL	LTL	
Liczba przejechanych kilometrów w ciągu roku (km)						
	532 660	328 260	860 920	410 860	559 442	970 302
Liczba przejechanych kilometrów w miesiącu (km)						
Minimum	20 157	18 482	39 288	21 126	18 855	40 862
Średnia	44 388	27 355	71 743	34 238	46 620	80 859
Maximum	78 272	36 941	100 089	56 532	66 137	115 909
Odch. Stand.	18 607	6 747	21 822	10 809	14 170	23 226
Zmienność	41,9%	24,7%	30,4%	31,6%	30,4%	28,7%
Liczba przejechanych kilometrów krajowych w ciągu roku (km)						
	93 007	31 079	124 086	152 913	71 067	223 980
Liczba przejechanych kilometrów krajowych w miesiącu (km)						
Minimum	4 315	338	4 653	4 966	1 763	7 041
Średnia	7 751	2 590	10 341	12 743	5 922	18 665
Maximum	9 781	6 440	15 303	21 613	12 400	32 362
Odch. Stand.	1 513	1 534	2 614	3 705	3 683	6 580
Zmienność	19,5%	59,2%	25,3%	29,1%	62,2%	35,3%
Liczba przejechanych kilometrów międzynarodowych w ciągu roku (km)						
	439 653	297 181	736 834	257 947	488 375	746 322
Liczba przejechanych kilometrów międzynarodowych w miesiącu (km)						
Minimum	11 189	15 981	28 877	9 868	17 092	26 960
Średnia	36 638	24 765	61 403	21 496	40 698	62 194
Maximum	71 110	34 621	91 268	37 644	58 422	96 066
Odch. stand.	18 502	6 640	21 133	8 493	12 864	19 703
Zmienność	50,5%	26,8%	34,4%	39,5%	31,6%	31,7%

Liczba przejechanych kilometrów dla roku 2022 w odniesieniu do transportu FTL wynosiła 532 660 km (średnio to było 44 388 km), a dla transportu LTL 328 260 (średnia 27 355 km), co daje łącznie 860 920 km. Dla roku 2023 w transporcie całopojazdowym ich liczba spadła do 410 860 km (średnio 34 238 km), natomiast dla transportu częściowego wzrosła do wartości 559 442 km (średnio było to 46 620 km). Suma przejechanych kilometrów w 2023 roku wynosiła 970 302. Uwzględniając wyniki w ujęciu miesięcznym w roku 2022 najwięcej ich było w sierpniu (100 089 km), a najmniej w grudniu (39 288 km). Z kolei w roku 2023 najwięcej w lipcu (66 137 km), natomiast najmniej w lutym (40 862 km).

Strukturę procentową wszystkich kilometrów dla roku 2022 oraz 2023 pokazano na rysunku 4 i 5. W roku 2022 udział w strukturze dla kilometrów w transporcie ładunków LTL wynosił średnio 40,3%, a rok później wzrósł do wartości 57,2%. Dla przebytych kilometrów z ładunkami FTL średnia wartość na przestrzeni roku spadła z 59,7% do 42,8%. Skupiając się na miesiącach w poszczególnych latach, najlepiej pod względem liczby kilometrów pokonywanych z towarami częściowymi wypadł styczeń (59,1%), a najgorzej sierpień (21,8%). Natomiast w 2023 roku najlepiej czerwiec (66,6%), a najgorzej luty (46,1%). Jeśli chodzi o pokonane kilometry z towarami całopojazdowymi, dla roku 2022 najlepszy okazał się miesiąc sierpień (78,2%), a najgorszy styczeń (40,9%). W kolejnym roku najlepiej wypadł luty (53,9%), a najgorzej czerwiec (33,4%).



Rysunek 4. Struktura procentowa wszystkich kilometrów z podziałem na FTL i LTL dla roku 2022



Rysunek 5. Struktura procentowa wszystkich kilometrów z podziałem na FTL i LTL dla roku 2023

Biorąc pod uwagę dane dotyczące pokonanych kilometrów na terenie kraju w latach 2022-2023 (tabela 2) należy podkreślić, że dla transportu całopojazdowego liczba kilometrów w roku 2022 wynosiła średnio 7 751 (razem 93 007 km), a dla częściowego było to średnio 2 590 km, z kolei w skali roku suma wyniosła 31 079 km. Rok później średnia wartość dla przewozu ładunków FTL wzrosła do 12 743 km, a ładunków LTL do 5 922 km. Suma przejechanych kilometrów w roku 2023 wynosiła 223 980 km, co dało 99 894 km więcej niż w roku poprzednim. Oceniając miesiące w roku 2022 największą wartość uzyskano w czerwcu (15 303 km), a najmniejszą w styczniu (4 653 km). Kolejny rok pokazał, że najlepszym miesiącem był listopad (32 362 km), a najsłabszym też styczeń (7 041 km).

Z przedstawionych wyników w tabeli 2 wynika również, że liczba kilometrów przejechanych w transporcie międzynarodowym dla transportu całopojazdowego w roku 2022 wynosiła 439 653 (średnio 36 638 km), a dla transportu drobnicowego 297 181 km (średnio było to 24 765 km), co w skali roku dało razem 736 834 km. W roku 2023 przebytych kilometrów międzynarodowych z ładunkiem FTL było średnio 21 496 (razem 257 947 km), natomiast z ładunkiem LTL średnio 40 698 km (razem 488 375 km). Na przestrzeni roku liczba kilometrów wzrosła o 9 488 km. Dla roku 2022 najlepszy okazał się miesiąc sierpień (91 268 km), a najsłabszy grudzień (28 877 km), zaś w roku 2023 najlepiej wypadł lipiec (96 066 km), a najgorzej luty (26 960 km).

Koszty transportu całopojazdowego i częściowego

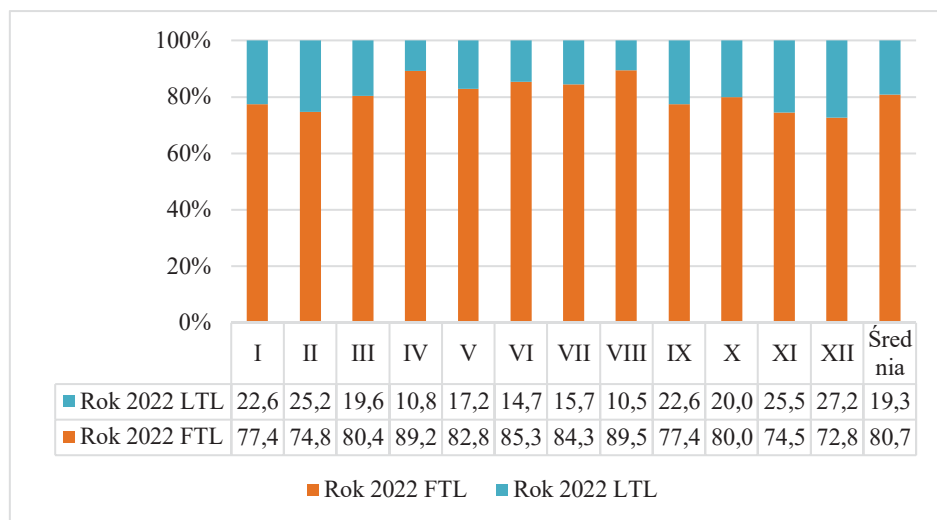
W tabeli 3 zostały przedstawione dane dotyczące całkowitych kosztów transportu, czyli sumy kosztów transportów krajowych oraz międzynarodowych, zrealizowanych w roku 2022 oraz 2023 z podziałem na transport całopojazdowy FTL oraz częściowy LTL. Oddzielnie wyszczególniono także koszty transportu krajowego i międzynarodowego.

Tabela 3. Koszty transportu w latach 2022-2023 z podziałem na FTL i LTL

Parametr	Rok 2022 - transport			Rok 2023 - transport		
	całopojazdowy	częściowy	razem	całopojazdowy	częściowy	razem
	FTL	LTL		FTL	LTL	
Koszty transportu w ciągu roku (PLN)						
	3 669 662	798 609	4 468 271	2 574 169	1 592 437	4 166 606
Koszty transportu w miesiącu (PLN)						
Minimum	112 788	32 852	145 640	124 794	42 917	167 711
Średnia	305 805	66 551	372 356	214 514	132 703	347 217
Maximum	575 122	135 054	642 927	343 027	205 765	513 567
Odch.stand.	146 227	28 557	166 820	67 766	45 721	106 976
Zmienność	47,8%	42,9%	44,8%	31,6%	34,5%	30,8%
Koszty transportu krajowego w ciągu roku (PLN)						
	557 860	93 360	651 220	881 450	242 675	1 124 125
Koszty transportu krajowego w miesiącu (PLN)						
Minimum	18 520	320	18 840	27 380	6 250	33 820
Średnia	46 488	7 780	54 268	73 454	20 223	93 677
Maximum	64 730	17 495	78 265	124 340	40 775	159 070
Odch.stand.	12 735	4 684	15 483	21 873	12 570	31 750
Zmienność	27,4%	60,2%	28,5%	29,8%	62,2%	33,9%
Koszty transportu międzynarodowego w ciągu roku (PLN)						
	3 111 802	705 249	3 817 051	1 692 719	1 349 762	3 042 481
Koszty transportu międzynarodowego w miesiącu (PLN)						
Minimum	67 970	30 352	106 877	57 614	36 667	94 281
Średnia	259 317	58 771	318 088	141 060	112 480	253 540
Maximum	525 292	125 534	588 317	226 320	184 995	411 315
Odch.stand.	141 685	27 015	159 543	53 746	38 628	87 551
Zmienność	54,6%	46,0%	50,2%	38,1%	34,3%	34,5%

Koszty transportu dla roku 2022 w odniesieniu do transportu FTL wynosiły 3 669 662 PLN (średnio było to 305 805 PLN), a dla transportu LTL 798 609 PLN (średnio 66 551), co dało łącznie 4 468 271 PLN. Dla roku 2023 w transporcie całopojazdowym ich wartość spadła do 2 574 169 PLN (średnia 214 514), natomiast w częściowym wzrosła do 1 592 437 PLN (średnio 132 703). Suma kosztów w 2023 roku wynosiła 4 166 606 PLN, z czego wynika, że na przestrzeni roku całkowite koszty przewozów spadły o 301 655 PLN. W kategorii miesięcy w roku 2022 największe koszty były w sierpniu (642 927 PLN), a najmniejsze w styczniu (145 640 PLN). Z kolei w roku 2023 największe w listopadzie (513 567 PLN), a najmniejsze w lutym (167 711 PLN).

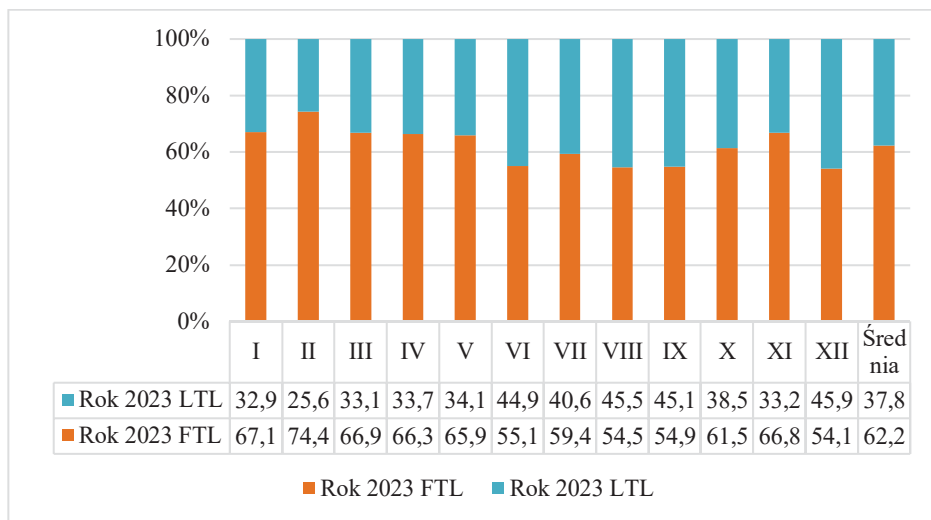
Strukturę procentową całkowitych kosztów zrealizowanych transportów dla roku 2022 i 2023 pokazano na rysunkach 6 oraz 7.



Rysunek 6. Struktura całkowitych kosztów transportu z podziałem na FTL i LTL dla roku 2022

W 2022 roku w strukturze całkowitych kosztów transportu udział kosztów transportów częściowych wynosił średnio 19,3%, gdzie rok później ten udział wzrósł do 37,8%. Z kolei dla kosztów przewozów całopojazdowych średnia wartość na przestrzeni roku spadła z 80,7% do 62,2%. Biorąc pod uwagę analizę miesięcy dla całkowitych kosztów transportów częściowych w 2022 roku najlepiej wypadł grudzień (27,2%), a najgorzej sierpień (10,5%). Natomiast w roku 2023 najlepiej grudzień (45,9%), a najgorzej luty (25,6%). W odniesieniu do kosztów całopojazdowych dla roku 2022 najlepszy okazał się miesiąc sierpień (89,5%), a najgorszy grudzień (72,8%). W kolejnym roku natomiast najlepiej wypadł luty (74,4%), a najgorzej grudzień (54,1%).

Biorąc pod uwagę dane odnoszące się do kosztów transportów wykonywanych na terenie kraju w latach 2022-2023 (tabela 3), należy stwierdzić, że koszty zrealizowanych transportów całopojazdowych w 2022 roku wynosiły średnio 46 488 PLN (razem 557 860), natomiast częściowych to średnio 7 780 PLN (łącznie 93 360), co dało w skali roku sumę 651 220 PLN. W kolejnym roku wartości te wzrosły i dla kosztów FTL wynosiły średnio 73 454 PLN (razem było to 881 450), a dla LTL 20 223 PLN (łącznie 242 675). Podsumowując w roku 2023 koszty razem były na poziomie 1 124 125 PLN, co dało wzrost o kwotę 472 905 PLN. Analizując poszczególne miesiące w 2022 roku najlepiej zaprezentował się czerwiec (78 265 PLN), a najgorzej styczeń (18 840 PLN). Dla roku 2023 natomiast najlepszy okazał się listopad (159 070 PLN), a najgorszy również styczeń (33 820 PLN).



Rysunek 7. Struktura całkowitych kosztów transportu z podziałem na FTL i LTL dla roku 2023

Natomiast analizując dane dotyczące kosztów międzynarodowego transportu (tabela 3), należy zwrócić uwagę, że koszty przewozu ładunków całopojazdowych w 2022 roku wynosiły 3 111 802 PLN (średnio było to 259 317), a częściowych 705 249 PLN (średnio 58 771), z czego wynika, że łącznie koszty realizacji tych transportów wynosiły 3 817 051 PLN. W roku 2023 natomiast łączne koszty to 3 042 481 PLN. Koszty ładunków FTL wyniosły 1 692 719 PLN (średnio 141 060), a LTL 1 349 762 (średnio 112 480). Należy tutaj podkreślić, że średni kurs Euro dla roku 2022 wyniósł 4,6876 PLN, a w roku 2023 spadł do wartości 4,5437 PLN. Analizując miesiące największe koszty w roku 2022 były w sierpniu (588 317 PLN), a najmniejsze w listopadzie (106 877 PLN). W roku kolejnym największe w lipcu (411 315 PLN), a najmniejsze w lutym (94 281 PLN).

Wskaźniki do oceny organizacji i kosztów transportu

W tabeli 4 zostały przedstawione wskaźniki wykorzystane do oceny organizacji procesów transportowych. Dotyczyły one liczby wszystkich kilometrów w przeliczeniu na jedno zlecenie oraz liczby przejechanych kilometrów krajowych oraz międzynarodowych przypadających na jedno zlecenie, zrealizowane w roku 2022 oraz 2023 z podziałem na transport całopojazdowy oraz drobnicowy.

W roku 2022 średnia roczna liczby kilometrów w przeliczeniu na jedno zlecenie wynosiła $619 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$ w odniesieniu do transportów całopojazdowych oraz $805 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$ do transportów częściowych (łącznie $1424 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$). W roku kolejnym wartości te spadły do 440 dla ładunków FTL oraz do $769 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$ dla LTL (razem $1209 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$). W skali roku kilometry jakie przypadały na jedno zlecenie transportowe spadły średnio o 215. Dla roku 2022 największą liczbę kilometrów osiągnięto w styczniu (1789), a najmniejszą

w listopadzie ($1234 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$). Natomiast dla roku 2023 największe wartości odnotowano w kwietniu (1518), a najmniejsze w grudniu ($936 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$).

Tabela 4. Liczba kilometrów przypadająca na 1 zlecenie w latach 2022-2023

Parametr	Rok 2022 - transport			Rok 2023 - transport		
	całopojazdowy	częściowy	razem	całopojazdowy	częściowy	razem
	FTL	LTL		FTL	LTL	
Liczba kilometrów razem w transporcie krajowym i międzynarodowym (km·szt ⁻¹)						
Minimum	362	585	1234	340	577	936
Średnia	619	805	1424	440	769	1209
Maximum	889	1213	1789	640	1009	1518
Odch.stand.	168	163	189	86	137	186
Zmienność	27,1%	20,2%	13,3%	19,5%	17,9%	15,4%
Liczba kilometrów przejechanych w transporcie krajowym (km·szt ⁻¹)						
Minimum	140	130	270	169	195	364
Średnia	188	271	458	203	266	469
Maximum	252	466	627	242	335	524
Odch.stand.	32	86	94	21	39	48
Zmienność	17,1%	31,8%	20,5%	10,4%	14,8%	10,3%
Liczba kilometrów przejechanych w transporcie międzynarodowym (km·szt ⁻¹)						
Minimum	990	864	2019	1153	885	2080
Średnia	1295	1024	2319	1363	1011	2374
Maximum	1516	1251	2549	1594	1165	2759
Odch.stand.	189	97	160	137	92	211
Zmienność	14,6%	9,5%	6,9%	10,1%	9,1%	8,9%

Analizując liczbę pokonanych kilometrów dla jednego zlecenia krajowego (tabela 4) dla roku 2022 należy zauważyć, że wynosiła ona średnio $188 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$ (przewozy FTL) oraz $271 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$ (przewozy LTL) – rocznie średnio $458 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$. W kolejnym roku wartości te dla zleceń całopojazdowych wzrosły do 203, a dla częściowych spadły do $266 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$, co dało razem $469 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$.

W okresie roku liczba kilometrów w przeliczeniu na jedno zlecenie krajowe wzrosła średnio o $11 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$. W kategorii miesięcy w 2022 roku największe wartości kilometrów prezentuje luty ($627 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$), a najmniejsze wrzesień ($270 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$), gdzie w roku 2023 najwyższe kwiecień ($524 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$), natomiast najniższe wrzesień ($364 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$).

Natomiast liczba kilometrów, przypadająca na jedno międzynarodowe zlecenie transportowe (tabela 4) to średnio w roku 2022 dla zleceń całopojazdowych wynosiła 1295, a dla drobnicowych 1024 $\text{km} \cdot \text{szt}^{-1}$, z czego wynika że razem było to $2319 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$. Z kolei w roku 2023 średnia roczna to $2374 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$. Dla zleceń FTL było to średnio 1363, a dla LTL 1011 $\text{km} \cdot \text{szt}^{-1}$. W skali roku liczba kilometrów w przeliczeniu na jedno

zlecenie zagraniczne wzrosła średnio o $55 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$. Biorąc pod uwagę analizę miesięcy w roku 2022 największą liczbę kilometrów odnotowano w lipcu ($2549 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$), a najmniejszą w lutym ($2019 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$). Natomiast w roku 2023 największe wartości odnotowano dla kwietnia (2759), a najmniejsze dla sierpnia ($2080 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$).

Tabela 5 przedstawia obliczone całkowite koszty wszystkich zleceń, przypadające na jedno zlecenie transportowe oraz wydzielone oddzielnie koszty zleceń krajowych oraz międzynarodowych realizowanych w latach 2022-2023. Opracowane wskaźniki do oceny kosztów transportu zostały podzielone na transport całopojazdowy FTL czy częściowy LTL.

Tabela 5. Całkowite koszty transportu w przeliczeniu na 1 zlecenie w latach 2022-2023

Parametr	Rok 2022 - transport			Rok 2023 - transport		
	całopojazdowy	częściowy	razem	całopojazdowy	częściowy	razem
	FTL	LTL		FTL	LTL	
Całkowite koszty transportu (krajowego i międzynarodowego) (PLN·szt ⁻¹)						
Minimum	2223	1193	3936	1981	1740	3932
Średnia	4200	1904	6104	2775	2137	4912
Maximum	6535	2814	9248	4450	2707	6854
Odch.stand.	1344	558	1604	663	282	872
Zmienność	32,0%	29,3%	26,3%	23,9%	13,2%	17,7%
Koszty transportu krajowego (PLN·szt ⁻¹)						
Minimum	804	320	1295	1024	633	1825
Średnia	1090	699	1789	1164	899	2064
Maximum	1297	956	2171	1304	1133	2330
Odch.stand.	135	174	266	74	127	150
Zmienność	12,4%	25,0%	14,9%	6,3%	14,1%	7,3%
Koszty transportu międzynarodowego (PLN·szt ⁻¹)						
Minimum	5892	1414	7306	6656	1990	9405
Średnia	9059	2391	11450	8984	2787	11771
Maximum	11785	3487	15272	11883	3574	14690
Odch.stand.	1985	672	2528	1275	429	1355
Zmienność	21,9%	28,1%	22,1%	14,2%	15,4%	11,5%

W roku 2022 roczne koszty przypadające na jedno zlecenie wynosiły średnio $4200 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$ w odniesieniu do przewozu ładunków całopojazdowych oraz $1904 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$ jeśli chodzi o ładunki drobnicowe (łącznie $6104 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$). W roku kolejnym wartości te spadły do $2775 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$ dla transportu FTL, a dla LTL wzrosły do $2137 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$ (łącznie $4912 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$). W skali roku koszty w przeliczeniu na jedno zlecenie spadły średnio o 1192 PLN . Dla roku 2022 najwyższe koszty na jedno zlecenie osiągnięto w sierpniu (9248), a najniższe w lutym ($3936 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$). Natomiast dla roku 2023 najwyższe koszty odnotowano dla stycznia (6854), a najniższe dla lutego ($3932 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$).

Biorąc pod uwagę koszty zrealizowanych zleceń krajowych w przeliczeniu na 1 zlecenie dla roku 2022 (tabela 5) wynosiły średnio $1090 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$ (transport całopojazdowy) oraz $699 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$ (transport częściowy), co daje średnią roczną $1789 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$. W roku 2023 wartości te dla zleceń FTL wzrosły do $1164 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$, a dla LTL do $899 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$, co dało razem $2064 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$. Na przestrzeni roku koszty w przeliczeniu na jedno zlecenie wzrosły średnio o 275 PLN. W podziale na miesiące w 2022 największe koszty odnotowano dla sierpnia (2 171), a najmniejsze dla stycznia ($1295 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$), gdzie w roku 2023 również najwyższe były dla sierpnia (2 330), natomiast najniższe dla marca ($1825 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$).

Natomiast koszty w przeliczeniu na jedno zlecenie zagraniczne (tabela 5) dla zleceń całopojazdowych w 2022 roku, wynosiły średnio $9\,059 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$, a dla drobnicowych $2\,391 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$, z czego wynika, że razem było to $11\,450 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$. W roku 2023 średnia roczna wynosiła $11\,771 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$. Dla zleceń FTL był to średni koszt 8 984, a dla LTL $2\,787 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$. W skali roku koszty w przeliczeniu na jedno zlecenie międzynarodowe spadły średnio o 321 PLN. Biorąc pod uwagę analizę miesięcy w roku 2022 najwyższe koszty odnotowano we wrześniu (15 272), a najniższe w styczniu ($7\,306 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$). Natomiast w roku 2023 najwyższe w kwietniu (14 690), a najniższe we wrześniu ($9405 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$).

W tabeli 6 zostały przedstawione wyniki obliczeń odnośnie całkowitych kosztów oraz kosztów dla transportów krajowych i międzynarodowych w przeliczeniu na jeden kilometr w latach 2022-2023. Zamieszczone wyniki zostały podzielone, jak wcześniej, na transport całopojazdowy oraz częściowy.

W roku 2022 średnia roczna kosztów, jaka przypadała na jeden kilometr, wynosiła 9,12 PLN. Jeśli chodzi o transport ładunków całopojazdowych koszt ten to średnio 6,71 oraz 2,41 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$ dla ładunków drobnicowych. W kolejnym roku dla przewozów FTL wartość spadła do 6,27 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$, a z kolei dla LTL wzrosła do 2,84 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$ (łącznie 9,11 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$). Na przestrzeni roku średni koszt w przeliczeniu na jeden kilometr utrzymywał się na podobnym poziomie. Dla roku 2022 najwyższy koszt osiągnięto we wrześniu (11,62), a najniższy w styczniu (6,72 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$). W roku 2023 największe koszty zaprezentował miesiąc styczeń (10,27), natomiast najmniejsze marzec (7,63 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$).

Koszty transportu realizowanego na terenie kraju, w przeliczeniu na jeden kilometr w roku 2022, wynosiły średnio 5,92 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$ (FTL), oraz 2,91 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$ (LTL), co dało średnią roczną 8,84 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$ (tabela 6). Z kolei w roku 2023 wartość ta dla transportów całopojazdowych zmalała do 5,76 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$, a dla częściowych wzrosła do 3,42 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$, co daje razem 9,18 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$. W skali roku średni koszt jaki przypadał na jeden kilometr wzrósł o 0,34 PLN. W kategorii miesięcy w 2022 roku największy koszt zaprezentował wrzesień (13,30), a najmniejszy styczeń (5,24 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$). W roku 2023 najwyższe wrzesień (10,41), natomiast najniższe kwiecień (8,13 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$).

W tabeli 6 pokazano również koszty transportu, przypadające na jeden kilometr dla przewozów międzynarodowych w roku 2022 oraz 2023. Koszt dla transportów całopojazdowych w 2022 roku wynosił średnio 6,92 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$, a dla drobnicowych 2,36 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$, z czego wynika, że razem było to 9,28 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$. W roku 2023 średnia roczna to 9,37 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$. Dla przewozów FTL koszt to średnio 6,59, a dla LTL 2,78 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$. W skali roku koszt w przeliczeniu na jeden kilometr w transporcie międzynarodowym spadł średnio o 0,09 $\text{PLN} \cdot \text{km}^{-1}$. Biorąc pod uwagę analizę miesięcy w 2022 roku

najwyższy koszt odnotowano we wrześniu (11,60), a najniższy w styczniu (7,08 PLN·km⁻¹). Z kolei w 2023 roku najwyższy w styczniu (10,73), a najniższy w marcu (7,81 PLN·km⁻¹).

Tabela 6. Koszty transportu w przeliczeniu na 1 km w latach 2022-2023

Parametr	Rok 2022 - transport			Rok 2023 - transport		
	całopojazdowy	częściowy	razem	całopojazdowy	częściowy	razem
	FTL	LTL		FTL	LTL	
Koszty transportu (krajowego i międzynarodowego) (PLN·km ⁻¹)						
Minimum	5,60	1,13	6,72	5,67	1,94	7,63
Średnia	6,71	2,41	9,12	6,27	2,84	9,11
Maximum	7,89	3,73	11,62	6,95	3,48	10,27
Odch.stand.	0,66	0,68	1,32	0,39	0,46	0,72
Zmienność	9,8%	28,0%	14,4%	6,3%	16,2%	7,9%
Koszty transportu krajowego (PLN·km ⁻¹)						
Minimum	4,29	0,95	5,24	4,77	2,69	8,13
Średnia	5,92	2,91	8,84	5,76	3,42	9,18
Maximum	7,21	6,09	13,30	6,43	4,35	10,41
Odch.stand.	0,97	1,26	2,05	0,43	0,47	0,65
Zmienność	16,3%	43,4%	23,2%	7,4%	13,9%	7,1%
Koszty transportu międzynarodowego (PLN·km ⁻¹)						
Minimum	5,95	1,13	7,08	5,77	1,88	7,81
Średnia	6,92	2,36	9,28	6,59	2,78	9,37
Maximum	7,98	3,63	11,60	7,46	3,45	10,73
Odch.stand.	0,65	0,69	1,31	0,61	0,49	0,86
Zmienność	9,4%	29,4%	14,1%	9,3%	17,5%	9,1%

Stwierdzenia i wnioski

Na podstawie wykonanych badań sformułowano następujące stwierdzenia i wnioski:

1. Łączna liczba zleceń transportowych w badanej firmie w czasie roku wzrosła z 1259 szt. do 1697 szt., co dało wzrost o 438 szt. Zarówno w 2022 jaki 2023 przeważał transport całopojazdowy, jednak w 2023 roku liczba transportów częściowych zwiększyła się prawie dwukrotnie względem roku poprzedniego. Najwięcej zleceń firma miała w okresie lipca, września, października oraz listopada, natomiast najmniej w grudniu, styczniu oraz lutym. Liczba zleceń krajowych w roku 2022 wynosiła 641 szt., a rok później wzrosła do 1026 szt. i w obu latach przeważał transport całopojazdowy. Natomiast w zleceniach międzynarodowych, w 2022 roku, przeważał

- transport całopojazdowy, a rok później transport częściowy. Łączna liczba zleceń zagranicznych wzrosła z 618 szt. do 671 szt.
2. Koszt wszystkich wykonanych przewozów wraz z uwzględnieniem przeliczenia walut w aspekcie transportów międzynarodowych w 2022 roku wynosił 4 468 271 PLN, gdzie w roku kolejnym wartość ta spadła do 4 166 606 PLN. Należy tutaj wziąć pod uwagę, iż uśredniony kurs Euro w 2022 roku wynosił 4,6876 PLN, natomiast rok później spadł on do wartości 4,5437 PLN. Największe koszty w latach 2022-2023 stanowiły całopojazdowe przewozy zagraniczne. Najwyższe koszty osiągnięto w czerwcu, lipcu, sierpniu oraz listopadzie, a najniższe w styczniu oraz lutym.
 3. Liczba przejechanych kilometrów w skali roku z wartości 860 920 km, wzrosła do 970 302 km (wzrost o 109 382 km). W 2022 roku najczęściej z nich stanowiły międzynarodowe transporty FTL, w 2023 natomiast międzynarodowe transporty LTL. Największą liczbę kilometrów wykonano w okresie letnim, w czerwcu, lipcu, sierpniu oraz w listopadzie, najmniejszą natomiast w okresie zimowym, w grudniu, styczniu oraz lutym.
 4. Liczba kilometrów jaka przypadała na jedno zlecenie z uwzględnieniem wszystkich zleceń razem (tzn. krajowych oraz międzynarodowych) w roku 2022 wynosiła średnio $1424 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$, w roku 2023 wartość ta spadła o $215 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$ i wynosiła $1\,209 \text{ km} \cdot \text{szt}^{-1}$. Największe liczby kilometrów przeliczając na jedno zlecenie, osiągnano w takich miesiącach jak luty, lipiec oraz kwiecień, najmniejsze natomiast w sierpniu oraz wrześniu.
 5. Średni koszt transportu na jedno zlecenie w okresie roku z wartości $6\,104 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$, spadł do $4\,912 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$. W odniesieniu do przewozów całopojazdowych koszt ten zmniejszył się o $1425 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$, a do przewozów częściowych o $233 \text{ PLN} \cdot \text{szt}^{-1}$. Natomiast średni koszt transportu jaki przypadał na 1 km w odniesieniu do wszystkich transportów, w analizowanych latach utrzymywał się na podobnym poziomie. W 2022 roku była to wartość $9,12 \text{ PLN} \cdot \text{km}^{-1}$, gdzie w roku następnym było to $9,11 \text{ PLN} \cdot \text{km}^{-1}$. W transporcie krajowym wartość ta w skali roku wzrosła o $0,34 \text{ PLN} \cdot \text{km}^{-1}$, natomiast w transporcie międzynarodowym o $0,09 \text{ PLN} \cdot \text{km}^{-1}$. W obu latach, w przewozach ładunków FTL, widoczny był niewielki spadek kosztów w przeliczeniu na 1 km, z kolei w przewozach ładunków LTL niewielki wzrost. Największe koszty w przeliczeniu na 1 km były generowane we wrześniu, natomiast najniższe w styczniu, marcu oraz kwietniu.
 6. Biorąc pod uwagę dane udostępnione przez firmę oraz obliczone na ich podstawie wskaźniki, można jednoznacznie stwierdzić, że organizacja transportów całopojazdowych oraz częściowych zarówno krajowych jak i międzynarodowych, kształtowała się na wysokim poziomie. Rosnąca liczba zleceń świadczy o zadowoleniu klientów, a także ich chęci do nawiązywania nowej oraz kontynuacji dotychczasowej współpracy.

Bibliografia

- Długolecka, K., Simiński, P. K.: Spedytor jako istotne ogniwo w łańcuchu dostaw. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie, (32). s. 37-38, 2015
- Dziechciarz, M.: Giełdy frachtowe jako narzędzia wspomagające efektywność wykorzystania taboru samochodowego. Zeszyty Naukowe. Problemy Transportu i Logistyki/Uniwersytet Szczeciński. s. 362-367, 2015
- Gaschi-Uciecha, A.: Analiza i ocena procesu transportowego w wybranym przedsiębiorstwie sektora TSL. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie Z. 121. s. 11-123, 2018
- Górnjak, J. Krajewski, P.: Logistyka szyta na miarę na przykładzie przewozu wybranych rodzajów ładunków. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie. Nr 64. 2015.
- Kisielewski, P., Leśniakiewicz, M.: Charakterystyka i analiza porównawcza europejskich elektronicznych giełd transportowych. Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe, 17(6), 1368–1377, 2016
- Mądziel, M.: Potrzeby transportowe w odniesieniu do systemów komunikacji miejskiej, Autobusy numer 12. s. 1634-1636, 2016
- Łukasik, Z., Kuśmińska-Fijałkowska, A., Olszańska, S.: Rola spedytora w organizacji procesu transportowego na rynku europejskim, Autobusy nr 6. s. 919-923. 2018
- Przybylska, E.: Analiza usługi transportowej w wybranym przedsiębiorstwie sektora TSL. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 56, s. 240, 2011
- Topolska, K., Topolski, M.: Rozwój przedsiębiorstw transportowo-spedycyjnych w warunkach międzynarodowych. Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe, 17(12), s. 740. 2016.
- Twaróg J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne. Poznań. Wyd. Instytut Logistyki i Magazynowania. 2005
- Urbanyi-Popiołek, I.: Ekonomiczne i organizacyjne aspekty transportu. Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Gospodarki w Bydgoszczy, Bydgoszcz, 9. s.10, s. 34, 2013
- Wojewoda, P., Szkoda, M.: Spedycja międzynarodowa ładunków częściowych w transporcie drogowym. Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe, 18(6), 1620–1624. s. 1621, 2017
- Wojewódzka-Król, K., Załoga, E.: Transport: tendencje zmian. Wyd. Naukowe PWN. s.11, 2022

Adres do korespondencji: dariusz.kwasniewski@urk.edu.pl

ORCID: Dariusz Kwaśniewski 0000-0002-1873-1456

ORCID: Maciej Kuboń 0000-0003-4847-8743

ORCID: Urszula Malaga-Toboła 0000-0001-7918-8699

ORCID: Elżbieta Olech 0000-0003-4405-701X

WIR
WYDAWNICTWO

ISBN 978-83-64377-73-0