



MŁODZI LOGISTYCY W NAUCE

redakcja
Beata Detyna

Studenckie Zeszyty Naukowe
Akademii Nauk Stosowanych
Angelusa Silesiusa

MŁODZI LOGISTYCY W NAUCE

redakcja naukowa
Beata Detyna

MŁODZI LOGISTYCY W NAUCE

**Studenckie Zeszyty Naukowe
Akademii Nauk Stosowanych
Angelusa Silesiusa
nr 7/2025**

redakcja naukowa
Beata Detyna

Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa
Wałbrzych 2025

Recenzja

dr hab. inż. Andrzej Krzyszkowski, prof. uczelni
Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego

Redakcja i korekta

Zespół

Projekt okładki

Paulina Struś

Skład

Małgorzata Myszkowska

© 2025 Akademia Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowa

(CC BY 4.0). Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>



Cytuj jako: Detyna, B. (red.). (2025). *Młodzi logistycy w nauce. Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa nr 7/2025*. Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

ISBN 978-83-63839-96-3

DOI: [10.71433/2025.96.3](https://doi.org/10.71433/2025.96.3)

Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa

ul. Zamkowa 4, 58-300 Wałbrzych

tel.: + 48 74 641 92 31, e-mail: wydawnictwo@ans.edu.pl

Wałbrzych 2025

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
-------------	---

CZĘŚĆ I

Logistyka 4.0 – wyzwania techniczne i społeczne

Weronika Marchewka, Joanna Cierzniewska Trendy w zastosowaniach sztucznej inteligencji w logistyce w erze Przemysłu 4.0	10
Katarzyna Poliksza Nowoczesne rozwiązania w stacjonarnym handlu detalicznym	21
Alicja Rzepecka, Karolina Paluszek, Patryk Bieszczad Koncepcja wykorzystania robotów w opiece nad pacjentami szpitali dziecięcych	29
Barbara Piesiak, Sylwia Werbińska-Wojciechowska Ocena wybranych hal magazynowych pod kątem optymalnego projektowania powierzchni użytkowych	40

CZĘŚĆ II

Zrównoważony rozwój w logistyce

Patrycja Boratyńska Zrównoważony rozwój transportu morskiego na rzecz ochrony środowiska	61
Weronika Zimny, Vladyslav Liashuk Alternatywne źródła statków a zrównoważony rozwój logistyki morskiej – studium przypadku na trasie Szwecji–Polska	71
Szymon Ługiewicz, Paweł Wierzbicki Zrównoważona logistyka: od koncepcji do wdrożenia, czyli jak symulacje umożliwiają przewidzenie skutków dla planety	81

CZĘŚĆ III

Młodzi logistycy dla Aglomeracji Wałbrzyskiej

Weronika Pankowska

Koncepcja monitorowania nielegalnych wysypisk odpadów na terenie Wałbrzycha ... 93

Katarzyna Poliksha

Ekologiczne rozwiązania modernizacji przystanków autobusowych w Wałbrzychu 106

WSTĘP

Z radością i satysfakcją oddajemy do rąk Czytelników siódmy numer cyklicznej monografii z serii *Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa*, zatytułowanej „Młodzi logistycy w nauce”. Publikacja ta od samego początku powstaje z myślą o szerokim gronie odbiorców – osobach zainteresowanych współczesną logistyką, jej ewolucją, wyzwaniami, a także możliwościami, jakie niesie ze sobą w kontekście budowania przewagi konkurencyjnej, zarówno w sektorze prywatnym, jak i w instytucjach publicznych. Oddawany w ręce Czytelników zbiór naukowych tekstów stanowi potwierdzenie aktywności młodych badaczy, których zaangażowanie, ciekawość poznawcza i umiejętność obserwowania otoczenia przekształcają się w prace badawcze o znaczącym potencjale aplikacyjnym.

Autorami opracowań są Członkowie Koła Naukowego Młodych Logistyków „Just in Time”, działającego przy Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa (ANS AS), a także uczestnicy XIII i XIV Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej Młodych Logistyków „POLLOGUS” (które odbyły się w dniach 23-24 listopada 2023 r. oraz 26-27 listopada 2024 r.). Tematy przewodnie tych dwóch konferencji – logistyka 4.0 oraz zrównoważony rozwój – wyznaczyły kierunki pierwszych dwóch części monografii. Z kolei część trzecia prezentuje wyniki indywidualnych prac badawczych Absolwentek ANS AS, zaprezentowanych publicznie podczas VIII Konwersatorium „Młodzi Logistycy dla Aglomeracji Wałbrzyskiej” – w siedzibie Uczelni, w Wałbrzychu (22 maja 2024 r.). Wśród naszych Autorów są przedstawiciele pięciu uczelni: Politechniki Wrocławskiej (Wydziału Mechanicznego), Politechniki Poznańskiej (Wydziału Inżynierii Mechanicznej), Politechniki Koszalińskiej (Wydziału Nauk Ekonomicznych i Szkoły Doktorskiej), Uniwersytetu Morskiego w Gdyni (Wydziału Nawigacyjnego – Koła Naukowego Innowacyjnych Systemów Transportowo-Logistycznych), a także ANS AS.

Pierwsza część monografii – *Logistyka 4.0 – wyzwania techniczne i społeczne* – koncentruje się na analizie wpływu nowoczesnych technologii na organizację i funkcjonowanie procesów logistycznych. Autorki Weronika Marchewka i Joanna Cierzniewska zwracają uwagę na problematykę zastosowania sztucznej inteligencji w logistyce, wskazując na najnowsze trendy towarzyszące erze Przemysłu 4.0. Z kolei Katarzyna Poliksha prezentuje nowoczesne rozwiązania wdrażane w stacjonarnym handlu detalicznym, ukazując możliwości integracji innowacji technologicznych z potrzebami klientów. Na społecznych wyzwaniach logistyki skupili się natomiast Alicja Rzepecka, Karolina Paluszek oraz Patryk Bieszczad, którzy opisali koncepcję wykorzystania robotów w opiece nad pacjentami szpitali dziecięcych. Autorzy zaproponowali perspektywiczne rozwiązania wspierające logistykę medyczną. Część pierwszą publikacji zamyka tekst Barbary Piesiak i Sylwii Werbińskiej-Wojciechowskiej, które dokonały oceny wybranych hal magazynowych pod kątem optymalnego projektowania powierzchni użytkowych, uwzględniając aspekty zarówno funkcjonalne, jak i ergonomiczne. W drugiej części opracowania – *Zrównoważony rozwój w lo-*

w logistyce – przedstawiono zagadnienia związane z ekologicznym wymiarem branży, uwzględniając potrzeby współczesnego świata i konieczności ochrony środowiska. W pierwszym opracowaniu tej części Patrycja Boratyńska dokonała analizy wyzwań zrównoważonego transportu morskiego w kontekście troski o środowisko naturalne. W tym kontekście Weronika Zimny i Władysław Liashuk przedstawili studium przypadku dotyczące alternatywnych źródeł napędu statków na trasie Szwecja–Polska, ukazując ich potencjał w zakresie wdrażania zasad zrównoważonego rozwoju. Niejako podsumowaniem tej części książki jest tekst Szymona Ługiewicza oraz Pawła Wierzbickiego, którzy zaprezentowali rolę symulacji w przewidywaniu skutków działalności logistycznej dla naszej planety. Autorzy podkreślili przy tym znaczenie praktycznego wykorzystywania narzędzi analitycznych w planowaniu strategicznym. Ostatnia część monografii – *Młodzi logistycy dla Aglomeracji Wałbrzyskiej* – to dwa opracowania dotyczące lokalnych inicjatyw badawczych, wspierających rozwój regionu. Weronika Pankowska zaprezentowała koncepcję monitorowania nielegalnych wysypisk odpadów na terenie Wałbrzycha, wskazując na potrzebę zastosowania rozwiązań logistycznych w ochronie środowiska miejskiego. Natomiast Katarzyna Poliksha zaproponowała ekologiczne rozwiązania modernizacji przystanków autobusowych w Wałbrzychu, które mogą pozytywnie wpłynąć na estetykę i funkcjonalność przestrzeni publicznej, kładąc nacisk na jakość i komfort podróży transportem publicznym.

Podsumowując, należy stwierdzić, że celem badań, których wyniki zaprezentowano w niniejszej pracy zbiorowej, było nie tylko pogłębienie wiedzy naukowej w obszarze logistyki, lecz również wskazanie praktycznych zastosowań proponowanych rozwiązań. Pragniemy, aby wyniki te stały się użyteczne w kontekście poznawczym i utylitarnym – by były wykorzystywane przez zarówno podmioty prywatne, jak i instytucje publiczne.

Jako opiekunka Koła Naukowego Młodych Logistyków „Just in Time” oraz redaktorka niniejszej monografii wyrażam nadzieję, że prezentowane w publikacji opracowania będą dla Czytelników źródłem nie tylko wiedzy, ale także cennych poznawczych i aplikacyjnych inspiracji.

Wszystkich zainteresowanych tematyką zachęcam w imieniu swoim oraz Autorów do prowadzenia dalszych, pogłębionych badań w zaproponowanych obszarach. Działania te mogą przyczynić się nie tylko do rozwoju kompetencji samych badaczy, ale także do korzystnych zmian w naszym otoczeniu. Zachęcamy do refleksji na ważne społecznie i technicznie tematy oraz ciągłego poszukiwania rozwiązań doskonałych.

Niech ciekawość i aktywność badawcza stanie się impulsem do nowych prac oraz wdrażania wartościowych rozwiązań w praktyce – na użytek nas wszystkich.

dr hab. Beata Detyna, prof. uczelni

CZĘŚĆ I

Logistyka 4.0 – wyzwania techniczne i społeczne

Trendy w zastosowaniach sztucznej inteligencji w logistyce w erze Przemysłu 4.0

Weronika Marchewka

Politechnika Poznańska

e-mail: veronika.marchewka@student.put.poznan.pl

Joanna Cierzniewska

Politechnika Poznańska

e-mail: joanna.cierzniewska@student.put.poznan.pl

© 2025 Weronika Marchewka, Joanna Cierzniewska

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe (CC BY 4.0).

Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cytuj jako: Marchewka, W., Cierzniewska, J. (2025). Trendy w zastosowaniach sztucznej inteligencji w logistyce w erze Przemysłu 4.0. W: B. Detyna (red.). *Młodzi logistycy w nauce. Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa nr 7/2025* (s. 10–20). Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

DOI: [10.71433/2025.96.3.01](https://doi.org/10.71433/2025.96.3.01)

JEL Classification: O33

■ **Streszczenie:** Ciągły rozwój nowych technologii Przemysłu 4.0 powoduje zwiększenie możliwości ich zastosowania w wielu gałęziach przemysłu. Współcześnie realizacja procesów logistycznych wymaga automatyzacji oraz wykorzystania sztucznej inteligencji w celu osiągnięcia najlepszych efektów. Do innych obecnych zastosowań technologii Przemysłu 4.0 w logistyce należą m.in. Internet rzeczy, *Big Data* czy automatyzacja. Obecnie wiele zastosowań tych narzędzi obserwuje się w transporcie, magazynowaniu czy dystrybucji. Celem artykułu była identyfikacja i analiza istniejących trendów w zastosowaniu sztucznej inteligencji w logistyce z wykorzystaniem analizy bibliometrycznej. Badania prowadzono przez wykorzystanie analizy bibliometrycznej 122 publikacji naukowych z bazy wyszukiwań Scopus w środowisku Biblioshiny. W pierwszej kolejności dokonano wyboru bazy wyszukiwań Scopus, następnie skupiono się na wyborze słów kluczowych oraz ograniczeń bazy, ostatecznie wygenerowano wybrane diagramy w środowisku Biblioshiny i przeprowadzono analizę wyników. Hasła, które najczęściej pojawiały się w publikacjach, wskazywały na zastosowania sztucznej inteligencji w logistyce odnoszące się do aspektów procesu podejmowania decyzji i wsparcia ich podejmowania w łańcuchu dostaw. Sztuczna inteligencja okazuje się istotnym zagadnieniem w obszarze realizacji procesów logistycznych. Jej zastosowania odnoszą się do aspektów regresji liniowej, drzew decyzyjnych, łańcuchów dostaw czy nauczania maszynowego. Dalsze badania mogą dotyczyć kwestii zbadania zwiększonej efektywności procesów logistycznych po zastosowaniu technologii Przemysłu 4.0, a w szczególności sztucznej inteligencji.

■ **Słowa kluczowe:** Przemysł 4.0, czwarta rewolucja przemysłowa, logistyka, sztuczna inteligencja

1. Wstęp

Po trzeciej erze przemysłowej naukowcy zauważyli, że ówczesna rewolucja przemysłowa nie nadążała za obowiązującymi trendami i postępem technologicznym, co było przesłanką do czwartej rewolucji przemysłowej, kojarzonej z ideą Przemysłu 4.0 (Torbacki, 2018, s. 751–755). Stajemy w związku z tym przed koniecznością znaczącej transformacji zachodzących procesów. Ten proces zmian nazywany jest *Industry 4.0*, reindustrializacją lub zaawansowaną produkcją. Wszystkie wymienione terminy opisują procesy produkcyjne kolejnej generacji, które, oparte na kombinacji technologii komunikacyjnych, oprogramowania i czujników, mają za zadanie połączyć cyfrowy (wirtualny) i rzeczywisty świat (Woliński, 2016, s. 173).

Era przemysłu 4.0 przyniosła rewolucję w sposobach zarządzania i działania przedsiębiorstw. Dzięki coraz szerszemu zastosowaniu sztucznej inteligencji (SI, ang. *Artificial Intelligence* – AI) logistyka stała się bardziej efektywna, adaptacyjna i bardziej zorientowana na klienta niż kiedykolwiek wcześniej. SI to zbiór algorytmów i modeli matematycznych, które zostały stworzone na wzór ludzkiego mózgu. Wraz z technologicznym rozwojem pojawiły się nowe trendy i liczne wyzwania kształtujące obecne i przyszłe kierunki rozwoju tego sektora (Torbacki, 2018, s. 751–755). Sztuczna inteligencja odgrywa kluczową rolę w implementacji Przemysłu 4.0. W miarę postępu technologicznego AI staje się coraz bardziej zaawansowana i znacząco wpływa na sposób, w jaki ludzie pracują i funkcjonują (Kuzior i Kwilinski, 2022, s. 109–115).

Wykorzystanie sztucznej inteligencji w logistyce jest coraz bardziej popularne. Ma ono na celu optymalizację procesów logistycznych i ułatwienie pracy zatrudnionym (Brzeziński, 2002, s. 9–11).

Ciągły rozwój technologiczny to również nowe rozwiązania. W logistyce obserwuje się coraz częstsze wykorzystanie SI oraz obserwuje się poszukiwanie nowych dróg rozwoju jej użycia na każdym etapie procesu logistycznego. Ze względu na intensywny rozwój i rosnącą popularność jej stosowania naukowcy z całego świata obserwują trendy i wyzwania związane z tym zagadnieniem (Maternowska, 2019, s. 64–70).

Celem tekstu jest analiza trendów występujących w pracach badawczych na temat zastosowania sztucznej inteligencji w logistyce w erze Przemysłu 4.0 z wykorzystaniem analizy bibliometrycznej. Wielostronny zakres terminu SI pozwala na szeroką analizę powiązań w literaturze.

2. Przegląd literaturowy

Współcześnie obserwuje się występowanie megatrendów, czyli pojęć i zagadnień zmieniających funkcjonowanie podmiotów gospodarczych, sposób konkurencyjności, wyznaczających kierunki lub tendencje globalne. Do takich megatrendów można zaliczyć (Bujak, 2017, s. 1338–1339):

- rewolucję technologiczną związaną z obszarem teleinformatyki,
- informatyzację, *Cloud Computing*, Internet, *Big Data*,
- technologie proekologiczne,
- druk 3D,
- zmiany i innowacje z zakresu inżynierii materiałowej,

- automatyzację i robotyzację,
- zmniejszanie wielkości zasobów.

Warto również zwrócić uwagę na inne kwestie kojarzone z technologiami Przemysłu 4.0, odnoszące się do możliwości ich zastosowań w aspektach logistycznych. Są to: Internet rzeczy (IoT), sztuczna inteligencja, automatyzacja, analityka dużych zbiorów danych czy chmura obliczeniowa (Bogołębska i Bogołębski, 2020, s. 7–11).

Internet rzeczy

Pojęcie Internetu rzeczy bazuje na trzech zadaniach: „umożliwić identyfikację siebie, zapewnić komunikację i współdziałać” (Smarzyńska i Stanisławska, 2019, s. 268). Wskazuje to na fakt, że wszystkie obiekty możliwe do przedstawienia mają zdolność do wzajemnej komunikacji oraz wzajemnego oddziaływania. Taką formę prezentacji definicji Internetu rzeczy można powiązać ze współczesnymi wyzwaniami transportu ładunków.

Obecnie oczekuje się, że transport będzie szybki, elastyczny w działaniu, zdolny do działania przewencyjnego, reagujący na zmiany rynkowe i przeobrażenia otoczenia, a także gotowy na wdrożenie nowoczesnych technologii (Smarzyńska i Stanisławska, 2019, s. 268–269). Autorki publikacji (Smarzyńska i Stanisławska, 2019, s. 269–271) podają kilka przykładów zastosowań Internetu rzeczy w transporcie, wymieniając:

1. Przedsiębiorstwo GE Transportation, zajmujące się produkcją sprzętu dla branży kolejowej, morskiej, górniczej oraz energetycznej, które zaczęło wdrażać do lokomotyw czujniki umożliwiające gromadzenie danych na temat zużycia paliwa. Następnie, za pomocą specjalistycznego oprogramowania, zebrane informacje w czasie rzeczywistym są przetwarzane, co przekłada się na zapewnienie niezawodności lokomotyw.
2. Producenta opon klasy premium Continental, który wprowadził na rynek czujniki ContiPressureCheck. Dzięki temu rozwiązaniu można monitorować w czasie rzeczywistym parametry opony (ciśnienie i temperatura), zapewniając bezpieczeństwo jazdy i niezawodność całej floty.
3. Przedsiębiorstwo Maersk, wykorzystujące Internet rzeczy do kontrolowania trasy, jaką przebywa kontener w czasie rzeczywistym. Dodatkowo dzięki IoT dostarczane są informacje na temat czasu wysyłki czy zgodności destynacji z miejscem docelowym.

Innym terminem w kontekście Przemysłu 4.0 i powiązanych technologii stał się wspomniany już Internet rzeczy (*Internet of Things*). W publikacji na temat *Blockchain* (Bodkhe i in., 2023, s. 10–11) wskazuje się na potencjał jego zastosowania.

Według autora pracy (Trzop, 2018, s. 140–142) *Blockchain* to technologia, w której zakłada się, że w danej sieci nie występują centralne komputery czy inne systemy weryfikujące transakcje, a każdy uczestnik może dodać operację weryfikowaną w dalszych krokach przez pozostałych członków sieci. Operacje te są rejestrowane na tak zwanych blokach, a na jednym bloku przechowywane są informacje o ściśle ustalonej liczbie transakcji. Po wypełnieniu jednego bloku tworzy się kolejny blok. Dodatkowo każdy uczestnik ma przypisaną do swojego portfela parę kluczy: prywatny oraz publiczny.

W wielu organizacjach łańcucha dostaw coraz częściej stosuje się technologie Internetu rzeczy, np. system RFID (*Radio Frequency Identifications*), w celu dostarczania dóbr o jak najlepszej jakości. Wiąże się to z wieloma potencjalnymi trudnościami, takimi jak: zapewnienie integralności danych, brak ich przejrzystości, kwestie manipulacji i występowania awarii. W celu rozwiązania tych problemów wykorzystuje się technologię *Blockchain*.

Na omawianej technologii bazuje *Hazard Analysis and Critical Control Points* (HACCP), rozwiązanie stosowane w branży spożywczej, pozwalające sprawdzić, czy informacje dzielone między uczestników łańcucha dostaw są wiarygodne. Umożliwia ono śledzenie informacji o żywności w czasie rzeczywistym przez wszystkich członków łańcucha dostaw. Warto wskazać takie cechy HACCP, jak: niezawodność, otwartość, neutralność, bezpieczeństwo i przejrzystość.

Innym przykładem jest start-up Tomcar, który zajmuje się wytwarzaniem samochodów terenowych. Za pomocą specjalnej platformy z transakcjami w bitcoinach opłaca on trzech dostawców i umożliwia uregulowanie należności przez zainteresowanych klientów. Cena pojazdu wyliczana jest na podstawie wartości bitcoina. Dzięki temu można uniknąć ryzyka związanego z wahaniami kursów walut.

Na podstawie przedstawionych faktów można stwierdzić, że Internet rzeczy pełni ważną funkcję w logistyce przyszłości, bowiem dzięki obserwacji zdarzeń w czasie rzeczywistym umożliwia odpowiednie reagowanie na nagłe sytuacje i daje dostęp do istotnych danych.

Sztuczna inteligencja

Podstawę działania sztucznej inteligencji stanowią dane, które są analizowane i wykorzystywane na przykład w celu realizacji procesów oraz planowania (Nowik, 2018, s. 64–70). Zastosowania sztucznej inteligencji mogą być szczególnie przydatne w zarządzaniu zapasami, bowiem współcześnie dąży się do minimalizacji zapasów w celu zmniejszania kosztów.

Okazuje się, że matematyczne modele oparte na ekonomicznej wielkości dostawy mogą nie być wystarczające, niezbędne jest zatem stosowanie systemu eksperckiego wykorzystującego sztuczną inteligencję. Przykładem jest system Inventory Management Assistant (IMA) wspierający US Air Force Logistics Command. Miał on na celu efektywne uzupełnienie różnych typów części zamiennych oraz redukcję kosztów zapasu bezpieczeństwa. Dzięki niemu podniesiono efektywność zarządzania zapasami o 8-18% (Min, 2010, s. 16–17).

Szczególnie interesujące ze względu na popularyzację chatbota GPT (*Generative Pre-trained Transformer*) wydaje się stosowanie tego typu technologii do wsparcia realizacji usług logistycznych. W publikacji (Wappa, 2011, s. 109–121) wskazano obszary, w których mogą być wykorzystywane chatboty. Są one związane z:

- identyfikowaniem środków transportu,
- określaniem przestrzeni zajmowanej przez ładunki,
- harmonogramowaniem w obszarze dystrybucji,
- promowaniem usług logistycznych.

Warto także podać przykład zastosowania i wdrożenia wirtualnego doradcy w firmie InPost, w której utworzono dwóch wirtualnych doradców dla klientów firmy, którym nadano ruchy i ge-

sty typowe dla człowieka oraz imiona: Adam i Ania. W oknie można dokonać wyboru, z którym z doradców klient chce wejść w interakcję. Poprzez rozmowę z konsultantem można uzyskać informacje na temat:

- paczkomatów 24/7,
- liczby skrzytek w danym paczkomacie 24/7,
- gabarytów przesyłek, jakie można wysłać,
- zasad działania paczkomatów 24/7,
- nadawania paczek.

Istotnym i jednocześnie ciekawym zagadnieniem w kontekście sztucznej inteligencji są zastosowania sztucznych sieci neuronowych (SSN). W jednym z artykułów (Józwiak i Świdorski, 2017, s. 107–108) potwierdzono możliwość wykorzystania SSN do dokonywania oceny usług transportowych. Na podstawie danych historycznych sieć neuronowa umożliwiła podejmowanie decyzji czy generowanie oceny z eksploatacji.

Współcześnie sztuczna inteligencja znajduje zastosowanie również w branży logistycznej. Przykłady zaprezentowane przez autora niniejszego tekstu obrazują kwestie istotne w tematyce sztucznej inteligencji oraz logistyki.

Big Data

Big Data odnosi się do zbiorów danych o dużej wielkości i złożoności, do których przetwarzania niezbędne jest wykorzystanie nowych technologii, takich jak sztuczna inteligencja. Dane zebrane są z wielu różnych źródeł (Torbacki, 2018, s. 751–755). Często są to dane tej samej kategorii, na przykład dane GPS z publicznych środków transportu pozwalają wybrać najszybsze rozwiązanie, uwzględniając występujące opóźnienie. W dzisiejszych czasach *Big Data* jest wykorzystywane w każdej dziedzinie przemysłu na świecie i jest ściśle powiązane z zastosowaniem sztucznej inteligencji. Sohn i Hyunjong prezentują sposoby wykorzystania i analizy w funkcjonowaniu przemysłu (Sohn i Hyunjong, 2016, s. 61–68).

W logistyce *Big Data* znalazło zastosowanie głównie jako wsparcie w opracowaniu nowych strategii w celu optymalizacji procesów logistycznych. Za pomocą ciągłej analizy danych generowanych każdego dnia w magazynie następuje szybsze znalezienie elementów wymagających poprawy i podejmowane są lepsze, oparte na danych decyzje. *Big Data* wykorzystywane jest głównie w łańcuchu dostaw. Z publikacji Nowik (2018, s. 61–68) wynika, że dalszy rozwój tej technologii może się znacznie przyczynić do rozwoju łańcuchów dostaw i ogniw w nich funkcjonujących.

Automatyzacja

Automatyzacja to proces zastępowania pracy fizycznej i umysłowej przez pracę specjalnie skonstruowanych maszyn, które są w większości autonomiczne. Jest to kolejny po mechanizacji etap rozwoju technologicznego, wpływający na polepszenie wyników i skrócenie czasu pracy i jednocześnie generowanie niższych kosztów w przedsiębiorstwie (Parlament Europejski, b.d.).

Automatyzacja w logistyce polega na wprowadzeniu automatycznych systemów składowania, magazynowania i transportu niewymagających pracy człowieka bądź minimalizujących nakład jego pracy. Wpływa również na optymalizację procesów logistycznych zachodzących wewnątrz i na zewnątrz magazynu (Smarzyńska i Stanisławska, 2019, s. 268–271).

Ciągły rozwój nowych technologii jest ściśle powiązany z poszerzeniem możliwości wykorzystania automatycznych rozwiązań w logistyce. Autonomiczne magazyny, wózki samojezdne czy autonomiczne roboty zastępujące pracę ludzką stanowią jedynie przykładowe sposoby użycia nowych technologii w procesach logistycznych (Bujak, 2017, s. 1338–1339).

Automatyzacja logistyki, czyli zastąpienie manualnej obsługi zrobotyzowanymi urządzeniami i autonomicznymi systemami zarządzania, daje liczne korzyści: zwiększenie bezpieczeństwa, zmniejszenie kosztów, optymalizację procesów oraz stałą kontrolę (Woliński, 2016, s. 173). Coraz większe wymagania klientów sprawiają, że automatyzacja ze względu na usprawnienia procesów jest coraz częściej wprowadzana i wykorzystywana na każdym etapie cyklu życia produktu. Trzop (2020, s. 233–247) prezentuje stopniowe trendy i zmiany pojawiające się w obszarze logistyki.

3. Metodyka badawcza

W celu przeprowadzenia badania zastosowano analizę bibliometryczną. Jest to scjentryczna metodologia badawcza, obejmująca książki i inne metody komunikacji, wykorzystujące matematyczne i statystyczne podejście do opisu, oceny i monitorowania opublikowanych badań.

Wybór bazy wyszukiwań

W pierwszym kroku wybrano odpowiednią bazę wiedzy dla wyszukiwań dotyczących sztucznej inteligencji i logistyki. Zdecydowano się na Scopus – jedną z największych baz danych naukowych, zawierającą informacje na temat badań naukowych, publikacji naukowych oraz autorów. Jej zakres tematyczny obejmuje wiele dziedzin naukowych, wśród których są m.in.: nauki społeczne, przyrodnicze, inżynieryjne, medyczne czy artystyczne. Zawiera ona również informacje na temat artykułów naukowych, konferencji naukowych, raportów, recenzji czy książek z całego świata, co pozwala na analizę źródeł w skali globalnej (Scopus, b.d.).

Wybór słów kluczowych i ograniczeń bazy

Kolejnym etapem był wybór słów odpowiadających tematowi logistyki, sztucznej inteligencji i Przemysłu 4.0. Wyszukiwania pochodzą z lat 2020-2024, co jest uwarunkowane dużą zmiennością tematyki dotyczącej sztucznej inteligencji w ujęciu globalnym, wynikającą z pojawiania się nowych technologii i ich zastosowań. Z bazy wykluczono książki, konferencje, recenzje, a język wyszukiwania ograniczono do angielskiego. Wybór słów kluczowych pochodzi z zakresu Przemysłu 4.0, procesów logistycznych oraz sztucznej inteligencji. Dodatkowo zawężono wyniki wyłącznie do artykułów ze statusem *open access*. Wybrano następujące słowa kluczowe: *industry 4.0*, *artificial intelligence*, *logistics*.

Generowanie diagramów i analiza

W badaniu wykorzystano oprogramowanie Biblishiny zbudowane w języku programowania R służącym do obliczeń statystycznych i grafiki. Oprogramowanie pozwala przeprowadzić pełną analizę bibliometryczną z wykorzystaniem wizualizacji w postaci map. W celu wygenerowania wizualizacji należy pobrać dane w odpowiednim formacie z wybranej bazy wiedzy, przesać dane za pomocą odpowiedniego panelu w Biblishiny, a następnie przystąpić do generowania analizowanych danych w formie graficznej.

4. Wyniki badań

Zestawienie na rysunku 1 prezentuje podstawowe informacje na temat analizowanej grupy 122 artykułów. Brano pod uwagę publikacje z lat 2020-2024 w celu zagwarantowania najnowszych danych dotyczących Przemysłu 4.0, będącego zagadnieniem, które ulega ciągłym zmianom. Artykuły pochodzą z 75 różnych źródeł i zostały opracowane przez 430 autorów, z których 12 napisało publikacje indywidualnie. Na podstawie informacji o rocznym wzroście liczby publikacji można stwierdzić, że występuje tendencja spadkowa ze względu na przeciwny znak wartości $-55,71\%$. Trend malejący może wynikać z braku publikacji w roku 2024. W $31,15\%$ artykułów występuje współpraca autorów z różnych krajów. Średnio na jeden artykuł przypada 3,62 autora, 12,3 cytowań, a średni wiek artykułu to 1,42 roku. Łącznie we wszystkich artykułach wystąpiło 490 słów kluczowych, zaś artykuły były cytowane łącznie 5954 razy.



Rys. 1. Zestawienie danych podstawowych na temat bazy artykułów

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem oprogramowania Biblishiny.

Grafika na rysunku 2 przedstawia diagram chmurowy zestawiający najczęściej występujące słowa i tematy występujące w analizowanej grupie artykułów. Najczęściej pojawiającym się sformułowaniem jest *artificial intelligence* – sztuczna inteligencja. Można zauważyć, że w tematyce logistyki oraz Przemysłu 4.0 kluczowe są zastosowania sztucznej inteligencji. Widoczne jest to również w związku z popularyzacją narzędzi typu chatbot w ostatnich latach,

które to narzędzia zaczynają mieć zastosowanie także w życiu codziennym. Wyróżniającymi się kategoriami są dodatkowo:

- *logistic regression*,
- *industry 4.0*,
- *supply chains* – łańcuchy dostaw,
- *decision trees* – drzewa decyzyjne,
- *decision support systems* – systemy wsparcia podejmowania decyzji,
- *machine learning* – nauczanie maszynowe.



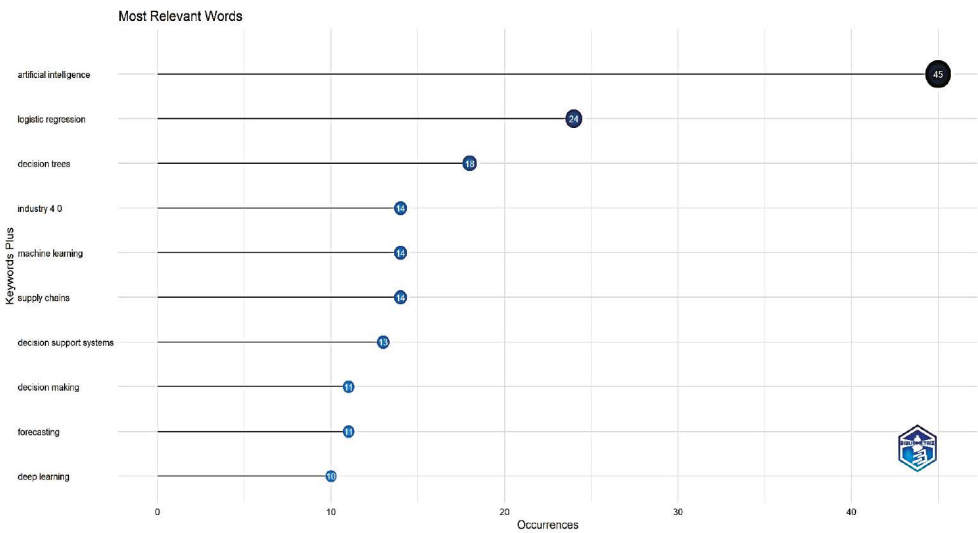
Rys. 2. Diagram „chmura” najczęściej występujących słów

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem oprogramowania Biblioshiny.

Zaobserwowano, że zastosowania sztucznej inteligencji w logistyce odnoszą się do podejmowania decyzji i wsparcia tego procesu w łańcuchu dostaw.

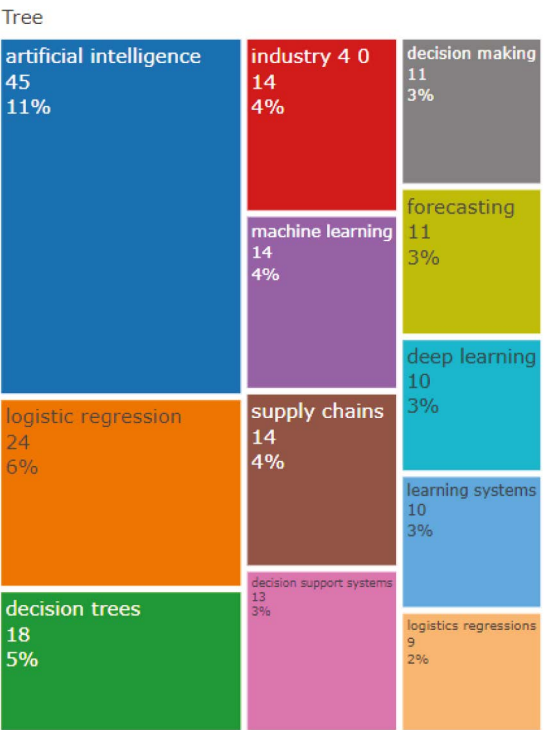
Z rysunku 3 wynika, że znaczącą przewagę nad pozostałymi hasłami ma *artificial intelligence*, występując 45 razy w artykułach. Na drugim miejscu znalazło się *logistic regression* z wynikiem 24, z kolei trzecim najbardziej istotnym hasłem jest *decision trees*, występujące 16 razy. Wokół podobnych wartości oscylują pozostałe kategorie:

- *industry 4.0*,
- *machine learning*,
- *supply chains*,
- *decision support systems*,
- *decision making*,
- *forecasting*,
- *deep learning*.



Rys. 3. Wykres najbardziej istotnych słów kluczowych w zależności od częstotliwości ich występowania

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem oprogramowania Biblioshiny.



Rys. 4. Diagram „drzewo” najczęściej występujących słów

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem oprogramowania Biblioshiny.

W przypadku rysunku 4 wyniki zawierają więcej kategorii i są rozszerzeniem wykresu z rysunku 3. Przedstawiają liczbę wystąpień danych hasła w artykułach i udział procentowy.

5. Podsumowanie

Celem niniejszego tekstu była analiza trendów istniejących w pracach badawczych na temat zastosowania sztucznej inteligencji w logistyce w erze Przemysłu 4.0 z wykorzystaniem analizy bibliometrycznej. Badanie było istotne ze względu na to, że opisywana technologia, tj. Internet rzeczy, *Big Data*, sztuczna inteligencja, powstała w ostatnich 20 latach i została spopularyzowana, co wywołało potrzebę zweryfikowania trendów technologicznych w logistyce, skupiając się szczególnie na sztucznej inteligencji. Wyniki badań potwierdzają, że z hasłem „sztuczna inteligencja” powiązane są kwestie odnoszące się do regresji logistycznej, drzew decyzyjnych, systemów wspierających podejmowanie decyzji, nauczania maszynowego (rys. 1).

Dodatkowo w sposób ilościowy przedstawiono częstotliwość występowania tego hasła w wybranych publikacjach. W ten sposób wykazano wysokie zainteresowanie sztuczną inteligencją (45), regresją logistyczną (24), drzewami decyzyjnymi (18), Przemysłem 4.0 (14), nauczaniem maszynowym (14) czy łańcuchami dostaw (14).

Bibliografia

- Bodkhe, U. i in. (2023). Blockchain for Industry 4.0: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, (8), 10–11. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9069885>
- Bogołębska, J., Bogołębski, M. (2020). *Znaczenie nowoczesnych technologii dla konkurencyjności przedsiębiorstw prowadzących gospodarkę magazynową*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Brzeziński, M. (2002). *Organizacja i sterowanie produkcją. Projektowanie systemów produkcyjnych i procesów sterowania produkcją*. Agencja Wydawnicza „Placet”.
- Bujak, A. (2017). Rewolucja Przemysłowa - 4.0” i jej wpływ na logistykę XXI wieku. *Autobusy: Technika, Eksploatacja Systemy Transportowe*, 18(6), 1338–1339.
- Jóźwiak, A., Świdorski, A. (2017). Algorytmy sztucznej inteligencji w logistyce. *WUT Journal of Transportation Engineering*, (117), 107–108.
- Kuzior, A., Kwilinski, A. (2022). Cognitive Technologies and Artificial Intelligence in Social Perception. *Management Systems in Production Engineering*, (2), 109–115.
- Maternowska, M. (2019). Nowe technologie i ich wpływ na łańcuchy dostaw. Sztuczna inteligencja. *Studia Ekonomiczne. Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach. Zarządzanie*, (20), 64–70.
- Min, H. (2010). Artificial Intelligence in Supply Chain Management: Theory and Applications. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 13(1), 16–17.
- Nowik, M. (2018). Big Data jako wsparcie w zarządzaniu łańcuchami dostaw. *Ekonomika i Organizacja Logistyki*, 3(3), 61–70.
- Parlament Europejski. (b.d.). *Big data: Definicja, korzyści, wyzwania (infografika)*. Pobrano 12 grudnia 2023 z <https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20210211ST097614/big-data-definicja-ko-rzysci-wyzwania-infografika>
- Scopus. (b.d.). *Scopus preview – Welcome to Scopus*. Pobrano 12 grudnia 2023 z <https://www.scopus.com/home.urihttps://www.scopus.com/home.uri>

- Smarzyńska, N., Stanisławska, K. (2019). Kierunek rozwoju branży transportowej – Internet Rzeczy. *Journal of TransLogistics*, 5(15), 268–271.
- Sohn, I., Hyunjoung, L. (2016). *Big Data w przemyśle. Jak wykorzystać analizę danych do optymalizacji kosztów procesów*. PWN.
- Torbacki, W. (2018). Transformacja logistyki w dobie koncepcji Przemysł 4.0. *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, (6), 751–755.
- Trzop, A. (2018). Technologia Blockchain jako przyszłość łańcuchów dostaw. *Journal of TransLogistics*, 4(1), 140–142.
- Trzop, A. (2020). Przegląd rozwiązań z zakresu przemysłu 4.0 stosowanych w obszarze logistyki. *Zeszyty Politechniki Poznańskiej: Organizacja i Zarządzanie*, (81), 233–247.
- Wappa, P. (2011). Wykorzystanie metod sztucznej inteligencji w logistyce. *Economy and Management*, (4), 109–121.
- Woliński, B. (2016). Koncepcja Industry 4.0 jako strategia reindustrializacji i wdrożenia procesów produkcyjnych kolejnej generacji. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, (308), 173–179.

Trends in the Applications of Artificial Intelligence in Logistics in the Era of Industry 4.0

■ **Abstract:** The continuous development of new Industry 4.0 technologies has led to increased possibilities for their application across various industries. Currently, the realization of logistic processes requires automation and the utilization of artificial intelligence to achieve optimal results. Among other current applications of Industry 4.0 technologies in logistics are the Internet of Things, Big Data, and automation. Presently, many applications of these tools are observed in transportation, warehousing, and distribution. The aim of the article was to identify and analyze existing trends in the application of artificial intelligence in logistics using bibliometric analysis. The research was conducted by utilizing bibliometric analysis of 122 scientific publications from the Scopus database within the Biblioshiny environment. Initially, the Scopus search database was selected, followed by focusing on keyword selection and database limitations. Finally, selected diagrams were generated in the Biblioshiny environment and results analysis was conducted. The keywords that appeared most frequently in the publications indicated the applications of artificial intelligence in logistics, particularly concerning decision-making processes and supporting decision-making within the supply chain. Artificial intelligence proves to be a significant factor in the area of logistics process realization. Its applications pertain to aspects such as linear regression, decision trees, supply chains, and machine learning. Further research could focus on examining the increased efficiency of logistic processes following the implementation of Industry 4.0 technologies, particularly artificial intelligence.

■ **Keywords:** Industry 4.0, fourth industrial revolution, logistics, artificial intelligence

Nowoczesne rozwiązania w stacjonarnym handlu detalicznym

Katarzyna Poliksza

Akademia Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa, Uniwersytet Wrocławski

e-mail: polikszakatarzyna@gmail.com

© 2025 Katarzyna Poliksza

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe (CC BY 4.0).

Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cytuj jako: Poliksza, K. (2025). Nowoczesne rozwiązania w stacjonarnym handlu detalicznym. W: B. Detyna (red.). *Młodzi logiści w nauce. Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa nr 7/2025* (s. 21–28). Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

DOI: [10.71433/2025.96.3.02](https://doi.org/10.71433/2025.96.3.02)

JEL Classification: L81, L83

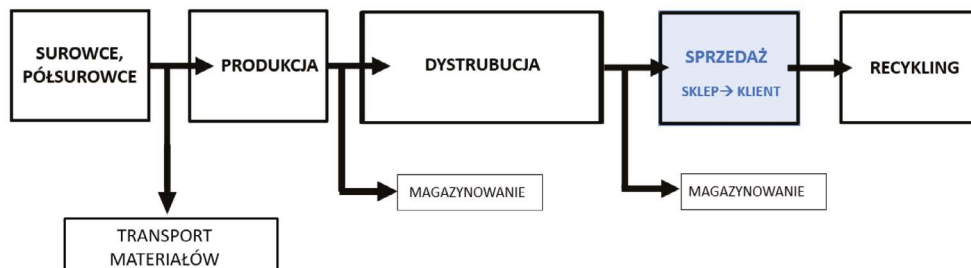
■ **Streszczenie:** Sprzedaż znajdująca się w mapie łańcucha logistycznego polega na kontakcie bezpośrednim z klientem. Handel można podzielić na hurtowy i detaliczny. Handel detaliczny prowadzą sklepy online (np. *e-commerce*) i stacjonarne. Główne cele badań stanowią wskazanie i analiza nowoczesnych rozwiązań przyczyniających się do skrócenia czasu przeznaczonego na etap finalizacji zakupów. Badanym problemem jest czas oczekiwania na dokonanie płatności za zakupy przez klientów w detalicznych sklepach stacjonarnych, podmiotem badań są natomiast klienci tych sklepów. Hipoteza zakłada, że czas oczekiwania na finalizację zakupów jest zbyt długi i można go zmniejszyć przez wdrożenie nowoczesnych rozwiązań. Zastosowaną metodyką badawczą jest przegląd literatury – analiza publikacji naukowych (książkowych oraz czasopism), stron www oraz portali internetowych, analiza porównawcza stosowanych rozwiązań na rynku oraz ich roli w cyklu realizacji sprzedaży, a także badanie ankietowe. Z informacji zebranych w badaniu ankietowym wyciągnięto następujące wnioski: konsumenci, chcąc zapłacić gotówką, są zmuszeni wybierać tradycyjne kasy fiskalne, a proces dokonywania płatności za zakupy w tradycyjnych kasach fiskalnych jest nawet 3 razy dłuższy niż w kasach samoobsługowych. Rozwiązania badanego problemu stanowią aplikacje na smartfony, roboty, technologie *AiFi*, *self checkout* w formie skanerów i *smart carts*.

■ **Słowa kluczowe:** handel detaliczny, sklepy stacjonarne, technologia *AiFi*, *smart carts*

1. Wstęp

Mapa łańcucha logistycznego rozpoczyna się od pozyskiwania surowców i półsurowców, które należy przetransportować na produkcję, gdzie zostaną one poddane obróbce. Gotowe produkty zostają magazynowane lub dystrybuowane do sprzedaży tak, aby ze sklepów mogły trafić do klientów. Ostatnim etapem jest recykling, następujący po zużyciu towaru i prowadzący do unieściewienia produktów lub ich obróbki w celu odzyskania elementów mogących ponownie służyć jako surowiec.

Niniejszy tekst będzie się opierać na procesie umiejscowionym na etapie sprzedaży, czyli na momencie, w którym klienci bezpośrednio mogą otrzymać towar ze sklepów stacjonarnych (rys. 1) (Baranau i Lisec, 2020, s. 53).



Rys. 1. Mapa łańcucha logistycznego

Źródło: opracowanie własne.

Handel jest kluczowym elementem definiującym wszystkie dziedziny ekonomii, a także koncentrującym się na działaniach gospodarki. W każdej sferze życia społecznego konieczne jest oparcie decyzji na jasno określonym celu przedsięwzięcia. Trafne określenie celu jest niezbędne do utrzymania zgodności między potrzebami a działaniami ludzkimi. To stanowi pierwszy warunek efektywnego zarządzania zasobami państwa (Szpaderski, 1968). Handel to wyodrębniona i wyspecjalizowana dziedzina gospodarki narodowej, w której dobra materialne są przesuwane ze sfery produkcji do sfery spożycia (Zakrzewski, 1989). Można go podzielić na hurtowy i detaliczny.

Hurt stanowi zakup dużych ilości towarów, ich niewielką obróbkę, np. sortowanie czy paczkowanie, a następnie ich odsprzedaż, najczęściej detalistom (*Biznes. Tom 9. Słownik pojęć ekonomicznych A-O*, 2007) za pomocą odpowiedniej sieci handlowej (Šmid, 2010). Handel hurtowy charakteryzuje się sprzedażą produktu w dużych ilościach (np. całe kartony, palety z kilkunastoma pojedynczymi produktami), zazwyczaj na potrzeby innych przedsiębiorstw detalicznych. Najważniejsze zadania handlu hurtowego to organizowanie przebiegów towarowych, wyrównanie dysproporcji towarowych, współpraca między producentami a detalistami oraz zaopatrzenie detalicznych sklepów (ABCGo, b.d.).



Rys. 2. Tradycyjny cykl realizacji sprzedaży w sklepach stacjonarnych

Źródło: opracowanie własne.

Handel detaliczny jest natomiast realizowany w niewielkich ilościach, na indywidualne potrzeby klientów. Sklepy detaliczne można dzielić na sklepy online (tzn. *e-commerce*) i stacjonarne. W tych drugich do obsługi klienta stosowane są tradycyjne kasy fiskalne. Coraz częściej pojawiają się w nich jednak kasy samoobsługowe, dzięki którym klient sam skanuje produkty i za nie płaci, posługując się kartą płatniczą.

Na cykl realizacji sprzedaży w sklepach stacjonarnych składają się następujące czynności: proces dotarcia konsumenta do sklepu stacjonarnego, wybór koszyka na produkty, ich umieszczenie w koszyku, oczekiwanie w kolejce do kasy, a także dokonanie płatności za produkty (rys. 2).

2. Cel pracy i metodyka badawcza

Głównym celem badań jest wskazanie i analiza nowoczesnych rozwiązań niwelujących problem długiego oczekiwania na finalizację zakupów, które to rozwiązania będą w stanie zwiększyć komfort konsumentów podczas dokonywania zakupów w detalicznych sklepach stacjonarnych. Podmiotem badań są ich klienci. Hipoteza zakłada, że czas oczekiwania na finalizację zakupów jest zbyt długi i można go zmniejszyć przez wdrożenie nowoczesnych rozwiązań.

Aby precyzyjnie przeanalizować badany problem, postawiono następujące pytania badawcze:

- Jakie są zakłócenia w finalizacji zakupów w sklepach stacjonarnych?
- Jak badany problem wpływa na klientów?
- Jak wygląda cykl realizacji sprzedaży w sklepach stacjonarnych?
- Jakie rozwiązania są stosowane do niwelacji badanego problemu?
- W jaki sposób proponowane rozwiązania mogą poprawić komfort konsumentów?

By na nie odpowiedzieć, posłużono się metodyką badawczą, którą stanowiły przegląd literatury – analiza publikacji naukowych (książkowych oraz czasopism), stron www oraz portali internetowych, analiza porównawcza stosowanych rozwiązań na rynku i ich roli w cyklu realizacji sprzedaży, a także badanie ankietowe.

3. Badanie ankietowe

Badanie ankietowe przeprowadzono przez formularze Google na próbie 50 respondentów w okresie od 13 maja do 17 listopada 2023 r.

Badanie ankietowe wykazało, iż:

- Badani najczęściej korzystają ze sklepów detalicznych, takich jak: Biedronka, Lidl, Żabka, Stokrotka.
- Respondenci częściej korzystają z kas tradycyjnych niż z kas samoobsługowych.
- Korzystając z kasy tradycyjnej, badani najczęściej płacą gotówką oraz do 15 minut czekają w kolejce w celu finalizacji zakupów.
- W kasie samoobsługowej oczekiwanie na dokonanie płatności trwa najczęściej do 5 minut.
- Większość badanych korzysta z aplikacji mobilnych sieci sklepów stacjonarnych w celach informacyjnych oraz promocyjnych.

- Respondentom zdarzało się zrezygnować z zakupów przez zbyt długi czas oczekiwania na dokonanie płatności za nie.

Informacje zebrane w badaniu ankietowym pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Konsumenci chcący zapłacić gotówką są zmuszeni wybierać kasy tradycyjne.
- W przypadku płatności w tradycyjnej kasie etap finalizacji zakupów jest nawet 3 razy dłuższy niż w kasie samoobsługowej.

4. Nowoczesne rozwiązania

4.1. Aplikacje na smartfon

Badanie ankietowe wskazało, iż 90% badanych korzysta z aplikacji sklepowych, jednak tylko w celu sprawdzania gazetek sklepowych lub poszukiwania promocji. Tymczasem aplikacje mają potencjał, którego klienci w pełni nie wykorzystują.

Prawie na każdej aplikacji smartfonowej wprowadzona została funkcja historii transakcji, pozwalająca na sprawdzanie rachunków. Przyszłościowym rozwiązaniem byłaby całkowita rezygnacja z fizycznych paragonów i zastąpienie ich elektroniczną wersją dostępną na smartfonach.

Kolejną funkcją aplikacji do obsługi sklepów stacjonarnych jest skaner kodów kresowych, którego zaletą jest to, że klient, będąc na zakupach, nie musi szukać czytnika do sprawdzenia ceny. To rozwiązanie pozwala na sprawdzenie cen przez nakierowanie aparatu w smartfonie na kod kreskowy produktu. Kolejną funkcją aplikacji sklepowych, rzadko spotykaną, jest sugerowana lokalizacja produktu w sklepie (Majchrzyk, b.d.).

Umieszczenie aplikacji na smartfona w cyklu realizacji sprzedaży niweluje takie problemy, jak:

- Poszukiwanie przez klientów produktów na półkach sklepowych przez możliwość skanowania kodów kresowych i wskazanie prawdopodobnej lokalizacji szukanego produktu.
- Konieczność wydrukowania w kasach potwierdzenia zapłaty – aplikacja umożliwia sprawdzenie przeszłych rachunków oraz eliminuje ich papierowe wersje.

4.2. Roboty

Rozwiązaniem coraz częściej pojawiającym się w sklepach stacjonarnych są roboty wskazujące klientowi lokalizację danego produktu, wyznaczające drogę do półki lub „eskortujące” klienta do miejsca składowania produktu. Dodatkowym atutem robotów jest ich funkcja marketingowa – okazuje się bowiem, że są one w stanie przyciągnąć klientów do sklepów stacjonarnych (Moliński, b.d.). Bardzo popularnym robotem w Polsce jest Kerfusz obsługujący klientów w sieci sklepów Carrefour.

Umieszczenie robotów w cyklu realizacji sprzedaży niweluje problem poszukiwania w sklepie produktów przez klienta przez wskazanie mu lokalizacji towaru i eskortowanie go do miejsca składowania poszukiwanego produktu. Należy także podkreślić skutek marketingowy ich wykorzystania – roboty zachęcają klientów do wizyty w sklepie i dokonania w nim zakupów.

4.3. Technologia AiFi

Technologia AiFi, czyli tak zwany bezobsługowy zakup, opiera się na wykorzystaniu kamer, komputerowej wizji i tzw. machine learningu do rozpoznawania zdjętych z półek produktów i automatycznym finalizowaniu płatności po wyjściu klienta ze sklepu. System nie identyfikuje klientów i nie zapamiętuje obrazu, co gwarantuje im zachowanie prywatności i bezpieczeństwo. Przy pierwszych zakupach w sklepach wykorzystujących tę technologię klient zostaje zweryfikowany przez numer telefonu i sms. Warunkiem wstępu do sklepu stosującego technologię AiFi jest posiadanie karty płatniczej, która – przyłożona do terminala – daje dostęp do wejścia. Klient wybiera produkt w sklepie, a system kamer go rozpoznaje, nalicza odpowiednią kwotę, po czym automatycznie finalizuje płatność za pomocą wykorzystanej przy wejściu do sklepu karty płatniczej (Żabka Group, b.d.).

Technologia AiFi niweluje konieczność oczekiwania klienta w kolejce do kasy, który podczas płacenia za zakupione produkty musi jedynie przyłożyć swoją kartę do terminalu przy wejściu. Jak już wspomniano, płatność za zakupy jest pobierana automatycznie, a potwierdzenie zapłaty jest wysyłane elektronicznie. Technologia AiFi wydaje się także atrakcyjna dla klientów przez swoją szybkość, co może ich zachęcać do dokonywania zakupów w sklepach ją stosujących.

4.4. Self checkout

Kolejne rozwiązanie badanego problemu stanowi *self checkout* w formie skanerów. Polega ono na tym, że klienci, wchodząc do sklepu, biorą skaner, którym skanują produkty, które chcą kupić. Po ich wybraniu konsumenci muszą się udać do kasy samoobsługowej, zeskanować skanerem kod tej kasy, który pozwoli na automatyczne zliczenie kwoty do zapłaty. W kasie samoobsługowej produktów nie trzeba ponownie skanować, a jedynie należy sfinalizować płatność i oddać skaner w wyznaczone miejsce.

Umieszczenie skanerów w cyklu realizacji sprzedaży skróci czas oczekiwania klienta w kolejce do kasy, a – jak dowiodło badanie ankietowe – ich wykorzystanie jest szybszą opcją dokonywania zakupów. Zeskanowane produkty są zliczane automatycznie, co przyspiesza proces dokonywania płatności za zakupione towary. Skanery są także atrakcyjne dla klientów przez swoją szybkość i mogą przyciągać klientów.

4.5. Smart carts

Smart carts, czyli inteligentne wózki sklepowe, to forma self checkoutu. Rozwiązanie polega na tym, że klient, przychodząc do sklepu, wybiera *smart cart*, która łączy się z jego kartą kredytową. Podczas zakupów wózek automatycznie weryfikuje wkładane do niego produkty, zatem ani personel, ani klient nie musi ich ręcznie skanować. *Smart cart* w przypadku produktów na wagę je waży, eliminując ręczne wykonywanie tej czynności na wagach sklepowych. Wózek weryfikuje nie tylko wkładane do niego produkty, ale także produkty z niego wyjmowane. Konsument cały czas kontroluje zawartość wózka, ponieważ przy jego rączkach znajduje się ekran podsumowujący zakupy. *Smart cart* potrafi również nawigować klienta po sklepie, na podstawie bazy danych wózka wskazując lokalizację danego produktu. Klient korzystający z narzędzia nie musi udawać się do

kasy – przez połączenie karty płatniczej z wózkiem zapłata odbywa się automatycznie przy wyjściu klienta ze sklepu i oddaniu wózka.

Smart carts niweluje wszystkie problemy pojawiające się w cyklu realizacji sprzedaży w sklepach stacjonarnych. Inteligentne wózki sklepowe wydają się atrakcyjne dla klientów przez szybkość dokonywania zakupów i wygodę. Wybór wózka jest ograniczony, co wynika z konieczności spełnienia innych wymagań. Największymi atutami *smart cart* jest to, że wózek wyszukuje lokalizacje poszukiwanych produktów, a także to, że rozwiązanie całkowicie eliminuje problem oczekiwania klienta w kolejce (płatność za zakupy jest realizowana równocześnie z wyjściem klienta ze sklepu, a potwierdzenie zapłaty jest wysyłane na jego aplikację lub konto bankowe).

5. Propozycja badań w przyszłości

Wymienione w artykule rozwiązania oddziałują bezpośrednio na klientów w cyklu realizacji sprzedaży w sklepach stacjonarnych. Aplikacje na smartfony, roboty, technologia *AiFi*, *self checkout* w formie skanerów i *smart carts* niwelują białe plamy występujące podczas sprzedaży stacjonarnej w sklepach detalicznych.

Aplikacje na smartfony usuwają takie problemy, jak poszukiwanie produktów i konieczność drukowania potwierdzenia zapłaty. Roboty stosowane w cyklu sprzedaży nie tylko eliminują czynność poszukiwania produktów, ale – co istotne – mają także funkcje marketingowe. Technologia *AiFi* pozwala na wykluczenie badanego problemu praktycznie na całym etapie finalizacji zakupów – znacznie skraca czas dokonywania zakupów przez brak konieczności oczekiwania w kolejce do kasy. Płatność za zakup jest pobierana automatycznie, a potwierdzenie zapłaty jest wysyłane elektronicznie. *Self checkout* to, jak sugeruje nazwa, całkowicie samodzielna forma realizacji zakupów przez klienta. Skanery, jako jedna z możliwości *self checkoutu*, wykluczają problem oczekiwania w kolejce do kasy i mają istotne znaczenie marketingowe. *Smart carts* natomiast niwelują wszystkie trudności pojawiające się w cyklu realizacji sprzedaży w sklepach stacjonarnych. Inteligentne wózki sklepowe są atrakcyjne dla klientów przez swoją szybkość dokonywania zakupów i wygodę. Wózek, jak bowiem wspomniano, wskazuje lokalizację poszukiwanych produktów, a zapłata za zakupy jest realizowana jednocześnie z wyjściem klienta ze sklepu.

Badania rekomendowane w przyszłości są bezpośrednio związane z celem badań, który stanowi prezentacja rozwiązań zwiększających komfort konsumentów w trakcie dokonywania zakupów w sklepach stacjonarnych. Po wprowadzeniu nowoczesnych rozwiązań przedstawionych w artykule należy dokonać oceny tego, czy są one chętnie wykorzystywane przez klientów, jak długo trwają zakupy z ich wykorzystaniem, jakie występują problemy, jak można skrócić czas cyklu finalizacji zakupów i czy wykorzystane narzędzia poprawiają doświadczenia klientów związane z zakupami stacjonarnymi.

6. Podsumowanie

Artykuł koncentruje się na analizie łańcucha logistycznego, zwłaszcza na etapie sprzedaży, w którym klienci bezpośrednio otrzymują towary ze sklepów stacjonarnych. Łańcuch logistycz-

ny rozpoczyna się od pozyskiwania surowców i półsurowców, które transportowane są do cyklu produkcji, gdzie są przetwarzane na gotowe produkty. Następnie produkty te są magazynowane lub dystrybuowane do sprzedaży, trafiając do sklepów, w których mogą być zakupione przez klientów. Handel hurtowy i detaliczny stanowi kluczowy element gospodarki. Pierwszy charakteryzuje się sprzedażą produktu w dużych ilościach (np. całe kartony, palety z kilkunastoma pojedynczymi produktami), zazwyczaj na potrzeby innych przedsiębiorstw detalicznych. Handel detaliczny obejmuje natomiast sprzedaż towarów w małych ilościach bezpośrednio konsumentom. Sklepy detaliczne można podzielić na stacjonarne i online. W pierwszych stosowane są tradycyjne kasy fiskalne obsługiwane przez sprzedawców oraz kasy samoobsługowe, w których klient samodzielnie skanuje produkty i płaci kartą. Cykl realizacji sprzedaży w sklepach stacjonarnych opiera się na procesie dotarcia przez konsumenta do sklepu stacjonarnego, następnie wyborze koszyka, w którym umieszczone zostaną wybrane produkty. Końcowy etap cyklu to finalizacja zakupów, podczas którego tradycyjnie klient czeka w kolejce do kasy.

W artykule wyszczególniono rozwiązania mające na celu usprawnienie całego cyklu realizacji sprzedaży w stacjonarnych sklepach detalicznych. Nowoczesne rozwiązania obejmują zastosowanie aplikacji mobilnych, robotów, technologii AiFi, self checkoutu w formie skanerów oraz inteligentnych wózków sklepowych (*smart carts*). Aplikacje mobilne mogą być wykorzystane do skanowania kodów kreskowych, sprawdzania cen oraz lokalizacji produktów w sklepie, co przyspieszy proces dokonywania zakupów. Roboty, na przykład Kerfuś, pomagają klientom w odnalezieniu produktów w sklepie i mogą przyciągnąć klientów. Technologia AiFi umożliwia bezobsługowe zakupy: kamery rozpoznają produkty zdejmowane przez klientów z półek, zaś płatność finalizowana jest automatycznie po opuszczeniu sklepu. *Self checkout* w formie skanerów pozwala klientom skanować produkty, a następnie finalizować płatność przy kasie samoobsługowej, co skraca czas spędzony w sklepie. Inteligentne wózki sklepowe automatycznie skanują wkładane do nich produkty, ważą je i nawigują klienta, zaś płatność odbywa się automatycznie przy wyjściu klienta ze sklepu. Wprowadzenie tych nowoczesnych rozwiązań ma na celu skrócenie czasu oczekiwania na finalizację zakupów i poprawę komfortu klientów sklepów stacjonarnych.

Bibliografia

- ABCGo. (b.d.). *Handel detaliczny*. Pobrano 16 czerwca 2024 z <https://abcgo.pl/branze/handel-hurtowy>
- Baranau, I., Lisec, A. (2020). Reverse Logistics in Agriculture. W: *XIV International Conference on Logistics in Agriculture 2020. Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.18690/978-961-286-406-4.5>
- Żabka Group. (b.d.). *Bezobsługowa Żabka Nano podbija Europę*. Pobrano 16 czerwca 2024 z <https://zabkagroup.com/pl/bezobsługowa-zabka-nano-podbija-europe/>
- Biznes. Tom 9. Słownik pojęć ekonomicznych A-O*. (2007). Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Majchrzyk, Ł. (b.d.). *Nowa aplikacja „Biedronka” wreszcie przydatna!*. Pobrano 16 czerwca 2024 z <https://mobi-rank.pl/2022/05/30/nowa-aplikacja-biedronka-wreszcie-przydatna/>
- Moliński, D. (b.d.). *Kerfuś spotka się z fanami w Polsce*. Pobrano 16 czerwca 2024 z <https://next.gazeta.pl/next/7,151243,29071897,kerfus-rusza-w-tournee-odwiedzi-fanow-w-polsce-kerfus-lubie.html>

Šmid, W. (2010). *Leksykon przedsiębiorcy*. Wydawnictwo „Poltext”.

Szpaderski, A. (1968). O pojęciu handlu. *Ruch Prawniczy, Ekonomiczny i Socjologiczny* (4), 79–95.

Zakrzewski, Z. (1989). *Ekonomika handlu wewnętrznego*. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne.

Modern Innovations in Stationary Retail Trade

■ **Abstract:** Sales located in the logistics chain map operate directly with the customer. Trade can be divided into wholesale and retail. Retail stores can be divided into online stores (i.e. e-commerce) and stationary stores. The main objective of the research is to indicate and analyze modern solutions that eliminate the problem under investigation, which will be able to improve the comfort of shopping for consumers in stationary retail stores. The problem under investigation is the waiting time for customers to finalize purchases in stationary retail stores. The subject of the research are customers of stationary retail stores. The hypothesis assumes that the waiting time for finalizing purchases is too long and can be reduced by implementing modern solutions. The research methodology is a literature review – analysis of scientific publications (books and magazines), websites and Online platforms, comparative analysis of solutions used on the market and their role in the sales execution cycle, survey. The information collected from the survey indicates such conclusions as: consumers wanting to pay in cash are forced to choose traditional cash registers, choosing traditional cash registers, the stage of finalizing purchases is even 3 times longer than in the case of self-service checkouts. The solutions to the problem examined in the article include smart phone applications, robots, AiFi technologies, and self-checkout in the form of scanners and smart carts.

■ **Keywords:** retail, stationary stores, AiFi technology, smart carts

Koncepcja wykorzystania robotów w opiece nad pacjentami szpitali dziecięcych

Alicja Rzepecka

Akademia Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa, Koło Naukowe Młodych Logistyków „Just in Time”
e-mail: kleszczalicia@wp.pl

Karolina Paluszek

Akademia Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa, Koło Naukowe Młodych Logistyków „Just in Time”
e-mail: karolina.paluszek@vp.pl

Patryk Bieszczad

Akademia Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa, Koło Naukowe Młodych Logistyków „Just in Time”
e-mail: patryk.bieszczad@op.pl

© 2025 Alicja Rzepecka, Karolina Paluszek, Patryk Bieszczad

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe (CC BY 4.0).

Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cytuj jako: Rzepecka, A., Paluszek, K., Bieszczad, P. (2025). Koncepcja wykorzystania robotów w opiece nad pacjentami szpitali dziecięcych. W: B. Detyna (red.). *Młodzi logistycy w nauce. Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa nr 7/2025* (s. 29–39). Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

DOI: [10.71433/2025.96.3.03](https://doi.org/10.71433/2025.96.3.03)

JEL Classification: I1

■ **Streszczenie:** Przedmiot pracy stanowi omówienie koncepcji opieki z wykorzystaniem robota nad dziećmi przebywającymi na oddziałach onkologicznych. Zastosowaną metodą badawczą jest analiza literatury na temat psychologii dziecięcej i opieki nad dziećmi przebywającymi na takich oddziałach. Rezultaty badań stanowią opracowanie sposobu wykorzystania robota w opiece nad pacjentami szpitali dziecięcych, a także zwrócenie uwagi na możliwości takiego rozwiązania w zakresie poprawy opieki medycznej i komfortu pacjentów, szczególnie dzieci. Wprowadzenie robotyki i technologii IoT do środowiska medycznego może poprawić zarówno pracę personelu medycznego, jak i samopoczucie pacjentów, oferując im rozrywkę, edukację, terapię i kontakt z rodziną. Wnioski z badań są następujące: wdrożenie robotów medycznych, takich jak PaddingtonBot, w połączeniu z technologią IoT, może znacząco poprawić jakość opieki medycznej oraz komfort pacjentów, szczególnie dzieci. Internet rzeczy ma duży potencjał w medycynie i może być wykorzystany do zdalnego monitorowania i zarządzania robotem oraz innych aspektów pracy w środowisku medycznym. Robot może pełnić różnorodne role: pomagać w transporcie pacjentów, dostarczać leki czy stanowić element rozrywki. Terapię śmiechem, snucie bajek na dobranoc, organizacja gier i zabaw zabawy, będące w zamyśle funkcjonalnościami oferowanymi przez robota, mogą poprawić samopoczucie i komfort pacjentów, podobnie jak wykorzystanie robota jako platformy do kontaktu z rodziną. Robot może być również narzędziem wspierającym edukację online małych pacjentów podczas ich leczenia.

■ **Słowa kluczowe:** robot, PaddingtonBot, szpitale dziecięce, terapia, innowacyjność

1. Wstęp

Choroba nowotworowa i hospitalizacja stanowią poważny kryzys w życiu dziecka. Jednym z jego objawów są problemy psychospołeczne. Hospitalizacja oddziałuje bowiem na stan psychospołeczny dzieci na wiele sposobów, przejawiając się problemami w zachowaniu, przekładając się na emocje lub relacje dziecka z rodziną, ze szkołą i środowiskiem. W procesie leczenia szpitalnego dzieci ważną rolę odgrywa w związku z tym troska o ich zdrowie psychiczne, co dotyczy zwłaszcza tych przyjmowanych do szpitala na oddział onkologiczny lub wymagających intensywnej opieki medycznej. Hospitalizacja najmłodszych pacjentów wykazuje wiele niekorzystnych skutków, które należy rozpoznać i leczyć. Niezwykle istotne jest ograniczanie negatywnych rezultatów pobytu w szpitalu i minimalizowanie traum fizycznych, emocjonalnych i społecznych, często wywołanych przez ból, strach, proces leczenia oraz jego nieznane rezultaty. Przyjęcie dzieci do szpitala oznacza ich odseparowanie od rodziny i funkcjonowanie w nowym otoczeniu, doświadczenie zmian w codziennej rutynie i przechodzenie przez szereg przykrych wydarzeń sprzecznych z potrzebami rozwojowymi dziecka.

Diagnoza choroby nowotworowej w rodzinie jest jedną z najtrudniejszych życiowych sytuacji, szczególnie kiedy dotyczy własnego dziecka, wnuka czy rodzeństwa. Gdy nowotwór dotyka małego dziecka, wywołuje ogromny kryzys emocjonalny rodziców, potęgowany tym, że dzieci nie w pełni rozumieją sytuację, zaś rodzice, próbując za wszelką cenę je bronić przed pełną świadomością zagrożenia, zamykają się w sobie. Mali pacjenci dostrzegają zmiany w zachowaniu rodziców, mimo iż nie potrafią określić ich przyczyn. Dlatego bardzo ważne jest dla nich wsparcie oraz obecność osób dorosłych. Dla dzieci choroba to okres wyjątkowo trudny, w którym często zamykają się w sobie i przestają odczuwać i dostrzegać szczęście, widząc, jak zachowują się przy nich inni. Nie tylko dziecko powinno mieć możliwość rozmowy z psychologiem, ale jego wsparcie powinni otrzymać również rodzice. W tak trudnym okresie nieoceniona jest rola psychoonkologa, który pomaga całej rodzinie przystosować się do nowej sytuacji, zrozumieć i przepracować lęki i porozmawiać o wątpliwościach dotyczących choroby.

Hospitalizacja, jak wspomniano, oddziałuje na zdrowie psychiczne dzieci (Fereshteh, Hossein, 2012, s. 391–403). Z dostępnej literatury wynika, że 30% hospitalizowanych dzieci doświadcza problemów psychospołecznych w wyniku krótko- i długoterminowych skutków pobytu w szpitalu (Rabeb, 2016, s. 118–146), który jest uważany za nieznane środowisko dla większości młodych pacjentów (Jones i in., 1992, s. 146, 375–379). Mali pacjenci przechodzą przez wiele nieprzyjemnych doświadczeń obejmujących bolesne zabiegi czy skutki uboczne chemioterapii. Te zmiany w ich codziennym stylu życia mogą powodować zachowania regresywne, będące nieświadomym mechanizmem obronnym wywołanym stresem, frustracją lub trudnym wydarzeniem. Dzieci zwykle przejawiają regresywne zachowania, gdy nie umieją wyrazić tego, co czują, ponieważ nie rozumieją, co się dzieje. Regresja jest sposobem, w jaki mogą okazać swój niepokój, złość, strach. Większość negatywnych doświadczeń dzieci hospitalizowanych wynika z niedostatecznej uwagi poświęcanej potrzebom rozwojowym dzieci w planowaniu opieki zdrowotnej w szpitalach. Tymczasem wszelkie trudności rozwojowe lub emocjonalne dzieci należy rozwiązywać dzięki zapewnieniu normalizacji ich środowiska szpitalnego (Kirkby i Whelan, 1996).

2. Choroba nowotworowa u dziecka

Choroby nowotworowe mogą rozwijać się już w okresie niemowlęctwa czy nawet w życiu płodowym. W Polsce co roku rozpoznaje się aż 1000-1200 przypadków różnych nowotworów u dzieci. Jednak dzięki dużemu postępowi w naukach medycznych w ostatnich latach istotnie wzrósł odsetek dzieci wyleczonych z chorób nowotworowych (Pilarczyk, 2010, s. 44).

Wiedza o skutkach wystąpienia nowotworu w rodzinie jest w naszym społeczeństwie bardzo niewielka. Głównymi jej źródłami są media lub szkoła, natomiast rzadko pochodzi ona od osób wykwalifikowanych, takich jak lekarz czy pielęgniarka. Zazwyczaj o chorobie nowotworowej ludzie dowiadują się najwięcej w momencie konfrontacji z nią, tymczasem warto mieć świadomość, że obcowanie z dziećmi i młodzieżą ze zdiagnozowaną chorobą nowotworową stanowi wyzwanie nawet dla dyplomowanych pielęgniarek (RNs)¹. Dzieci chore na nowotwór cierpią z powodu szoku, niepokoju, oburzenia, strachu i stresu. Ostatnie badania dowiodły, że kiedy najbliżsi krewni małych pacjentów onkologicznych mają wsparcie profesjonalistów, z którymi mogą porozmawiać, samopoczucie dzieci się poprawia (Holmberg i in., 2020, s. 33).

Choroba dziecka powoduje, że życie rodziny staje się ciągłą walką: zmieniają się jej priorytety i wszystkie aspekty jej funkcjonowania. Choroba negatywnie oddziałuje na rozwój dziecka zarówno fizyczny, jak i społeczny oraz psychiczny. Dzieci rozwijają się znacznie wolniej w trakcie choroby, co znacznie oddziałuje na ich strefę psychologiczną i zaburza rozwój ich osobowości. Bardzo duży wpływ na poprawne funkcjonowanie psychiki dziecka w tym trudnym okresie ma obecność zaufanych osób, przede wszystkim rodziców. Dziecko nie potrafi sobie zwizualizować, czym jest choroba i jaki będzie miała wpływ na jego życie. Postrzega ją przez pryzmat postawy rodziców wobec choroby. Zachowanie rodziców ma zatem na dziecko ogromny wpływ (Pilarczyk, 2010, s. 44–46). Warto pamiętać, że umysł dziecka w czasie rozwoju chłonie zachowania i emocje jak gąbka – ważne jest zatem, by wspomagać dziecko w rozumieniu choroby i przystosowaniu się do zmian zachodzących w jego organizmie. W tym zakresie z pomocą przychodzą psycholodzy i terapeuci, którzy pomagają całej rodzinie przejść przez okres choroby dziecka. Ich działania mogą być wspomagane najnowocześniejszymi rozwiązaniami technologicznymi, do których należy robot BellaBot.

3. PaddingtonBot

BellaBot, inteligentny robot zaprojektowany przez Pudu Robotics (rys. 1), został opracowany z myślą o dostarczaniu posiłków. Robot ten, mający kształt kota, wchodzi w interakcje z człowiekiem. Jest on wyposażony w innowacyjny bioniczny język projektowania, sztuczną inteligencję, funkcjonalność głosową, interakcję multimodalną i wiele innych funkcji, zapewniając użytkownikom niespotykane doświadczenia podczas zamawiania posiłków w wybranych restauracjach. Autonomiczny ruch robota obejmuje wielokierunkowe omijanie przeszkód. Wyposażony w czujniki 3D BellaBot może wykrywać przeszkody pod dowolnym kątem i bezpiecznie się oddalać. Czujniki, czyli oczy i uszy robota, są komponentami umożliwiającymi odbiór i zbieranie

¹ RNs – *registered nurses* – dyplomowane pielęgniarki.

danych ze środowiska, w którym się porusza. Dzięki nim urządzenie ma możliwość nawiązania interakcji ze światem. Pod względem modalności robot prezentuje wejścia zarówno głosowe, jak i dotykowe. Aby poprawić interakcję człowieka z robotem, zaprojektowano jego interesującą funkcję – „Dotyk, aby uzyskać informację zwrotną”, polegającą na tym, że obsługiwany przez robota człowiek może pogłaskać robota po zakończeniu zadania, na co ten odpowiada za pomocą sprytnych wyrażań (Bucuroiu, 2021).

3.1. Zarys koncepcji

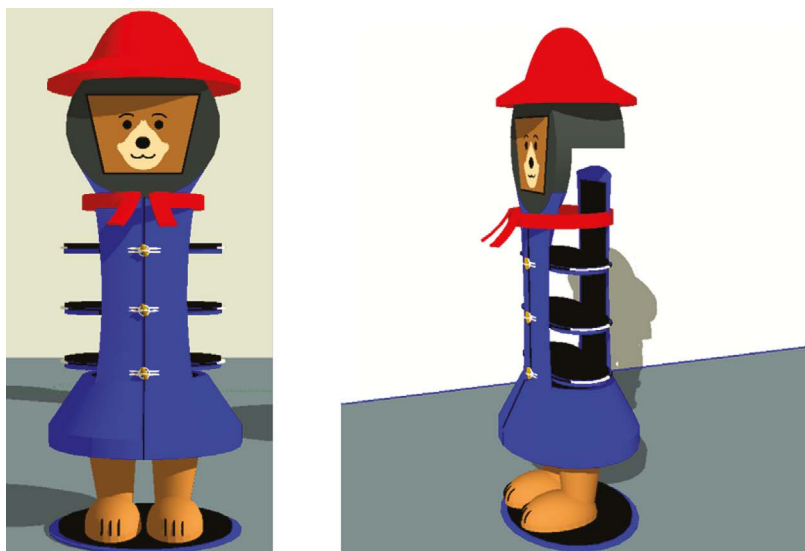
Maskotka, jako przyjaciel dziecka, często towarzyszy dzieciom podczas pobytu w szpitalu. Pluszak pozwala maluchom przezwyciężyć strach i dodaje otuchy w trudnych chwilach, co wykorzystano przy opracowywaniu koncepcji robota opisywanego w niniejszym tekście. Przedmiotem prezentowanego artykułu są założenia koncepcji stworzenia PaddingtonBota, robota-maskotki o wyglądzie misia, przystosowanego do zabawy i opieki nad dziećmi przebywającymi w szpitalach. Inspiracje wykorzystane do opracowania koncepcji jego wyglądu oraz jego wizualizację zaprezentowano na rys. 1-3.



Rys. 1. Inspiracje wykorzystane do stworzenia wizualnej koncepcji PaddingtonBota

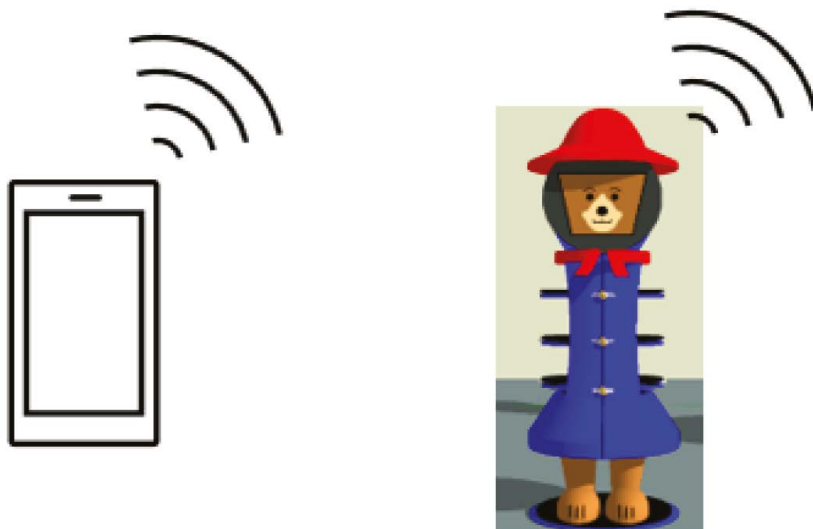
Źródło: opracowanie własne.

Założono, że program zainstalowany na przenośnym urządzeniu dawałby możliwość zdalnego sterowania PaddingtonBotem, pomagając w zarządzaniu czasem jego pracy. Dzięki temu personel medyczny miałby kontrolę nad czynnościami przez niego wykonywanymi, a także możliwość nanoszenia zmian dostosowanych do określonych sytuacji lub zlecania mu innych zadań do wykonania.



Rys. 2. Wizualizacje PaddingtonBota

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Synchronizacja PaddingtonBota z drugim urządzeniem

Źródło: opracowanie własne.

Do realizacji zadań robota można wykorzystać IoT – *Internet of Things*². Internet rzeczy jest frazą opisującą każdą „rzecz”, którą można podłączyć do Internetu lub kontrolować ją za pomocą Internetu. Te „rzeczy” stanowią przedmioty codziennego użytku, takie jak czajnik lub centrala termostatu grzewczego, podłączone samochody i systemy oświetleniowe dla inteligentnych miast. Opierają się one na istniejących lub rozwijających się interoperacyjnych technologiach informacyjno-komunikacyjnych. Z technicznego punktu widzenia IoT polega na standardowej identyfikacji obiektu dzięki systemowi komunikacji bezprzewodowej (Zigbee, Wi-Fi, RFID, bluetooth lub podczerwień) (Rabeb, 2016). Bardzo szybki rozwój urządzeń podłączonych do Internetu, począwszy od prostych czujników, na bardzo złożonych serwerach w chmurze skończywszy, kształtuje Internet rzeczy, w którym „rzecz” odnosi się do szerokiej gamy przedmiotów (np. inteligentnych żarówek, inteligentnych zamków, kamer IP, termostatów, urządzeń elektronicznych, budzików, automatów sprzedających i innych). Podobieństwo między wszystkimi obiektami IoT polega na ich możliwości łączenia się z Internetem i wymianie danych (Benouda i Lachgar, 2020).

Łącząc prezentowaną w artykule koncepcję i założenia IoT, należy wskazać, że dzięki zainstalowanemu w robocie czujnikowi będzie on mógł:

- **Towarzyszyć pacjentowi w drodze na badania/operacje.** Robot, odprowadzając dziecko na badania/operacje, zostałby poddany wcześniejszemu zmapowaniu, dzięki czemu będzie znał drogę do określonych punktów. Za pozycjonowanie robota odpowiadać będzie metoda SLAM – bazująca na procesie, w którym mobilny robot może zbudować mapę otoczenia, jednocześnie z niej korzystać i określić swoje położenie. W SLAM obie trajektorie – platforma i lokalizacja wszystkich punktów orientacyjnych – będą szacowane online, bez potrzeby uprzedniej znajomości lokalizacji (Durrant-Whyte i Bailey, 2006). Podstawowym problemem w SLAM jest oszacowanie położenia robota oraz mapa środowiska, zwykle reprezentowana przez zestaw cech geometrycznych, których pomiary generowane są przez czujniki laserowe, gdy robot porusza się po otoczeniu (Dissanayake i in., 2011).
- **Zawieźć leki młodszemu pacjentom.** Obowiązek podawania leków leży po stronie pielęgniarek oraz lekarzy. Pielęgniarki, wyposażone w dodatkowe urządzenie, które będzie zsynchronizowane z robotem, będą mogły ustawić w ciągu dnia pory podawania leków. Robot będzie pomagał w zarządzaniu lekami – będzie miał funkcje przypominania o podaniu leków i zameldowania się w wyznaczonym miejscu, aby pielęgniarka mogła mu je przekazać. Następnie wraz z pielęgniarką robot będzie mógł udać się na obchód i dostarczyć leki pacjentom.
- **Odprowadzać pacjentów do sal.** Robot za pomocą wbudowanego czujnika mógłby skanować numery sal na oddziale oraz wprowadzać ich lokalizacje do swojej bazy danych. Po otrzymaniu polecenia o odprowadzenie zbadanego dziecka do wybranej sali Paddington-Bot wyszukałby w bazie danych jej położenie, a następnie rozpocząłby zadanie „Odprowadzanie”. Po dotarciu w wybrane miejsce następowałoby potwierdzenie i zakończenie zadania. Funkcja ta byłaby też dostępna dla odwiedzających, którzy szukają wybranej sali.

² IoT – *Internet of Things* (Internet rzeczy) – obiekty fizyczne (lub grupy takich obiektów) wyposażone w czujniki, możliwości przetwarzania, oprogramowanie i inne technologie, które łączą i wymieniają dane z urządzeniami i systemami przez Internet lub inne sieci komunikacyjne (Gillis, 2021).

Zaprojektowany przez zespół robot PaddingtonBot będzie oferował:

- **Terapię śmiechem.** Podczas śmiechu masowane są narządy wewnętrzne, dzięki czemu pogłębia się oddech i dotlenia mózg. Co więcej, częsty chichot wpływa pozytywnie na układ odpornościowy, a wydzielane endorfiny (hormony szczęścia) obniżają poziom stresu, poprawiają samopoczucie i odprężają. Spontaniczny śmiech pomaga zatem nie tylko odreagować frustrację spowodowaną trudną sytuacją życiową, ale także pozytywnie wpływa na postrzeganie świata i poprawę relacji międzyludzkich – pomaga nawiązywać kontakty czy przełamywać nieśmiałość. PaddingtonBot opowiadałby zabawne historie na podstawie bajek o Paddingtonie oraz filmów o tym niedźwiadku.
- **Bajki na dobranoc wraz ze spokojną usypiającą melodią.** Kołysanki dla dzieci to krótkie utwory muzyczne o nieskomplikowanych tekstach i spokojnej melodii. Ich miarowy rytm i melodia imitująca bujanie w ramionach przygotowują dzieci do snu, tonują emocje i relaksują. Te krótkie utwory, nucone przyciszonym głosem, mają wielką moc uzdrawiania. Udowodniono, że śpiewanie na dobranoc wpływa na:
 - rozwój dziecka – gdy maluch słucha kołysanek, w jego mózgu powstają nowe połączenia nerwowe,
 - rozwój samokontroli i regulacji emocji,
 - umiejętność koncentracji i słuchania oraz rozumienia tego, co maluch słyszy,
 - rozwój motoryczny, ponieważ towarzyszące nuceniu kołysanie ma korzystny wpływ na rozwój koordynacji wzrokowo-ruchowej,
 - zdrowie: kołysanki koją ból fizyczny, tonują emocje i niepokój, mogą regulować układ вегетативny i wzmacniać układ immunologiczny.
- **Gry i zabawy.** Szczególnie przyjemną formą terapii zarówno dla dziecka, jak i dla psychologa jest zabawa. Dostępnych jest wiele aktywności służących zabawie, dzięki czemu łatwo można dopasować je do celu, który chcemy osiągnąć: są zabawy służące konkretnym celom terapeutycznym oraz zabawy służące odwróceniu uwagi od stresujących bodźców i przyjemnemu wypełnieniu czasu. Taką formą interwencji dość łatwo pracuje się z dziećmi, ponieważ one chętnie podejmują zabawy. Te spostrzeżenia wykorzystano, opracowując koncepcje opisywanego w artykule robota, który mógłby w pewnym stopniu zastąpić psychologa w razie jego nieobecności na oddziale. Robot pomagałby dzieciom przetrwać trudny czas, wyświetlając im bajki lub odtwarzając audiobooki. Paddington miałby również czas przeznaczony na gry i zabawy mające formę łamigłówek, zagadek czy quizów. Paddington będzie bowiem mógł zadawać pytania, a dzieci będą mogły udzielać na nie odpowiedzi na panelu wbudowanym w robota. Za poprawne odpowiedzi przewiduje się nagrodę w postaci słodyczy lub małej kanapki z marmoladą pomarańczową, która – jak w filmie o Paddingtonie, znajduje się w jego kapeluszu.
- **Kontakt z rodziną.** Robot dzięki wbudowanemu ekranowi mógłby łączyć dziecko z bliskimi, umożliwiając im kontakt wzrokowy. To rozwiązanie byłoby doskonałe dla wszystkich rodzin, które nie mogą sobie pozwolić na stałe przebywanie u chorego dziecka w szpitalu (co może wynikać z różnych przyczyn: samodzielnego sprawowania opieki nad dzieckiem jako samotny rodzic, obowiązku pracy czy braku pieniędzy na dojazd do oddalonego od domu

szpitala). Bez względu na powód stałej nieobecności rodziców brak możliwości wzrokowego kontaktu rodziców i dziecka może doprowadzić do załamania emocjonalnego obu stron. Dzięki funkcji dzwonienia, w którą wyposażony byłby robot, rodziny miałyby szansę na kontakt. Jest to szczególnie cenne w przypadku dzieci za małych na posiadanie własnych telefonów bądź w przypadku rodzin, nie mogących sobie pozwolić na zakup dziecku telefon. System komunikacji wbudowany w robota mógłby dać możliwość kontaktu wszystkim pacjentom i ich rodzinom.

- **Edukację podczas leczenia.** Hospitalizowani, będący uczniami szkoły podstawowej i średniej, mogą być objęci indywidualną nauką przez kadrę nauczycieli pracujących w ich szkołach lub przez nauczycieli szkół podstawowych pracujących na oddziałach Instytutu Matki i Dziecka. Mali pacjenci mają prawo do nauczania przez zindywidualizowaną ścieżkę edukacji (Instytut Matki i Dziecka, b.d., s. 9). PaddingtonBot, realizując to prawo, mógłby być wykorzystany w celach edukacyjnych: za pomocą programu zawierającego podstawę programową oraz niezbędne do jej realizacji materiały i filmy (np. z platformy YouTube) użytkownik będzie mógł prezentować pacjentom nagrania, dzięki którym dzieci nie będą miały zaległości w szkole. Zakłada się, że do programu będzie miał dostęp również nauczyciel, który takie materiały będzie umieszczał w odpowiednim miejscu. W celu efektywniejszego kształcenia, za pomocą wbudowanej kamery, nauczyciel będzie miał możliwość połączenia się dzieckiem i przeprowadzenia z nim lekcji online. Nauka zdalna, będąca aktualnie normą (Northeastern University, b.d.), staje się coraz bardziej popularna i – jak się okazało podczas pandemii – jest efektywna. Zaletą edukacji online jest możliwość udziału w zajęciach z dowolnej lokalizacji, a także dotarcie szkół do większej liczby uczniów, bez ograniczeń geograficznych. Ponadto zajęcia prowadzone online można nagrywać, archiwizować i udostępniać w celu ich wykorzystania w przyszłości, dzięki czemu uczniowie mają dostęp do materiałów edukacyjnych w dogodnym dla siebie czasie.

3.2. System ładowania

Jak wspomniano, prekursorem Paddingtona jest skonstruowany przez Pudu Robotics BellaBot, który został stworzony, by mógł obsługiwać klientów przez okres od 12 do 24 godzin. Długi czas pracy robota zapewnia odpowiednią baterię i krótki czas ładowania akumulatora, zajmujący jedynie cztery i pół godziny. Dodatkowym rozwiązaniem umożliwiającym praktycznie nieustanną pracę robota jest system szybkiej wymiany baterii z rozładowanej na nową, w pełni naładowaną. Proces wymiany baterii trwa krótko – od 30 do 60 sekund (Proccobot, b.d.).

Zakłada się, że PaddingtonBot pracowałby na tym samym systemie ładowania i wymiany baterii. Pozwoliłoby to na nieustanną pracę i kontrolę nad przydzielonymi mu zadaniami. Proces wymiany baterii zostałby zaprojektowany tak, aby pracownik medyczny bez uprawnień elektrycznych mógł to zrobić własnoręcznie. Proces ładowania działałby w systemie *plug and go*. Robot, po komunikacji o niskim stanie naładowania baterii, udawałaby się do najbliższej stacji ładowania, samodzielnie na nią wjeżdżając, lub baterię wymieniałby pracownik medyczny. Po ponownym naładowaniu akumulatora robot automatycznie wznowiałby pracę i wykonywanie powierzonych mu

zadań. By bateria nie została wyjęta przez nieuprawnione osoby, byłaby zabezpieczona zamkiem na specjalny klucz z elektromagnetyczny (rys. 4), który otwierałby się po zetknięciu z kluczem znajdującym się przy stanowisku ładowania robota.



Rys. 4. Klucz elektromagnetyczny

Źródło: opracowanie własne.

Komunikacja robota z personelem odbywałaby się za pomocą aplikacji lub specjalnego smartwatcha. Dojeżdżając do stacji ładowania, robot wysyłałby komunikat o swojej lokalizacji i potrzebie naładowania akumulatora. Przykładowe komunikaty wysyłane przez robota mogłyby być następujące:

- „Niski stan naładowania baterii, podłączam się do stacji numer 1”;
- „Brak wolnych stacji ładujących, potrzebna wymiana akumulatora”;
- „Brak możliwości podłączenia się do stacji ładującej”;
- „Napotkałem przeszkodę, znajduje się Sala numer .../Korytarz numer .../Piętro numer...; ładowanie zakończone, wznowiam pracę”.

W przypadku współpracy kilku PaddingtonBotów komunikowałyby się one ze sobą i wymieniałyby się informacjami. Po otrzymaniu wezwania przez personel medyczny informacja płynęłaby do najbliższej zlokalizowanego robota, który już zakończył poprzednie zadania.

4. Podsumowanie

W ramach działań zapobiegawczych kryzysom psychicznym dzieci przebywających w szpitalach i na oddziałach onkologicznych należy zminimalizować skutki hospitalizacji, gwarantując małym pacjentom zrozumienie ich sytuacji i zaspokojenie potrzeb. Jednym z najważniejszych elementów minimalizowania psychospołecznych czynników stresogennych związanych z hospitalizacją w onkologii dziecięcej są zespoły opieki zdrowotnej oceniające psychologiczne interwencje pielęgniarские, mogące zminimalizować stres emocjonalny i niepokój dzieci w trakcie leczenia szpitalnego. Szpitale i ich personel muszą znaleźć sposoby na redukcję stresu pacjentów związa-

nego z ich leczeniem, a także podnosić standardy opieki sprawowanej przez multidyscyplinarny zespół, w którym mógłby znaleźć się robot PaddingtonBot. Pielęgniarki mają do odegrania istotną rolę w hospitalizacji dzieci, pomagając im i ich rodzinom w przystosowaniu się do nowego, trudnego otoczenia. Paddington przyczyniłby się do umilenia czasu małym pacjentom za pomocą różnych interakcji, np. zabawy, pomocy w nauce, opowiadania bajek na dobranoc. Robot będący wirtualnym przyjacielem dawałby najmłodszym pacjentom poczucie bezpieczeństwa i pozwalałaby zapomnieć o towarzyszącej im chorobie nowotworowej. Wszyscy członkowie personelu szpitala powinni mieć możliwość redukcji skutków psychospołecznego wpływu hospitalizacji na chore dzieci. Istotną funkcję pełnią w tym procesie rodziny, zmniejszając zarówno oddziaływanie psychospołecznych stresorów doświadczanych przez ich dzieci, a także niwelując efekt tych stresorów oraz wspierając proces radzenia sobie dzieci z chorobą.

Autorzy projektu, w oparciu o zaprezentowaną w artykule koncepcję, chcą wpłynąć na implementację PaddingtonBota do jednego z dziecięcych szpitali onkologicznych we Wrocławiu, gdzie robot mógłby rozpocząć działania na rzecz unikatowej opieki nad chorymi dziećmi.

Bibliografia

- Bucuroiu, D. M. (2021). *Emergent Social Interactions Between a Hospital Patient And a Service Robot*. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1575336&dswid=4216>
- Fereshteh, A., Hossein, R. (2012). School-Aged Children Experience About Hospitalization: A Qualitative Study. *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences*. <https://brieflands.com/articles/jkums-77354>
- Dissanayake, G., Huang, S., Wang, Z., Ranasinghe, R. (2011). *A Review of Recent Developments in Simultaneous Localization and Mapping*. <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-mayor-de-san-andres/introduccion-acceso-a-kali-linux/a-review-of-recent-developments-in-simultaneous-localization-and-mapping/112197344>
- Gillis, A. (2021). *What Is Internet of Things (IoT)?*. *IOT Agenda*. <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
- Benouda, H., Lachgar, M. (2020). *IoT Devices Controlled Using Mobile Apps*. Association for Information Systems. <https://aisel.aisnet.org/menacis2020/1/>
- Holmberg, P., Nilsson, J., Elmqvist, C., Lindqvist, G. (2020). Nurses' Encounters with Children as Next of Kin to Parents with a Cancer Diagnosis on Oncology Wards. *Nordic Journal of Nursing Research*. <http://dx.doi.org/10.1177/2057158519868437>
- Northeastern University. (b.d.). 8 Benefits of Online Learning. Pobrano 16 stycznia 2023 z <https://www.northeastern.edu/graduate/blog/benefits-of-online-learning/>
- Proccobot. (b.d.). *BellaBot Pudu Robotics*. Pobrano 19 stycznia 2023 z <https://www.proccobot.com/produkt/bellabot/>
- Durrant-Whyte, H., Bailey, T. (2006). Simultaneous Localization and Mapping: Part I, *IEEE Robotics and Automation Magazine*. <http://dx.doi.org/10.1109/MRA.2006.1638022>
- Jones, S. M., Fiser, D. H., Livingston, R. L. (1992). Behavioral Changes in Pediatric Intensive Care Units. *American Journal of Diseases of Children*, 146(3), 375–379. <https://jamanetwork.com/journals/jamapediatrics/article-abstract/516102#:~:text=doi%3A10.1001/archpedi.1992.02160150115035>
- Kirkby, R. J., Whelan, T. A. (1996). The Effects of Hospitalization and Medical Procedures on Children and Their Families. *Journal of Family Studies*, 2(1), 65–77. <http://dx.doi.org/10.5172/jfs.2.1.65>

- Instytut Matki i Dziecka. (b.d.). *Moje dziecko rozpoczyna leczenie onkologiczne w Instytucie Matki i Dziecka (IMiD.) Poradnik dla rodziców od rodziców*. Pobrano 16 stycznia 2023 z [https://imid.med.pl/files/imid/Aktualnosci/Kliniki/Klinika%20Onkologii%20i%20Chirurgii%20Onkologicznej/Rodzice%20dla%20Rodzicow/Moje%20dziecko%20rozpoczyna%20leczenie%20onkologiczne%20w%20Instytucie%20Matki%20i%20Dziecka%20\(IMiD\).pdf](https://imid.med.pl/files/imid/Aktualnosci/Kliniki/Klinika%20Onkologii%20i%20Chirurgii%20Onkologicznej/Rodzice%20dla%20Rodzicow/Moje%20dziecko%20rozpoczyna%20leczenie%20onkologiczne%20w%20Instytucie%20Matki%20i%20Dziecka%20(IMiD).pdf)
- Pilarczyk, J. (2010). Rola psychoonkologii w leczeniu chorób nowotworowych u dzieci. *Psychoonkologia*, 2(16). Pobrano 20 stycznia 2023 z <https://www.termedia.pl/Lek-w-rodzinach-dzieci-chorujacych-na-nowotwory,63,21143,1,0.html>
- Rabeb, S. (2016). *Modèle collaboratif pour l'Internet of Things (IoT)*. Pobrano 20 stycznia 2023 z https://constellation.uqac.ca/id/eprint/3983/1/Saad_uqac_0862N_10207.pdf
- Robb, S. L. (2000). The Effect of Therapeutic Music Interventions on the Behavior of Hospitalized Children in Isolation: Developing a Contextual Support Model of Music Therapy. *Journal of Music Therapy*, 37(2), 118–146. <https://doi.org/10.1093/jmt/37.2.118>

The Concept of Using Robots in the Care of Pediatric Hospitals Patients

- **Abstract:** Subject of work is the concept of caring for children staying in an oncology wards using a robot. The method used in the article is the analysis of the literature on child psychology and the care of children staying in an oncology wards. The result of the research is developing a concept for using a robot in the care of patients of Pediatric hospitals. Highlighting the potential of such solution to improve medical care and comfort of patients, especially children. Introducing robotics and IoT technology into the medical environment can improve both the work of medical staff and the well-being of patients by offering entertainment, education, therapy and contact with family. The following conclusions were drawn from the research: the implementation of medical robots such as PaddingtonBot, combined with IoT technology, can significantly improve the quality of medical care and the comfort of patients, especially children. The Internet of Things (IoT) has great potential in medicine and can be used to remotely monitor and manage a robot and other aspects of the medical environment. This robot can play various roles, such as an assistant in patient transport, a medicine deliverer or an entertainment provider. Laughter therapy, bedtime stories, games and activities offered by the robot can significantly improve the well-being and comfort of patients, especially children. Similarly, contact with family via robot may be especially important for patients who cannot regularly see their loved ones in the hospital. Education during treatment is possible thanks to an additional program that allows for online learning and communication with a teacher, which is especially important for young patients staying in hospital.
- **Keywords:** robot, PaddingtonBot, pediatric hospitals, therapy, innovation

Ocena wybranych hal magazynowych pod kątem optymalnego projektowania powierzchni użytkowych

Barbara Piesiak

Politechnika Wrocławska

e-mail: basiapiesiak@gmail.com

Sylwia Werbińska-Wojciechowska

Politechnika Wrocławska

e-mail: sylwia.werbinska@pwr.edu.pl

ORCID: [0000-0002-9228-982X](https://orcid.org/0000-0002-9228-982X)

© 2025 Barbara Piesiak, Sylwia Werbińska-Wojciechowska

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe (CC BY 4.0).

Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cytuj jako: Piesiak, B., Werbińska-Wojciechowska, S. (2025). Ocena wybranych hal magazynowych pod kątem optymalnego projektowania powierzchni użytkowych. W: B. Detyna (red.). *Młodzi logiści w nauce. Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa nr 7/2025* (s. 40–59). Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

DOI: [10.71433/2025.96.3.04](https://doi.org/10.71433/2025.96.3.04)

JEL Classification: L91, M11, D24, Q22

■ **Streszczenie:** Artykuł przedstawia optymalny projekt hal magazynowych na wybranym gruncie. Na podstawie analizy publikacji naukowych przedstawiono charakterystykę współczesnych typów hal magazynowych. Następnie za pomocą wybranych parametrów logistycznych dokonano ich oceny, co pozwoliło na wyłonienie trzech najlepszych koncepcji, które zostały zaprezentowane w programie AutoCAD. Poprzez analizę wskaźnikową, kosztową oraz energooszczędnościową opracowano rozwiązanie optymalne. Artykuł kończy prezentacja wniosków z wykonanych badań.

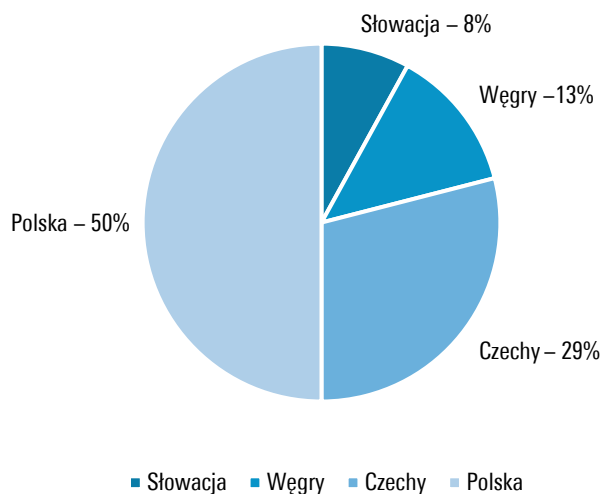
■ **Słowa kluczowe:** magazyn, wskaźniki logistyczne, energooszczędność, inwestycja

1. Wstęp

Współczesny świat, napędzany konsumpcjonizmem, dynamicznie przekształca gospodarkę. Rosnący dostęp do technologii ułatwia szybkie nabywanie produktów, co przekłada się na wzrost znaczenia logistyki dystrybucji i magazynowania. Wytwarzanie stało się punktem wyjściowym dla procesów dystrybucji, w których kluczową rolę odgrywa dostarczanie dóbr zgodnie z oczekiwaniami klienta (Bartol i Tylicki, 2018). Rozwój handlu internetowego zastąpił tradycyjne zakupy, zwiększając liczbę transakcji i zapotrzebowanie na powierzchnie magazynowe.

Polska, dzięki strategicznemu położeniu w Europie, po dołączeniu do Unii Europejskiej, jest nazywana magazynem centralnej Europy. Udział kraju w ogólnej powierzchni magazynowej re-

gionu wynosi aż 50%, co znacząco przewyższa wyniki innych państw (rys. 1) (Allekurier.pl, b.d.). Rosnące zainteresowanie inwestorów nabywaniem gruntów pod budowę magazynów wymaga jednak szczegółowych analiz aktualnych trendów oraz wyboru optymalnych rozwiązań projektowych spośród opcji dostępnych hal.



Rys. 1. Udział krajów Europy w ogólnej powierzchni magazynowej

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Allekurier.pl, b.d.).

Celem artykułu jest przedstawienie przykładu analizy wyboru magazynu na podstawie określonych wskaźników logistycznych. Uwzględniono przy tym zarówno aspekty techniczno-organizacyjne, jak i efektywność ekonomiczną oraz środowiskową, co pozwala na kompleksową ocenę dostępnych rozwiązań w kontekście współczesnych wymagań branży logistycznej.

W związku z tym w kolejnym punkcie przedstawiono charakterystykę badanego problemu, następnie skupiono się na analizie porównawczej hal magazynowych. Skoncentrowano się na trzech typach magazynu – *big box*, *cross dock* i SBU. W punkcie 4. przedstawiono wyniki przeprowadzonej analizy wskaźnikowej. Pracę kończy podsumowanie prezentujące najważniejsze wnioski z analiz.

2. Charakterystyka problemu

Podstawowym zadaniem logistyki magazynowej jest przechowywanie różnorodnych materiałów. Realizacja tej funkcji wymaga budowy odpowiednich obiektów infrastrukturalnych, takich jak hale magazynowe (DL Invest Group, 2022). Dla młodego przedsiębiorcy dążącego do rozwoju w branży magazynowej kluczowe pytania przedstawione na rysunku (rys. 2) mogą stanowić cenne wskazówki.



Czy warto inwestować w magazyny?



W jaki rodzaj magazynu najlepiej zainwestować?

Rys. 2. Kluczowe pytania w branży magazynowej

Źródło: opracowanie własne.

Odpowiedź na pierwsze pytanie wymaga szczegółowej analizy polskiego rynku magazynowo-przemysłowego. Dane historyczne wskazują na dynamiczny rozwój tej branży. W latach 2010–2022 wielkość zasobów magazynowych wzrosła z 6,3 mln m² do ponad 28 mln m², co stanowi ponad czterokrotny wzrost powierzchni przeznaczonej na magazyny. Pod koniec roku 2022 całkowita powierzchnia magazynowa wyniosła 28 305 750 m² (Obwieszczenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r.; Dudziński i Kizyn, 2002). Szczególną rolę w tym rozwoju odegrał wzrost handlu internetowego, który znacząco wpłynął na zapotrzebowanie na powierzchnie magazynowe. Okres pandemii COVID-19, mimo ogólnego kryzysu gospodarczego, przyczynił się do stabilizacji i dynamicznego rozwoju rynku magazynowego w Polsce. Wprowadzone obostrzenia zmusiły konsumentów do korzystania z zakupów online, co zwiększyło popyt na logistykę magazynową.

W efekcie w 2020 roku wartość inwestycji w sektorze logistycznym była o 81% wyższa niż w roku 2019 (Dudziński i Kizyn, 2002). Po zakończeniu pandemii tempo rozwoju branży magazynowej nieco spowolniło. Niemniej jednak, mimo trudnych warunków gospodarczych, takich jak wojna w Ukrainie i globalna niepewność gospodarcza, sektor logistyki w Polsce nadal się rozwija (Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r.). Z powyższych analiz wynika, że inwestowanie w magazyny stanowi dziś obiecującą i przyszłościową formę lokowania kapitału.

W celu znalezienia odpowiedzi na drugie pytanie (rys. 2) dokonano szczegółowej oceny trendów hal magazynowych pod kątem rozwoju wspomnianego działu logistycznego w Polsce. W projekcie wybrano działkę rzeczywistą ze względu na wiarygodność późniejszych analiz. Do oceny hal magazynowych wykorzystano trzy kluczowe parametry (tab. 1). Pierwszym jest rodzaj składowania materiałów w magazynie. Dobrano go na podstawie analizy wykresu z raportu rynkowego „Logistics Avenue”, w którym widoczny jest duży wzrost popytu na sieci handlowe i operatorów logistycznych na przestrzeni lat. W tego typu magazynach przechowywane są materiały standardowe, niewymagające wyjątkowych warunków podczas ich składowania. Drugą specyfikacją, na której są oparte dalsze badania, jest całkowita powierzchnia użytkowa magazynu, która jest odgórnie narzucona przez wybraną działkę i wynosi 11 875 m². W związku z tym wszystkie propozycje hal o większej powierzchni należy odrzucić, ponieważ nie będą spełniały wspomnianego warunku. Ostatnim parametrem służącym do wyboru magazynu jest jego wysokość składowania. W tym przypadku górna granica parametru jest również ustalona przez standardy działki i wynosi do 10 m. Z tego powodu rodzaje hal z minimalną wysokością wyższą niż podana należy wyeliminować.

Tabela 1. Parametry logistyczne

Parametry logistyczne	
Rodzaj składowania	Sieci handlowe, operatorzy logistyczni
Powierzchnia użytkowa [m ²]	11 875
Wysokość składowania [m ²]	10

Źródło: opracowanie własne.

Podstawowym oraz najbardziej rozpoznawalnym podziałem hal magazynowych jest klasyfikacja ze względu na rodzaj budowli (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r.) wyróżniająca:

- **magazyny otwarte** – umożliwiające składowanie towarów odpornych na warunki pogodowe (place),
- **magazyny półotwarte** – dające częściową ochronę przed warunkami atmosferycznymi (wiaty),
- **magazyny zamknięte** – gwarantujące całkowitą osłonę obiektów wymagających kontrolowanych warunków, takich jak temperatura, wilgotność czy zabezpieczenia przed substancjami chemicznymi; ze względu na trendy panujące na rynku światowym w dalszej części charakterystyki przeanalizowano najbardziej popularne ich rodzaje pod kątem wybranych parametrów logistycznych (tab. 2).

Tabela 2. Ogólna charakterystyka hal magazynowych zamkniętych pod kątem wybranych parametrów

Rodzaje magazynów zamkniętych	Charakterystyka
<i>High bay</i>	▪ Powierzchnia dowolna ▪ Wysokość od 12 m ▪ Materiały wszelkiego rodzaju
<i>Big box</i>	▪ Moduł magazynowy 2000 m² i więcej (Giermakowska i Kurek, 2022) ▪ Wysokość – 10 m (DL Invest Group, 2022) ▪ Materiały wszelkiego rodzaju
Chłodnie i mroźnie	▪ Powierzchnia ok. 3000 m² (Konspekt.eu, b.d.) ▪ Wysokość 12 m (Kisiel i Zwolińska, 2011) ▪ Produkty spożywcze
<i>Cross dock</i>	▪ Moduły 12 x 24 m (Giermakowska i Kurek, 2022), a głębokość min. 48 m ▪ Wysokość 6m oraz głębokość 48 m (Korzeniowska, b.d.) ▪ Materiały standardowe dla sieci handlowych, firm kurierskich i operatorów logistycznych (Logistics Avenue, 2021)
<i>Data center</i>	▪ Powierzchnia dowolna ▪ Wysokość dowolna ▪ Materiały IT

SBU	▪ Moduł magazynowy od 500 m² (Giermakowska i Kurek, 2022) ▪ Wysokość 10 m (Mecelux.pl, b.d.) ▪ Materiały wszelkiego rodzaju
<i>Dark storage</i>	▪ Powierzchnia dowolna ▪ Wysokość 10 m ▪ Materiały o krótkim terminie ważności, konieczna szybka dostawa do klienta
<i>Self storage</i>	▪ Powierzchnia modułu od 1 m² ▪ Wysokość do ok. 2,5 m ▪ Materiały wszelkiego rodzaju

Źródło: opracowanie własne.

W następnym kroku dokonano oceny wszystkich wyróżnionych wcześniej hal magazynowych dostępnych na rynku. Wartości parametru dla wybranego magazynu, które mieszczą się w granicach ustalonych wcześniej parametrów logistycznych, oznaczono symbolem „1”, a wszelkie inne propozycje rozwiązań, które nie odpowiadają założonym wymaganiom – symbolem „0”. W tabeli 3 przedstawiono wyniki przeprowadzonej oceny.

Tabela 3. Ocena hal magazynowych

Nr	Podstawowy podział	Nazwa rodzaju	Parametry logistyczne			Suma
			powierzchnia całkowita magazynu	wysokość magazynu	rodzaj składowania	
1	otwarte	plac magazynowy	1	1	0	2
2	półotwarte	namiotowe	1	1	0	2
3	zamknięte	<i>high bay</i>	1	0	1	2
4		<i>big box</i>	1	1	1	3
5		chłodnie i mroźnie	1	0	0	1
6		<i>cross dock</i>	1	1	1	3
7		<i>data center</i>	1	1	0	2
8		SBU	1	1	1	3
9		<i>dark storage</i>	1	1	0	2
10		<i>self storage</i>	1	0	1	2

Źródło: opracowanie własne.

Z analizy wynika, że do składowania uniwersalnych materiałów na wybranym gruncie najlepszym rozwiązaniem są magazyny zamknięte. Najlepiej oceniono magazyny typu *big box*, *cross dock* oraz SBU. W dalszej części pracy zostaną one poddane szczegółowej charakterystyce pod kątem dobrej działalności.

3. Analiza porównawcza hal magazynowych

W celu wyboru optymalnego rozwiązania kolejnym krokiem jest wizualizacja koncepcji każdego z trzech rodzajów magazynów wybranych jako najlepsze podczas oceny dostępnych hal. W projekcie skupiono się na maksymalizacji zagospodarowania dostępnej przestrzeni. Niewykorzystana powierzchnia magazynowa jest powodem marnotrawstw, takich jak oczekiwanie, zbędny transport oraz zbędny ruch. Dodatkowo największym minusem niezagospodarowania dostępnej powierzchni są koszty, które należy płacić za grunt nieprzynoszący zysku. W związku z tym w dalszej części artykułu skupiono się na koncepcji projektowej magazynu, która wykorzysta najwięcej dostępnej powierzchni.

W ramach projektowania wybranych koncepcji hal magazynowych stworzono wizualizację w programie AutoCAD na mapie zasadniczej (skala 1:1500) wybranego gruntu, dokonując pełnego zwymiarowania jego obrysu. Layout zaprojektowano zgodnie z wymaganiami prawa budowlanego, w tym minimalnymi odległościami od granicy działki – 4 m dla ścian z oknami lub drzwiami; 3 m dla ścian bez otworów (Miszewski, 2019). Ze względu na istniejącą drogę dojazdową równoległą do ulicy obiekty zaprojektowano z frontem skierowanym ku tej drodze. Na pozostałych stronach działki, gdzie nie ma planowanych dróg dojazdowych, uwzględniono jedynie wymagane odległości obrysowe, bez projektowania okien lub drzwi.

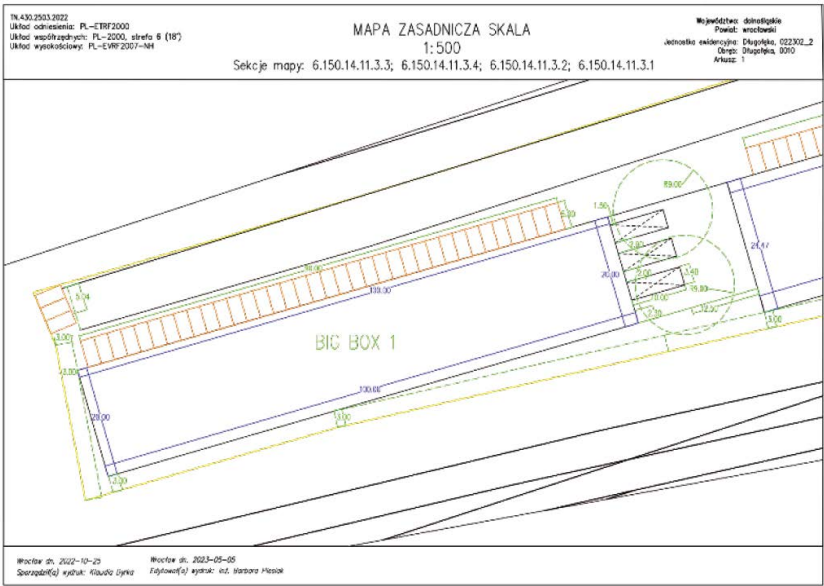
Pierwszym projektowanym rodzajem magazynu na działce według oceny hal magazynowych jest *big box*. Moduły tego rodzaju magazynu mają od 2000 m². Na wybranym gruncie udało się zmieścić 2 obiekty tego typu, o powierzchni odpowiednio 2000 m² oraz 3859,16 m². Zaprojektowano również doki przeładunkowe do każdej hali magazynowej. Według Macieja Szczepińskiego standardowo 1 dok oferuje się na około 300 m² powierzchni magazynu (Korzeniowska, b.d.). W kolejnym kroku wykonano odpowiednie obliczenia ustalające liczbę doków dla każdego magazynu typu *big box*. Za pomocą symbolu L oznaczono maksymalną liczbę doków, a ich numeracja odpowiada numerowi wybranego obiektu magazynowego:

$$L1 = 2000 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 6,67 \Rightarrow \text{po uwzględnieniu kształtu działki} - 3 \text{ doki},$$

$$L2 = 3859,16 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 12,86 \Rightarrow \text{po uwzględnieniu kształtu działki} - 13 \text{ doków}.$$

Następnie zaplanowano drogi dojazdowe. Założono, że szerokość takiej jezdni może być nie mniejsza niż 8 m ze względu na dwa kierunki jazdy oraz konieczność wykonywania manewrów przez samochody ciężarowe. W celu stworzenia możliwości zawracania przy dokach przeładunkowych uwzględniono normę, która mówi, że „dla samochodów ciężarowych plac manewrowy powinien mieć promień nie mniejszy niż 9,0 m lub kształt kwadratu o wymiarach nie mniejszych niż 12,5 m x 12,5 m” (Nowakowska-Grunt i Starostka-Patyk, 2017). W ostatnim kroku zagospodarowania przestrzeni zaprojektowano miejsca parkingowe dla pracowników z uwagi na normę dotyczącą stanowisk postojowych dla wybranych pojazdów (SEGRO, 2021). W celu maksymalnego wykorzystania dostępnej powierzchni na działce umieszczono 94 miejsca parkingowe dla samochodów osobowych – o wymiarach 2,5 m x 5 m – oraz 2 miejsca parkingowe dla samochodów ciężarowych – o wymiarach 3 m x 15 m. W dalszej części tekstu załączono zdjęcie fragmentu layoutu magazynów typu *big box* (rys. 3) z uwzględnieniem wszystkich omawianych etapów. Kolorem zielonym zaznaczono wszystkie linie pomocnicze opierające się na prawie budowlanym

(okręgi o promieniu 9 m w skrajnych punktach wyjazdów z doków przeładunkowych, odległości 3 m od granicy działki i wszelkie wymiary poza powierzchnią magazynu), kolorem pomarańczowym – miejsca parkingowe, a niebieskim – zwymiarowane magazyny *typu big box*. Kolor żółty to obrys działki.



Rys. 3. Fragment layoutu *big box*

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Tabela zbiorcza powierzchni dla rozwiązania nr 1 – *big box*

Powierzchnia magazynowa			
Big box	1	2	suma [m2]
Głębokość [m]	100,00	24,47	
Szerokość [m]	20	157,71	
Powierzchnia [m ²]	2000,00	3859,16	5859,16
Powierzchnia przeładunkowa			
Liczba doków przeładunkowych [j.]	3	13	suma [m ²]
Powierzchnia doku przeładunkowego [m ²]	34		
Łączna powierzchnia [m ²]	102,00	442,00	544,00
Powierzchnia placu manewrowego			
Nr	1	2	suma [m2]
Długość boku a [m]	22,50	18,24	
Długość boku b [m]	27,48	20,00	
Powierzchnia [m ²]	618,30	364,70	983,00

Powierzchnia parkingowa			
Liczba miejsc parkingowych [j.]	39	55	suma [m ²]
Powierzchnia miejsca parkingowego [m ²]	12,50		
Łączna powierzchnia [m ²]	487,50	687,50	
Liczba miejsc parkingowych dla ciężarówek [j.]	2		
Powierzchnia miejsca parkingowego ciężarówki [m ²]	45,00		1265,00
Całkowita zajęta powierzchnia [m ²]			8651,17

Źródło: opracowanie własne.

W celu podsumowania w tab. 4 zebrano wszystkie dane dotyczące powierzchni magazynowej, parkingowej, manewrowej oraz przeładunkowej. Reasumując, należy stwierdzić, że powierzchnia całkowita zajęta dla rozwiązania 1 wynosi 8651,17 m², w tym 5859,16 m² zajmują magazyny typu *big box*, 544,00 m² – doki przeładunkowe, 983,00 m² – place manewrowe, a 1265,00 m² – miejsca postojowe dla samochodów osobowych oraz ciężarowych.

Drugim projektowanym rodzajem magazynu na działce według oceny hal magazynowych jest *cross dock*. Moduły tego rodzaju magazynu mają wymiar 12 m x 24 m, a ich standardowa głębokość magazynu to 48 m. Po analizie gruntu udało się zmieścić 3 obiekty omawianego typu o powierzchni odpowiednio: 576 m², 1152 m² oraz 1152 m². Zaprojektowano również doki przeładunkowe do każdej hali magazynowej. Wyjątkiem od standardu jest wspomniany rodzaj magazynu, ponieważ dla tego typu współczynnik się zwiększa do około 110 m² na jeden dok (Korzeniowska, b.d.). W kolejnym kroku wykonano odpowiednie obliczenia ustalające maksymalną liczbę doków dla każdego magazynu typu *cross dock*:

$L1 = 576 \text{ m}^2 / 110 \text{ m}^2 \approx 5,24 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 4 doki,

$L2 = 1152 \text{ m}^2 / 110 \text{ m}^2 \approx 10,47 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 10 doków,

$L3 = 1152 \text{ m}^2 / 110 \text{ m}^2 \approx 10,47 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 10 doków.

Następnie zaprojektowano drogi dojazdowe, place manewrowe oraz miejsca parkingowe w oparciu o wcześniej omówione normy. W dalszej części tekstu załączono zdjęcie fragmentu layoutu rozwiązania typu *cross dock* na wybranym gruncie (rys. 4).

Tabela 5. Tabela zbiorcza powierzchni dla rozwiązania nr 2 – *cross dock*

Powierzchnia magazynowa				
<i>Cross dock</i>	1	2	3	suma [m²]
Głębokość [m]	48,00	48,00	48,00	
Szerokość [m]	12	24	24	
Powierzchnia [m²]	576,00	1152,00	1152,00	
2880,00				
Powierzchnia parkingowa				
Liczba miejsc parkingowych [j.]	17	42	17	suma [m²]
Powierzchnia miejsca parkingowego [m²]	12,50			
Łączna powierzchnia [m²]	212,50	525,00	212,50	950,00

Powierzchnia przeładunkowa					
Liczba doków przeładunkowych [j.]	4	10	10	suma [m ²]	
Powierzchnia doku przeładunkowego [m ²]	34				
Łączna powierzchnia [m ²]	136,00	340,00	340,00	816,00	
Powierzchnia placu manewrowego					
Nr	1,00	2	3	4	suma [m ²]
Długość boku a [m]	29,71	34,07	41,03	42,57	
Długość boku b [m]	29,98	34,83	42,53	42,57	
Wysokość h [m]	12,50	12,50	12,50	12,50	
Powierzchnia [m ²]	373,06	430,63	522,25	532,13	1858,06
Całkowita zajęta powierzchnia [m ²]					6504,06

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 5 jest podsumowaniem wykonanych analiz dla magazynów typu *cross dock* na wybranym gruncie. Powierzchnia całkowita zajęta dla rozwiązania 2 wynosi 6504,06 m², w tym: 2880,00 m² zajmują hale, 816,00 m² – doki przeładunkowe, 1858,06 m² – place manewrowe, a 950,00 m² – parkingi dla pracowników.

Ostatnim wybranym rodzajem hal wybranym podczas oceny jest SBU. Magazyny tego typu mają powierzchnię minimalną 500 m², a ich maksymalna głębokość mieści się w granicach 30-40 m. Ze względu na wspomniane wytyczne zaprojektowano 8 magazynów SBU o powierzchniach 500 m², 500 m², 534,38 m², 588,75 m², 643,44 m², 698,13 m², 1087,14 m² oraz 1844,37 m². Następnie obliczono liczbę doków przeładunkowych według reguły 1 dok – 300 m² powierzchni:

$L1 = 500 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 1,67 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 2 doki,

$L2 = 500 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 1,67 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 2 doki,

$L3 = 534,38 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 1,78 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 2 doki,

$L4 = 588,75 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 1,96 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 2 doki,

$L5 = 643,44 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 2,15 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 2 doki,

$L6 = 698,13 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 2,33 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 2 doki,

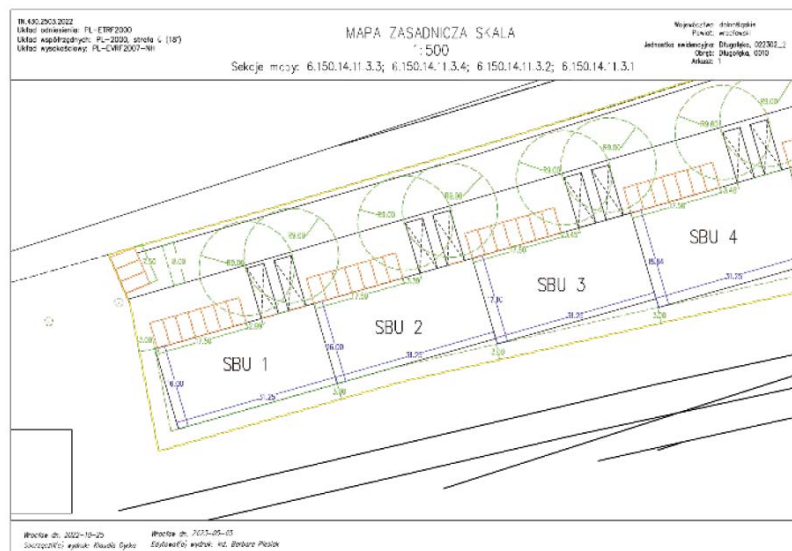
$L7 = 1087,14 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 3,62 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 3 doki,

$L8 = 1844,37 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 6,15 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 3 doki.

Następnie zaprojektowano drogi dojazdowe o szerokości minimalnej 8 m. Placów manewrowych nie zaprojektowano ze względu na prawidłowe odległości do manewru samochodów ciężarowych. Na rysunku 5 znajduje się zdjęcie fragmentu layoutu hal SBU.

Wynikiem przeprowadzonych analiz i potrzebnych obliczeń projektu obiektów SBU jest zbiorcza tabela 6. Podsumowując wizualizację koncepcji nr 3 – SBU, należy stwierdzić, że powierzchnia całkowita zajęta wynosi 7833,20 m², w tym: 6396,20 m² zajmują obiekty magazynowe, 612,00 m² – doki przeładunkowe, a 825,00 m² – miejsca parkingowe.

Źródło: opracowanie własne.



Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6. Tabela zbiorcza powierzchni dla rozwiązania nr 3 – SBU

Powierzchnia magazynowa									
SBU	1	2	3	4	5	6	7	8	suma [m ²]
Głębokość [m]	16,00	16,00	17,10	18,84	20,59	22,34	25,61	33,34	
Szerokość [m]	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	42,45	55,32	
Powierzchnia [m ²]	500,00	500,00	534,38	588,75	643,44	698,13	1087,14	1844,37	6396,20
Powierzchnia parkingowa									
Liczba miejsc parkingowych [j.]	10	7	7	7	7	7	9	12	suma [m ²]
Powierzchnia miejsca parkingowego [m ²]	12,50								
Łączna powierzchnia [m ²]	125,00	87,50	87,50	87,50	87,50	87,50	112,50	150,00	825,00
Powierzchnia przeładunkowa									
Liczba doków przeładunkowych [j.]	2	2	2	2	2	2	3	3	suma [m ²]
Powierzchnia doku przeładunkowego [m ²]	34								
Łączna powierzchnia [m ²]	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	102,00	102,00	612,00
Całkowita zajęta powierzchnia [m ²]									7833,20

Źródło: opracowanie własne.

4. Analiza porównawcza rozwiązań

Po wykonaniu szczegółowej charakterystyki w kolejnym kroku przeprowadzono analizę porównawczą rozwiązania nr 1 – *big box*, rozwiązania nr 2 – *cross dock*, rozwiązania nr 3 – SBU. Przeprowadzono badania pod kątem wybranych wskaźników logistycznych oraz potencjalnych kosztów, które dany przykład generuje.

4.1. Analiza wskaźnikowa

W celu dokonania analizy na początku określono wybrane wskaźniki logistyczne, na podstawie których dokonano porównania rozwiązań. Bazowano na wzorach przedstawionych przez Tylickiego oraz Bartol, które przekształcono pod warunki projektu (Soboń, 2019):

$$W1 = \text{wskaźnik wykorzystania pow. mag.} = \frac{\text{Powierzchnia magazynowa}}{\text{Maksymalna powierzchnia działki}} * 100\% \quad (1)$$

$$W2 = \text{wskaźnik wykorzystania pow. pozostałej} = \frac{\text{Powierzchnia magazynowa}}{\text{Maksymalna powierzchnia działki}} * 100\% \quad (2)$$

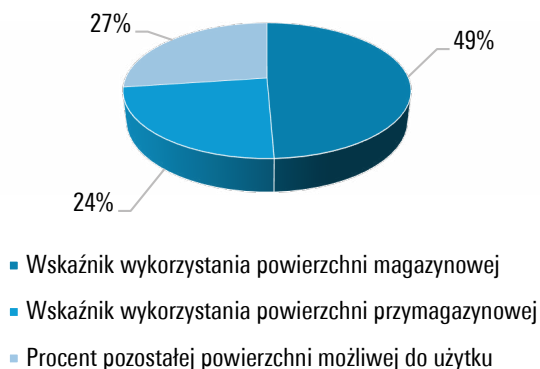
$$W3 = \text{wskaźnik wykorzystania pow. całkowitej} = \frac{\text{Całkowita powierzchnia zajęta}}{\text{Maksymalna powierzchnia działki}} * 100\% \quad (1)$$

W dalszej części rozważań dokonano analizy wskaźnikowej rozwiązania 1 – *big box*, wiedząc, że wybrany grunt ma powierzchnię 11 875 m². Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 7 oraz na wykresie kołowym (rys. 6).

Tabela 7. Analiza wskaźnikowa rozwiązania nr 1 – *big box*

<i>Big box</i>		Jednostka
Wskaźnik wykorzystania powierzchni		
Dostępna powierzchnia [m ²]	11 875	m ²
Powierzchnia magazynowa	5859,16	m ²
Powierzchnia wykorzystana na parkingi oraz place	2792,00	m ²
Łączna zagospodarowana powierzchnia	8651,17	m ²
Wskaźnik wykorzystania powierzchni magazynowej	49,34	%
Wskaźnik wykorzystania powierzchni przymagazynowej	23,51	%
Wskaźnik wykorzystania powierzchni zagospodarowanej	72,85	%
Procent pozostałej powierzchni możliwej do użytku	27,15	%

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Wykres kołowy analizy wskaźnikowej rozwiązania nr 1 – *big box*

Źródło: opracowanie własne.

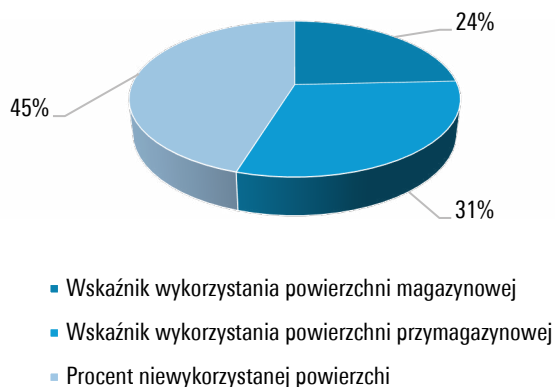
Analizując wykres na rys. 6, zauważa się, że rozwiązanie nr 1 pozostawia 24% niewykorzystanej powierzchni działki. Wskaźnik wykorzystania powierzchni magazynowej – 49% – jest większy prawie dwukrotnie od wskaźnika powierzchni potrzebnej na parkingi, doki przeładunkowe i place manewrowe.

Drugim analizowanym rozwiązaniem jest projekt magazynów typu *cross dock*. W tabeli 8 przedstawiono wyniki obliczeń poszczególnych wskaźników logistycznych zaprezentowanych na wykresie kołowym na rys. 7.

Tabela 8. Analiza wskaźnikowa rozwiązania nr 2 – *cross dock*

<i>Cross dock</i>		Jednostka
Wskaźnik wykorzystania powierzchni		
Dostępna powierzchnia [m ²]	11 875	m ²
Powierzchnia magazynowa	2880,00	m ²
Powierzchnia wykorzystana na parkingi oraz place	3624,06	m ²
Łączna zagospodarowana powierzchnia	6504,06	m ²
Wskaźnik wykorzystania powierzchni magazynowej	24,25	%
Wskaźnik wykorzystania powierzchni przymagazynowej	30,52	%
Wskaźnik wykorzystania powierzchni zagospodarowanej	54,77	%
Procent niewykorzystanej powierzchni	45,23	%

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 7. Wykres kołowy analizy wskaźnikowej rozwiązania nr 2 – *cross dock*

Źródło: opracowanie własne.

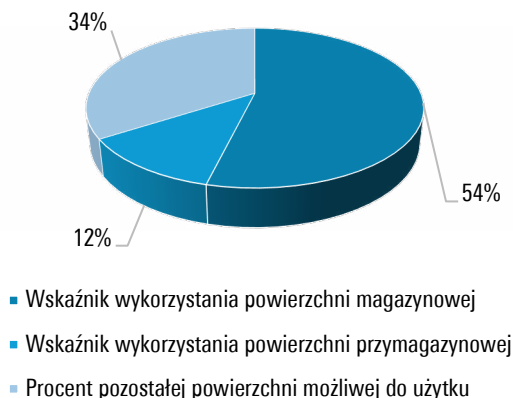
Podsumowując analizę wskaźnikową rozwiązania nr 2, należy stwierdzić, że projekt pozostawia aż 45% powierzchni niewykorzystanej. Magazyny typu *cross dock* zajmują 24%, czyli mniej niż parkingi, doki przeładunkowe i place – 31%. Wynika to z trapezowej powierzchni działki oraz głębokości nadanej odgórnie, która wynosi 48 m.

W tabeli 9 przedstawiono zbiorczo parametry dla rozwiązania nr 3. Wyliczone wskaźniki zaprezentowano na wykresie kołowym na rys. 8.

Tabela 9. Analiza wskaźnikowa rozwiązania nr 3 – SBU

SBU		Jednostka
Wskaźnik wykorzystania powierzchni		
Dostępna powierzchnia [m ²]	11 875	m ²
Powierzchnia magazynowa	6396,20	m ²
Powierzchnia wykorzystana na parkingi oraz place	1437,00	m ²
Łączna zagospodarowana powierzchnia	7833,20	m ²
Wskaźnik wykorzystania powierzchni magazynowej	53,86	%
Wskaźnik wykorzystania powierzchni przymagazynowej	12,10	%
Wskaźnik wykorzystania powierzchni zagospodarowanej	65,96	%
Procent pozostałej powierzchni możliwej do użytku	34,04	%

Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 8.** Wykres kołowy analizy wskaźnikowej rozwiązania nr 3 – SBU

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowując, stwierdza się, że magazyny typu SBU zajmują 54% dostępnej powierzchni, a tylko 12% należy do miejsc postojowych. Ze względu na niesymetryczną powierzchnię działki procent powierzchni niewykorzystanej wynosi aż 34.

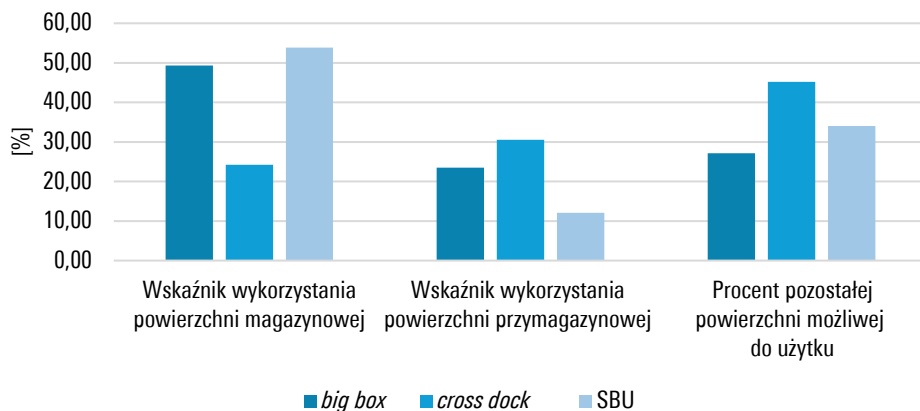
W tabeli 10 przedstawiono analizę porównawczą wszystkich rozwiązań pod kątem wybranych wskaźników logistycznych. Wyniki zaprezentowano na słupkowym wykresie zbiorczym (rys. 9).

Analizując wykres na rys. 9, zauważa się, że trzecie miejsce w analizie porównawczej pod kątem wybranych wskaźników logistycznych zajmuje rozwiązanie nr 2 – *cross dock*. Ma ono największy procent niewykorzystanej powierzchni – 45,23 – oraz najmniejszy wskaźnik decydujący, czyli wykorzystania powierzchni magazynowej – 24,25%. Rozwiązanie nr 1 – *big box* – mimo dużej wartości wskaźnika zagospodarowanej powierzchni ma duży wskaźnik wykorzystania

Tabela 10. Analiza porównawcza rozwiązań pod kątem wybranych wskaźników

Nr	Nazwa	<i>Big box</i>	<i>Cross dock</i>	SBU
W1	Wskaźnik wykorzystania powierzchni magazynowej [%]	49,34	24,25	53,86
W2	Wskaźnik wykorzystania powierzchni przymagazynowej [%]	23,51	30,52	12,10
W3	Procent pozostałej powierzchni możliwej do użytku [%]	27,15	45,23	34,04

Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 9.** Wykres słupkowy analizy porównawczej rozwiązań pod kątem wybranych wskaźników

Źródło: opracowanie własne.

powierzchni przymagazynowej, który nie przynosi zysku. Najlepszym rozwiązaniem w przeprowadzonych badaniach na podstawie wskaźników logistycznych jest rozwiązanie nr 1 – SBU, ze względu na największy wskaźnik wykorzystania powierzchni magazynowej wynoszący 53,86%, co wynika z małych modułów obiektów, które można najlepiej dopasować na skomplikowanym gruncie.

4.2. Analiza kosztowa

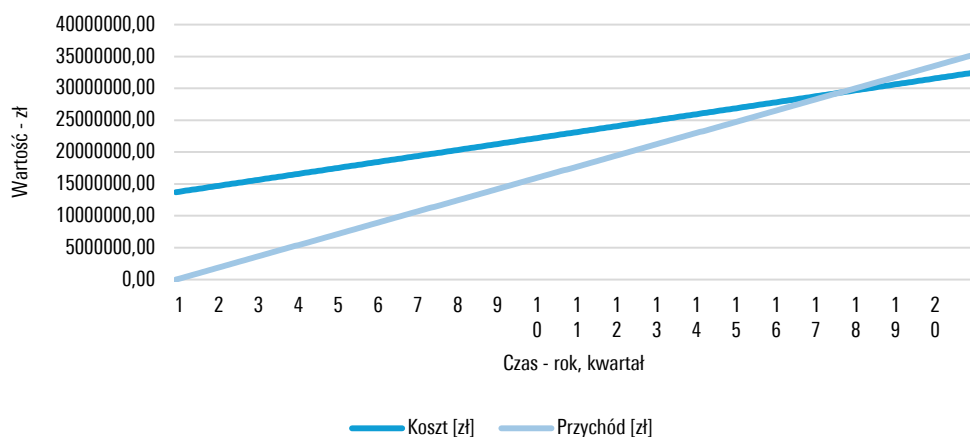
W celu wybrania koncepcji optymalnej przeprowadzono dodatkową analizę kosztową, która przedstawia, po jakim czasie zwróci się dana inwestycja od momentu wynajmu. W tym celu zebrano informacje dotyczące kosztu jednorazowego, stałego oraz przychodu comiesięcznego dla wybranej koncepcji. Cena gruntu jest stała i zdefiniowano ją jako iloczyn wartości 187 zł/m² wystawionej przed właściciela działki oraz jej powierzchni całkowitej, czyli 11875 m². Wartości powierzchni magazynowych zaczerpnięto z obliczeń w analizie wskaźnikowej. W celu wyznaczenia średniej ceny za m² budowy magazynu przeanalizowano dane rynkowe, które wahają się między 1500 a 2100 zł/m². Następnie określono średni koszt w Polsce o wartości 1800 zł (Szczepański, 2017). Wymnażając pole powierzchni wybranego magazynu ze średnim kosztem, uzyskano cał-

kowitą cenę budowy takiej hali. Poszczególne wartości czynszu pobrano z aktualnych danych z raportu (Dudziński i Kizyn, 2002). W końcowym etapie w celu uzyskania danych dotyczących wynajmu magazynów przeprowadzono badanie aktualnego rynku pod kątem wynajęcia magazynów typu *big box*, *cross dock* oraz SBU na dostępnej stronie internetowej otodom.pl. Na tej podstawie określono dla rozwiązania nr 1 cenę zysku comiesięcznego – 25 zł, dla rozwiązania nr 2 – 35 zł, a dla rozwiązania nr 3 – 45 zł. Wyniki obliczeń przedstawiono w zbiorczej tabeli 11.

Tabela 11. Analiza kosztowa – dane dla wybranych rozwiązań

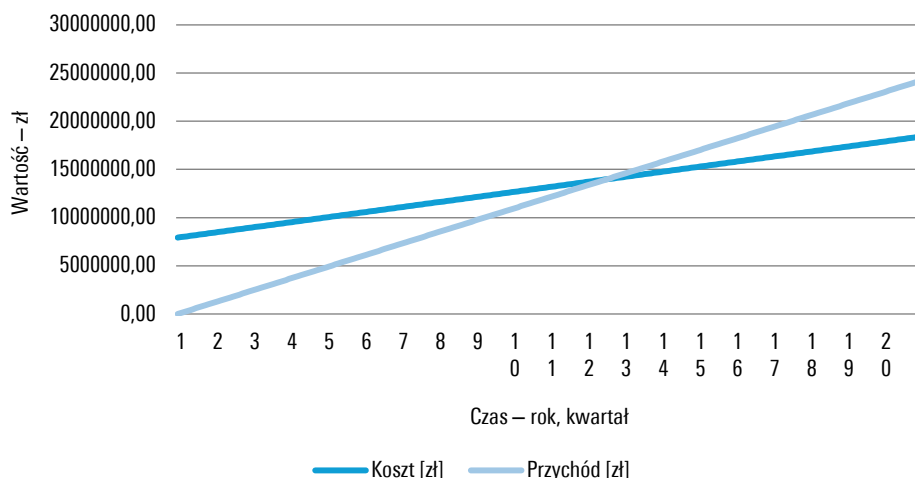
		<i>Big box</i>	<i>Cross dock</i>	SBU
Koszt jednorazowy	Cena gruntu [zł]	2 220 625,00	2 220 625,00	2 220 625,00
	Powierzchnia magazynowa [m ²] – A	5 859,16	2 880,00	6 396,20
	Średnia cena za m2 budowy [zł/ m ²] – B	1 800,00	1 800,00	1 800,00
	Cena budowy magazynu [zł] – A x B	10 546 494,66	5 184 000,00	11 513 161,44
	Suma	12 767 119,66	7 404 625,00	13 733 786,44
Koszt stały	czynsz [zł/m ²] C	13,31	15,15	16,98
	czynsz za powierzchnię magazynową [zł] – A x C	77 991,33	43 623,36	108 626,68
Zysk co miesiąc	Wynajem za m ² [zł/m ²] – D	25,00	35,00	45,00
	Comiesięczny przychód [zł/mies.] – A x D	146 479,09	100 800,00	287 829,04

Źródło: opracowanie własne.



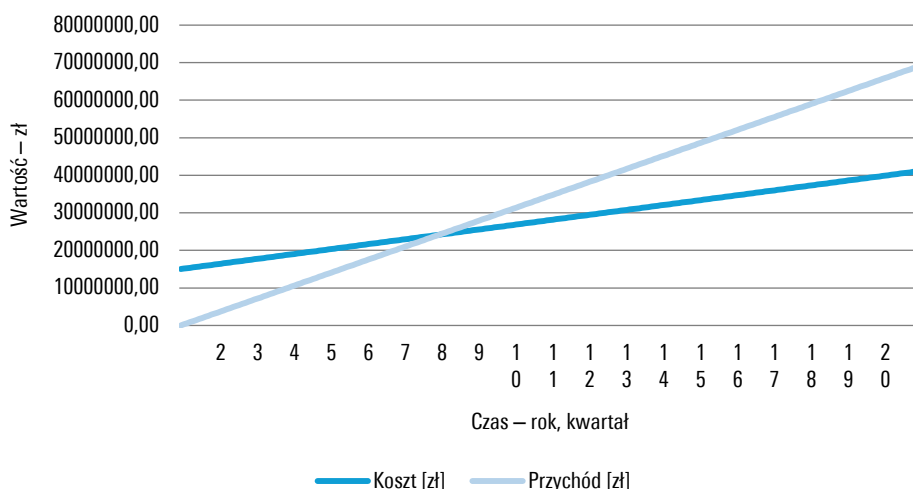
Rys. 10. Próg rentowności *big box*

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 11. Próg rentowności *cross dock*

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 12. Próg rentowności SBU

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowując analizę kosztową, należy stwierdzić, że na miejscu trzecim znajduje się rozwiązanie nr 1 – *big box*, którego czas zwrotu inwestycji jest najdłuższy – trwa 17 lat (rys. 10). Obiekty typu *cross dock* zajmują drugie miejsce w zestawieniu: czas zwrotu inwestycji wynosi 12 lat (rys. 11). Najlepszym rozwiązaniem w przeprowadzonym porównaniu jest rozwiązanie nr

3 – SBU (rys.12), w którym zysk pojawi się najszybciej – już po 7 latach od wynajmu powierzchni magazynowej. Wszystkie wyniki są omawiane bez uwzględnienia rocznego czasu budowy, który jest stały dla każdego rodzaju rozwiązania.

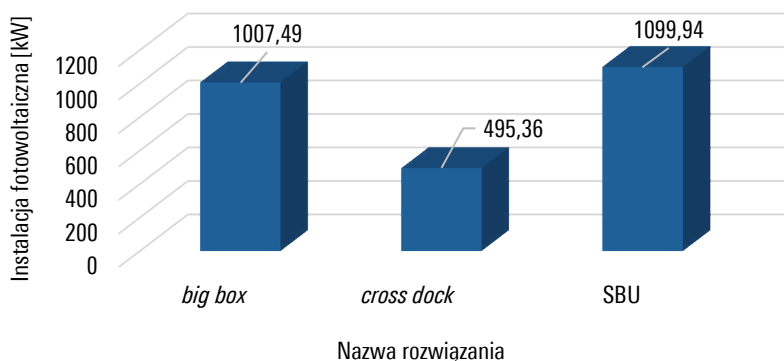
4.3. Analiza energooszczędności rozwiązań

Dopełnieniem analiz jest ocena energooszczędności rozwiązań. Jako źródło energii wybrano panele fotowoltaiczne. W tabeli 13 zaprezentowano wyniki obliczeń dla poszczególnych wariantów; dodatkowo przedstawiono je na rys. 13.

Tabela 13. Tabela energooszczędności poszczególnych rozwiązań

	<i>Big box</i>	<i>Cross dock</i>	SBU
Powierzchnia magazynowa [m ²]	5859,16	2880,00	6396,20
Procent powierzchni dachu [%]	80		
Maksymalna dostępna powierzchnia [m ²]	4687,33	2304,00	5116,96
Moduł fotowoltaiczny [m ²]	2		
Liczba energii na jednostkę [W]	430		
Liczba modułów na wybranej powierzchni	2343	1152	2558
Instalacja fotowoltaiczna [kW]	1007,49	495,36	1099,94

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 13. Wykres kolumnowy analizy porównawczej energooszczędności

Źródło: opracowanie własne.

W ramach tej analizy zbadano opłacalność instalacji fotowoltaicznych w magazynach. Rozwiązanie SBU zostało ocenione jako najbardziej energooszczędne, ponieważ ma największą moc instalacji fotowoltaicznej (110 kW), co zapewnia największy zysk z oszczędności energii. Następne pod względem energooszczędności jest rozwiązanie *big box*, z instalacją o mocy 1008 kW,

oraz *cross dock*, z mocą 495 kW. Zyski z energii elektrycznej zależą od powierzchni magazynu, ponieważ dach budynku jest wykorzystywany do instalacji paneli.

5. Podsumowanie i wnioski

Przedmiot artykułu dotyczył uzupełnienia logistycznych wskaźników oceny hal magazynowych w wybranym obszarze o aktualny stan techniki oraz własną koncepcję rozwiązań techniczno-organizacyjnych. Po dokonaniu charakterystyki dostępnych na rynku hal magazynowych i ich oceny pod kątem wybranych parametrów logistycznych określono 3 najlepsze koncepcje rozwiązań. W tym celu zaprojektowano wybrane hale magazynowe, opierając się na normach budowlanych i logistycznych. Podczas wizualizacji poszczególnych rodzajów magazynów kierowano się strategią wykorzystania maksymalnej powierzchni działki. Na podstawie przeprowadzonych badań pod kątem wybranych wskaźników logistycznych oraz kosztów wykazano, że dla wszystkich wybranych rozwiązań zwrot inwestycji zajmie do 20 lat od wynajmu inwestycji. dopełnieniem obliczeń była analiza energooszczędności, która wykazała, że wskaźnik kubaturowy magazynu jest ściśle powiązany z energooszczędnością. Rozwiązanie nr 3 wybrano jako koncepcję optymalną ze względu na najlepsze wyniki w analizie porównawczej wybranych koncepcji. Ustalono, że

1. Wskaźnik powierzchni magazynowej generujący najwięcej zysku ma najwyższą wartość – 53,86%.
2. Czas zwrotu inwestycji jest najkrótszy w porównaniu z pozostałymi rozwiązaniami i nastąpi w 12 miesiącu po 7 latach od wynajmu magazynu.
3. Ma największą powierzchnię dachów, na której możliwe jest umieszczenie paneli fotowoltaicznych generujących 1099 kW mocy energii elektrycznej.

Wyniki projektu mają charakter szablonowy. W późniejszym etapie należy na ich podstawie rozpocząć współpracę z firmą magazynowo-budowlaną, która udostępni bardziej szczegółowe zamówienie w celu maksymalizacji dokładności projektu.

Bibliografia

- Allekurier.pl. (b.d.). *Cross docking – co to jest i kto na tym najbardziej skorzysta?*. Pobrano 30 kwietnia 2023 z <https://allekurier.pl/blog/cross-docking-co-to-jest-i-kto-na-tym-korzysta>
- Bartol, M., Tylicki, H. (2017). Wybrane problemy optymalizacji procesów logistycznych przedsiębiorstwa. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, (18), 12, s. 1666–1669.
- DL Invest Group. (2022). *Rynek magazynowy w Polsce – podsumowanie 2022 roku. Raport Rynkowy, Powierzchnie przemysłowe i magazynowe*.
- Dudziński, Z., Kizyn, M. (2002). *Vademecum gospodarki magazynowej*. Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr.
- Giermakowska, A., Kurek, J. (2022). *Rynek magazynowo-przemysłowy w Polsce 1-IV kw. 2022. Powierzchnie przemysłowe i magazynowe*. Newmark Polska.
- Kisiel, P., Zwolińska, B. (2011). Rozwój powierzchni magazynowych w Polsce. *Logistyka*, (3), 1167–1173.
- Konspekt.eu. (b.d.). *Hale magazynowe – ile aktualnie kosztuje budowa hali magazynowej?*. Pobrano 23 kwietnia 2023 z <https://www.konspekt.eu/blog/hale-magazynowe-ile-aktualnie-kosztuje-budowa-hali-magazynowej>

- Korzeniowska, J. (b.d.). *Magazyny z chłodnią. Najwyższa jakość dla wymagających klientów*. Pobrano 23 kwietnia 2023 z <https://magazyny.pl/blog/baza-wiedzy/magazyny-z-chlodnia-najwyzsza-jakosc-dla-wymagajacych-klientow/>
- Logistics Avenue. (2021). *Logistyka miejska w Polsce*. JLL, SEGRO.
- Mecalux.pl. (b.d.). *Magazyn chłodniczy i automatyzacja – wydajność pracy i oszczędność kosztów*. Pobrano 23 kwietnia 2023 z <https://www.mecalux.pl/blog/magazyn-chlodniczy-automatyzacja>
- Miszewski, P. (2029). Rola nowoczesnych rozwiązań technologicznych w optymalizacji pracy współczesnego magazynu. *Journal of Translogistics*, (5), 1, 175–182.
- Nowakowska-Grunt J., Starostka-Patyk M. (2017). *Logistyka dystrybucji*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności sp. z o.o.
- Obwieszczenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, *Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej*, 2019, poz. 1065
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Wymiary stanowisk postojowych dla samochodów, t.j. Dz.U.2022.0.1225
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, t.j. Dz.U.2016.0.124
- SEGRO. (2021). *Small Business Units – małe magazyny z wielkim potencjałem*. Colliers.
- Soboń, D. (2019). *Pomocnik najemcy zbiór pojęć podstawowych*. BNP PARIBAS Real Estate.
- Szczepański, M. (2017). *Magazyny typu „cross-dock”*. Pobrano 24 kwietnia 2023 z <https://log4.pl/magazyny-typu-cross-dock,267,15734.htm>

Evaluation of Selected Warehouse Halls in Terms of Optimal Design of Usable Areas

- **Abstract:** The paper presents an optimal design of warehouse halls on a selected plot of land. Based on the analysis of scientific publications, a characterization of modern types of warehouse halls is provided. Then, using selected logistical parameters, the halls were evaluated, which allowed for the identification of the three best concepts, that were presented in AutoCAD program. In the next step, an optimal solution was developed through the analysis of indicators, costs, and energy efficiency. The paper concludes with findings
- **Keywords:** warehouse, logistic indicators, energy efficiency, investment

CZĘŚĆ II

Zrównoważony rozwój w logistyce

Zrównoważony rozwój transportu morskiego na rzecz ochrony środowiska

Patrycja Boratyńska

Uniwersytet Morski w Gdyni

e-mail: patrycjaboratynska29@gmail.com

ORCID: [0009-0007-1521-5636](https://orcid.org/0009-0007-1521-5636)

© 2025 Patrycja Boratyńska

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe (CC BY 4.0).

Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cytuj jako: Boratyńska, P. (2025). Zrównoważony rozwój transportu morskiego na rzecz ochrony środowiska. W: B. Detyna (red.). *Młodzi logiści w nauce. Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa nr 7/2025* (s. 61–70). Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

DOL: [10.71433/2025.96.3.05](https://doi.org/10.71433/2025.96.3.05)

JEL Classification: R48

■ **Streszczenie:** Zrównoważony rozwój transportu morskiego na rzecz ochrony środowiska stanowi kluczowy element globalnych działań dla zapewnienia wzrostu efektywności gospodarczej i logistycznej. Przemysł morski stoi przed wieloma wyzwaniami środowiskowymi, takimi jak emisja gazów cieplarnianych do atmosfery, zanieczyszczenia wód oraz degradacja ekosystemów. Artykuł opisuje zanieczyszczenia, strategie i technologie mające na celu promowanie zrównoważonego rozwoju w żegludze, takie jak zastosowanie alternatywnych paliw (np. LNG, wodór, biopaliwa) oraz korzystanie z odnawialnych źródeł energii w postaci energii wiatrowej. Opisuje również aspekty międzynarodowych regulacji prawnych. Podkreśla także znaczenie innowacji, takich jak autonomiczne statki, narzędzia optymalizacji cyfrowej i mechanizmy oczyszczania spalin. Wnioski wskazują, że osiągnięcie zrównoważonego transportu morskiego wymaga współpracy wszystkich interesariuszy oraz właścicieli statków.

■ **Słowa kluczowe:** transport morski, środowisko, współczesne technologie

1. Wstęp

Transport morski odgrywa kluczową rolę w globalnej gospodarce. Odpowiada za 80% międzynarodowego handlu i umożliwia przewóz towarów i zasobów między portami. Jego efektywność, ekonomiczność i zdolność ładunkowa towarów ponadnormatywnych sprawiają, że stał się niezbędnym narzędziem współpracy międzynarodowej. Statki specjalistyczne marynarki handlowej pozwalają na przewóz miliardów ton surowców, produktów gotowych, żywności, elektroniki, a nawet ropy naftowej czy skroplonego gazu ziemnego służącego do napędu pojazdów kołowych oraz maszyn. Dzięki tej możliwości poszczególne państwa mogą się specjalizować w produkcji dóbr, w których mają przewagę komparatywną, co wspiera globalizację i tym samym zwiększa wydajność gospodarki. Transport drogą morską jest najbardziej opłacalnym środkiem przewozu

2. Wpływ transportu morskiego na środowisko naturalne

Problematyka środowiskowa naturalnego związana z transportem morskim jest aktualnym trendem pojawiającym się regularnie w środowisku infrastruktury morskiej. Statki morskie stanowią jedno z największych źródeł emisji gazów cieplarnianych w postaci dwutlenku węgla, tlenków siarki oraz azotu. Przemysł handlowy odpowiada za około 3% globalnych emisji dwutlenku węgla. Dodatkowo występują zanieczyszczenia przez tlenki siarki (SO_x) oraz tlenki azotu (NO_x), powstające w wyniku spalania paliw ciężkich o wysokiej zawartości siarki. Ma to znaczący wpływ na środowisko, prowadząc do powstania kwaśnych deszczy, degradacji ekosystemów oraz skażenia powietrza. Kwaśne deszcze powstają w wyniku reakcji tlenków siarki z wodą znajdującą się w atmosferze. Skutkiem kwaśnych deszczy jest uszkodzenie gleb i lasów poprzez zakwaszanie wody. Zakwaszenie środowiska wodnego może doprowadzić do wymierania organizmów wrażliwych na zmianę kwasowości, co z kolei degraduje ekosystem. Dla człowieka wdychanie tlenków siarki jest równie niebezpieczne, ponieważ prowadzi do zaostrzenia schorzeń układu oddechowego i sercowo-naczyniowego. Tlenki azotu powstają w wyniku spalania paliwa w wysokich temperaturach i pod wpływem wysokiego ciśnienia. Uwalnianie tlenków azotu powoduje powstanie smogu, a także ozonu troposferycznego odpowiedzialnego za choroby ludzi i zwierząt. Depozycja tlenków azotu do wody morskiej prowadzi do eutrofizacji, czyli nadmiernego wzrostu glonów, co skutkuje niedoborem tlenu w wodzie i śmiercią organizmów morskich.

Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza w art. 1 ust. 1, pkt 4 podaje następującą definicję pojęcia zanieczyszczenia morskiego: „zanieczyszczanie środowiska morskiego oznacza takie bezpośrednie lub pośrednie wprowadzanie przez człowieka substancji lub energii do środowiska morskiego, łącznie z estuariami, które powoduje lub może powodować takie szkodliwe następstwa, jak: szkody wyrządzone żywym zasobom i życiu w morzu, niebezpieczeństwa dla zdrowia człowieka, przeszkody w działalności na morzu, w tym w połowianiu i w innych zgodnych z prawem sposobach korzystania z morza, obniżanie jakości użytkowej wody morskiej i pogarszanie warunków wypoczynku”. Przyjęta definicja zaproponowana została przez Komitet Naukowy Badań Oceanicznych działający w strukturach Międzynarodowej Rady Organizacji Naukowych. Zanieczyszczenia wód morskich odbywają się głównie w wyniku wypływania zanieczyszczeń z kadłubów jednostek morskich, na przykład metali ciężkich czy pozostałości farb przeciwkorozyjnych i przeciwpiorostowych. Znacznie gorszym scenariuszem dla środowiska morskiego są wypadki oraz kolizje, które prowadzą do wylewów paliw i olejów. Kwestia rozlewów olejowych regulowana i egzekwowana jest przez Międzynarodową Konwencję o Zapobieganiu Zanieczyszczaniu Morza przez Statki (Konwencja MARPOL). Konwencję tę przyjęto w roku 1973, natomiast została zmodyfikowana w roku 1978 na Międzynarodowej Konferencji w sprawie Bezpieczeństwa Zbiornikowców i Zapobiegania Zanieczyszczeniom. Również dzięki Konwencji MARPOL regulowane są zagadnienia dotyczące odpadów, ścieków, zanieczyszczeń szkodliwymi substancjami ciekłymi oraz substancjami przewożonymi w opakowaniach przez statki.

Zanieczyszczenia wód morskich dzielimy na:

- Chemiczne – substancje, które zmieniają właściwości wody: metale ciężkie (rtęć, ołów), ropa naftowa, związki organiczne (detergenty, farmaceutyki).

- Fizyczne – w postaci osadów zmieniających przezroczystość wody, plastik i mikroplastik, których fragmenty zagrażają organizmom morskim.
- Biologiczne – polegają na wprowadzaniu do wód substancji lub organizmów pochodzenia biologicznego, takich jak: bakterie i wirusy pochodzące z nieoczyszczonych ścieków oraz inwazyjne gatunki przedostające się przez balasty statków.
- Radioaktywne – powstają w wyniku działalności przemysłu nuklearnego.

Do najbardziej niebezpiecznych rodzajów zanieczyszczeń środowiska morskiego należą rozlewy olejowe. Rozlewy tworzą oleistą warstwę na powierzchni wody lub rozpuszczają się w niej i wchodzi w strukturę flory oraz fauny morskiej. W szczególności powstające ubytki tlenowe wywierają znacząco negatywny wpływ na faunę denną. Widoczne skutki rozlewów tworzą się na powierzchni akwenu. Zmniejszają one znacznie szanse na przeżycie zwierząt unoszących się na wodzie, co prowadzi do znacznego zmniejszenia biomasy morza. Poprzez występowanie prądów pływowych oraz silnych wiatrów powodujących znos jednostek pływających rozlewy natychmiastowo rozprzestrzeniają się. Liczne substancje chemiczne zawarte w rozlewach olejowych są toksyczne dla całego środowiska morskiego oraz mają poważne reperkusje dla środowiska nadmorskiego. Również paliwa napędowe, takie jak ropa naftowa, która stanowi mieszaninę wielu związków, w których w skład wchodzi węglowodory alkanowe, cykloalkanowe i arenowe, związki siarkoorganiczne, azotoorganiczne, tlenoorganiczne oraz substancje mineralne i woda, powodują znaczne pogorszenie się stanu środowiska naturalnego. Poprzez procesy niecałkowitego spalania paliw węglowych stanowią największe niebezpieczeństwo zanieczyszczenia zarówno wód, jak i powietrza. Do środowiska trafiają z eksploatacji jednostek pływających, zrzutów wód balastowych i zęzowych, ścieków komunalnych, ścieków przemysłowych oraz na skutek szeroko rozumianych awarii statków zbiornikowych.

3. Międzynarodowe regulacje prawne dotyczące ochrony środowiska

Prawo morza stanowi dział prawa międzynarodowego publicznego, który określa status prawny obszarów oraz statków morskich. Opiera się na zwyczaju międzynarodowym i na umowach. Jedną z umów międzynarodowych jest Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza sporządzona 10 grudnia 1982 roku (tzw. Konwencja jamajska). Projekt Konwencji o prawie morza uchwalony został już 30 kwietnia 1982 roku, lecz złożenie podpisów potwierdzających nastąpiło w grudniu tego samego roku. Reguluje ona kwestie związane z administracją obszarów morskich wchodzących w skład terytorium państwowego, obszarów podlegających ograniczonej jurysdykcji i suwerenności państw oraz obszary poza granicami jurysdykcji państw.

Wyróżniamy tu takie regulacje prawne, jak:

1. Konwencja MARPOL (Międzynarodowa konwencja o zapobieganiu zanieczyszczaniu morza przez statki).
2. Konwencja o ochronie różnorodności biologicznej (CBD).
3. Konwencja londyńska (1972) i protokoły dotyczące zatapiania odpadów w morzach.
4. Konwencja helsińska (HELCOM) dotycząca ochrony środowiska morskiego Morza Bałtyckiego.
5. Konwencja o prawie morza (UNCLOS).

6. Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO).
7. Międzynarodowa Konwencja o kontroli i postępowaniu ze statkowymi wodami balastowymi BWM.
8. Inne porozumienia regionalne.

Międzynarodowa konwencja o zapobieganiu zanieczyszczaniu morza przez statki (MARPOL) stanowi umowę międzynarodową przyjętą na Międzynarodowej Konferencji w sprawie Zanieczyszczania Mórz. Ma ona zastosowanie do statków uprawnionych do podnoszenia bandery stron konwencji oraz statków nieuprawnionych do podnoszenia bandery strony, ale eksploatowanych pod zarządem strony. Jej przepisy nie mają zastosowania do jakiegokolwiek okrętu wojennego, floty pomocniczej ani do innych statków stanowiących własność państwa lub eksploatowanych przez nie i używanych czasowo wyłącznie w rządowej służbie niehandlowej.

Konwencja o zapobieganiu zanieczyszczeniu mórz przez zatapianie odpadów i innych substancji została sporządzona dnia 29 grudnia 1972 roku w Londynie, Meksyku, Moskwie i Waszyngtonie. Umowa międzynarodowa zobowiązuje strony do podejmowania natychmiastowych działań mających na celu zwalczanie oraz zapobieganie zanieczyszczeniu mórz, które mogłyby „wyrządzić szkodę zasobom żywym, florze i faunie morskiej, pogarszać warunki rekreacyjne lub też utrudniać wszystkie inne prawnie dopuszczalne sposoby użytkowania morza”.

Pierwsza Konwencja helsińska została podpisana 22 marca 1974 roku w Helsinkach, a weszła w życie 3 maja 1980 roku i obejmowała ona cały obszar Morza Bałtyckiego z Cieśninami Duńskimi. Po ratyfikacji Konwencji przez Europejską Wspólnotę Gospodarczą w dniu 24 września 1992 roku stronami jej zostało dziewięć państw nadbałtyckich. Należy wspomnieć, iż Konwencja obejmująca obszar Morza Bałtyckiego ma zastosowanie do ochrony wód i dna morskiego, łącznie z ich żywymi zasobami i innymi formami życia w morzu. Konwencja helsińska wprowadziła pojęcie najlepszej praktyki ekologicznej, która uwzględnia zasady zapobiegania, unikania zanieczyszczających działań, ryzyka dla środowiska związanego z wyborem danego wytworu, potencjalne korzyści i szkody związane z użyciem materiałów, skalę użycia.

Międzynarodowa konwencja o kontroli i postępowaniu ze statkowymi wodami balastowymi i osadami (BWM) została sporządzona w Londynie 13 lutego 2004 roku. Konwencja BWM jest pierwszym międzynarodowym instrumentem prawnym i technicznym opisującym ryzyko wynikające z przemieszczania się organizmów w wodach balastowych. Wprowadzona została poprzez przywołanie Konwencji Narodów Zjednoczonych o prawie morza z 1982 roku, Konwencji o różnorodności biologicznej z 1992 roku, Konferencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Środowiska i Rozwoju z roku 1992 oraz Komitetu Ochrony Środowiska Morskiego. Przedmiotowa umowa międzynarodowa weszła w życie 8 września 2017 roku. Do Konwencji przystąpiło 86 państw, których floty handlowe stanowią łącznie około 91% pojemności brutto światowej floty handlowej. Głównym celem tego dokumentu jest zapobieganie, zminimalizowanie i ostatecznie wyeliminowanie ryzyka dla środowiska, ludzkiego zdrowia, mienia i zasobów, związanego z przenoszeniem szkodliwych organizmów morskich oraz patogenów, jak również unikanie skutków ubocznych tego zjawiska. Uważa się, iż przedostanie się gatunków obcych do nowych, nieprzystosowanych do nich środowisk może doprowadzić do zmiany struktury ekosystemów morskich oraz jej dynamiki.

Regulacje prawne w zakresie ochrony środowiska naturalnego są istotnym narzędziem ograniczania negatywnego wpływu działalności człowieka na przyrodę. Obejmują one zarówno normy międzynarodowe, jak i szczegółowe przepisy krajowe i lokalne. Ich efektywne wdrażanie wymaga zaangażowania, współpracy na wszystkich szczeblach technologicznych oraz finansowych.

4. Innowacyjne technologie na rzecz zrównoważonego transportu morskiego

Głównym założeniem wspomnianej Konwencji o zarządzaniu wodami balastowymi jest stosowanie na statkach morskich technologii oczyszczania wód tak, aby skutecznie zapobiec wprowadzaniu gatunków inwazyjnych do nowych ekosystemów. Do jednej z metod chemicznych należy neutralizacja elektrochemiczna polegająca na zainstalowaniu elektrolitycznej komory przepływowej wód balastowych z elektrodami zasilającymi prądem stałym. Niszczenie organizmów tą metodą odbywa się poprzez wydzielanie czynników neutralizujących (np. rodników wodorotlenowych). Zastosowanie metod fizycznych ogranicza się do zastosowań lamp UV lub ultradźwięków. Promieniowanie UV jest jedną z najpopularniejszych metod wykorzystywanych na statkach, uważaną za efektywną i przyjazną środowisku. Stosowane są w niej lampy wyładowcze niskociśnieniowe, wykonane ze szkła kwarcowego z niską zawartością rtęci, dzięki czemu wytwarzają one stabilne promieniowanie. Organizmy, które dostaną się wraz z wodą balastową na jednostkę morską, są neutralizowane poprzez utlenianie. Zastosowanie fal ultradźwiękowych powoduje powstanie zjawiska kawitacji, czyli zaniku pęcherzyków powietrza na skutek zmiany ciśnienia cieczy. Siły hydrodynamiczne skutecznie rozrywają ścianki organizmów żywych, powodując ich neutralizację.

Aktualnie wielu działaczy „Green Ships” inwestuje w systemy kontrolujące w czasie rzeczywistym trasę statku oraz jego parametry, co ma znacznie zredukować zanieczyszczenia wytwarzane przez jednostkę morską. Urządzenia te wykorzystują satelitarne systemy monitoringu oraz systemy zarządzania emisjami. Strategią europejskiego Zielonego Ładu (*Green Deal*) jest zredukowanie łącznej emisji spalin CO₂. Ponadto w roku 2020 Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) wyznaczyła nowy poziom dozwolonej emisji siarki na 0,50%, zmieniając tym samym załącznik IV Konwencji MARPOL dotyczący norm emisji. Jedną z metod redukcji utleniania siarki zawartej w paliwie jest dodanie olejów smarnych do silnika, który tworzy neutralne związki wapnia, pozwalające na neutralizowanie spalin. Metoda ta nie likwiduje całej uwalnianej siarki w czasie zużycia paliwa, lecz tylko wspomaga jej ograniczenie.

Wzrost zapotrzebowania na zrównoważony rozwój transportu morskiego wiąże się z potrzebą wprowadzenia paliw alternatywnych, takich jak skroplony gaz ziemny (LNG), biopaliwa, wodór czy też amoniak. Aktualnie przeprowadzane są badania nad rozwojem technologicznym poprawiającym efektywność energetyczną zarówno dla maszyn (układów napędowych), jak i pokładów statków (m.in. oświetlenie, mechaniczne urządzenia pokładowe). Większość statków obecnie eksploatowanych wykorzystuje paliwo ciężkie (HFO – *Heavy Full Oil*), które jest stosunkowo niedrogie. Napęd statkowy zasilany amoniakiem dotychczas nie został jeszcze zastosowany. Stanowi to nowy i innowacyjny pomysł, który przez ostatni czas skupił uwagę naukowców z całego świata.

W dalszej części tekstu opisano zastosowane dotychczas alternatywne typy paliw na statkach w celu zmniejszenia ich wpływu na środowisko oraz ich korzyści:

- skroplony gaz ziemny (LNG) – spalanie skroplonego gazu ziemnego powoduje zmniejszenie emisji dwutlenku węgla, emisję dwutlenków siarki oraz tlenków azotu;
- biopaliwo – produkowane jest z biomasy, którą stanowią oleje roślinne czy tłuszcze zwierzęce, co oddziałuje neutralnie na emisję dwutlenku węgla oraz znacząco obniża dwutlenek siarki i tlenek azotu;
- metanol – produkowany z gazu ziemnego, biomasy, dzięki czemu jego spalanie nie tworzy emisji dwutlenku węgla, jednak jest toksyczny i wymaga zastosowania środków ostrożności podczas jego przechowywania;
- wodór – używany jako paliwo ogniwo paliwowych, który wytwarza energię elektryczną, nie emituje dwutlenku węgla, lecz jego przechowywanie jest skomplikowane i kosztowne, wymaga dużych zbiorników;
- amoniak – nie powoduje emisji dwutlenku węgla, lecz jest toksyczny i wymaga zastosowania środków ostrożności w celu jego przechowywania;
- paliwa syntetyczne – produkowane poprzez syntezę wodoru i dwutlenku węgla, dlatego są neutralne pod względem emisji CO₂, jednak wymagają dużych nakładów energetycznych.

Na statkach morskich wciąż dominuje zastosowanie olejów opałowych ciężkich (HFO), olejów napędowych (MGO i MDO), jednakże w ostatnich latach rośnie zainteresowanie paliwami alternatywnymi, które pozwalają na znaczne zmniejszenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Każde z wyżej wymienionych paliw ma swoje wady i zalety, a wybór odpowiedniego napędu zależy od dostępności produktów, kosztów, infrastruktury oraz regulacji środowiskowych.

Aby przeciwdziałać zanieczyszczeniom powietrza przez stosowanie paliw w postaci olejów napędowych, wymagane jest posiadanie systemów oczyszczania spalin na jednostkach morskich. Scrubbery, czyli płuczki spalin, zamontowane są w maszynie i kominie statku. W skład systemu wchodzi: pompy, chłodnice, zbiorniki na osady i zbiorniki cyrkulacyjny, oczyszczacz wody, system monitoringu gazu/wody oraz sam scrubber. Systemy oczyszczania spalin dzielimy na mokre i suche. System mokry wykorzystuje wodę morską oraz słodką do absorbowania lub wychwytywania zanieczyszczeń. Scrubbery suche wykorzystują zaś materiały sorpcyjne w postaci suchego proszku, np. wapnia lub wodorowęglanu sodu, które reagują z zanieczyszczeniami. System oczyszczania paliw spełnia regulacje IMO 2020, które ograniczają maksymalną zawartość siarki w paliwie do 0,5%.

5. Zarządzanie efektywnością transportu morskiego

Aby zarządzać efektywnością transportu morskiego, należy się skupić na podstawowych kategoriach mających na celu zwiększenie bezpieczeństwa pracy oraz życia na morzu wraz z uwzględnieniem ochrony środowiska naturalnego (zob. tab. 1). Do najważniejszych kategorii należą planowanie tras żeglownych i ich optymalizacja, monitorowanie i analiza efektywności transportu, optymalizacja kosztów dostaw, technologia i automatyzacja, zarządzanie flotą morską oraz wskaźnik efektywności ochrony środowiska. Zastosowanie powyższych kategorii w zarządzaniu

Tabela 1. Kategorie zarządzania efektywnością transportu morskiego

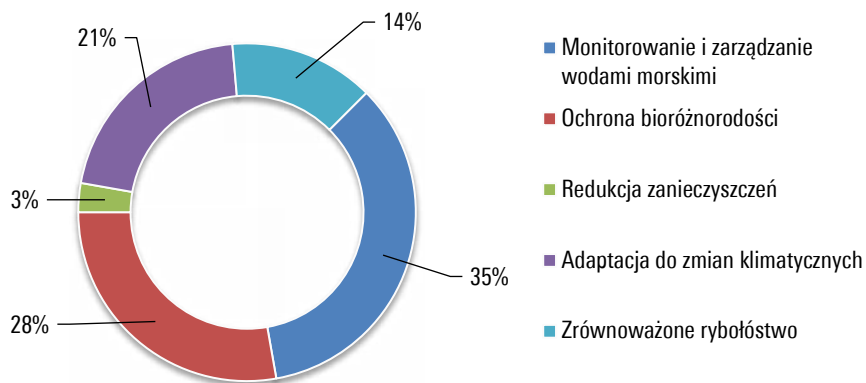
Kategoria	Opis	Przykłady działań
Planowanie tras żeglugowych	Optymalizacja tras i zasobów, aby zmniejszyć koszty i czas dostaw	- Wykorzystanie systemów GPS - Tworzenie harmonogramu dostaw - Wykorzystanie map meteorologicznych - Wykorzystanie ortodromy na trasach oceanicznych
Monitorowanie i analiza	Stałe śledzenie wskaźników efektywności transportu	- Monitorowanie oraz analiza zużycia paliwa w czasie podróży - Monitorowanie czasu dostaw towarów
Optymalizacja kosztów dostaw	Redukcja kosztów operacyjnych przy zachowaniu jakości usług	- Konsolidacja ładunków - Negocjacja umów z dostawcami
Technologia i automatyzacja	Wdrożenie narzędzi cyfrowych wspierających zarządzanie transportem	Wprowadzenie systemów służących do analizowania oraz redukcji uwalnianych zanieczyszczeń do środowiska morskiego
Wskaźnik efektywności ochrony środowiska	Pomiar wydajności systemów służących do ochrony środowiska	- Analiza przebytej trasy pod względem zużycia paliwa, wody słodkiej, smarów - Analiza ilości wykorzystanego paliwa alternatywnego
Zarządzanie flotą morską	Efektywne zarządzanie statkamiorskimi	- Regularne inspekcje sprzętu oraz ich konserwacja - Wymiana zniszczonych części na nowe

Źródło: opracowanie własne.

infrastrukturą morską może doprowadzić do optymalizacji operacji oraz inwestycji w zrównoważony dalszy rozwój. Realizacja tych celów wymaga jednak współpracy międzysektorowej oraz ciągłego monitorowania postępu, co stanowi zarówno wyzwanie, jak i szansę dla przyszłości transportu morskiego.

6. Scenariusze transportu morskiego do 2050 roku

Transport morski do roku 2050 ma szansę stać się sektorem całkowicie zrównoważonym i efektywnym w globalnym łańcuchu dostaw. W wizjach przyszłości zakłada się całkowite przejście na alternatywne źródła energii, takie jak paliwa alternatywne, nazywane również zeroemisyjnymi. Dzięki sukcesywnemu wprowadzeniu cyfryzacji oraz rozwojowi sztucznej inteligencji procesy zarządzania flotą, planowania i monitorowania tras z operacjami ładunkowymi stały się w pełni zautomatyzowane, co przyczynia się do wzrostu efektywności w minimalizacji negatywnego oddziaływania na środowisko naturalnego. Porty przyszłości będą działać jako inteligentne węzły logistyczne, a aktywność „zielonych portów” pozwoli na zrównoważony rozwój przestrzennej infrastruktury.



Rys. 1. Procentowy udział różnych kategorii w ochronie środowiska morskiego do roku 2050

Źródło: (Portal Morski, b.d.).

Analizując wykres na rys. 1 prezentujący procentowy udział kategorii składających się z monitorowania i zarządzania wodami morskimi, ochrony bioróżnorodności, redukcji zanieczyszczeń, adaptacji do zmian klimatycznych oraz zrównoważonego rybołówstwa, można dostrzec znaczny spadek redukcji zanieczyszczeń. Dzieje się tak, ponieważ ochrona środowiska i wprowadzenie poszczególnych regulacji czy innowacyjnych systemów jest normą, która sprawi, iż do 2050 roku będziemy w stanie skutecznie zmniejszyć negatywne oddziaływanie na środowisko oraz zrealizować plan obniżenia temperatury Ziemi o 1,5 stopnia Celsjusza.



Rys. 2. Statki przyszłości

Źródło: (Portal Morski, b.d.).

Statki przyszłości (zob. rys. 2), pomimo innych konstrukcji oraz zastosowanych technologii, mają wspólny cel – ochronę środowiska morskiego oraz zrównoważony rozwój transportu morskiego. Coraz bardziej popularna jest koncepcja powrotu do napędu wiatrowego, który wytwarza dodatkową energię napędową, co znacznie zmniejsza wykorzystywanie napędu tradycyjnego w postaci paliwa napędowego bądź paliw alternatywnych. Żagle wirnikowe wykorzystują efekt Magnusa, który pozwala na generowanie siły napędowej. Kiedy cylinder obraca się w strumieniu powietrza, wytwarzając różnicę ciśnień, po dwóch stronach powietrze będzie poruszało się znacznie szybciej po jednej stronie cylindra, co wygeneruje poprzeczną siłę do kierunku wiatru, wytwarzając dodatkową energię. Odzyskanie energii wiatrowej tym sposobem wynosi około 50% możliwości jej pozyskania.

Statki bezzałogowe, inaczej autonomiczne, funkcjonujące bez udziału załogi na pokładzie, to najnowocześniejsze rozwiązanie w transporcie morskim. Dzięki nowoczesnym technologiom tego typu statki mogą być sterowane zdalnie w pełni lub częściowo. Brak załogi na pokładzie statku pozwala na oszczędności w kosztach operacyjnych, takich jak utrzymanie załogi i wynagrodzenie za wykonywane obowiązki. Dodatkowo jednostki autonomiczne mają minimalizować ryzyko popełniania błędów przez ludzi, co ma znacząco zwiększyć bezpieczeństwo na morzu, bowiem błędy ludzkie są najczęstszym powodem katastrof i incydentów morskich. Rozwój tej technologii ma jednak wielu przeciwników. Stoi przed nim również wyzwania, w tym dotyczące regulacji prawnych, kwestii cyberbezpieczeństwa oraz budowy odpowiedniej infrastruktury portowej.

7. Wnioski

Zrównoważony rozwój transportu morskiego jest szansą na modernizację i innowacje w branży żeglugowej. Adaptacja alternatywnych paliw, takich jak skroplony gaz ziemny, wodór czy biopaliwa, oraz zastosowanie odnawialnych źródeł energii znacząco ograniczają emisję gazów cieplarnianych do atmosfery oraz zmniejszają negatywny wpływ na środowisko naturalne. Regulacje międzynarodowe, takie jak Konwencja MARPOL, i cele wyznaczone przez Międzynarodową Organizację Morską (IMO) zawierają przepisy, do których należy się stosować, a skuteczność tych działań jest ściśle monitorowana. Osiągnięcie najwyższej efektywności transportu wymaga współpracy wszystkich interesariuszy i osób pracujących w infrastrukturze morskiej. Wspólne inwestycje w badania są kluczowe do osiągnięcia zrównoważonego rozwoju, który musi uwzględniać kwestie zarówno środowiskowe, jak i ekonomiczne. Inwestycje w ekologiczne rozwiązania mogą wygenerować długoterminowe oszczędności finansowe oraz energetyczne, jednocześnie podnosząc konkurencyjność przedsiębiorstw na arenie międzynarodowej.

Bibliografia

- Bolałek, J. (2016). *Ochrona środowiska morskiego. Od teorii do praktyki*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.
- HELCOM. (2018). *State of the Baltic Sea-Second HELCOM Holistic Assessment 2011-2016*. Baltic Marine Environment Protection Commission – Helsinki Commission.

- Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza. Montego Bay. 1982.12.10. Porozumienie w sprawie implementacji części XI Konwencji Narodów Zjednoczonych o prawie morza z dnia 10 grudnia 1982 r. (Dz.U.2002.59.543)
- Konwencja o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego z 9 kwietnia 1992 r. [Konwencja helsińska]. (Dz.U.2000.28.346.)
- Konwencja o zapobieganiu zanieczyszczeniu mórz przez zatapianie odpadów i innych substancji. [Konwencja londyńska]. (Dz.U.1961.28.135)
- Ławniczak, A. E., Mioduszewski, W. (2013). *Woda w środowisku: zagrożenia, ochrona, zrównoważone użytkowanie*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Międzynarodowa konwencja o gotowości do zwalczania zanieczyszczeń morza olejami oraz współpracy w tym zakresie (OPRC). (Dz.U. 2004 nr 36, poz. 1903)
- Międzynarodowa konwencja o kontroli i postępowaniu ze statkowymi wodami balastowymi i osadami. [Konwencja BWM]. (Dz.U.2020.1800)
- Międzynarodowa konwencja o zapobieganiu zanieczyszczenia morza przez statki z 1973 r. [MARPOL 73/78]. Międzynarodowa Organizacja Morska (t.j. Dz.U.2023.1072)
- Najwyższa Izba Kontroli. (2004). *Informacja o wynikach kontroli realizacji postanowienia Konwencji Helsińskiej*. NIK.
- Portal Morski. (b.d.). <https://www.portalmorski.pl>
- Ustawa z dnia 20 lipca 2017 roku o prawie wodnym (Dz.U. 2017, poz. 1566)

Sustainable Development of Maritime Transport for Environmental Protection

- **Abstract:** Sustainable development in maritime transport is a critical component of global efforts to protect the environment while ensuring economic growth and efficient logistics. The maritime industry faces significant environmental challenges, including greenhouse gas emissions, marine pollution, and the degradation of ecosystems. This paper explores strategies and technologies aimed at promoting sustainability in shipping, such as the adoption of alternative fuels (e.g., LNG, hydrogen, and biofuels), the implementation of energy-efficient ship designs, and the use of renewable energy sources like wind and solar power. Emphasis is placed on innovations such as autonomous vessels, digital optimization tools, and scrubbers mechanisms. The study concludes that achieving sustainable maritime transport requires a collaborative approach among stakeholders, encompassing ship owners, policymakers, and technology providers, to balance environmental, economic, and social priorities effectively.
- **Keywords:** maritime transport, environmental, modern technology

Alternatywne źródła statków a zrównoważony rozwój logistyki morskiej – studium przypadku na trasie Szwecja–Polska

Weronika Zimny

Szkoła Doktorska Politechniki Koszalińskiej
e-mail: weronika.zimny@s.tu.koszalin.pl

Vladyslav Liashuk

Politechnika Koszalińska
e-mail: u16187@s.tu.koszalin.pl

© 2025 Weronika Zimny, Vladyslav Liashuk

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe (CC BY 4.0).
Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cytuj jako: Zimny, W., Liashuk, V. (2025). Alternatywne źródła statków a zrównoważony rozwój logistyki morskiej – studium przypadku na trasie Szwecja–Polska. W: B. Detyna (red.). *Młodzi logistycy w nauce. Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa nr 7/2025* (s. 71–80). Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

DOI: [10.71433/2025.96.3.06](https://doi.org/10.71433/2025.96.3.06)

JEL Classification: Q56, R41

■ **Streszczenie:** Przedmiot i cel pracy stanowiła ocena wpływu zastosowania paliwa alternatywnego RMD 80 na wielkość śladu węglowego w porównaniu z konwencjonalnym paliwem MGO w logistyce morskiej, ze szczególnym uwzględnieniem trasy Świnoujście-Ystad. W artykule wykorzystano takie metody, jak analiza porównawcza danych dotyczących zużycia paliwa i emisji CO₂ w okresie od 1 do 14 sierpnia, z wykorzystaniem pomiarów wielkości śladu węglowego dla paliw MGO i RMD 80, studium przypadku na trasie Polska-Szwecja. W rezultacie badań ustalono, że przy identycznym zużyciu paliwa wykazano istotną różnicę w emisji CO₂. Dla paliwa MGO całkowita emisja wyniosła 781,29 kg CO₂, natomiast dla RMD 80-704,81 kg CO₂, co oznacza redukcję o 76,48 kg CO₂ (9,79%). Oba paliwa charakteryzują się odmiennymi właściwościami – MGO ma gęstość 0,833 g/cm³ i współczynnik emisji 3,847 kg CO₂/kg paliwa, podczas gdy RMD 80 cechuje się gęstością 0,874 g/cm³ i współczynnikiem emisji 3,116 kg CO₂/kg paliwa. Zastosowanie paliwa RMD 80 jako alternatywy dla MGO prowadzi do znaczącej redukcji śladu węglowego w żegludze morskiej. W perspektywie długoterminowej może to się przyczynić do istotnej poprawy wskaźników środowiskowych w transporcie morskim, szczególnie w obszarach kontroli emisji (ECA). Mimo konieczności dostosowania infrastruktury portowej i wyposażenia statków w systemy grzania paliwa korzyści środowiskowe oraz ekonomiczne uzasadniają transformację w kierunku paliw alternatywnych.

■ **Słowa kluczowe:** ślad węglowy, paliwa alternatywne, RMD 80, MGO, logistyka morska, zrównoważony rozwój, emisja CO₂

1. Wstęp

Zrównoważony rozwój staje się kluczowym wyzwaniem dla współczesnej gospodarki, szczególnie w sektorze transportu, który generuje znaczący wpływ na środowisko. Logistyka morska, będąca integralnym elementem globalnego łańcucha dostaw, stoi przed koniecznością przekształceń, które pozwolą na redukcję emisji gazów cieplarnianych oraz minimalizację zużycia zasobów naturalnych. Jednym z obszarów, w którym można wprowadzić innowacyjne rozwiązania, jest wykorzystywanie alternatywnych źródeł napędu statków, co jest przedmiotem niniejszego artykułu.

Celem tekstu jest ocena wpływu zastosowania paliwa alternatywnego na wielkość śladu węglowego w porównaniu z paliwem konwencjonalnym w logistyce morskiej. Problem badawczy sformułowano w postaci pytania: Czy zastosowanie paliwa alternatywnego w zasilaniu statków prowadzi do zmniejszenia śladu węglowego w porównaniu z paliwem konwencjonalnym? Postawiono także hipotezę badawczą: Zastosowanie paliwa alternatywnego do zasilania statków doprowadza do zmniejszenia śladu węglowego w porównaniu z paliwem konwencjonalnym, tym samym wpływając na zrównoważony rozwój logistyki morskiej.

2. Zrównoważony rozwój w logistyce morskiej

Logistyka morska to kompleksowy system zarządzania przepływem ładunków i towarów realizowany przy użyciu transportu morskiego, obejmujący planowanie, organizowanie, kontrolowanie oraz optymalizację procesów związanych z przewozem dóbr na statkach na poziomie międzynarodowym i regionalnym (Pac, 2017, s. 13). W tradycyjnym ujęciu jej głównym celem jest dostarczenie ładunków efektywne pod względem kosztów, czasu oraz niezawodności (Wagner, 2014, s. 213). Współczesne wyzwania związane ze zmianami klimatycznymi i rosnącą świadomością ekologiczną powodują jednak, że coraz większy nacisk kładzie się na integrację aspektów środowiskowych i społecznych w zarządzaniu logistyką morską. Logistyka morska obejmuje kilka kluczowych obszarów działalności. Przede wszystkim jest to transport morski, który realizuje przewozy na różnych trasach, od dalekich dystansów oceanicznych po krótkie odcinki żeglugi bliskiego zasięgu – *short sea shipping* (Marek, 2013, s. 39–40). Kolejnym elementem jest infrastruktura portowa, obejmująca porty, terminale kontenerowe i magazyny, umożliwiającą efektywny przeładunek i przechowywanie towarów. Ważną rolę odgrywa także zarządzanie łańcuchem dostaw, które koordynuje działania między spedytorami, armatorami, operatorami portowymi oraz odbiorcami towarów (Kalbarczyk, 2018, s. 470–471). Ostatnim, równie istotnym obszarem są technologie i innowacje, w tym systemy zarządzania flotą, automatyzacja procesów portowych oraz wdrażanie alternatywnych źródeł energii dla statków. Transport morski stanowi fundament globalnej gospodarki, odpowiadając za przewóz około 90% światowego handlu. Dzięki swojej efektywności kosztowej i ekologicznej w przeliczeniu na jednostkę towaru jest niezastąpionym środkiem transportu w zglobalizowanej ekonomii. Jednocześnie sektor ten staje przed istotnymi wyzwaniami, takimi jak redukcja emisji CO₂, ochrona ekosystemów morskich oraz konieczność dostosowania się do regulacji środowiskowych, takich jak Międzynarodowa Konwencja MARPOL.

Zrównoważony rozwój jest koncepcją, która integruje trzy wzajemnie powiązane wymiary: gospodarczy, środowiskowy i społeczny (Kłos, 2017, s. 95). Model ten, znany jako model trójfilarowy, stanowi podstawę nowoczesnych strategii zarządzania, również w sektorze logistyki morskiej (Wołczek, 2014, s. 207). W obliczu wyzwań globalnych, którymi są zmiany klimatyczne, rosnąca populacja i konieczność optymalizacji zasobów, wdrażanie tej koncepcji staje się nieodzownym elementem działań na rzecz zrównoważonej żeglugi. Logistyka morska odgrywa kluczową rolę w globalnej gospodarce, umożliwiając wymianę handlową na niespotykaną dotąd skalę. W ramach zrównoważonego rozwoju w tym sektorze priorytetem jest zapewnienie efektywności ekonomicznej przy jednoczesnym minimalizowaniu negatywnego wpływu na środowisko i społeczeństwo (Jurdziński, 2012, s. 20–21). Alternatywne źródła napędu statków, takie jak paliwa LNG (skroplony gaz ziemny) czy technologie hybrydowe, pozwalają obniżyć koszty operacyjne w długiej perspektywie, choć wymagają początkowo znacznych nakładów inwestycyjnych (Motowidlak, 2013, s. 346). Również modernizacja infrastruktury portowej, w tym automatyzacja i cyfryzacja, przyczynia się do wzrostu konkurencyjności sektora, wspierając jego rozwój gospodarczy. Wymiar środowiskowy zrównoważonego rozwoju koncentruje się na redukcji negatywnego wpływu żeglugi na ekosystemy morskie i atmosferę. Emisje gazów cieplarnianych, którymi są CO_2 , SO_2 i NO_x , generowane przez żeglugę, stanowią istotne wyzwanie, wpływając na zmiany klimatyczne i jakość powietrza (Krakowski, 2019, s. 190). Innowacyjne technologie, takie jak napęd elektryczny, żagle hybrydowe czy paliwa z biomasy, pomagają zmniejszyć emisje i ślad środowiskowy sektora. Jednocześnie istotne jest zapobieganie degradacji ekosystemów poprzez unikanie obszarów wrażliwych ekologicznie i ograniczanie zrzutów zanieczyszczeń do morza, co wzmacnia ochronę bioróżnorodności.

Logistyka morska oddziałuje również na społeczności lokalne, zwłaszcza w regionach portowych. Zrównoważony rozwój w wymiarze społecznym oznacza poprawę jakości życia mieszkańców i pracowników poprzez tworzenie miejsc pracy w sektorze zielonych technologii oraz modernizację warunków pracy w portach. Działania te minimalizują negatywne skutki działalności portowej, takie jak hałas, zanieczyszczenie i przeludnienie. Ważną rolę odgrywają także edukacja ekologiczna oraz wspieranie lokalnych inicjatyw na rzecz zrównoważonego rozwoju, co sprzyja wzrostowi świadomości i odpowiedzialności społecznej. Model trójfilarowy wskazuje na konieczność równoważenia celów ekonomicznych, ekologicznych i społecznych. W kontekście logistyki morskiej działania w jednym obszarze nie mogą negatywnie wpływać na pozostałe. Na przykład modernizacja floty statków powinna równocześnie ograniczać emisje oraz poprawiać warunki pracy załóg. Takie zintegrowane podejście umożliwia realizację długoterminowych celów zrównoważonego rozwoju, które wspierają globalną gospodarkę, chronią środowisko i poprawiają jakość życia społeczności (Pyć, 2014, s. 354–355).

3. Ślad węglowy w logistyce morskiej

Jednym z kluczowych elementów środowiskowego wymiaru zrównoważonego rozwoju w logistyce morskiej jest redukcja śladu węglowego, będącego miarą emisji gazów cieplarnianych (głównie CO_2) generowanych w wyniku działalności transportowej (Kulczycka i Wernicka, 2015, s. 133–134). Pomimo swojej efektywności w przeliczeniu na tonę przewożonego towaru

transport morski odpowiada za około 3% globalnych emisji dwutlenku węgla, co czyni go istotnym źródłem wpływu na zmiany klimatyczne. W związku z tym konieczne są działania mające na celu minimalizację tego negatywnego oddziaływania. Emisje gazów cieplarnianych w żegludzie wynikają głównie ze spalania paliw kopalnych, takich jak olej napędowy czy mazut, w silnikach statków (Zarczuk i Klepacki, 2021, s. 86–87). Główne źródła emisji obejmują eksploatację statków, operacje portowe oraz procesy logistyczne, takie jak transport lądowy związany z obsługą portów. Aby skutecznie ograniczać emisje, konieczne jest wdrażanie odpowiednich strategii redukcji śladu węglowego (Pyć, 2014, s. 1–4).

Jednym z kluczowych działań jest zastępowanie tradycyjnych paliw bardziej ekologicznymi, takimi jak LNG (skroplony gaz ziemny), metanol, wodór czy biopaliwa (Autzen i Chłopińska, 2018, s. 996–1001). Przykładowo wykorzystanie LNG pozwala na zmniejszenie emisji dwutlenku węgla o około 20–30%, a wodór jako paliwo generuje jedynie wodę jako produkt spalania. Równie ważne są technologie niskoemisyjne, takie jak napędy elektryczne i hybrydowe, które ograniczają emisje szczególnie podczas manewrowania w portach i na krótkich trasach, oraz systemy optymalizacji pracy silników, pozwalające na bardziej efektywne zużycie paliwa (Forkiewicz i Wolski, 2018). Efektywność energetyczna w transporcie morskim może być poprawiona dzięki nowoczesnym projektom kadłubów, które redukują opory hydrodynamiczne, oraz zastosowaniu zagli hybrydowych czy turbin wiatrowych wspomagających napęd na dłuższych trasach. Zrównoważone operacje portowe – elektryfikacja nabrzeży, inwestycje w urządzenia zasilane energią odnawialną i modernizacja sprzętu przeładunkowego – również odgrywają istotną rolę w zmniejszaniu emisji. Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) wspiera działania na rzecz redukcji emisji poprzez wprowadzanie regulacji, takich jak strategia redukcji gazów cieplarnianych, która zakłada zmniejszenie emisji CO₂ o co najmniej 40% do 2030 roku i 70% do 2050 roku w porównaniu do poziomu z 2008 roku. Redukcja śladu węglowego w logistyce morskiej nie tylko wspiera walkę ze zmianami klimatycznymi, ale także poprawia jakość powietrza w regionach portowych i chroni ekosystemy morskie. Inwestowanie w technologie niskoemisyjne, ekologiczne paliwa i efektywność energetyczną przyczynia się do realizacji długoterminowych celów zrównoważonego rozwoju, jednocześnie zwiększając konkurencyjność i innowacyjność sektora logistycznego. W efekcie minimalizacja śladu węglowego staje się zarówno obowiązkiem regulacyjnym, jak i szansą na rozwój sektora w zgodzie z ideą zrównoważonego rozwoju.

Alternatywne źródła zasilania statków odgrywają kluczową rolę w logistyce morskiej w kontekście dążenia do redukcji emisji gazów cieplarnianych i ochrony środowiska. Tradycyjne paliwa kopalne (olej napędowy czy mazut) są coraz częściej zastępowane bardziej ekologicznymi rozwiązaniami, które minimalizują ślad węglowy, jednocześnie wpisując się w globalne cele zrównoważonego rozwoju. Jednym z najpopularniejszych rozwiązań jest LNG (skroplony gaz ziemny). Paliwo to pozwala na redukcję emisji CO₂ o 20–30%, niemal całkowitą eliminację emisji SO₂ i znaczące ograniczenie emisji NO_x. Do zalet LNG należą mniejsze emisje gazów cieplarnianych oraz rozwijająca się infrastruktura bunkrowa, jednak nadal emituje ono CO₂ i wymaga wysokich nakładów inwestycyjnych (Forkiewicz i Wolski, 2018).

Kolejnym przykładem jest napęd wodorowy oferujący potencjał zerowej emisji CO₂, szczególnie przy wykorzystaniu wodoru zielonego, produkowanego z energii odnawialnej. Technologia ta

przyciąga uwagę czystością procesu, generując jedynie wodę jako produkt spalania. Wyzwaniem pozostają jednak wysokie koszty produkcji i magazynowania wodoru oraz ograniczona infrastruktura do jego przechowywania i dystrybucji. Z kolei dla krótkich tras, takich jak żegluga promowa, optymalnym rozwiązaniem są statki elektryczne zasilane bateriami. Eliminują one emisje gazów cieplarnianych podczas użytkowania, pod warunkiem że energia pochodzi ze źródeł odnawialnych. Statki elektryczne są ciche i tanie w eksploatacji, jednak ograniczony zasięg i wysokie koszty baterii wciąż stanowią wyzwanie (Ubowska, 2018, s. 146–147).

Alternatywnym rozwiązaniem są także biopaliwa produkowane z odnawialnych surowców, takich jak oleje roślinne czy odpady rolnicze, mogące być stosowane jako zamiennik tradycyjnych paliw. Ich zaletą jest łatwość wdrożenia w istniejących silnikach i mniejsze emisje, choć produkcja biopaliw może konkurować z uprawami żywności i generować własne emisje podczas procesu wytwarzania. Do alternatywnych rozwiązań zaliczyć można także energię wiatru wykorzystywaną za pomocą żagli hybrydowych i turbin wiatrowych, która powraca jako ekologiczne wsparcie tradycyjnych napędów. Brak emisji podczas użytkowania oraz ograniczenie zużycia paliwa na długich trasach to główne korzyści tego rozwiązania, choć jego efektywność zależy od warunków pogodowych. Ostatni przykład stanowią paliwa syntetyczne (e-paliwa), produkowane z energii odnawialnej, które dzięki zdolności do wykorzystania w istniejących silnikach są obiecującą alternatywą dla tradycyjnych paliw, choć ich produkcja jest obecnie kosztowna i wymaga dalszego rozwoju technologicznego (Komisja Europejska, 2006).

Konkludując, należy stwierdzić, że alternatywne źródła zasilania są kluczowe dla transformacji sektora transportu morskiego w kierunku zrównoważonego rozwoju. Ich wdrażanie pozwala zmniejszyć emisje gazów cieplarnianych, chronić ekosystemy morskie i spełniać międzynarodowe regulacje, takie jak wytyczne IMO. Choć każda technologia ma swoje ograniczenia, inwestycje w rozwój i infrastrukturę umożliwiają coraz szersze zastosowanie tych rozwiązań, a w rezultacie logistyka morska może nie tylko ograniczać wpływ na środowisko, ale również poprawiać efektywność i konkurencyjność sektora na globalnym rynku.

4. Alternatywne źródła zasilania statków na trasie Polska–Szwecja – studium przypadku

Badanie dotyczące czasu przeprawy na trasie promowej Świnoujście–Ystad zostało przeprowadzone w pierwszej połowie sierpnia 2024 roku (od 1 do 14 sierpnia). Przeprawa promem na tej trasie trwa średnio od 6 do 8 godzin, przy czym dokładny czas rejsu uzależniony jest od dwóch głównych czynników: typu jednostki pływającej oraz aktualnych warunków atmosferycznych. Promy obsługujące to połączenie osiągają prędkość w przedziale od 15 do 25 węzłów (jeden węzeł odpowiada jednej mili morskiej na godzinę). Celem weryfikacji postawionej hipotezy badawczej dokonano analizy porównawczej śladu węglowego produkowanego przez paliwo MGO oraz RMD 80.

Marine Gas Oil (MGO) to tradycyjne paliwo okrętowe powszechnie stosowane w transporcie morskim. Jest to destylat o niskiej zawartości siarki, nieprzekraczającej 0,1%, charakteryzujący się jasnożółtą lub przezroczystą barwą oraz niską lepkością. MGO znajduje szerokie zastosowanie

szczególnie na statkach operujących w obszarach kontroli emisji (ECA), takich jak Morze Bałtyckie i Morze Północne. Jest wykorzystywane zarówno w pomocniczych silnikach okrętowych, jak i głównych jednostkach napędowych. W porównaniu z cięższymi paliwami okrętowymi MGO spala się znacznie czystiej i wymaga mniej skomplikowanych systemów podgrzewania oraz przygotowania przed użyciem, co przekłada się na mniejsze zanieczyszczenie środowiska. Pod względem parametrów technicznych MGO charakteryzuje się gęstością około $0,833 \text{ g/cm}^3$. Jest to rodzaj paliwa tradycyjnego. W celu obliczenia śladu węglowego dokonano następujących przeliczeń:

$$\text{Gęstość paliwa} = 0,833 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Współczynnik emisji to } 3,206 \text{ kg CO}_2/\text{l paliwa MGO}$$

$$\text{Przekształcenie gęstości} = 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ g/l} = 1 \text{ kg/l} \quad 1 \text{ } 0,8330 \text{ g/cm}^3 = 0,8330 \cdot 1000 \text{ g/l} = 0,8330 \text{ kg/l}$$

$$\text{Przeliczenie współczynnika emisji} = 3,206 \text{ kg CO}_2/\text{l } 0,8330 \text{ kg} = 3,847 \text{ kg CO}_2/\text{kg paliwa}$$

Gęstość paliwa wynosi $0,8330 \text{ kg/l}$; współczynnik emisji to $3,847 \text{ kg CO}_2/\text{kg paliwa MGO}$

Drugi rodzaj paliwa, RMD 80, jest alternatywnym paliwem wobec morskiego oleju napędowego MGO, który charakteryzuje się gęstością $0,874 \text{ g/cm}^3$ i wymaga podgrzewania przed użyciem w silnikach okrętowych. Ze względu na wysoką lepkość RMD 80 wymaga specjalnego przygotowania przed podaniem do silnika – musi być podgrzewane do temperatury $100\text{--}140^\circ\text{C}$, aby osiągnąć odpowiednią płynność umożliwiającą prawidłowe rozpylenie w komorze spalania. Jest przeznaczone dla statków morskich wyposażonych w system grzania paliwa. Podobnie jak w przypadku pierwszego paliwa dokonano następujących przeliczeń:

$$\text{Gęstość paliwa} = 0,8740 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Współczynnik emisji to } 2,723 \text{ kg CO}_2/\text{l paliwa RMD}$$

$$\text{Przekształcenie gęstości: } 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ g/l} = 1 \text{ kg/l} \quad 1 \text{ } 0,8740 \text{ g/cm}^3 = 0,8740 \cdot 1000 \text{ g/l} = 0,8740 \text{ kg/l}$$

$$\text{Przeliczenie współczynnika emisji: } \text{współczynnik emisji} = 2,723 \text{ kg CO}_2/\text{l} / 0,8740 \text{ kg} = 3,116 \text{ kg CO}_2/\text{kg paliwa}$$

Gęstość paliwa wynosi $0,8740 \text{ kg/l}$, współczynnik emisji to $3,116 \text{ kg CO}_2/\text{kg paliwa RMD}$

Na podstawie powyższych danych dokonano obliczeń wielkości śladu węglowego dla paliwa MGO (tabela 1).

Tabela 1. Wielkość śladu węglowego dla paliwa MGO na trasie Świnoujście–Ystad

Data	Zużycie MGO (w litrach)	Ślad węglowy (kg CO ₂)
1 sierpnia	26,30	84,31
2 sierpnia	22,80	73,1
3 sierpnia	16,80	53,86
4 sierpnia	20,40	65,40
5 sierpnia	19,10	61,23
6 sierpnia	19,70	63,16

7 sierpnia	18,20	58,35
8 sierpnia	17,50	56,10
9 sierpnia	15,70	50,33
10 sierpnia	16,20	51,94
11 sierpnia	17,70	56,75
12 sierpnia	15,10	48,41
13 sierpnia	16,40	52,58
14 sierpnia	16,90	54,18

SUMA = 781,29 kg CO₂

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli 2 przedstawiono obliczenia dotyczące paliwa RMD 80.

Tabela 2. Wielkość śladu węglowego dla paliwa RMD 80 na trasie Świnoujście–Ystad

Data	Zużycie RMD 80 (w litrach)	Ślad węglowy (kg CO ₂)
1 sierpnia	26,30	71,62
2 sierpnia	22,80	62,10
3 sierpnia	16,80	45,75
4 sierpnia	20,40	55,56
5 sierpnia	19,10	52,01
6 sierpnia	19,70	53,65
7 sierpnia	18,20	49,57
8 sierpnia	17,50	47,66
9 sierpnia	15,70	42,76
10 sierpnia	16,20	44,12
11 sierpnia	17,70	48,20
12 sierpnia	15,10	41,123
13 sierpnia	16,40	44,66
14 sierpnia	16,90	46,1

SUMA = 704,81 kg CO₂

Źródło: opracowanie własne.

Analiza porównawcza śladu węglowego paliw MGO i RMD 80 na trasie Świnoujście–Ystad prowadzi do szeregu istotnych wniosków dotyczących aspektów środowiskowych, jak i ekonomiczno-logistycznych w żegludze morskiej, zarówno

W perspektywie środowiskowej redukcja emisji CO₂ o 76,48 kg (9,79%) przy zastosowaniu paliwa RMD 80 zamiast MGO stanowi znaczący krok w kierunku bardziej zrównoważonej żeglugi. Szczególnego znaczenia nabiera to w kontekście obszaru Morza Bałtyckiego, które jako akwen szczególnie wrażliwy ekologicznie objęte jest restrykcyjnymi regulacjami dotyczącymi emisji (strefa ECA). Przy założeniu, że statek wykonuje około 300 rejsów rocznie na tej trasie, redukcja emisji CO₂ mogłaby wynieść około 23 ton w skali roku dla jednego statku. W szerszej perspektywie, gdyby wszystkie promy operujące na Bałtyku przeszły na paliwo RMD 80, roczna redukcja emisji mogłaby sięgać setek ton CO₂.

Z punktu widzenia ekonomicznego niższy ślad węglowy RMD 80 w połączeniu z jego niższą ceną rynkową tworzy atrakcyjną propozycję dla armatorów. Jednak implementacja tego rozwiązania wymaga znaczących inwestycji w infrastrukturę – zarówno na statkach (systemy grzania paliwa), jak i w portach (systemy bunkrowania). Te początkowe nakłady inwestycyjne mogą być barierą dla mniejszych przedsiębiorstw żeglugowych, mimo długoterminowych korzyści ekonomicznych i środowiskowych.

W kontekście logistycznym przejście na RMD 80 wymaga reorganizacji łańcucha dostaw paliwa. Kluczową rolę odgrywają tu dostępność paliwa w portach oraz konieczność utrzymywania odpowiednich temperatur podczas transportu i bunkrowania. Jednocześnie może to stymulować rozwój lokalnych producentów paliw, jak pokazuje przykład Lotos Asphalt, który jako jedyny polski producent dostarcza RMD 80.

Warto również zauważyć wpływ na bezpieczeństwo żeglugi – stosowanie RMD 80 wymaga dodatkowych procedur bezpieczeństwa związanych z podgrzewaniem paliwa, co przekłada się na potrzebę dodatkowych szkoleń załogi i modyfikacji procedur operacyjnych. Z drugiej strony, wyższa lepkość RMD 80 może pozytywnie wpływać na trwałość silników przy odpowiednim przygotowaniu paliwa.

W perspektywie przyszłościowej obserwowana redukcja śladu węglowego przy stosowaniu RMD 80 może stanowić krok pośredni w transformacji żeglugi w kierunku paliw całkowicie bezemisyjnych. Doświadczenia zdobyte przy adaptacji floty i infrastruktury do RMD 80 mogą być wartościowe podczas przyszłych zmian technologicznych w kierunku np. wodoru czy amoniaku. Dane wskazują również na sezonowość zużycia paliwa – widoczne są wahania w dziennym zużyciu, co może być związane z warunkami pogodowymi, obciążeniem statku czy innymi czynnikami operacyjnymi. Informacja ta może być wartościowa dla optymalizacji harmonogramów rejsów i zarządzania zapasami paliwa.

5. Podsumowanie

Cel badawczy artykułu, którym było dokonanie analizy porównawczej wielkości śladu węglowego podczas wykorzystania paliwa alternatywnego RMD 80 w stosunku do konwencjonalnego paliwa MGO w logistyce morskiej, został osiągnięty. Pozytywnie zweryfikowano hipotezę

badawczą: zastosowanie alternatywnego paliwa RMD 80 prowadzi do redukcji śladu węglowego w porównaniu z konwencjonalnym paliwem MGO, co możliwe było dzięki przeprowadzonym badaniom empirycznym na trasie Świnoujście–Ystad.

Badania przeprowadzone w okresie od 1 do 14 sierpnia wykazały, że przy identycznym zużyciu paliw w litrach całkowita emisja CO₂ dla MGO wyniosła 781,29 kg, podczas gdy dla RMD 80 było to 704,81 kg, co oznacza redukcję o 76,48 kg CO₂ (9,79%). Wyniki te jednoznacznie potwierdzają, że zastosowanie paliwa RMD 80 przyczynia się do zmniejszenia śladu węglowego w żegludze morskiej.

Sektor transportu morskiego stoi obecnie przed wieloma wyzwaniami związanymi z koniecznością redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz dostosowaniem się do coraz bardziej restrykcyjnych norm środowiskowych, szczególnie w obszarach kontroli emisji (ECA), takich jak Morze Bałtyckie. W tym kontekście zastosowanie paliwa RMD 80 jako alternatywy dla MGO stanowi istotny krok w kierunku zrównoważonego rozwoju logistyki morskiej.

Należy podkreślić, że transformacja w kierunku paliw alternatywnych wymaga znaczących inwestycji w infrastrukturę portową oraz dostosowania jednostek pływających, jednak długoterminowe korzyści środowiskowe i ekonomiczne uzasadniają te nakłady. Szczególnego znaczenia nabiera to w kontekście rosnącej presji na dekarbonizację transportu morskiego oraz dążenia do osiągnięcia neutralności klimatycznej.

Przeprowadzone badania wskazują również na potrzebę dalszej analizy możliwości optymalizacji zużycia paliw w żegludze morskiej oraz rozwoju innowacyjnych rozwiązań technologicznych, które pozwolą na jeszcze większą redukcję emisji gazów cieplarnianych. Jest to wyjątkowo ważne w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu regulacyjnym i w związku z rosnącą świadomością ekologiczną uczestników łańcuchów dostaw.

Bibliografia

- Autzen, A., Chłopińska, E. (2018). Analiza ekonomiczna wykorzystania paliwa niskosiarkowego w transporcie morskim. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 220(6), 996–1001.
- Forkiewicz, M., Wolski, L. (2018). Elektryczne promy morskie na przykładzie Norwegii. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 19.
- Jurdziński, M. (2012). Innowacje technologiczne na statkach morskich w celu redukcji zużycia energii i emisji CO₂. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, 77, 16–26. <https://sj.umg.edu.pl/sites/default/files/ZN178.pdf>
- Kalbarczyk, M. (2018). Infrastruktura punktowa transportu morskiego w Polsce – stan obecny i perspektywy rozwoju. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (12), 469–486. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-bcf3a5a1-fd45-4d50-a49d-625c0ea16d63>
- Karaś, A. (2018). Innowacje i nowoczesne technologie w funkcjonowaniu portów morskich. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (12), 487–498. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-4e6cc1c3-19cf-44bb-9200-b6ea1ce283cd>
- Kłós, A. (2017). Instrumenty finansowe w realizacji polityki zrównoważonego rozwoju. *Studia Ekonomiczne*, (319), 94–103. <https://www.sbc.org.pl/dlibra/publication/304451/edition/287635>
- Komisja Europejska. (2006). *Komunikat Komisji dla Rady i Parlamentu Europejskiego. Utrzymać Europę w ruchu – zrównoważona mobilność dla naszego kontynentu*. Bruksela.
- Krakowski, R. (2019). Wybrane aspekty rozwoju napędów alternatywnych dla jednostek morskich. *Zeszyty Naukowe Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Witelona w Legnicy*, 32(3), 187–199.

- Kulczycka, J., Wernicka, M. (2015), Metody i wyniki obliczania śladu węglowego działalności wybranych podmiotów branży energetycznej i wydobywczej. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, (89), 133–142.
- Marek, R. (2013). Koncepcja logistyki morskiej w kontekście konteneryzacji. *Studia i Materiały Instytutu Transportu i Handlu Morskiego*, Gdańsk.
- Motowidlak, U. (2013). LNG jako alternatywne paliwo dla transportu. *Handel Wewnętrzny*, 1(6A), 343–352. <https://bazekon.uek.krakow.pl/gospodarka/171299449>
- Pac, B. (2017). Koncepcja oceny strategicznego potencjału gospodarki morskiej. *Studia i Materiały Instytutu Transportu i Handlu Morskiego*, 14, 13–31. <https://doi.org/10.26881/sim.2017.4.01>
- Pyc, D. (2014). Zrównoważony system transportu morskiego jako cel Międzynarodowej Organizacji Morskiej. *Gdańskie Studia Prawnicze*, (XXXII), 55–61. <http://dx.doi.org/10.17402/400>
- Sobolewski, M. (2020). Europejski Zielony Ład – w stronę neutralności klimatycznej. *Infos Zagadnienia Społeczno-Gospodarcze*, (9). https://www.debiut.buzek.pl/wp-content/uploads/2022/10/Tekst_ZROWNOWAZONY_17x24cm_wer2.pdf
- Ubowska, A. (2018). Redukcja emisji gazów cieplarnianych ze statków – amoniak jako paliwo przyszłości. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, (108), 143–152. https://sj.umg.edu.pl/sites/default/files/12_108.pdf
- Wagner, N. (2014). Syntetyczny miernik konkurencyjności portów morskich oraz infrastruktury liniowej na ich zapleczu. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Problemy Transportu i Logistyki*, 842(27), 209–222. <https://bibliotekanauki.pl/articles/319937>
- Wołczek, P. (2014). Ewolucja podejścia do koncepcji zrównoważonego rozwoju na arenie międzynarodowej. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 338, 206–218. <https://www.dbc.wroc.pl/dlibra/publication/29022/edition/26194?language=en>
- Zarczuk, J., Klepacki, B. (2021). Pojęcie, znaczenie i pomiar śladu węglowego (carbon footprint). *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Ekonomika i Organizacja Logistyki*, 6(1), 85–95. <https://doi.org/10.22630/EIOL.2021.6.1.8>

Alternative Vessel Fuels and Sustainable Development of maritime logistics – a Case Study of the Sweden-Poland Route

- **Abstract:** Subject and purpose of work was the assessment of the impact of alternative fuel RMD 80 on the carbon footprint compared to conventional MGO fuel in maritime logistics, with particular focus on the Świnoujście-Ystad route. Used materials and methods were comparative analysis of fuel consumption and CO₂ emissions data from the 1st of August to the August 14th, using carbon footprint measurements for MGO and RMD 80 fuels, case study. With identical fuel consumption, a significant difference in CO₂ emissions was demonstrated. For MGO fuel, total emissions amounted to 781.29 kg CO₂, while for RMD 80 – 704.81 kg CO₂, representing a reduction of 76.48 kg CO₂ (9.79%). Each type of fuel has different properties – MGO has a density of 0.833 g/cm³ and an emission factor of 3.847 kg CO₂/kg fuel, while RMD 80 has a density of 0.874 g/cm³ and an emission factor of 3.116 kg CO₂/kg fuel. Conclusions is the use of RMD 80 fuel as an alternative to MGO leads to a significant reduction in the carbon footprint in maritime shipping. In the long term, this can contribute to a significant improvement in environmental indicators in maritime transport, especially in Emission Control Areas (ECA). Despite the need to adapt port infrastructure and equip ships with fuel heating systems, the environmental and economic benefits justify the transformation towards alternative fuels.
- **Keywords:** carbon footprint, alternative fuels, RMD 80, MGO, maritime logistics, sustainable development, CO₂ emissions

Zrównoważona logistyka: od koncepcji do wdrożenia, czyli jak symulacje umożliwiają przewidzenie skutków dla planety

Szymon Ługiewicz

Uniwersytet Morski w Gdyni

e-mail: sz.lugiewicz@gmail.com

Paweł Wierzbicki

Uniwersytet Morski w Gdyni

e-mail: p.wierzbicki@wn.umg.edu.pl

ORCID: [0009-0008-9834-4659](https://orcid.org/0009-0008-9834-4659)

© 2025 Szymon Ługiewicz, Paweł Wierzbicki

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe (CC BY 4.0).

Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cytuj jako: Ługiewicz, S., Wierzbicki, P. (2025). Zrównoważona logistyka: od koncepcji do wdrożenia, czyli jak symulacje umożliwiają przewidzenie skutków dla planety. W: B. Detyna (red.). *Młodzi logistycy w nauce. Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa nr 7/2025* (s. 81–91). Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

DOI: [10.71433/2025.96.3.07](https://doi.org/10.71433/2025.96.3.07)

JEL Classification: C63, L91, Q53

■ **Streszczenie:** Artykuł przedstawia rodzaje i zastosowania symulacji w logistyce, skupiając się na możliwościach, jakie one dają we wspieraniu transformacji w kierunku bardziej zrównoważonych i efektywnych praktyk. Autorzy dokonują przeglądu najważniejszych technik symulacyjnych, w tym modelowania procesów logistycznych, analizy scenariuszy oraz optymalizacji zasobów, przy jednoczesnym omówieniu ich zastosowania w kluczowych obszarach logistyki, takich jak magazynowanie, transport i zarządzanie łańcuchem dostaw. Przedstawione przykłady ilustrują, jak narzędzia symulacyjne mogą być wykorzystywane do modelowania rzeczywistych operacji logistycznych w celu identyfikacji możliwości wprowadzenia potencjalnych usprawnień oraz redukcji kosztów i szkodliwych emisji. W artykule opisano konkretne oprogramowania przeznaczone do symulacji procesów logistycznych, planowania tras transportowych czy zarządzania flotą pojazdów. Autorzy omawiają również przypadki zastosowania tych narzędzi zarówno w prostych symulacjach operacyjnych, jak i bardziej złożonych analizach strategicznych, które pomagają przewidywać skutki wprowadzenia nowych rozwiązań technologicznych lub zmian w procesach logistycznych.

■ **Słowa kluczowe:** transport, symulacja komputerowa, zrównoważony rozwój

1. Wstęp

Zrównoważona logistyka staje się kluczowym elementem współczesnych strategii rozwoju przedsiębiorstw, szczególnie w kontekście narastających wyzwań środowiskowych, eko-

onomicznych i społecznych. Wprowadzenie rozwiązań wspierających efektywne wykorzystywanie zasobów, redukcję emisji czy ilości odpadów wymaga jednak przeprowadzenia precyzyjnych analiz i prognoz. Jednym z ważniejszych narzędzi umożliwiających takie działania są symulacje komputerowe. W logistyce pozwalają one przewidzieć potencjalne skutki podejmowanych decyzji – zarówno dla środowiska, jak i dla rentowności operacyjnej przedsiębiorstw. Symulacje odgrywają kluczową rolę w analizie procesów logistycznych, takich jak optymalizacja tras transportowych, zarządzanie magazynami czy ocena wpływu eksploatacji pojazdów na środowisko (por. Grabińska i in. 2022; Stajniak, 2020, s. 2511–2525). Dzięki ich zastosowaniu przedsiębiorstwa mogą projektować systemy bardziej zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju, co przyczynia się do zmniejszenia negatywnego oddziaływania na środowisko przy jednoczesnym zwiększeniu efektywności kosztowej (Pawlak, 2021, s. 45–53). W niniejszym artykule zostaną omówione możliwości zastosowania symulacji w różnych obszarach logistyki, co przedstawiono poprzez przykłady wykorzystania wybranych programów.

W miarę wzrostu globalnej świadomości ekologicznej i wdrażania strategii na rzecz zielonej transformacji konieczne staje się bardziej kompleksowe spojrzenie na działania logistyczne. Symulacje pozwalają nie tylko na optymalizację procesów, ale także na ocenę długoterminowego wpływu decyzji na środowisko – czy spowodują one emisje CO₂, zwiększone zużycie energii czy generowanie nadmiarowych odpadów (por. Szarata i Karoń, 2021, s. 5–15). W dobie postępu technologicznego i rozwoju narzędzi, takich jak sztuczna inteligencja czy zaawansowane systemy modelowania, symulacje mogą wspierać podejmowanie świadomych i odpowiedzialnych decyzji, tym samym przyczyniając się do budowania bardziej zrównoważonej logistyki (Komorowski i Wojciechowski, 2022, s. 123–141).

2. Symulacje w zrównoważonej logistyce – jak to działa?

Symulacje komputerowe pozwalają tworzyć cyfrowe modele procesów logistycznych, dzięki czemu można przetestować konkretne rozwiązanie bez ponoszenia kosztów realnego, a także umożliwiają przeanalizowanie, w jaki sposób różne zmienne wpływają na takie czynniki, jak zużycie paliwa, emisje CO₂, czas dostawy czy zużycie surowców. Za ich pomocą można testować nowe technologie, w tym pojazdy elektryczne, alternatywne paliwa i systemy zarządzania energią w magazynach. Warto też zwrócić uwagę na to, że ekonomia może iść w parze z ekologią (Grabińska i in., 2022).

Coraz częściej słyszy się o problemach związanych z wprowadzeniem skutecznej ochrony środowiska oraz z rosnącym naciskiem na zrównoważony rozwój podczas dyskusji i konferencji dotyczących logistyki. Z jednej strony firmy muszą dobrze funkcjonować i przynosić dochody, z drugiej jednak oczekuje się od nich zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko – dążenie do równowagi w tym zakresie wymaga jednak nowatorskiego myślenia i odpowiednich narzędzi do podejmowania decyzji. Tę funkcję mogą spełniać symulacje komputerowe, pozwalające nie tylko znaleźć tzw. wąskie gardła, w których warto wprowadzić usprawnienia, ale także przewidzieć możliwe negatywne skutki proponowanych rozwiązań. W artykule skupiono się na opisie możliwości, jakie daje symulacja komputerowa podczas projektowania zrównoważonych łańcuchów dostaw, a także na popularyzacji integracji celów ekologicznych i ekonomicznych przedsiębiorstw.

3. Rodzaje symulacji komputerowych

Na potrzeby artykułu przyjęto następujący, często stosowany podział symulacji komputerowych (za: Głowacki, 2024).

1. Ze względu na przewidywalność zdarzeń:
 - symulacje stochastyczne – wykorzystujące generatory liczb (najbardziej znana jest metoda Monte Carlo);
 - symulacje deterministyczne – charakteryzujące się powtarzającymi się wynikami.
2. Ze względu na upływ czasu:
 - symulacje z czasem dyskretnym;
 - symulacje z czasem ciągłym;
 - symulacje zdarzeń dyskretnych.
3. Ze względu na formę danych wyjściowych:
 - symulacje statyczne;
 - symulacje dynamiczne;
 - symulacje interaktywne;
 - symulacje nieinteraktywne.

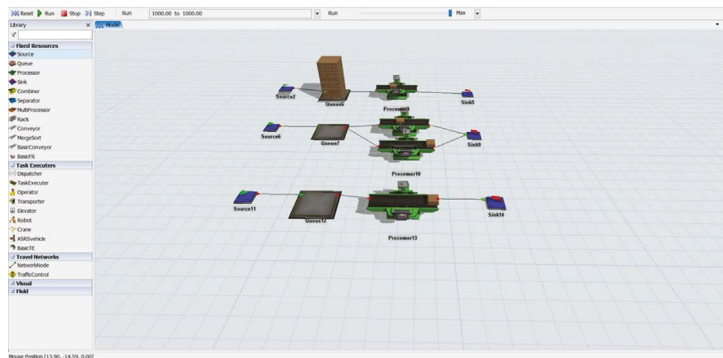
Podziały te pozwalają na wybór odpowiedniego rodzaju symulacji, która najlepiej zaprezentuje analizowane zagadnienie. Należy jednak pamiętać, że w modelach symulacji komputerowych czasem trudno dostrzec wyraźne granice między różnymi kategoriami (np. symulacja może być zarazem stochastyczna, interaktywna i dynamiczna). Ten podział nie uwzględnia również dynamicznie rozwijających się w ostatnim czasie nurtów, takich jak *machine learning* (uczenie maszynowe), przez co konieczne będzie rozszerzenie klasyfikacji.

4. Symulacje magazynowe

Na rynku można znaleźć wiele oprogramowań służących do symulowania pracy magazynu. Firmy, dążąc do jak największej wydajności produkcji i procesów magazynowych, skupiają się na optymalnym wykorzystaniu maszyn oraz na niemarnotrawieniu surowców, np. energii elektrycznej. W takim wypadku mniejsze zużycie przynosi korzyści zarówno ekonomiczne, jak i ekologiczne (Stajniak, 2020).

Rys. 1. Symulacja przeprowadzona w programie FlexSim

Źródło: opracowanie własne.



FlexSim jest oprogramowaniem, które wykorzystuje się do symulowania procesów produkcyjno-magazynowych. Oprogramowanie to daje możliwość przewidzenia zatorów produkcyjnych, nieefektywnej pracy urządzeń i marnotrawienia energii.

Dzięki symulacji możemy zauważyć, że w pierwszej linii, licząc od góry, pojawił się zator. Procesor nie jest w stanie obsłużyć wystarczającej liczby paczek, przez co utworzyła się kolejka. Można to rozwiązać na dwa sposoby. Pierwszym jest dodanie drugiej takiej samej maszyny, która pozwoli na podwojenie możliwości operacyjnych. Drugie rozwiązanie to podwojenie mocy przerobowej pojedynczego urządzenia. O wyborze najprawdopodobniej zdecyduje to, która opcja okaże się bardziej ekonomiczna. Osoba korzystająca z programu może samodzielnie obliczyć, jakie będzie zużycie energii elektrycznej zależnie od zastosowanego rozwiązania. Dzięki temu można ocenić, jakie skutki dla środowiska spowoduje wdrożenie danej opcji.

5. Optymalizowanie tras przejazdów

Jedną z najczęściej wykonywanych symulacji jest symulacja przejazdu wyznaczonymi trasami. Każdego dnia używa jej wiele osób korzystających z systemów nawigacyjnych, takich jak Google Maps. Warto zaznaczyć, iż ta aplikacja umożliwia wybranie drogi, na której według obliczeń algorytmu statystyczny pojazd zużyje najmniej paliwa. Duże firmy mogą stosować bardziej specjalistyczne oprogramowanie do planowania tras i zarządzania flotą pojazdów, co może pozwolić na redukcję emisji szkodliwych spalin.

5.1. Symulacja spalania na trasie

Symulowanie spalania na trasie może być użyteczne w ograniczaniu wpływu transportu na środowisko. Rozwinięte algorytmy potrafią policzyć, ile paliwa zostanie zużyte na danej trasie, a także pod jakim obciążeniem średnio będzie działał silnik spalinowy. Poniżej przedstawiono łatwy sposób na obliczenie zużycia paliwa, z którego można skorzystać na podstawie danych udostępnionych przez producenta pojazdu.

Z obliczeń wykonanych na podstawie danych uwzględnionych na rys. 2 wynika, że na dystansie 20 km przejazdu cyklem niskim samochód spali 1,9 l paliwa. Jeśli przejazd odbędzie się trasą dłuższą o 5 km, to przy jeździe w cyklu mieszanym samochód spali ok. 1,6 l. Długość trasy wzrosła o 25% przy jednoczesnym spadku spalania o 0,3 l na każde 100 km. Zmiana cyklu zazwyczaj wynika z wyboru trasy o mniejszym natężeniu ruchu lub o większej przepustowości (np. przejazd obwodnicą zamiast drogą miejską).

Zużycie paliwa	
Cykl	Wh/km
Mieszany (wartość wazona)	166.0
Cykl	l/100km
Mieszany (wartość wazona)	1.4
Niski	9.5
Średni	6.0
Wysoki	5.4
Bardzo wysoki	6.7
Mieszany	6.5

Rys. 2. Przykładowe dane spalania auta osobowego

Źródło: (Kornacki, 2023).

W dokładniejszej analizie należałoby uwzględnić emisje spalin przy konkretnych obrotach silnika oraz opory ruchu. Przykładowym programem służącym inżynierom może być Sim center Flamaster software. Oprogramowanie to pozwala już na poziomie projektowania silnika symulować jego pracę, oceniając jego sprawność i spalanie podczas obciążenia (Siemens, 2024)

5.2. Zużycie opon, tarcz hamulcowych i innych elementów generujących zanieczyszczenie

Jednym z kluczowych obszarów, w których możemy minimalizować negatywny wpływ na środowisko, jest eksploatacja pojazdów, a zwłaszcza wynikające z niej emisje pyłów i innych cząstek. Te z kolei są związane szczególnie ze zużyciem opon, tarcz hamulcowych oraz elementów zawieszenia.

Podczas hamowania dochodzi do tarcia klocków hamulcowych o tarcze hamulcowe. Jednocześnie opony trą o nawierzchnię, po której porusza się pojazd. Skutkiem jest powstawanie drobin metali, gumy i innych substancji chemicznych. Te cząstki, określane mianem *non-exhaust emissions*, stanowią znaczną część zanieczyszczeń generowanych przez pojazdy drogowe. Szacuje się, że w Europie stanowią one około 20-50% pyłów PM10 i PM2.5 związanych z transportem drogowym (Grigoratos i Martini, 2015, s. 2491–2504).

Szczególną uwagę zwrócono na rolę symulacji w modelowaniu zużycia elementów eksploatacyjnych pojazdów oraz przewidywaniu skutków środowiskowych. Symulacje te mogą obejmować:

1. Modelowanie zużycia opon i hamulców – ta symulacja umożliwia oszacowanie tempa degradacji materiałów w różnych warunkach (np. zależnie od rodzaju nawierzchni, wagi ładunku, warunków pogodowych) (Nowak i Śleszyński, 2020, s. 45–58).

2. Analizę rozkładu emisji przestrzennych – pozwala ona zidentyfikować obszary szczególnie narażone na koncentrację pyłów, co ma znaczenie przy projektowaniu tras transportowych.
3. Oceny cyklu życia (LCA) – uwzględniają one pełen cykl użytkowania pojazdów – od produkcji po recykling (Bureau Veritas, 2024).

Dzisiejsza technologia umożliwia wprowadzenie w życie niektórych rozwiązań, takich jak systemy odzysku energii podczas hamowania – pojazdy elektryczne i hybrydowe wykorzystują wówczas hamowanie rekuperacyjne, co ogranicza zużycie tradycyjnych tarcz hamulcowych. Można również regularnie monitorować stan opon i układu hamulcowego. Zintegrowane systemy telematyczne w pojazdach pozwalają na bieżąco śledzić zużycie poszczególnych komponentów (por. European Environment Agency (EEA), 2021; Szarata i Karoń, 2021, s. 5–15.)

6. Symulacja drogi morskiej

Logistyka morską, podobnie jak transport kołowy, musi brać pod uwagę wiele czynników w celu odpowiedniego działania. Jednym z nich, najbardziej niebezpiecznym dla środowiska naturalnego, jest zanieczyszczenie go spalinami wydzielanymi podczas codziennej pracy statków. „W celu oceny wpływu zanieczyszczeń emitowanych w spalinach statków [...] konieczne jest zastosowanie mniej lub bardziej złożonego systemu modelowania, w którego skład powinny wejść następujące moduły:

- moduł emisji zanieczyszczeń,
- moduł rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze, czyli ich transportu, dyfuzji i przemian chemicznych w atmosferze, z uwzględnieniem procesów wymywania w chmurach oraz suchej i mokrej depozycji,
- moduł meteorologiczny, powiązany z systemem przetwarzania, analizy i asymilacji danych meteorologicznych,
- moduł emisji, a więc rozkładu stężeń w określonym obszarze przestrzeni atmosferycznej”.

Wielkość emisji powodowanych przez statki podczas spalania paliwa, a co za tym idzie, powodowany przez nie negatywny wpływ na środowisko zależą od wielu czynników. Mogą to być na przykład:

- wielkość silnika,
- rodzaj silnika,
- liczba silników na jednostce,
- wszystkie wielkości opisujące silniki (moment obrotowy, prędkość obrotowa itp.),
- ekologiczne rozwiązania, które zostały zaimplementowane w danej jednostce,
- prędkość jednostki,
- zużycie paliwa jednostki (Pawlak, 2011).

6.1. Metody symulacji dróg morskich

Podczas zdobywania odpowiedniego doświadczenia, jak również wymaganych certyfikatów, młodzi marynarze często korzystają z symulatorów, które są w stanie dostarczyć odpowiedzi na pytania dotyczące bezpiecznej eksploatacji drogi wodnej, np. czy akwen jest odpowiednio

przystosowany do przyjęcia jednostek, jaka głębokość toru wodnego powinna być zachowana, jednostki jakich parametrów mogą się po takich torach wodnych przemieszczać oraz jak zniwelować negatywny wpływ transportu morskiego na środowisko. Oczywiście symulacje komputerowe w przypadku wyznaczania dróg morskich mogą okazać się dość kosztowne, ale są dokładne, czego nie można powiedzieć o metodach analitycznych – bardziej ekonomicznych, aczkolwiek obciążonych ryzykiem niedokładności.

„Głównymi parametrami drogi wodnej z punktu widzenia bezpieczeństwa manewrowania statkiem są:

- wymiary akwenu w płaszczyźnie poziomej – szerokość i długość akwenu oraz jego kształt,
- wymiar akwenu w płaszczyźnie pionowej – bezpieczna głębokość rzutuująca w konsekwencji na zapas wody pod stępką statku maksymalnego” (Gucma i Montewka, 2002).

7. Symulacja zmiany środków transportu z drogowego na kolejowy

Zmiana modalna w transporcie towarowym, polegająca na przeniesieniu ładunków z dróg na kolej, jest jednym z kluczowych elementów strategii Unii Europejskiej w zakresie zrównoważonego transportu. Główne cele obejmują redukcję emisji gazów cieplarnianych, obniżenie kosztów zewnętrznych transportu, takich jak zanieczyszczenie powietrza czy korki, oraz poprawę efektywności energetycznej systemu transportowego.

Największym wyzwaniem jest dostosowanie infrastruktury kolejowej do rosnących potrzeb sektora logistycznego. Badania przeprowadzone w Holandii pokazują, że potencjał modalny (*Modal Shift Potential*, MSP) dla niektórych korytarzy transportowych wynosi nawet 48%, ale rzeczywista realizacja tego potencjału zależy m.in. od możliwości łączenia ładunków, dostępności usług kolejowych i konkurencyjności kosztów (Jonkeren i in., 2023).

Dodatkowo istnieją bariery regulacyjne i operacyjne, takie jak brak standaryzacji technicznej oraz różnice w procedurach operacyjnych między państwami członkowskimi UE, co utrudnia płynne przeniesienie ładunków z transportu drogowego na kolej (Takman i Gonzalez-Aregal, 2021).

8. Badania nad modalnym przejściem w Europie Północno-Zachodniej

Symulacje przeprowadzone w ramach projektu badawczego w regionie Europy Północno-Zachodniej wykazały, że zmiana modalna może znacznie zmniejszyć negatywne skutki transportu. W największym stopniu udało się zredukować emisje CO₂, hałas i zatory. W symulacji uwzględniono takie zmienne, jak: odległość, waga ładunku, przepustowość korytarzy kolejowych. Wyniki pokazały, że na niektórych trasach emisje CO₂ można zredukować nawet o 50%, co wynika z większej efektywności energetycznej kolei w porównaniu z transportem drogowym. Jednakże wykazano, że ograniczenia infrastrukturalne i koszty przeładunków stanowią istotne wyzwanie dla wdrożenia tych zmian (por. Jonkeren i in., 2021; European Environment Agency (EEA), 2022).

9. Ocena wpływu na środowisko

Nietrudno zauważyć, jak dużą wagę przykładą się w przedsiębiorstwach do działań ekologicznych, zgodnych z naturą, minimalizujących negatywny wpływ na środowisko. Również w logistyce można zaobserwować taką tendencję – w transporcie towarów drogą lądową, morską oraz powietrzną wprowadza się systemy, które mają zniwelować negatywny wpływ na środowisko naturalne. W związku z tym wykorzystuje się także symulacje pozwalające sprawdzić, jak dane rozwiązanie będzie oddziaływać na ekonomikę transportu, ale również to, czy nie wpłynie ono negatywnie na środowisko.

Pozytywne zmiany dla środowiska są następujące:

- minimalizacja śladu węglowego;
- ograniczenie zużycia zasobów naturalnych;
- promowanie alternatywnych technologii;
- zmniejszenie nacisku na lokalne ekosystemy;
- ulepszenie zarządzania odpadami;
- długoterminowe planowanie zrównoważonego rozwoju.

Podsumowując, należy stwierdzić, że symulacje w logistyce dodatkowo wpływają nie tylko na środowisko, ale również na sam proces transportowy, pozwalając zaplanować wszystkie części łańcucha dostaw w sposób optymalny ze względów ekonomiczno-środowiskowych.

10. Ocena danego produktu

Najlepszym przykładem adaptacji ekologii do transportu i logistyki jest zielona logistyka, czyli koncepcja zaimplementowania świadomości ekologicznej do codziennych zadań związanych z transportem dóbr z punktu A do punktu B. Pozwala ona na wykorzystanie zrównoważonych rozwiązań mających pozytywny wpływ na środowisko naturalne przy niewielkim wzroście kosztów.

Przykłady zielonej logistyki stanowią:

- transport intermodalny;
- redukcja śladu węglowego;
- wykorzystanie zielonej energii;
- recykling i zarządzanie opakowaniami;
- zrównoważone zarządzanie łańcuchem dostaw (Truck Van, 2024).

11. Jak wykonać dobrą symulację?

Symulację rozumie się jako imitowanie rzeczywistości w celu sprawdzenia danego rozwiązania w praktyce. „Symulacje są zazwyczaj oparte na komputerach, wykorzystujących model generowany przez oprogramowanie, aby zapewnić wsparcie dla decyzji menedżerów i inżynierów, a także w celach szkoleniowych. Techniki symulacyjne pomagają w zrozumieniu i eksperymentowaniu, ponieważ modele są zarówno wizualne, jak i interaktywne” (TWI Global, 2024). Dobrą symulacją możemy więc nazywać model, w którym przejrzyście widać wszystkie jego cechy,

zarówno te korzystne dla osoby przeprowadzającej symulację, jak również te negatywne, które wpływać mogą na pojmowanie całego procesu (np. wykorzystanie większej liczby silników do szybszego poruszania się statków, a co za tym idzie – do skrócenia czasu dostarczania towarów).

Kluczowe aspekty dobrej symulacji stanowią:

- dokładne określenie przeznaczenia symulacji;
- odpowiednie przygotowanie danych, których wykorzystanie będzie niezbędne;
- wybór optymalnego modelu symulacji;
- zdefiniowanie parametrów;
- zdefiniowanie zmiennych;
- przeprowadzenie wstępnych badań/prób;
- weryfikacja oraz analiza wyników;
- wdrożenie modelu;
- monitorowanie funkcjonowania modelu w rzeczywistości.

Dobra symulacja powinna być przejrzysta dla odbiorców, wyniki powinny być przedstawione w sposób jasny, transparentny, a co najważniejsze – powinna mieć odzwierciedlenie w realnym życiu i być odpowiedzią na już występujący problem.

12. Podsumowanie

Od wielu lat prowadzone są badania, których celem jest określenie najkorzystniejszego rozwiązania połączenia zarówno najbardziej efektywnego dbania o środowisko naturalne, jak i najszybszego i ekonomicznie opłacalnego transportu towarów. Logistycy tworzą modele, których zadaniem jest zbadanie, jak najlepiej można wykorzystać potencjał transportu morskiego, lądowego oraz lotniczego wraz z magazynowaniem, starając się w tym samym czasie zniwelować negatywne oddziaływanie na środowisko naturalne. Pomocne w tym działaniu okazują się symulacje, które pozwalają na dokładne przygotowanie modeli oraz oszacowanie wyników. Dzięki nim firmy zarówno transportowe, jak i centra logistyczne mogą wybrać strategię, która pozwoli im połączyć chęć zysku z chęcią dbania o środowisko naturalne.

„Kwestie emisji szkodliwych składników [...] oraz ich rozprzestrzeniania się i transportu w atmosferze niosą istotne wyzwania ekonomiczne, ekologiczne, technologiczne oraz zdrowotne w szerokiej skali – od lokalnej po globalną. Jednakże badania i modelowanie tych zjawisk powinny być prowadzone kompleksowo – analizowane powinny być nie tylko wskaźniki emisji związków szkodliwych w spalinach statków, ale również zjawiska rozprzestrzeniania się smugi zanieczyszczeń, z uwzględnieniem zachodzących procesów fizykochemicznych i przemian fotochemicznych oraz warunków meteorologicznych” (Pawlak, 2011).

Bibliografia

- European Environment Agency. (2021). *Non-Exhaust Emissions from Road Transport* (EEA Technical Report). Copenhagen.
- European Environment Agency. (2022). *Rail and Modal Shift in the EU: Assessment of Trends and Environmental Benefits* (EEA Technical Report). <https://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-environment-report-2022/transport-and-environment-report/view>
- Głowacki, M. (2024). *Modelowanie – opis zagadnień fizycznych i geometrycznych*. Pobrano 4 grudnia 2024 z <https://home.agh.edu.pl/^glowacki/docs/matwykl/SysInfPrzem/Modelowanie.pdf>
- Grabińska, A., Pawełoszek, I., Ziora, L. (2022). *Informatyczne wspomaganie procesów logistycznych*. Politechnika Częstochowska.
- Grigoratos, T., Martini, G. (2015). Brake Wear Particle Emissions: A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(4), 2491–2504. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3696-8>
- Gucma, L., Montewka, J. (2002). Porównanie metod analitycznych określania parametrów dróg wodnych z metodą symulacyjną. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Morskiej*, 65, 133–146.
- Jonkeren, O., Friso, K., Hek, L. (2023). Changes in External Costs and Infrastructure Costs Due to Modal Shift in Freight Transport in North-Western Europe. *Journal of Shipping and Trade*, 8.
- Kornacki, J. (2023). *WLTP – co to właściwie znaczy i jak zinterpretować wyniki?*. Pobrano 2 grudnia 2024 z <https://automotyw.com/wltp-co-to-wlasciwie-znaczy-i-jak-zinterpretowac-wyniki/>
- Nowak, M., Śleszyński, J. (2020). Modelowanie emisji niezwiązanych ze spalaniem w kontekście logistyki miejskiej. *Logistyka*, 3, 45–58.
- Pawlak, M. (2021). Modelowanie emisji szkodliwych składników spalin morskich silników okrętowych w celu oceny wpływu emitowanych zanieczyszczeń na jakość powietrza atmosferycznego. *Prace Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, 40, 45–53.
- Stajniak, M. (2020). Modelowanie i symulacja w notacji BPMN jako czynnik kształtujący efektywność procesów logistycznych. *Logistyka*, 3, 2511–2525.
- Szarata, A., Karoń, G. (2021). Wpływ zrównoważonej logistyki na środowisko miejskie. *Transport Miejski i Regionalny*, 4, 5–15.
- Takman, J., Gonzalez-Aregal, M. (2024). A Review of Public Policy Instruments to Promote Freight Modal Shift in Europe: Evidence from Evaluations. *Transport Reviews*, 44. <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2279219>
- TWI Global. (2024). *What is Simulation?* Pobrano 28 listopada 2024 z <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-simulation>
- Truck Van. (2024). *Ekologia w logistyce – jak dbać o środowisko w transporcie?*. Pobrano 28 listopada 2024 z <https://truck-van.pl/rynek/ekologia-w-logistyce-jak-dbac-o-srodowisko-w-transporcie/>
- Bureau Veritas. (2024). *Ocena cyklu życia (LCA) – jaki dokładnie wpływ na środowisko ma produkt?*. Pobrano 12 grudnia 2024 z <https://www.bureauveritas.pl/magazine/ocena-cyklu-zycia-lca-jaki-dokladnie-wplyw-na-srodowisko-ma-produkt>
- Siemens. (2024). *Simcenter Flomaster*. Pobrano 27 listopada 2024 z <https://plm.sw.siemens.com/pl-PL/simcenter/systems-simulation/flomaster/>

Sustainable Logistics: From Concept to Implementation – How Simulations Enable Predicting the Impact on the Planet

■ **Abstract:** The article presents the types and applications of simulations in logistics, focusing on their potential to support transformation towards more sustainable and efficient practices. The authors review the most important simulation techniques, including process modelling, scenario analysis, and resource optimization, while discussing their application in key areas of logistics such as warehousing, transportation, and supply chain management. The examples provided illustrate how simulation tools can be used to model real-life logistics operations to identify potential improvements and reduce costs and emissions. The article describes specific types of software designed for simulating logistics processes, such as systems supporting warehouse design and optimization, transport route planning, and fleet management. The authors also present case studies on the use of these tools in both simple operational simulations and more complex strategic analyses, which help predict the outcomes of introducing new technological solutions or changes in logistics processes.

■ **Keywords:** transportation, computer simulation, sustainable development

CZĘŚĆ III

Młodzi logistycy dla Aglomeracji Wałbrzyskiej

Koncepcja monitorowania nielegalnych wysypisk odpadów na terenie Wałbrzycha

Weronika Pankowska

Akademia Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa, Koło Naukowe Młodych Logistyków „Just in Time”

e-mail: nyks.kuro@gmail.com

© 2025 Weronika Pankowska

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe (CC BY 4.0). Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cytuj jako: Pankowska, W. (2025). Koncepcja monitorowania nielegalnych wysypisk odpadów na terenie Wałbrzycha. W: B. Detyna (red.). *Młodzi logistycy w nauce. Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa nr 7/2025* (s. 93–105). Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

DOI: [10.71433/2025.96.3.08](https://doi.org/10.71433/2025.96.3.08)

JEL Classification: Q2

■ **Streszczenie:** Głównym celem projektu było opracowanie koncepcji monitorowania i zwalczania problemu nielegalnych wysypisk odpadów na terenie Wałbrzycha. Problem ten zagraża zdrowiu ludzi i środowisku naturalnemu. Wskazane w artykule miejsca są zaśmiecanie stale, mimo akcji mających na celu uprzątnięcie tych terenów. Do osiągnięcia określonego celu wykorzystano następujące metody badawcze: sondaż wśród mieszkańców Wałbrzycha, rozmowę z pracownikami Straży Miejskiej oraz wolontariuszami Stowarzyszenia Czysty Wałbrzych i obserwację wskazanych miejsc. W niniejszym tekście stwierdzono, że podejmowane działania nie są wystarczające, aby powstrzymać nawracający problem nielegalnych wysypisk. Aby go rozwiązać, należy stale monitorować obszary najbardziej narażone.

■ **Słowa kluczowe:** nielegalne wysypiska, odpady, monitorowanie nielegalnych wysypisk odpadów

1. Wstęp

Nielegalne wysypiska odpadów, zwane również dzikimi, nie mają definicji określonej prawem. To miejsca, na których w sposób do tego nieprzeznaczony i nieprzystosowany składowane są różnego rodzaju odpady. Obszary te są miejscami niebezpiecznym, stwarzającym poważne zagrożenie dla środowiska oraz zdrowia zwierząt i ludzi (Malinowski, 2019, s. 136).

Na takich wysypiskach najczęściej znajdują się stare meble, zużyty sprzęt RTV-AGD, odpady poręmontowe, opony, części samochodowe. Wśród śmieci można także znaleźć kable, przewody elektryczne oraz papę dachową, a także odpady spożywcze, papier, szklane o i plastikowe butelki. Pozostawianie odpadów w lesie lub na łące nie tylko łamie prawo czy oszpeca krajobraz, ale również przyczynia się do niszczenia ekosystemów i zmniejszania bioróżnorodności (Gruzar.pl, b.d.; Lasy Państwowe, 2021).

Odpady w środowisku stanowią zagrożenie dla dzikich zwierząt, które często mylą je z pokarmem, co prowadzi do poważnych konsekwencji zdrowotnych – śmieci trafiają bowiem do gniazd ptaków, a ostre elementy szklane czy metalowe okaleczają zwierzęta. Dodatkowo odpady gromadzone na nielegalnych wysypiskach mogą zawierać wiele toksycznych substancji, które pod wpływem opadów atmosferycznych czy wilgoci uwalniają się do gleby i mogą się przedostać do wód gruntowych. Tym samym stanowią zagrożenie dla ludzi korzystających ze źródeł wody. Zanieczyszczenie gleby i wód może zarówno powodować wymieranie organizmów zamieszkujących ekosystemy, jak i zakłócać naturalne procesy biologiczne, które w nich zachodzą (Gruzar.pl, b.d.; Lasy Państwowe, 2021).

Dzikie wysypisko to swoista bomba biologiczna, stanowiąca poważne zagrożenie epidemiologiczne. Odpady tworzą idealne warunki do rozwoju szkodliwych bakterii i grzybów. W okolicach takich miejsc często wykrywa się także podwyższone stężenie metali ciężkich, jak rtęć, kadm, miedź, chrom czy ołów. Nierzadko prowadzą też do pożarów. Zanieczyszczone powietrze, zawierające substancje, takie jak siarkowodór czy metan, może powodować samozapłon, a porzucona w lesie szklana butelka może działać jak soczewka, wywołując ogień. Każdy śmieć wyrzucony w lesie lub przy drodze to celowe niszczenie estetyki krajobrazu oraz bioróżnorodności środowiska naturalnego (Kozłowski, 2015).

Aby ograniczyć szkody wyrządzane przyrodzie, niezbędne jest usuwanie nielegalnych składowisk odpadów oraz wspieranie odpowiedzialnej gospodarki odpadami. Ochrona dzikiej fauny i flory ma kluczowe znaczenie dla zachowania równowagi w ekosystemach oraz zapewnienia zrównoważonego środowiska dla przyszłych pokoleń (Gruzar.pl, b.d.).

Wałbrzych, podobnie jak wiele innych miast, zmagają się z problemem dzikich wysypisk śmieci. W świetle obowiązujących przepisów, w szczególności ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach z 1996 r. oraz ustawy o odpadach z 2012 r., władze miasta mają jasno określone obowiązki i narzędzia do walki z tym zjawiskiem. Działania te obejmują zarówno praktyczne kroki mające na celu usuwanie nielegalnie składowanych odpadów, jak i działania edukacyjne skierowane do mieszkańców (Ustawa z dnia 16 września 1996 r. ...; Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. ...).

Władze Wałbrzycha podejmują kompleksowe działania mające na celu zarówno likwidację dzikich wysypisk, jak i edukację mieszkańców w zakresie prawidłowego postępowania z odpadami. Rozwój technologii umożliwiających zgłaszanie nielegalnych wysypisk oraz aktywne działania edukacyjne przyczyniają się bowiem do poprawy sytuacji i zwiększenia świadomości ekologicznej wśród lokalnej społeczności.

2. Cel pracy i metodyka badawcza

Głównym celem projektu jest opracowanie koncepcji monitorowania i zwalczania nielegalnych wysypisk odpadów na terenie miasta Wałbrzych. Za cele szczegółowe przyjęto:

- zbadanie zjawiska występowania nielegalnych wysypisk odpadów na terenie miasta poprzez sondę diagnostyczną wśród mieszkańców,
- analizę obecnego systemu monitorowania występowania nielegalnych wysypisk odpadów,

- przygotowanie mapy z zaznaczonymi miejscami nielegalnych wysypisk,
- przygotowanie pokazowego filmu z monitorowania nielegalnych wysypisk.

Do osiągnięcia celu projektu wykorzystano następujące metody badawcze: sondaż diagnostyczny obejmujący obszar Wałbrzycha i jego mieszkańców – wykorzystujący autorski formularz ankietowy – „Forms Microsoft”, obserwację miejsc wskazanych w sondażu oraz wywiad pracownikami Ekoptrolu (Straż Miejska), Biura Ochrony Środowiska oraz wolontariuszami Stowarzyszenia Czysty Wałbrzych.

Sondaż przeprowadzono na początku maja 2024 roku za pośrednictwem platformy Microsoft Forms. Link do anonimowej ankiety udostępniono badanym na portalu społecznościowym z prośbą o uzupełnienie. Przygotowany sondaż wypełniło siedem osób, natomiast trzy osoby przekazały informacje o nielegalnych wysypiskach podczas rozmowy. Wszystkie wskazane miejsca zostały sprawdzone oraz sfotografowane, zaś wyniki obserwacji zapisano.

3. Wyniki badań

Rozmowa z pracownikiem Straży Miejskiej miała miejsce 13 maja 2024 roku. W jej trakcie omówiono szczegóły działań w zakresie zwalczania nielegalnych wysypisk śmieci na terenie miasta. Straż Miejska prowadzi szczegółowe bazy danych, w których rejestruje miejsca występowania takich wysypisk. Informacje te są na bieżąco aktualizowane na podstawie zgłoszeń mieszkańców, patroli terenowych oraz innych źródeł.

Proces postępowania z nielegalnymi wysypiskami, który przedyskutowano podczas rozmowy, zobrazowano na rys. 1. Schemat ten przedstawia kolejne etapy interwencji, począwszy od zgłoszenia problemu, poprzez postępowanie wyjaśniające, ustalenie sprawcy, postępowanie mandatarne/sądowe, aż po usunięcie odpadów.

Straż Miejska reaguje zarówno na zgłoszenia od mieszkańców, jak i na wyniki swoich patroli, a po weryfikacji podejmuje stosowne kroki.



Rys. 1. Schemat postępowania z nielegalnymi wysypiskami

Źródło: opracowanie własne.

Rozmowa z wolontariuszem Stowarzyszenia Czysty Wałbrzych odbyła się 13 maja 2024 roku. W jej trakcie omówiono działalność stowarzyszenia, które funkcjonuje na zasadach wolontariatu i aktywnie uczestniczy w inicjatywach związanych z ochroną środowiska, w szczególności w usuwaniu dzikich wysypisk śmieci na terenie Wałbrzycha.

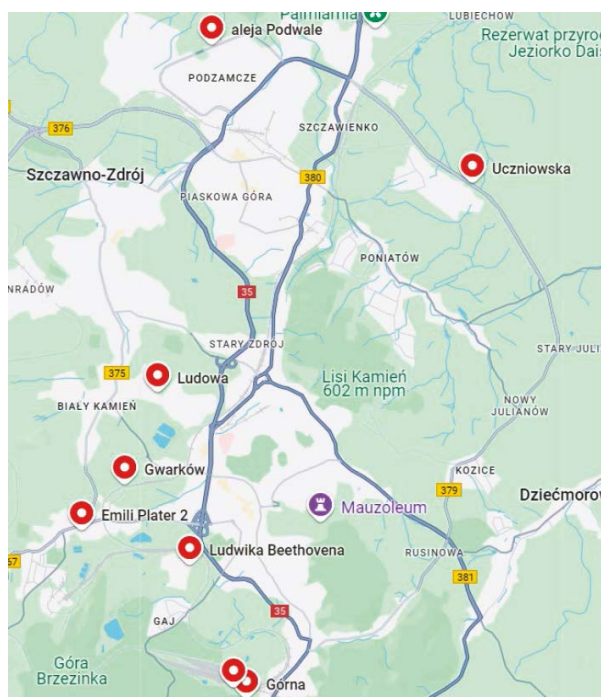
Stowarzyszenie ściśle współpracuje z władzami gminy i wszystkie działania związane z porządkowaniem terenów są realizowane za ich zgodą. Wolontariusze organizują regularne akcje

sprzątania, często w miejscach szczególnie zagrożonych powstawaniem nielegalnych składowisk odpadów, takich jak lasy czy tereny zielone. Aktywność członków stowarzyszenia nie tylko przyczynia się do likwidacji dzikich wysypisk, ale także wspiera budowanie świadomości ekologicznej wśród lokalnej społeczności.

W sondażu i podczas rozmowy udało się pozyskać informacje o miejscach nielegalnych wysypisk. Badani wskazali takie ich lokalizacje, jak:

- ul. Żelazna – na całej długości drogi,
- ul. Górna – za ogródkami,
- ul. Emilii Plater – miejsce nieistniejącego już budynku nr 2,
- ul. Gwarków – poniżej przejazdu kolejowego, pas zieleni,
- ul. Ludowa – za Polmozbytem,
- al. Podwale – za garażami,
- al. Podwale – wejście do Książańskiego Parku Krajobrazowego,
- ul. Uczniowska – od Julianowa za rondem,
- ul. Ludwika van Beethovena – w części oddalonej od zabudowań, za PSZOK,
- ul. Ludwika van Beethovena – na pętli, za śmietnikami.

Na rysunku 2 zaznaczono podane ulice.



Rys. 2. Mapa przedstawiająca lokalizację zgłoszonych nielegalnych wysypisk

Źródło: opracowanie własne.

Wszystkie wskazane lokalizacje zostały sprawdzone i ustalono, co następuje.

Ulica Żelazna

Potwierdzono występowanie nielegalnych wysypisk na terenie pasów zieleni przy całej ulicy, tuż za zabudowaniami mieszkalnymi. Szczególnie dotknięty problemem jest obszar położony od strony starej lokomotywni, gdzie gromadzone odpady pozostają nieuprzątnięte przez długi czas. Stan tych odpadów wyraźnie wskazuje na ich długotrwałą obecność – część z nich została już wchłonięta przez otaczającą roślinność, co sprawia, że niektóre odpady są trudne do dostrzeżenia na pierwszy rzut oka. Na terenach tych dominują odpady z tworzyw sztucznych, gumy oraz fragmenty ceramiki łazienkowej, takie jak stare toalety.



Rys. 3. Dzikie wysypisko – ul. Żelazna

Źródło: z zasobów własnych autorki.

Ulica Górna

Na terenie za ogródkami działkowymi przy ulicy Górnej potwierdzono obecność nielegalnych wysypisk śmieci. Zaobserwowano dwa skupiska odpadów położone blisko siebie, co wskazuje na systematyczne zanieczyszczanie tego obszaru. Odpady te składają się głównie z wyposażenia mieszkalnego, w tym starych materacy, niektórych z widocznymi sprężynami, elementów



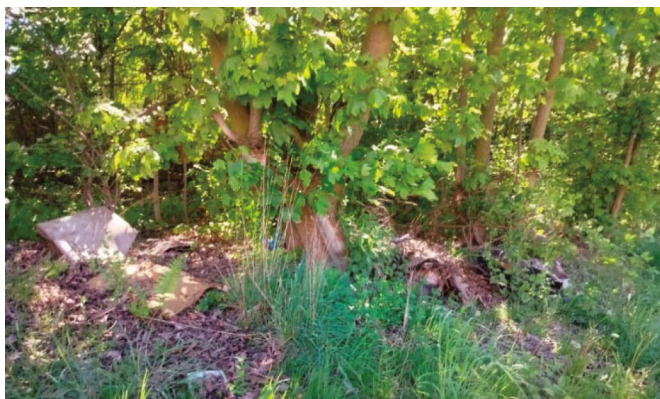
tapicerskich, a także dziecięcego łóżeczka. Na miejscu znaleziono również części samochodowe. Na wysypisku widoczne były także miejsca po ogniskach, które prawdopodobnie były używane do spalania odpadów. To działanie dodatkowo nasila problem zanieczyszczenia, uwalniając toksyczne substancje do powietrza i gleby, co stanowi zagrożenie zarówno dla środowiska, jak i zdrowia mieszkańców okolicy. Niektóre z odpadów zalegają na tym terenie już od dłuższego czasu, jednakże zauważalne są również ślady świeżo porzuconych odpadów, co sugeruje, że miejsce to jest regularnie odwiedzane przez osoby, które nielegalnie pozbywają się śmieci.

Rys. 4. Dzikie wysypisko – ul. Górna

Źródło: z zasobów własnych autorki.

Ulica Emilii Plater

Na terenie, gdzie kiedyś znajdował się budynek nr 2, potwierdzono istnienie nielegalnego wysypiska śmieci. Odpady zostały porzucone w pasach zieleni otaczających plac, gdzie stał dawny budynek. Z obserwacji wynika, że głównymi rodzajami odpadów są plastik oraz fragmenty mebli, co sugeruje, że mogą to być pozostałości po remoncie lub wyprowadzce. Stan odpadów wskazuje, że znajdują się tam od dłuższego czasu.



Rys. 5. Dzikie wysypisko – ul. Emilii Plater

Źródło: z zasobów własnych autorki.

Ulica Gwarków

Zaobserwowano skupiska nielegalnie porzuconych odpadów na pasach zieleni wzdłuż ulicy Gwarków, w kierunku od przejazdu kolejowego w stronę zabudowań mieszkalnych, szczególnie w rowach porośniętych przez drzewa i krzewy. Głównie są to zużyte opony samochodowe. Stan odpadów pozwala wnioskować, że zalegają w tym miejscu one od dłuższego czasu.



Rys. 6. Dzikie wysypisko – ul. Gwarków

Źródło: z zasobów własnych autorki.

Ulica Ludowa

Przy ulicy Ludowej potwierdzono skupisko nielegalnie porzuconych odpadów. Początkowe informacje przekazane przez osobę zgłaszającą sugerowały, wskazywały inne miejsce ich składowania, jednak po dokładnym sprawdzeniu okazało się, że zlokalizowane są one w innym rejonie, niż to pierwotnie wskazywano. Na składowane w tej lokalizacji odpady składają się głównie plastikowe worki wypełnione gruzem, co sugeruje, że mogą one pochodzić z prac budowlanych lub remontowych. Stan worków i ich rozmieszczenie na terenie wyraźnie wskazują, że odpady zalegają tam od dłuższego czasu.



Rys. 7. Dzikie wysypisko – ul. Ludowa

Źródło: z zasobów własnych autorki.

Aleja Podwale – garaże

Za garażami przy alei Podwale potwierdzono skupiska nielegalnie porzuconych odpadów. Na tym terenie zidentyfikowano przede wszystkim odpady z tworzyw sztucznych, gumy oraz fragmenty dachów, prawdopodobnie pozostałości po pracach remontowych lub budowlanych. Widoczny stan odpadów sugeruje, że znajdują się one tam od dłuższego czasu.



Rys. 8. Dzikie wysypisko – al. Podwale

Źródło: z zasobów własnych autorki.

Aleja Podwale – Książański Park Krajobrazowy

Przy wejściu do Książańskiego Parku Narodowego potwierdzono obecność miejsc nielegalnego składowania odpadów. Są to głównie śmieci komunalne – resztki opakowań, butelki, puszki i inne drobne odpady związane z codziennymi aktywnościami, które prawdopodobnie pozostawiono podczas wizyt turystów zwiedzających park. Z obserwacji wynika, że śmieci znajdują się w tej lokalizacji od niedawna, o czym świadczy ich niewielka ilość oraz fakt, że teren niedawno został objęty akcją sprzątaną organizowaną przez Stowarzyszenie Czysty Wałbrzych. Problem ma obecnie niewielką skalę, jednak sytuacja dynamicznie się zmienia.



Rys. 9. Dzikie wysypisko – al. Podwale, wejście do Książańskiego Parku Krajobrazowego

Źródło: z zasobów własnych autorki.

Ulica Uczniowska

Na terenie przy ulicy Uczniowskiej, według mapy tuż poza granicami Wałbrzycha, potwierdzono skupisko nielegalnie porzuconych odpadów. Wśród śmieci dominują zużyte opony, co sugeruje, że miejsce to zostało wybrane na nielegalny punkt pozbywania się odpadów motory-



Rys. 10. Dzikie wysypisko – ul. Uczniowska

Źródło: z zasobów własnych autorki.

zacyjnych. Obserwacje wskazują, że opony te wyrzucono stosunkowo niedawno, co można wywnioskować z ich dobrego stanu i braku oznak długotrwałego zalegania na terenie. Dodatkowo opony ułożono przy drodze, co może sugerować przygotowanie ich do wywozu lub fakt, że zostały przywiezione niedawno.

Ulica Ludwika van Beethovena – tereny zielone oddalone od zabudowań

Skupisko nielegalnie porzuconych odpadów zlokalizowano przy ulicy Beethovena, w części oddalonej od zabudowań mieszkalnych, co czyni ten obszar mniej widocznym i bardziej podatnym na nielegalne składowanie śmieci. Porzucanie odpadów na tym terenie ułatwiają drogi dojazdowe. Na miejscu stwierdzono obecność różnych rodzajów odpadów, w tym takich, jak: tworzywa sztuczne, pianki, opony, gruz budowlany. Z obserwacji wynika, że część śmieci została wyrzucona stosunkowo niedawno, co wskazuje na regularne korzystanie z tego terenu jako nielegalnego wysypiska. Jednocześnie widoczne są pozostałości śmieci, które nie zostały właściwie usunięte po wcześniejszych zgłoszeniach.



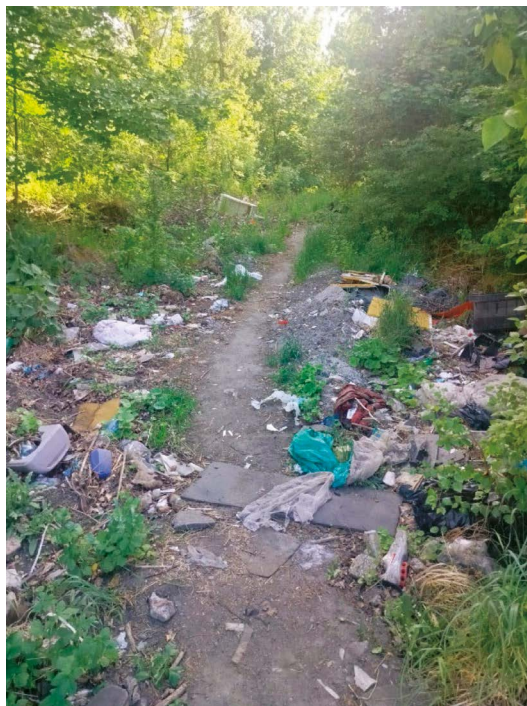
Rys. 11. Dzikie wysypisko – ul. Beethovena – tereny zielone

Źródło: z zasobów własnych autorki.

Ulica Ludwika van Beethovena – ścieżka

Na ścieżce przy ulicy Beethovena, w okolicy pętli tuż za śmietnikami, potwierdzono skupisko nielegalnie porzuconych odpadów. Ścieżka ta służy jako skrót dla pracowników PSZOK od przystanku autobusowego do miejsca pracy. Wśród odpadów dominują tworzywa sztuczne, czę-

ści mebli, odpady komunalne, a także ubrania oraz popiół z pieców, co wskazuje na różnorodność źródeł tych śmieci. Obserwacje wskazują, że część odpadów została wyrzucona stosunkowo niedawno, co sugeruje, że teren wciąż jest wykorzystywany do nielegalnego pozbywania się śmieci. Większość śmieci zalega w tym miejscu od lat.



Rys. 12. Dzikie wysypisko – ul. Beethovena – ścieżka

Źródło: z zasobów własnych autorki.

4. Rekomendacje

Aby skutecznie zwalczać problem dzikich wysypisk śmieci w Wałbrzychu, rekomenduje się zastosowanie kilku komplementarnych działań. Przede wszystkim warto rozważyć regularne monitorowanie terenów zagrożonych powstawaniem nielegalnych składowisk odpadów z wykorzystaniem dronów oraz technologii satelitarnych. Nowoczesne narzędzia pozwolą na szybkie i precyzyjne wykrywanie nowych wysypisk, zwłaszcza na trudno dostępnych obszarach, takich jak lasy czy nieużytki, co umożliwi odpowiednim służbom szybką reakcję i usunięcie odpadów, zanim problem się rozwinie.

Równolegle w miejscach szczególnie narażonych na nielegalne składowanie odpadów, takich jak obrzeża miasta, okolice lasów oraz nieużytki, zaleca się instalację kamer i czujników ruchu.

Te środki pozwolą na bieżące monitorowanie oraz identyfikację osób odpowiedzialnych za wyrzucanie śmieci, co nie tylko ułatwi ściganie sprawców, ale także wzmocni działania prewencyjne.

Kolejnym krokiem powinno być prowadzenie szeroko zakrojonych kampanii edukacyjnych skierowanych do mieszkańców Wałbrzycha. Celem takich działań jest zwiększenie świadomości społecznej na temat szkodliwości dzikich wysypisk dla środowiska oraz zdrowia, a także promowanie prawidłowych praktyk w zakresie gospodarki odpadami. W ramach kampanii warto skupić się na edukacji na temat segregacji, recyklingu oraz możliwości legalnej utylizacji odpadów.

Dodatkowo rozwój i promocja aplikacji mobilnych, które umożliwiają szybkie i łatwe zgłaszanie nielegalnych wysypisk, może się przyczynić do skuteczniejszej reakcji służb miejskich. Dzięki temu mieszkańcy mogliby odgrywać bardziej aktywną rolę w przeciwdziałaniu zjawisku dzikich wysypisk, co zwiększyłoby nie tylko efektywność działań, ale również zaangażowanie lokalnej społeczności.

Organizowanie regularnych akcji sprzątania, w które zaangażowana byłaby społeczność lokalna, to kolejna rekomendacja. Takie inicjatywy nie tylko pomagają w fizycznym usuwaniu odpadów, ale również mają pozytywny wpływ na budowanie świadomości i odpowiedzialności mieszkańców za przestrzeń, w której żyją. Regularne akcje sprzątania zwiększają także poczucie wspólnoty i troski o środowisko.

Kluczowe znaczenie ma zacieśnienie współpracy pomiędzy Strażą Miejską a innymi służbami odpowiedzialnymi za egzekwowanie prawa ochrony środowiska. Dzięki lepszej koordynacji działań, w tym wspólnemu patrolowaniu terenów szczególnie narażonych na powstawanie dzikich wysypisk oraz egzekwowaniu odpowiednich przepisów, możliwe będzie skuteczniejsze zapobieganie powstawaniu nowych składowisk i szybkie reagowanie na istniejące przypadki nielegalnego wyrzucania śmieci.

5. Podsumowanie

Na dzikich wysypiskach w Wałbrzychu znajdują różnorodne odpady, które stanowią poważne zagrożenie dla środowiska. Wśród porzuconych śmieci są zużyte meble, sprzęt elektryczny, opony, gruz budowlany oraz odpady komunalne, takie jak plastik, papier, szkło i resztki organiczne. Tego rodzaju odpady nie tylko negatywnie wpływają na estetykę otoczenia, ale także mogą zanieczyszczać glebę i wody gruntowe, co jest szczególnie niebezpieczne dla lokalnych ekosystemów.

Pomimo regularnych akcji sprzątania dzikie wysypiska wciąż pojawiają się w nowych lokalizacjach lub w miejscach, które zostały wcześniej uprzątnięte. Problem jest szczególnie widoczny na obszarach leśnych, w pobliżu wejść do parków oraz w rejonach ogródków działkowych. W takich lokalizacjach odpady mogą być pozostawiane przez osoby niezadające sobie sprawy z konsekwencji swojego działania lub lekceważące obowiązujące przepisy dotyczące gospodarki odpadami.

W Wałbrzychu działa stowarzyszenie zrzeszające wolontariuszy, którzy angażują się w sprzątanie nielegalnych wysypisk. Działania tego rodzaju są nie tylko praktyczne, ale także mają na celu zwiększenie świadomości społecznej dotyczącej problemu zaśmiecania i ochrony środowi-

ska. Wolontariusze organizują regularne akcje sprzątanía, mobilizując lokalne społeczności do wspólnego działania na rzecz czystości i porządku.

Dodatkowo dzielnicowi Straży Miejskiej, w ramach swoich obowiązków, patrolują obszary zagrożone powstawaniem nielegalnych wysypisk. Dzięki ich czujności i działaniom prewencyjnym możliwe jest wczesne wykrywanie i likwidowanie nowych punktów zaśmiecania, co przyczynia się do ochrony lokalnych terenów przed dalszymi zanieczyszczeniami. Regularne patrole oraz współpraca z mieszkańcami są kluczowe w walce z opisanym problemem, a ich zaangażowanie ma ogromne znaczenie dla poprawy stanu środowiska w Wałbrzychu.

Bibliografia

- Gruzar.pl. (b.d.). Zagrożenia wynikające z powstawania dzikich wysypisk śmieci. Pobrano 10 września 20204 z <https://www.gruzar.pl/zagrozenia-wynikajace-z-powstawania-dzikich-wysypisk-smieci/>
- Kozłowski, K. (2015). *Każdy może przyłączyć się do walki z dzikimi wysypiskami śmieci*. Pobrano 10 września 2024 z <https://www.prawo.pl/samorzad/kazdy-moze-przylaczyc-sie-do-walki-z-dzikimi-wysypiskami-smieci,100915.html>
- Lasy Państwowe. (2021). *Nie rób z lasu śmietnika*. Pobrano 10 września 2024 z <https://www.lasy.gov.pl/pl/informacje/aktualnosci/nie-rob-z-lasu-smietnika>
- Malinowski, M. (2019). Dzikie wysypiska na obszarach chronionych – charakterystyka problemu i kierunki działań. W: M. Nocoń, T. Pasierbek, J. Sobczuk, B. Walas (red.), *Parki narodowe i otoczenie społeczno-gospodarcze. Skazani na dialog* (s. 135-146). Wyższa Szkoła Turystyki i Ekologii. Pobrano 13 maja 2024 z https://www.researchgate.net/publication/341784900_DZIKIE_WYSYPISKA_NA_OBSZARACH_CHRONIONYCH_-_CHARAKTERYSTYKA_PROBLEMU_I_KIERUNKI_DZIALAN_ILLEGAL_DUMPING_SITES_IN_PROTECTED_AREAS_-_COURSES_OF_ACTION_AND_CHARACTERISTICS_OF_THE_ISSUE
- Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, Dz.U. 2013, poz. 21
- Ustawa z dnia 16 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach, Dz.U. 1996 nr 132, poz. 622

The Concept of Monitoring Illegal Waste Dumps in the Wałbrzych Area

■ **Abstract:** The main goal of the project was to develop a concept for monitoring and combating illegal waste dumps in the city of Wałbrzych. To achieve a specific goal, the following research methods were used: a survey among the inhabitants of Wałbrzych, an interview with the employees of the City Guard and volunteers of "Czysty Wałbrzych" association and observation of indicated places. The article illustrates that there is a problem of illegal dumpings in the places indicated in the survey. This problem is real and threatens human health and the natural environment. The places listed are constantly littered, despite actions aimed at cleaning them up. The actions taken are not sufficient to stop the recurring problem of illegal landfills. To stop it, it would be necessary to constantly monitor, especially the most vulnerable, areas.

■ **Keywords:** Illegal dumping site, waste, monitoring illegal waste dumps

Ekologiczne rozwiązania modernizacji przystanków autobusowych w Wałbrzychu

Katarzyna Poliksha

Akademia Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa, Uniwersytet Wrocławski

e-mail: polikszakatarzyna@gmail.com

© 2025 Katarzyna Poliksha

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe (CC BY 4.0).

Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cytuj jako: Poliksha, K. (2025). Ekologiczne rozwiązania modernizacji przystanków autobusowych w Wałbrzychu. W: B. Detyna (red.). *Młodzi logistycy w nauce. Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa nr 7/2025* (s. 106–114). Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

DOI: [10.71433/2025.96.3.09](https://doi.org/10.71433/2025.96.3.09)

JEL Classification: Q2

■ **Streszczenie:** Miejskie wyspy ciepła oddziałują na wysokie temperatury panujące w aglomeracjach. Głównym celem badań było zbadanie potencjalnych zmian temperatury podczas upałów odczuwanych przez pasażerów wewnątrz wiat przystankowych. Hipoteza zakłada, iż temperatura na dachu i wewnątrz wiaty przystankowej jest większa niż w cieniu lub w najbliższym obszarze zazielenionym. Aby zbadać problem, posłużono się analizą literatury: książkowych publikacji naukowych, wyspecjalizowanych czasopism oraz netografii. Badania były przeprowadzone metodą mapy sytuacyjnej (polegającą na opracowaniu przestrzennym rozmieszczenia przystanków) oraz metodą analizy analityczno-porównawczą poprzez pomiar różnicy temperatur na przystankach autobusowych w dwóch lokalizacjach: na przystankach Uczniowska – Cersanit i Uczniowska – Stacyjna, w czterech różnych punktach. Punkt A zlokalizowany był na dachu przystanku, punkt B – na ławce wewnątrz wiaty przystankowej, punkt C – w cieniu, który dawał przystanek, punkt D – w najbliższym terenie roślinnym. Postawiona hipoteza została potwierdzona. Temperatura w punktach A i B, czyli na dachu i wewnątrz wiaty na ławce, była większa od temperatury w punktach C i D, czyli w cieniu wiaty i najbliższym obszarze roślinnym, a także większa od temperatury odczuwalnej w powietrzu. Z badań wyciągnięto następujący wniosek: cień i roślinność na przystankach autobusowych pozwalają zachować niższą temperaturę, a pasażerowie czekający na autobus na ławce wewnątrz wiaty przystankowej (punkcie B) są narażeni na wyższe temperatury. Trzy zaproponowane rozwiązania w celu niwelacji miejskich wysp ciepła na przystankach autobusowych to ekspansywne zazielenienie dachu wiaty przystankowej, likwidacja jednej z szyb ścian wiaty, zasadzenie pnączy.

■ **Słowa kluczowe:** ekologia, przystanki autobusowe, wysokie temperatury

1. Wstęp

Wraz z rozwojem cywilizacji i ze zwiększaniem się terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową definicja miast w literaturze lat ewoluowała. Wieloaspektowość miast przyciąga badaczy różnych nauk: urbanistów, którzy zajmują się zagospodarowaniem i ulepszaniem

przestrzeni miejskich, geografów, których interesuje położenie geograficzne miasta, socjologów, którzy zajmują się interakcjami społeczeństwa mieszkającego w miastach, ekonomistów, zainteresowanych rynkiem, różnorodnością ofert i zasobów, logistyków, którzy zajmują się organizacją i zarządzaniem systemów transportowych lub produkcyjnych, a także ekologów, próbujących zrozumieć problematykę oddziaływania miasta na ekosystem (Tundys, 2013).

Mimo że nie ma jednoznacznego sformułowania określającego miasto, na potrzeby artykułu przyjęto definicję, która ujmuje je jako produkt urbanizacji. Miasto uznawane jest za przestrzeń łączącą mieszkańców danego obszaru, tworzące środowisko życia społeczności. Powstawanie i powiększanie się tego obszaru jest efektem urbanizacji. Powiązania socjologiczne, polityczne i ekologiczne łączą społeczność (Szołtysek, 2016).

Logistyka w miastach stanowi zbiór oddziałujących na siebie elementów tworzących zorganizowany system. Do przepływu mieszkańców można zaliczyć transport indywidualny i zbiorowy. Do podsystemu ładunków należą dobra materialne niezbędne do funkcjonowania mieszkańców (zaopatrzenie), sposoby ich rozprowadzania i dystrybucji oraz odpady lub zwroty.

Przepływ informacji ma na celu skuteczne gromadzenie danych i przekazywanie ich dalej przez strumienie przepływu informacji, np. raporty (Kiba-Janiak i Witkowski, 2014).

Zielona logistyka odnosi się do ekologii, nazywana jest także ekologistyką. Jej pojawienie się wynika nie tylko z potrzeb, ale także z oczekiwań społeczeństwa, co jest pozytywnym symptodem. Parlament Europejski w 2019 roku zasygnalizował państwu ONZ konieczność podjęcia działań w celu optymalizacji kryzysu klimatycznego, wzywając do podjęcia działań zmierzających do neutralności emisyjnej. Logistyka ma realny wpływ na ekologię. Rynek transportowy rozwija się z każdym rokiem, a co za tym idzie odpowiada za emisję CO₂. Rozwiązaniem jest używanie alternatywnych rozwiązań i źródeł energii (WDX Spółka Akcyjna, b.d.).

Zielona logistyka miasta odnosi się do ekologii na obszarach miejskich. Nowoczesne miasta dążą do zrównoważonego rozwoju poprzez inwestycje przyjazne środowisku naturalnemu. Sprzyja to miastu i poprawie jakości życia mieszkańców (Szołtysek, 2016).

Podróżowanie jest jedną z podstawowych potrzeb ludności. Współcześnie mobilność gwarantuje społeczeństwu swobodne i łatwe przemieszczanie się. Ludzie podróżują nie tylko na odległości duże, ale także na odległości niewielkie, bowiem codzienne przemieszczanie się na obszarach miejskich to także podróż.

Ekologiczność w obszarach miejskich stanowi wyzwanie, z jakim muszą się mierzyć ich władze. Miasto ekologiczne we współczesnym ujęciu to miasto o zintegrowanym transporcie zbiorowym, zorganizowanym ruchu rowerowym i ruchu pieszych. Obszary zurbanizowane są intensywnie zazieleniane parkami czy skwerami. Aktualnie samorządy myślą o wykorzystaniu ekologicznych sposobów niwelacji problemu braku zieleni na obszarach miejskich m.in. poprzez technologie naturalne (Gajda, 2012).

W okresie, kiedy w miastach powstaje coraz więcej budynków mieszkalnych oraz innych obiektów przemysłowo-usługowych, co skutkuje zmniejszeniem powierzchni zielonej, rola zieleni w miastach jest bardzo istotna. Władze miast są odpowiedzialne za zmiany i utrzymanie powierzchni zielonych (Stopsuszy.pl, b.d.). Zachowanie zieleni na obszarach zabudowanych jest istotne, ponieważ zapewnia ona:

- dobrą jakość powietrza – zieleń pochłania CO₂, dzięki fotosyntezie i rośliny wytwarzają tlen,
- lepszą gospodarkę wodną – roślinność pochłania wodę po deszczach, a także zapewnia dużo odżywczych wartości glebie,
- zrównoważenie temperatury – zieleń redukuje temperaturę zimą przez barierę dla wiatru i zmniejsza ją latem, zapewniając cień i produkując tlen,
- wyciszenie – drzewa redukują poziom hałasu w miastach, a zieleń jest traktowana także terapeutycznie, np. redukując stresu przez bliskość z naturą (Expo 2029, b.d.).

Brak zieleni w miastach skutkuje powstawaniem miejskich wysp ciepła. Klimat obszaru miejskiego kształtuje się inaczej niż w lasach i terenach zielonych. W mieście wpływają na niego obszary zabudowane, liczba aut, jakość powietrza itp. Emisja ciepła zaburza naturalny bilans. Budynki mieszkalne i usługowo-handlowe, drogi i chodniki pochłaniają promieniowanie słoneczne, zwiększając temperaturę powietrza.

Do przykładowych rozwiązań stosowanych na obszarach miejskich do zwiększenia ich ekologiczności należą:

- programy samorządowe poprawiające jakość powietrza,
- programy międzynarodowe,
- parki kieszonkowe,
- ekstensywne zielone dachy.

Ekstensywne zielone dachy są idealnym przykładem tego, jak można wykorzystać przestrzeń miejską na zazielenienie. Są one umieszczane na dachach budynków mieszkalnych, obiektów przemysłowo-usługowych i na innych elementach infrastruktury miejskiej, np. na przystankach, co daje mieszkańcom wiele korzyści, np. pochłanianie dwutlenku węgla. Działanie to skutkuje poprawą jakości powietrza. Warto pamiętać, że rośliny produkują tlen i nawilżają powietrze, a latem chronią przed nadmiernym nagrzewaniem, zaś zimą – przed wychładzaniem. Najważniejszy atut omawianego rozwiązania stanowi jednak powiększanie zieleni w obszarach mocno zabudowanych.

Ekstensywnie zielony dach zawiera takie warstwy, jak:

- podłoże,
- termoizolacja – pozwala na kontrolowany przepływ ciepła,
- hydroizolacja – chroni termoizolację przed drenażem i przeciekami wody,
- drenaż – odpowiada za odpowiednie nawodnienie substratu,
- filtr – oczyszcza dostarczaną do drenażu wodę przed zanieczyszczeniami,
- substrat – stanowi go odpowiednia dla danego klimatu i położenia roślinność.

Przystanek autobusowy jest miejscem, w którym pasażerowie oczekują na przyjazd autobusu. Infrastruktura przystankowa stanowi bardzo ważny element komunikacji miejskiej w mieście. W zależności od usług oferowanych przez władze miasta pasażerowie korzystają z różnych przystanków.

Jednym z najbardziej charakterystycznych elementów przystanków autobusowych są wiaty chroniące pasażerów, zaliczane do małej architektury miejskiej, której elementy stanowią obiekty, z jakich mieszkańcy mogą codziennie korzystać w przestrzeni publicznej (ważne są ich aspekty

zarówno funkcjonalne, jak i estetyczne). Wiaty mogą służyć jako przystanki autobusowe, przystanki tramwajowe lub kolejowe. Są one ustawiane w miejscu dostosowanym do zatoki na drodze w sposób jak najbardziej bezpieczny dla pasażerów. Aktualnie uznawane są za powszechny standard zapewniający pasażerom komfort korzystania z transportu zbiorowego (Arret Sp. z o.o., b.d.).

Wiaty autobusowe pełnią różne funkcje, które na siebie oddziałują (rys. 1). Należy tu wymienić:

- Funkcje ochronne – wiaty przystankowe muszą mieć bezpieczną konstrukcję i być w stanie ochronić pasażerów przed zjawiskami atmosferycznymi: deszczem, wiatrem, śniegiem i zimnem oraz upałami.
- Funkcje wypoczynkowe – wiaty przystankowe wyposażone w ławki pozwalają pasażerom w bardziej komfortowy sposób oczekiwać na przyjazd autobusu. To bardzo istotne na trasach, na których autobusy nie kursują często i podróżni muszą długo oczekiwać na przyjazd środka transportu.
- Funkcje informacyjne – na przystankach muszą być umieszczone tablice informacyjne. Przystanek autobusowy musi być oznaczony znakiem drogowym D15, musi się na nim również znajdować rozkład jazdy autobusów, a standardem są obecnie także tablice elektroniczne DIP pokazujące rzeczywisty czas przyjazdu środka transportu na przystanek.
- Funkcje marketingowe – ściany wiat przystankowych są idealnym miejscem dla podświetlanych reklam (*citylight*). Taki sposób marketingu wpasowuje się w przestrzeń miejską i jest formą reklamy wysoko akceptowaną przez społeczeństwo. Ze względu na dużą rotację ludzi korzystających z przystanków taka forma reklamy jest niezwykle skuteczna.



Rys. 1. Funkcje wiat przystankowych

Źródło: opracowanie własne.

2. Cel pracy i metodyka badawcza

Powstawanie miejskich wysp ciepła istotnie oddziałuje na wysokie temperatury w przestrzeniach aglomeracyjnych. Głównym celem badań było zbadanie zmian temperaturowych odczuwalnych przez pasażerów wewnątrz wiaty przystankowej. Cele szczegółowe stanowiły zaś analiza infrastruktury przystankowej i komunikacji miejskiej w Wałbrzychu, sprawdzenie stosowanych ekologicznych rozwiązań zmierzających do niwelacji miejskich wysp ciepła, a także za-

proponowanie rozwiązań problemu. Postawiona hipoteza zakłada, iż temperatura na dachu i wewnątrz wiaty przystankowej jest większa niż w cieniu lub w najbliższym obszarze zazielenionym.

Aby zbadać występujący problem, posłużono się analizą literatury. Kluczowymi źródłami była analiza książkowych publikacji naukowych, wyspecjalizowanych czasopism i dostępnej neografii. Badania metodą mapy sytuacyjnej, polegającą na opracowaniu przestrzennym rozmieszczenia przystanków, oraz metodą analizy analityczno-porównawczą poprzez mierzenie różnicy temperatur na przystankach autobusowych przeprowadzono w dwóch lokalizacjach: na przystanku Uczniowska – Cersanit i Uczniowska – Stacyjna.

3. Charakterystyka przeprowadzonych badań

Zastosowane podczas badań urządzenia to:

- termometr – użyty w celu uzyskania pomiaru temperatury odczuwalnej w powietrzu w dniu badań;
- miarka – użyta w celu zmierzenia odległości położenia badanych punktów;
- pirometr – wykorzystany w celu punktowego pomiaru temperatury; mierzący temperaturę laserowo.

Badania przeprowadzono na dwóch przystankach autobusowych na terenie Wałbrzycha w Wałbrzyskiej Specjalnej Strefie Ekonomicznej:

1. Uczniowska – Cersanit,
2. Uczniowska – Stacyjna.

Miejsca pomiaru temperatury są wyznaczone w punktach A, B, C, D. Punkt A jest zlokalizowany na dachu przystanku, punkt B – na ławce wewnątrz wiaty przystankowej, punkt C – w cieniu, który dawał przystanek, punkt D – na najbliższym obszarze roślinnym.

Punkt A wybrano, kierując się wysokim położeniem miejsca stale narażonego na promieniowanie słoneczne, co skutkuje nagrzewaniem się wiaty i wysoką temperaturą. Punkty B został wybrany, sugerując się jego lokalizacją wewnątrz wiaty przystankowej, gdzie pasażerowie przebywają, będąc narażeni na wysokie temperatury. Punkt C to z kolei miejsce, w jakim w godzinie wykonania badań panował cień, który dawała wiat. Punkt D zaś to teren roślinny znajdujący się najbliżej badanych przystanków, pozwalający wskazać wpływ flory na temperaturę.

4. Badanie różnic temperatur na przystankach autobusowych

Głównym celem badań było zbadanie potencjalnych odczuwalnych przez pasażerów zmian temperatury wewnątrz wiaty przystankowej. Badanie przeprowadzono metodą analityczno-porównawczą w wyznaczonych punktach A, B, C, D. Jak już wskazano, użyto do tego pirometra. Badania były wykonywane od czerwca do sierpnia 2022 roku, wybór dni był dostosowywany do panujących warunków atmosferycznych – wysokiej temperatury odczuwalnej powietrza. Wyniki badań przeprowadzonych na przystanku Uczniowska – Cersanit przedstawia tab. 1, a rezultaty pomiarów dokonanych na przystanku Uczniowska – Stacyjna – tab. 2.

Tabela 1. Wyniki pomiarów wykonanych na przystanku Uczniowska – Cersanit

Data	Odczuwalna temperatura powietrza	Punkt A (dach przystanku)	Punkt B (ławka wewnątrz przystanku)	Punkt C (cień)	Punkt D (najbliższy teren roślinny)
26 czerwca 2022 r.	26,6 °C	30,3 °C	29,3 °C	24 °C	25,1 °C
1 lipca 2022 r.	28 °C	31,5 °C	29,8 °C	28,1 °C	27,8 °C
21 lipca 2022 r.	32,3 °C	33,9 °C	34 °C	32,3 °C	33,5 °C
5 sierpnia 2022 r.	30,1 °C	31,4 °C	32,5 °C	31 °C	31,2 °C

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Wyniki pomiarów wykonanych na przystanku Uczniowska – Stacyjna

Data	Odczuwalna temperatura powietrza	Punkt A (dach przystanku)	Punkt B (ławka wewnątrz przystanku)	Punkt C (cień)	Punkt D (najbliższy teren roślinny)
26 czerwca 2022 r.	26,6 °C	29,7 °C	29,5 °C	26 °C	25,2 °C
1 lipca 2022 r.	28 °C	31,6 °C	30,2 °C	27,5 °C	28 °C
21 lipca 2022 r.	32,3 °C	35,1 °C	34,5 °C	33 °C	33,4 °C
5 sierpnia 2022 r.	30,1 °C	32 °C	31,6 °C	31,1 °C	30,9 °C

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowując przeprowadzone badania, można ustalić pewne zależności:

- temperatura w punkcie A (na dachu wiaty) i B (wewnątrz wiaty na ławce) była zawsze większa od temperatury odczuwalnej w powietrzu,
- temperatura w punkcie C (w cieniu wiaty) zawsze była mniejsza niż w punktach A i B, jednak często bardzo przybliżona do temperatury odczuwalnej w powietrzu,
- temperatura w punkcie D (najbliższy obszar roślinny) była zbliżona do temperatury w punkcie C.

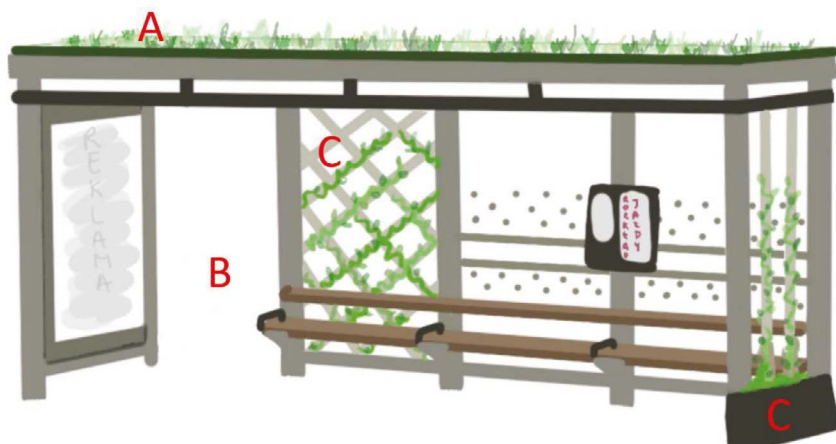
5. Proponowane rozwiązania problemu

Proponowanymi rozwiązaniami problemu są:

- Ekspansywne zazielenienie dachu (A) – dach przystanku autobusowego jest idealnym miejscem do jego ekspansywnego zazielenienia. Takie rozwiązanie niweluje miejskie wyspy ciepła. Badania różnicy temperatur wykazały, że roślinność wpływa negatywnie na wysokie temperatury, a ekspansywnie zazieleniony dach daje więcej cienia na wnętrze wiaty przystankowej niż przezroczysty dach.
- Likwidacja jednej z szyb ścian wiaty (B) – zamknięte szybami wszystkie ściany wiaty autobusowej nie zapewniały wystarczającej wentylacji przystanku, tym samym wysoka

temperatura wewnątrz przystanku utrzymywała się w nim. Likwidacja jeden z szyb ścian wiaty umożliwi jej wentylację.

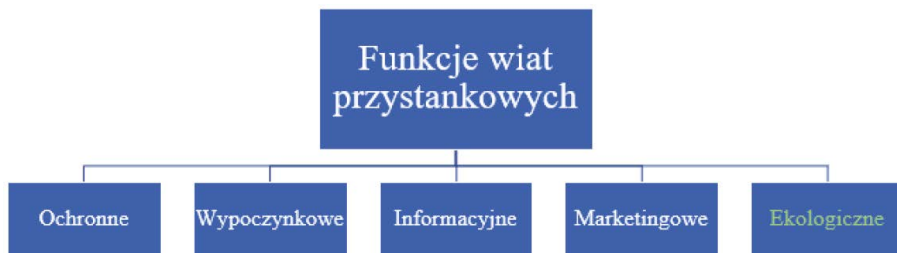
- Pnącza (C) – ściany wiaty przystankowej można także wykorzystać do powiększenia obszaru zazielenienia w mieście. Kolejnym proponowanym rozwiązaniem jest likwidacja dwóch ścian wiaty przystankowej, obudowanie ich donicami, w których umieszczone będą kratki z pnącymi roślinami (bluszczem), rozrastającymi się z czasem (rys. 2).



Rys. 2. Wizualizacja proponowanego rozwiązania

Źródło: opracowanie własne.

Proponowane rozwiązania poszerzają funkcjonalność przystanków autobusowych o funkcje ekologiczne (rys. 3). Takie wiaty przystankowe nie są już miejscem, gdzie powstają miejskie wyspy ciepła, wręcz odwrotnie – dzięki wykorzystaniu nowoczesnych rozwiązań ekologicznych, niwelują wysokie temperatury, a pasażerowie dzięki nim mogą czekać na autobus komunikacji miejskiej wewnątrz wiaty w cieniu i przy dobrej wentylacji obiektu.



Rys. 3. Dodatkowa funkcja przystanków autobusowych

Źródło: opracowanie własne.

6. Podsumowanie

Problem wysokich temperatur na przystankach autobusowych przebadano pod kątem nieodpowiedniej konstrukcji przystanków, niewystarczająco dobrych materiałów ich wykonania oraz braku innowacyjnych i ekologicznych rozwiązań.

Postawiona przez autorkę hipoteza badawcza została potwierdzona: temperatura w punktach A i B, czyli na dachu i wewnątrz wiaty, na ławce, była większa od temperatury w punktach C i D, czyli w cieniu wiaty i najbliższym obszarze roślinnym, a także większa od temperatury odczuwalnej powietrza. Wnioskując, należy stwierdzić, że cień i roślinność na przystankach autobusowych pozwalają zachować niższą temperaturę, zaś pasażerowie, czekając na autobus na ławce wewnątrz wiaty (punkt B), są narażeni na odczuwanie wyższych temperatur.

Trzy zaproponowane rozwiązania mające na celu niwelację miejskich wysp ciepła na przystankach autobusowych stanowią:

- ekspansywne zazielenienie dachu wiat przystankowych,
- likwidacja jednej z szyb w ścianie wiaty,
- zasadzenie pnączy.

Bibliografia

- Arret Sp. z o.o. (b.d.). *Jakie standardy powinny spełniać przystanki autobusowe*. Pobrano 10 czerwca 2024 z <https://www.arret.pl/blog/jakie-standardy-powinny-spelniac-przystanki-autobusowe>
- Expo 2029. (b.d.). *Zielone rozwiązania*. Pobrano 23 czerwca 2024 z <https://expo2029.uml.lodz.pl/zielone-rozwiazania/zalety-drzew/>
- Gajda, G. (2012). *Ekologia w mieście*. Pobrano 12 czerwca 2024 z <https://rownosc.eu/ekologia-w-miescie/>
- Kiba-Janiak, M., Witkowski, J. (2014). *Modelowanie logistyki miejskiej*. PWE.
- Stopsuszy.pl. (b.d.). *Rola drzew w mieście*. Pobrano 23 czerwca 2024 z <https://stopsuszy.pl/rola-drzew-w-miescie>
- Szołtysek, J. (2016). *Logistyka miasta*. PWE.
- Tundys, B. (2013). *Logistyka miejska*. Difin SA.
- WDX Spółka Akcyjna. (b.d.). *Czym jest zielona logistyka?*. Pobrano 12 czerwca 2024 z <https://wozkcrown.pl/blog/czym-jest-zielona-logistyka-przykladowe-rozwiazania/>

Eco-Friendly Solutions for Modernization of the Bus Stops in Wałbrzych

■ **Abstract:** Urban heat islands contribute to the high temperatures experienced in metropolitan areas. The main objective of the research was to investigate potential temperature changes that occurred due to high temperatures felt by the spread inside the bus stop shelter. Hypothesis assumes, that temperature on the roof and inside the bus stop shelter is higher than in the shade, or in the closest green area. The article, which concerns the problem, used an analysis of literature. The key source of information were: the analysis of scientific book publications, archives and also netography was used. The research was carried out based on the situational map method, i.e. development of the spatial arrangement of bus stops and analytical and comparative analysis by measuring the temperature at

bus stops in two locations; Uczniowska – Cersanit and Uczniowska– Stacyjna at 4 different points. Points A of the bus shelter on the roof, point B on the bench inside the bus stop shelter, point C in the shade, made by the bus shelter and point D in the closest green area. The hypothesis was confirmed after the research. The temperature at points A and B, i.e. on the roof and on the bench inside the shelter was higher than the temperature at points C and D, i.e. in the shadow of the shelter and the spread of plants, and also higher than the temperature felt in the air. In conclusion, the shadow and plants allow for a lower temperature, passengers waiting for the bus on a bench inside the bus stop shelter (point B) are exposed to a higher temperature. Three proposed solution to mitigate urban heat islands include: extensive green roofing of the bus shelter, removal of one of the shelter's side panels or planting climbing plants.

- **Keywords:** ecology, bus stops, high temperatures

