

ISSN 2450-8055
eISSN 2543-8867

ZESZYTY NAUKOWE

Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ekonomika i Organizacja Logistyki

Scientific Journal of Warsaw University of Life Sciences

Economics and Organization of Logistics

9 (3) 2024

ZESZYTY NAUKOWE

Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ekonomika i Organizacja Logistyki

Scientific Journal of Warsaw University of Life Sciences

Economics and Organization of Logistics

9 (3) 2024

SCIENTIFIC BOARD

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

EDITORIAL BOARD

Elżbieta J. Szymańska (Editor-in-Chief)

Thematic Editors: **Marta Zięba** (language editor; efficiency in logistics); **Joanna Domagała** (warehouse management); **Teresa Gądek Hawlena** (safety in transport and logistics); **Konrad Michalski** (logistic systems and IT systems in logistics); **Tomasz Rokicki** (transport and spedition); **Monika Roman** (optymalizacja procesów logistycznych); **Elżbieta J. Szymańska** (supply chains and costs in logistics); **Michał Wielechowski** (logistics in the economy); **Marcin Wysokiński** (hazardous materials and OHS in logistics).

Luiza Ochnio, Sławomir Stec (editorial secretary)

web page: eiol.sggw.edu.pl

Cover design – Elżbieta J. Szymańska

Editor – Dominika Cichocka

Technical editor – Violetta Kaska

ISSN 2450-8055 eISSN 2543-8867

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

Contents

Spis treści

Daniel Burakowski, Wiesława Lizińska

Dostępność komunikacyjna województwa warmińsko-mazurskiego a atrakcyjność migracyjna jako determinanty sytuacji ludnościowej
Transport accessibility of the Warmińsko-Mazurskie Voivodeship and migration attractiveness as determinants of the population situation 5

Aleksandra Bilik

Rola centrum logistycznego w globalnym łańcuchu dostaw na przykładzie działalności stowarzyszenia Europlatforms
The role of Logistics Centers in the global supply chain based on Europlatforms association activities 29

Joanna Bril, Edward Rydygier

Packaging waste management in a circular economy in Poland
Gospodarowanie odpadami opakowaniowymi w gospodarce o obiegu zamkniętym w Polsce 47

Małgorzata Górka

Wykorzystanie metod i narzędzi zarządzania jakością w przedsiębiorstwie na przykładzie firmy odzieżowej
Application of quality management methods and tools in the enterprise on the example of a clothing company 71

Ewelina Koziara, Gabriela Purcha, Jadwiga Topczewska

Problemy logistyki ostatniej mili w opinii studentów
Last-mile logistics problems in the opinion of students 91

Aleksandra Helena Pasieczna-Dixit, Dariusz Starkowski

Zarządzanie i identyfikacja źródeł ryzyka modelu na przykładzie miar ryzyka systemowego
Management and Identification of model risk sources: Examples using systemic risk measures 103

Anna Strychalska-Rudzewicz

Wybór dostawców w logistyce zaopatrzenia przedsiębiorstw produkcyjnych
Supplier selection in procurement logistics of manufacturing companies 139

Ireneusz Żuchowski, Liudmyla Hanushchak-Efimenko, Radovan Savov, Dariusz Racz

Artificial intelligence in human resource management: opportunities and challenges in the area of logistics
Sztuczna inteligencja w zarządzaniu zasobami ludzkimi: szanse i wyzwania w obszarze logistyki 149

Daniel Burakowski✉, **Wiesława Lizińska**
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Dostępność komunikacyjna województwa warmińsko-mazurskiego a atrakcyjność migracyjna jako determinanty sytuacji ludnościowej

Transport accessibility of the Warmińsko-Mazurskie Voivodeship and migration attractiveness as determinants of the population situation

Synopsis. Województwo warmińsko-mazurskie charakteryzuje się największym udziałem obszarów wiejskich w Polsce oraz jest zaliczane do grupy województw peryferyjnych. Na tych obszarach występuje problem związany z relatywnie niższą dostępnością komunikacyjną, a obszary wiejskie w Polsce wyludniają się głównie w wyniku migracji. Zdecydowano się zatem przeprowadzić analizę i ocenę atrakcyjności migracyjnej województwa warmińsko-mazurskiego na tle kraju pod względem dostępności komunikacyjnej. Oceniono zmiany sytuacji ludnościowej na obszarach wiejskich, a następnie przeanalizowano dane dotyczące transportu publicznego. Oceniono potencjał województw pod względem infrastruktury drogowej. Określono związek pomiędzy dostępnością komunikacyjną gmin w województwie warmińsko-mazurskim a zjawiskiem migracji. Na podstawie wyników badań stwierdzono, że do obszarów wiejskich województw o relatywnie najgorszej dostępności komunikacyjnej i jednocześnie największym odpływem ludności zalicza się województwa: warmińsko-mazurskie, podlaskie i lubelskie. Dostępność komunikacyjna może w istotnym stopniu wpływać na ruch przestrzenny ludności, pod warunkiem jednoczesnego pogorszenia się wszystkich możliwości transportu publicznego oraz niewystarczającego rozwoju infrastruktury drogowej o wyższej jakości. Poszczególne czynniki dotyczące czasu oraz dystansu jaki muszą pokonać mieszkańcy gmin wybranego województwa są ważne, o czym świadczy występowanie istotnie statystycznej zależności pomiędzy ruchem przestrzennym ludności, a wymienionymi elementami.

Słowa kluczowe: dostępność komunikacyjna, atrakcyjność migracyjna, obszary wiejskie, depopulacja

✉ **Daniel Burakowski** – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Ekonomicznych; e-mail: daniel.burakowski@uwm.edu.pl; <https://orcid.org/0009-0003-5266-2161>

Wiesława Lizińska – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Ekonomicznych; e-mail: wieslawa.lizinska@uwm.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0002-6957-2846>

Abstract. Warmińsko-Mazurskie Voivodeship has the largest share of rural areas in Poland and is classified as a peripheral region. Peripheral areas often face the issue of relatively lower transportation accessibility, and rural areas in Poland are experiencing depopulation primarily due to migration. Therefore, an analysis was conducted to assess the migration attractiveness of the Warmińsko-Mazurskie Voivodeship compared to the rest of the country in terms of transportation accessibility. This involved examining changes in the demographic situation of rural areas and analyzing public transport data. Additionally, the potential of voivodeships was evaluated based on their road infrastructure. The relationship between the communication accessibility of communes in the Warmińsko-Mazurskie Voivodeship and the migration phenomenon was determined. The research indicates that the rural areas of voivodeships with relatively poor transportation accessibility and the highest population outflows include the Warmińsko-Mazurskie, Podlaskie, and Lubelskie Voivodeships. Transportation accessibility can significantly impact the spatial movement of the population, especially when public transport options deteriorate and there is insufficient development of higher-quality road infrastructure. Factors related to the time and distance that the inhabitants of the communes of the selected voivodeship have to cover are important, as evidenced by the existence of a statistically significant relationship between the spatial movement of people and the above-mentioned elements.

Key words: transport accessibility, migration attractiveness, rural areas, depopulation

Kody JEL: F22, J11, O18, R42

Wstęp

Za istotę sytuacji ludnościowej odpowiadają elementy wpływające na dokonywanie się przemian demograficznych. Na ich podstawie szacowane są m.in. wskaźniki reprodukcji demograficznej, a wśród nich można wskazać takie składowe jak: liczba i struktura wiekowa ludności, współczynnik urodzeń i zgonów oraz migracje [Nurzhanova i in. 2020, Baranyak 2022]. Zatem w ogólnym ujęciu, czynnikami odpowiadającymi za przemiany demograficzne są te, które dotyczą zarówno ruchu naturalnego ludności, jak i ruchu przestrzennego [Organiściak-Krzykowska 2022]. Elementy będące składowymi sytuacji ludnościowej w istotny sposób wpływają na rozwój społeczno-gospodarczy [Amornkitvikai i in. 2022], a także na zrównoważony rozwój środowiska [United Nations 2019]. Wzrost poziomu liczby ludności na danym obszarze przeważnie wiąże się z osiągnięciem wzrostu gospodarczego [Siskova i in. 2023], gdy natomiast występuje sytuacja odwrotna, należy oczekiwać, że nastąpi stagnacja gospodarcza [Strulik 2024]. W konsekwencji prowadzi to do pogorszenia standardów życia [Jones 2022]. Zjawiskiem, którego pojawienie się jest wywołane zmniejszaniem liczby ludności, a jego skutki dobrze obrazują jakie są konsekwencje ubytku ludnościowego jest depopulacja.

Migracje są jednym z elementów mogącym w istotny sposób wpłynąć na zmniejszenie liczby ludności danego obszaru [Dolińska i in. 2020]. Ruch przestrzenny ludności uwarunkowany jest osiągnięciem relatywnie lepszego miejsca zamieszkania. Zmiana

miejsca zamieszkania jest powodowana m.in. różnicami płacowymi, poziomem bezrobocia oraz możliwościami rozwojowymi [Dolińska i in. 2023].

Rozważania dotyczące atrakcyjności migracyjnej są prowadzone na różnym poziomie. Obejmują bowiem porównania międzynarodowe [Mosora i in. 2024], regionalne [Kałuża-Kopias 2014], a także lokalne [Józefowicz 2020]. Atrakcyjność migracyjna jest zbiorem takich cech danego obszaru, które zachęcają do osiedlania się na jego terenie [Śleszyński 2020]. Za atrakcyjne obszary migracyjne uznaje się m.in. obszary z rozwiniętym przemysłem lub duże ośrodki miejskie, do terenów nieatrakcyjnych natomiast zalicza się m.in. gminy położone z dala od ośrodków miejskich [Rosner 2014]. Jednym z elementów istotnie wpływającym na atrakcyjność migracyjną danego obszaru jest dostępność komunikacyjna. Ma ona niebagatelne znaczenie z perspektywy obszarów peryferyjnych, które w tym aspekcie są relatywnie gorzej rozwinięte [Heffner 2019]. Można uznać, że atrakcyjność migracyjna zmniejsza się wraz ze wzrostem odległości od ośrodka miejskiego [Stanny i in. 2018].

Uwzględniając zatem istotność sytuacji ludnościowej oraz migracji, a także dostępności komunikacyjnej jako elementu mogącego istotnie wpływać na ruch przestrzenny ludności, celem artykułu uczyniono analizę i ocenę sytuacji ludnościowej oraz dostępności transportowej na obszarach wiejskich w województwie warmińsko-mazurskim, wyróżniając aspekt migracyjny.

Przegląd literatury

Depopulacja jest zjawiskiem demograficznym i przestrzennym. Występuje, gdy na danym terytorium w pewnym czasie następuje zmniejszenie liczby ludności, co jest efektem ujemnego salda przyrostu naturalnego ludności, ujemnego salda migracyjnego, bądź wystąpienia obu tych zjawisk jednocześnie [Vuković 2022, Gómez Valenzuela i Holl 2024]. Wskazane zjawisko jest aktualnie przedmiotem wielu badań, czego dowodem są liczne prace w krajach, w których występuje, czyli m.in. w: Hiszpanii [Cabello i Bochaca 2023], Portugalii [Lima i in. 2020], Grecji [Papadopoulos i Baltas 2024], Bułgarii [Velkovski 2022], Rumunii [Muntele i in. 2021], Chorwacji [Živić 2021], czy w Polsce [Runge i in. 2020, Józefowicz 2022].

Konsekwencją dla terytorium doświadczającego wyludniania się jest zmniejszenie bazy podatkowej [Szweda-Lewandowska 2020], co skutkuje zmniejszeniem wydatków na m.in. lokalną infrastrukturę czy usługi, a następnie maleje również popyt na pracę [Glauber 2022]. Innym skutkiem depopulacji jest zaburzenie struktury wiekowej mieszkańców [Camarero i Oliva 2022]. To z kolei sprawia, że na takim obszarze usługi publiczne i inne udogodnienia w głównej mierze są skierowane na zaspokojenie potrzeb osób starszych, a dany obszar staje się relatywnie mniej atrakcyjny dla ludności młodej [Prenzel 2021]. Te skutki oraz inne zjawiska depopulacji tworzą pewnego rodzaju „spirale” dynamizującą istniejące już negatywne trendy, wynikające z wyludniania się danego miejsca [Lorente i in. 2020].

Opisane wcześniej zjawisko wyludniania się występuje w Polsce w małych i średnich miastach [Majdzińska 2022], ale miejscami, na których głównie wskazuje się na jego występowanie są obszary wiejskie [Szukalski 2019], a także znajdujące się w ich obrębie

obszary peryferyjne [Heffner i Twardzik 2022]. W przypadku depopulacji występującej na takich obszarach czynnikiem determinującym ją w większym stopniu są migracje [Dolińska i in. 2020].

Śród wskazanych wcześniej obszarów w sposób ogólny można doprecyzować, że opisane czynniki w szczególności dotyczą Polski Wschodniej [Kowalewska i Markowski 2024]. Wśród innych elementów stymulujących migracje jest dostępność komunikacyjna. Obszary peryferyjne są w tym aspekcie relatywnie gorzej rozwinięte, co jest kolejnym bodźcem migracyjnym dla ludności je zamieszkującej [Heffner 2019]. Poprzez pojęcie dostępności rozumie się łatwość dostępu do usług, obiektów i relatywnie atrakcyjniejszych lokalizacji [Pourramazani i Miralles-Garcia 2022]. Jest określana jako miara rozkładu przestrzennego miejsc docelowych, do których docierają ludzie i firmy za pośrednictwem systemu transportowego [Hishiyama i in. 2021]. Jej rezultaty są zależne od sieci transportowej oraz użytkowania gruntów – rozumiane jest jako przestrzenne rozmieszczenie podróży i ich miejsc docelowych, a sieć transportowa oznacza zapewnienie im usług w celu pokonania odległości do tych miejsc przy użyciu określonego środka transportu [Staricco 2022]. Na podstawie tych informacji można określić, jakie są podstawowe elementy odpowiadające za dostępność komunikacyjną. Są to: szybkość i bezpośredniość podróży oraz jakość i ilość możliwości transportu w danym miejscu [De Vos i in. 2023].

Dostępność komunikacyjna jest elementem wpływającym w sposób istotny na funkcjonowanie mieszkańców danego obszaru [Carlow i in. 2021]. Szczególnie ważny jest odpowiednio rozwinięty transport publiczny. Brak takiego rozwiązania na obszarach wiejskich często ogranicza dostęp do wymienionych wcześniej aspektów, ponieważ wiąże się to z korzystaniem z alternatywnego rozwiązania, którym jest transport prywatny. W ten sposób istnieje ryzyko wykluczenia społecznego osób nieposiadających uprawnień do samodzielnego prowadzenia pojazdów [Bauchinger i in. 2021] lub niemających własnego pojazdu [Xing i in. 2022]. Do grupy osób ograniczonych w ten sposób należą głównie osoby starsze oraz młodzież [Żukowska i in. 2023]. Dostępność transportowa jest istotnym elementem pozwalającym określić atrakcyjność poszczególnych miejsc jako elementu kształtowania poziomu życia. Jej niedostateczny rozwój może spowodować wykluczenie komunikacyjne, co w konsekwencji prowadzi do ograniczonego dostępu do podstawowych usług [Guzik i in. 2021a].

Zapewnienie transportu publicznego na obszarach wiejskich stoi przed licznymi wyzwaniami ze względu na rozproszenie struktur osadniczych i niski poziom gęstości zaludnienia [Imhof i Mayer 2024]. Skutkiem takiego układu zamieszkania są relatywnie dłuższe odległości między obszarami mieszkalnymi, miejscami pracy oraz usługami względem np. miast, przez co zorganizowanie atrakcyjnego transportu jest przedsięwzięciem trudnym do zrealizowania [Imhof 2021]. W wyniku wyludniania się obszarów wiejskich, funkcjonowanie transportu publicznego na tych terenach staje się jeszcze trudniejsze, ponieważ z perspektywy usługodawcy rosną wydatki w przeliczeniu na pasażera [Sörensen i in. 2021]. W związku z tym, organizatorzy komunikacji publicznej zapewniają jedynie podstawowe połączenia transportowe [Imhof i Blättler 2023]. Oznacza to, że ze względu na niesatysfakcjonujące z perspektywy przewoźnika wykorzystanie miejsc w pojazdach, liczba kursów pojazdów jest ograniczana, a operatorzy skupiają się głównie na realizowaniu połączeń w godzinach, w których stosunkowo w dużym stopniu będzie można wykorzystać przepustowość pojazdów, czyli np. w godzinach tzw. szkol-

nych [Avermann i Schlüter 2019]. Skutkiem realizowania transportu publicznego w taki sposób, jest ograniczone zaspokojenie potrzeb względem dostępności komunikacyjnej, co zmusza ich do znalezienia bardziej elastycznych alternatyw transportowych, czego konsekwencją jest konieczność poruszania się własnym środkiem transportu [Tejero-Beteta i in. 2024]. To z kolei sprawia, że rozwój transportu publicznego jest jeszcze trudniejszy, ponieważ ponownie zmniejsza się liczba zainteresowanych korzystania z niego. Mechanizm powstałej w ten sposób sytuacji przypomina, tak jak w przypadku depopulacji, powstanie „błędnego koła” [Park i in. 2023], jednak reperkusją tego zjawiska w tym przypadku jest jeszcze większe utrudnienie funkcjonowania ludności wymienionej wcześniej w kontekście ryzyka wykluczeniem, czyli m.in. osób niemających samochodu lub uprawnień do jego prowadzenia [Knierim i Schlüter 2021].

Dostępność komunikacyjna jest ważna z perspektywy rozwoju społeczno-gospodarczego danego obszaru [Zolotarev i in. 2023]. Jej niedostateczny poziom może sprawić, że dany obszar ulegnie peryferyzacji [Maleszyk 2023]. Dodatkowo, na obszarach peryferyjnych niedostateczna dostępność komunikacyjna wiąże się z jej relatywnie większymi kosztami z zakresu elementów z nią związanych [Adamowicz 2021]. Dostępność komunikacyjna w Polsce związana z transportem publicznym w ostatnich latach na terenach poza miastami ma charakter regresywny. Obserwowany jest wzrost wykorzystywania transportu indywidualnego. Zauważalna jest także zależność względem odległości od miasta wojewódzkiego a dostępnością komunikacyjną. Wraz ze wzrostem odległości danego obszaru od stolicy regionu możliwości związane z transportem publicznym ulegają zmniejszeniu. Wśród obszarów wykazujących się relatywnie gorszą dostępnością przestrzenną zalicza się takie województwa jak: łódzkie, mazowieckie, podlaskie, pomorskie i warmińsko-mazurskie [Stanny i in. 2023].

Wyniki prowadzonych badań wskazują, że czynnikami wpływającymi na powstawanie zjawiska depopulacji są m.in. relatywnie niższy możliwy poziom wynagrodzenia na obszarze depopulacyjnym oraz istniejącą dysproporcję infrastrukturalną względem innych terenów [Grzebyk i in. 2019, Kudelko 2023]. Wynikająca ze zbyt dużej odległości ośrodków miejskich względem obszarów wiejskich peryferyjność, także odgrywa istotną rolę w kwestii wyludniania. Ludność decyduje się bowiem na opuszczenie relatywnie gorzej rozwiniętych terenów w celu poprawy sytuacji życiowej [Živanović i in. 2022], czy też dostępu do usług [Yu i in. 2022]. W przypadku osób młodych dodatkowo wskazuje się na aspekty związane z poszukiwaniem lepszych możliwości zatrudnienia, a także rozwój w zakresie edukacji [García-Madurga i in. 2024]. Osoby młodsze są znacznie bardziej skłonne do podejmowania decyzji migracyjnych [Kaczan i Orgill-Meyer 2020].

Atrakcyjność migracyjna zmniejsza się wraz ze wzrostem odległości od ośrodka miejskiego i staje się ujemna na obszarach położonych peryferyjnie w stosunku do sieci miejskiej [Stanny i in. 2018]. Na podstawie zebranych informacji można uznać, że dostępność komunikacyjna może być jedną z istotnych determinant atrakcyjności migracyjnej, ponieważ w zależności od jej poziomu jest ona barierą lub ułatwieniem dostępności do czynników wpływających na atrakcyjność danego obszaru.

Mając na uwadze wskazane wcześniej informacje odnośnie problemu wyludniania się w Polsce oraz związanych z nim implikacji społeczno-gospodarczych, w tym dotyczących dostępności komunikacyjnej, a także ze względu na brak pogłębionych badań na poziomie lokalnym w województwie warmińsko-mazurskim, zdecydowano

się podjąć próbę przeanalizowania i oceny sytuacji demograficznej oraz komunikacyjnej w wybranym województwie na tle kraju, także określenie związku pomiędzy dostępnością komunikacyjną gmin obejmujących obszary wiejskie w tym województwie a zjawiskiem migracji.

Metodyka badań

Województwo warmińsko-mazurskie w 2022 roku charakteryzowało się największym udziałem obszarów wiejskich (97,5%), spośród wszystkich województw w Polsce [Obszary... 2024], a także jest zaliczane do Polski Wschodniej, czyli obszarów, których w szczególności dotyczy problem peryferyjności. Wśród pozostałych województw zaliczanych do tej grupy wskazywane są również: podlaskie, lubelskie, świętokrzyskie oraz podkarpackie [Kołoszko-Chomentowska i Zdziarstek 2019, Adamowicz i Zwolińska-Ligaj 2020, Lewandowska i in 2021, Ślusarz 2021].

Dążąc do oceny sytuacji demograficznej na obszarach wiejskich, znaczenia w niej migracji, w tym również w kontekście dostępności komunikacyjnej, w pierwszej kolejności przeanalizowano skalę zjawiska depopulacji na obszarach wiejskich w województwie warmińsko-mazurskim na tle Polski. W tym celu obliczono wartość wskaźnika przyrostu rzeczywistego na 1000 mieszkańców w latach 2010–2020. Aby tego dokonać, należało dla każdego roku zsumowane wartości salda migracji na pobyt stały i wartości przyrostu naturalnego odnieść w relacji do 1000 mieszkańców obszarów wiejskich. Obliczenia wykonywane były oddzielnie dla każdego województwa w każdym roku. Do przeprowadzonych obliczeń wykorzystano dane zamieszczone w Banku Danych Lokalnych (BDL). W wyniku niedostępności danych za 2015 rok w przypadku danych dotyczących wybranego rodzaju migracji, nie przeprowadzono analizy dla tego roku. Do obszarów wiejskich zaliczano gminy wiejskie oraz obszary wiejskie znajdujące się na terytorium gmin miejsko-wiejskich.

Na skutek zmian administracyjnych wśród gmin wiejskich oraz gmin miejsko-wiejskich zdecydowano się na wykluczenie jednostek, których status uległ zmianie, co skutkowało pomniejszeniem pierwotnego zbioru terytoriów o około 4%.

Następnie dokonano oceny wpływu ruchu przestrzennego ludności na zmianę liczby ludności na obszarach wiejskich w województwie warmińsko-mazurskim na tle kraju. W tym celu zostało obliczone saldo migracji na pobyt stały na 1000 mieszkańców. Obliczenia wykonywane były oddzielnie dla każdego województwa w każdym roku. Zarówno w przypadku obliczania wskaźnika przyrostu rzeczywistego na 1000 mieszkańców, jak i wskaźnika salda migracji na 1000 mieszkańców, zdecydowano się wybrać dane dotyczące ruchu przestrzennego ludności na pobyt stały. Jest to uwarunkowane tym, że w przeciwieństwie do migracji czasowych ten rodzaj ruchu przestrzennego ludności ma charakter trwały. Jest to istotne w przypadku próby zaobserwowania wpływu tego zjawiska na zmianę liczby ludności w długim horyzoncie czasowym.

Do określenia dostępności transportowej danego obszaru wykorzystywane są elementy z zakresu: sieci infrastruktury transportowej, rodzaju wykorzystywanych pojazdów, rodzaju usług transportowych, rodzaju przewożonego towaru (ludność lub ładunki), rodzaju skali i parametrów dostępności, rodzaju dostępności, dynamiki dostępności, celu i czasu uży-

skania dostępu, skali dostępności, istotności powiązań obszarów itp. [Wiśniewski 2015]. Ze względu na brak ogólnie dostępnych danych, a jednocześnie chcąc uzyskać wiarygodne wyniki, wykorzystano dane z zakresu transportu publicznego dotyczące ruchu autobusów i wykorzystania kolei oraz wyposażenia w infrastrukturę drogową.

W przypadku transportu publicznego opierającego się na wykorzystaniu autobusów przeanalizowano badania pomiaru ruchu na drogach wojewódzkich przeprowadzane przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) cyklicznie co 5 lat [GDDKiA 2015a]. Jednak ze względu na fakt, iż na niektórych odcinkach dróg na skutek wykonywanych robót drogowych liczba realnie odnotowanych pojazdów może różnić się od tej, podanej w wyniku przygotowanych badań. Dodatkowo na skutek takiego zestawienia nie można przyjąć, że jeden przejazd autobusu drogą wojewódzką oznacza jeden kurs w ramach planowanego rozkładu jazdy, ponieważ w trakcie realizacji jednego kursu autobus mógł korzystać z kilku dróg wojewódzkich. W konsekwencji realna liczba oferowanych kursów mogła być jeszcze mniejsza.

W ramach transportu publicznego odniesiono się także do danych opublikowanych przez Urząd Transportu Kolejowego (UTK), dotyczących liczby pasażerów korzystających z transportu kolejowego w ramach kursów regionalnych i aglomeracyjnych w latach 2010–2020 [Koleje pasażerskie...]. Dysponując danymi dotyczącymi zarówno transportu autobusowego, jak i kolejowego, można było wstępnie podjąć próbę oceny dostępności komunikacji publicznej.

Kolejnym etapem badań była analiza infrastruktury drogowej na obszarach wiejskich ze względu na fakt, że jej jakość jest istotnym elementem w kontekście alternatywnego środka transportu względem komunikacji publicznej jakim jest samochód. Ze względu na fakt, że od 2014 roku istnieje możliwość dojazdu drogą utwardzoną do każdego sołectwa [Stanny i in. 2023], a także, że w przypadku dostępności drogowej korzystniejszy wpływ na nią ma obecność dróg o wyższej klasie i jakości jak np. autostrad względem dróg powiatowych [Guzik i in. 2021a], zdecydowano się ocenić poziom wyposażenia obszarów wiejskich w autostrady i drogi ekspresowe. W tym celu obliczono udział długości zamiejskich dróg ekspresowych i autostrad w przeliczeniu na 100 km² obszaru wiejskiego danego województwa.

W związku z tym, że samochody osobowe są alternatywnym rozwiązaniem dotyczącym kwestii przemieszczania się, zbadano, ile czasu potrzebują mieszkańcy obszarów wiejskich w województwie warmińsko-mazurskim na dotarcie do istotnych, z perspektywy codziennego funkcjonowania, ośrodków miejskich – zarówno stolicy regionu, jak i miast będących siedzibami powiatów. Następnie poddano analizie statystycznej dane dotyczące salda migracji, odległości z poszczególnych obszarów wiejskich do stolicy regionu i miast będących siedzibami powiatów, a także czas niezbędny do pokonania drogi we wskazanych relacjach [GUS 2024].

W tym celu obliczono średnią wartość wybranego wcześniej wskaźnika salda migracji na 1000 mieszkańców, a następnie sprawdzono, czy istnieje statystyczna zależność pomiędzy ruchem przestrzennym ludności, a wymienionymi wcześniej elementami związanymi z transportem. Aby tego dokonać, wykorzystano współczynnik korelacji liniowej Pearsona. Przyjęto poziom istotności $p \leq 0,05$ wskazujący na istnienie istotnych statystycznie różnic bądź zależności [Sobczyk 2006].

Ze względu na dostępność danych dotyczących transportu kolejowego oraz częstotliwości kursów autobusowych oraz chcąc zachować maksymalną możliwość porównywalności informacji, wszystkie dane przeanalizowano w okresie obejmującym lata 2010–2020.

Ocena sytuacji ludnościowej warmińsko-mazurskiego na tle Polski a dostępność komunikacyjna

W ostatnich latach obserwowane jest zjawisko wyludniania się niemal w całej Polsce. Jednak miejscami, których depopulacja dotyczy w sposób szczególny są obszary wiejskie, a także obszary peryferyjne. Występowanie tego problemu potwierdza się w województwie warmińsko-mazurskim, które jest zaliczane właśnie do jednego z kilku miejsc w Polsce, gdzie w stopniu szczególnym występuje peryferyjność [Gałęcka 2023].

W badanym okresie województwo warmińsko-mazurskie należało do grupy jednego z pięciu województw charakteryzujących się sukcesywnie zmniejszającą liczbą mieszkańców w niemal wszystkich latach, a zaliczają się do niej jeszcze takie województwa jak: podlaskie, lubelskie, świętokrzyskie oraz opolskie (tab. 1).

W tym miejscu warto podkreślić, że województwa we wskazanej grupie, z wyjątkiem województwa opolskiego, są jednocześnie zaliczane do obszarów, których na tle kraju w największym stopniu dotyczy peryferyjność. Spośród grupy województw okre-

Tabela 1. Przyrost rzeczywisty ludności na obszarach wiejskich na 1000 mieszkańców

Table 1. Actual increase in rural areas per 1,000 inhabitants

Województwo	2010	2011	2012	2013	2014	2016	2017	2018	2019	2020
Dolnośląskie	6,86	5,77	4,96	4,18	4,60	3,64	5,05	5,19	5,90	3,88
Kujawsko-Pomorskie	5,17	4,49	4,12	3,02	3,18	2,27	3,03	1,95	2,24	1,40
Lubelskie	-1,32	-2,32	-2,31	-2,75	-2,90	-2,69	-3,26	-3,20	-3,95	-5,67
Lubuskie	3,72	1,77	2,73	0,26	1,09	-0,02	-0,05	-1,04	-1,38	-0,96
Łódzkie	1,83	1,11	0,39	0,52	0,51	0,37	0,49	0,46	0,13	-1,28
Małopolskie	6,88	5,99	5,53	4,88	4,72	4,26	4,94	4,35	3,60	1,78
Mazowieckie	5,31	3,53	3,39	3,12	2,81	2,70	2,90	2,56	3,45	1,30
Opolskie	-0,94	-1,60	-1,64	-3,42	-1,64	-1,84	-2,57	-2,46	-2,27	-4,20
Podkarpackie	2,23	1,86	1,36	1,07	1,02	0,50	1,24	0,64	-0,31	-1,67
Podlaskie	-2,33	-3,14	-3,86	-4,62	-4,57	-4,45	-4,16	-5,15	-4,10	-5,20
Pomorskie	11,95	11,19	9,73	9,37	9,21	8,96	11,05	10,16	9,97	8,38
Śląskie	5,71	4,53	3,91	3,13	3,43	2,86	2,87	2,23	2,48	0,14
Świętokrzyskie	-0,79	-1,24	-1,27	-2,31	-1,85	-2,60	-2,29	-3,07	-4,07	-5,38
Warmińsko-Mazurskie	3,07	1,81	0,16	-1,17	-0,51	-1,97	-2,19	-3,45	-3,43	-2,71
Wielkopolskie	8,84	8,13	7,43	7,15	6,73	6,92	7,53	7,29	7,54	5,32
Zachodniopomorskie	4,58	3,24	2,69	2,13	1,41	0,60	0,15	0,27	-0,48	-0,79
Polska (wartość uśredniona)	3,80	2,82	2,33	1,53	1,70	1,22	1,55	1,05	0,96	-0,35

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [Ludność wg grup..., Migracje na pobyt..., Ruch naturalny wg ...].
Source: own elaboration based on: [Ludność wg grup..., Migracje na pobyt..., Ruch naturalny wg ...].

ślanych mianem peryferyjnych znajduje się również województwo podkarpackie. Można zauważyć, że spośród obszarów peryferyjnych charakteryzuje się ono relatywnie lepszą sytuacją ludnościową, ale zwracając uwagę na dynamikę i kierunek zmian ludnościowych w badanym okresie występująca już negatywna tendencja może ulec pogłębieniu.

Na obszarach wiejskich w Polsce zauważalna jest ogólna tendencja systematycznego zmniejszania liczby ludności. O ile w badanych latach z pewnymi fluktuacjami, z wyjątkiem wyróżnionych wcześniej obszarów, występował wzrost liczby ludności, o tyle widoczne jest jego stopniowe wyhamowywanie. W konsekwencji na obszarach wiejskich, gdzie przez znaczną większość badanego okresu zauważalny był wzrost liczby ludności, w ostatnich latach występowało zjawisko depopulacji. Obserwując tendencję występującą w kraju, można spodziewać się, że w miejscach, w których do tego zjawiska jeszcze nie doszło, zaczną się one wyludniać – jest to jedynie kwestią czasu.

Wśród czynników mających bezpośredni wpływ na zmianę liczby ludności jako podstawowe wskazuje się ruch naturalny ludności oraz ruch przestrzenny ludności. Jedną ze składowych ruchów przestrzennego ludności są migracje na pobyt stały.

Analizując wartości salda migracji na pobyt stały, można dostrzec, że w najbardziej niekorzystnej sytuacji z perspektywy ruchu przestrzennego ludności znajdują się obszary wiejskie województw: warmińsko-mazurskiego, podlaskiego, lubelskiego oraz opolskiego (tab. 2). Warto zwrócić uwagę na fakt, że spośród wcześniej wyszczególnionych województw, oprócz województwa opolskiego, reszta jest klasyfikowana jako obszary o największej peryferyjności w Polsce [Gałęcka 2023].

Tabela 2. Saldo migracji ludności na pobyt stały obszarach wiejskich na 1000 mieszkańców
Table 2. Net migration for permanent residence per 1,000 inhabitants

Województwo	2010	2011	2012	2013	2014	2016	2017	2018	2019	2020
Dolnośląskie	5,94	5,33	4,94	4,65	4,26	3,87	4,81	5,77	6,48	6,53
Kujawsko-Pomorskie	2,69	2,44	2,17	1,75	1,40	1,50	1,68	1,76	1,99	2,80
Lubelskie	0,27	-0,42	-0,63	-0,24	-0,76	-0,43	-1,15	-0,89	-1,70	-0,64
Lubuskie	2,09	1,02	1,60	0,09	0,47	0,06	-0,27	0,05	0,40	2,11
Łódzkie	3,65	3,12	2,60	3,15	2,46	2,56	2,43	2,78	2,72	3,51
Małopolskie	3,72	3,31	3,02	2,72	2,18	2,10	2,29	1,92	1,69	1,98
Mazowieckie	4,51	3,59	3,33	3,29	2,68	2,60	2,52	2,74	3,69	3,89
Opolskie	-0,01	-0,22	-0,37	-1,50	-0,47	-0,53	-0,50	-0,42	-0,32	0,63
Podkarpackie	0,69	0,64	0,32	0,36	0,31	0,04	-0,12	-0,36	-0,86	0,21
Podlaskie	0,37	-0,27	-0,63	-0,94	-1,35	-0,64	-0,48	-0,99	-0,28	1,16
Pomorskie	5,60	5,62	4,68	4,61	4,04	4,56	5,45	5,48	5,60	6,03
Śląskie	4,82	3,81	3,68	3,11	2,98	2,93	2,83	2,93	3,11	3,30
Świętokrzyskie	1,02	0,71	0,83	0,31	0,36	-0,08	0,14	-0,24	-1,03	0,04
Warmińsko-Mazurskie	0,01	-0,48	-1,38	-2,02	-2,24	-2,27	-2,60	-2,06	-1,99	-0,26
Wielkopolskie	4,81	4,91	4,27	4,61	3,56	3,99	4,11	4,84	5,16	4,93
Zachodniopomorskie	2,49	1,93	1,15	1,39	0,35	-0,06	-0,37	0,71	0,82	1,97
Polska (wartość uśredniona)	2,67	2,19	1,85	1,58	1,26	1,26	1,30	1,50	1,59	2,39

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [Ludność wg grup..., Migracje na pobyt...].

Source: own elaboration based on: [Ludność wg grup..., Migracje na pobyt...].

Należy również pokreślić, że pozostałe tereny klasyfikowane jako problemowe, czyli województwa świętokrzyskie oraz podkarpackie, pomimo dodatniego salda migracji na pobyt stały, osiągnęły stosunkowo niskie wartości w porównaniu z pozostałymi obszarami wiejskimi. Może to oznaczać, że są one obszarami o relatywnie mniejszej atrakcyjności migracyjnej.

Można zatem stwierdzić, że w istocie, zmniejszenie liczby ludności w wyniku ruchu przestrzennego z perspektywy obszarów peryferyjnych jest czynnikiem, który wpływa na wyludnianie się takiego terytorium. Jest to zauważalne wówczas, gdy zostaną zestawione ze sobą wartości salda migracji na pobyt stały z wartościami przyrostu rzeczywistego.

Biorąc pod uwagę negatywną sytuację demograficzną województwa warmińsko-mazurskiego w badanym okresie, należy zwrócić szczególną uwagę na ruch przestrzenny ludności. Z wyjątkiem roku bazowego i końcowego, województwo warmińsko-mazurskie charakteryzowało się relatywnie największym ujemnym saldem migracyjnym, co miało niebagatelny wpływ na liczebność ludności na tym obszarze zważywszy na fakt, że analizowane dane dotyczą wyjazdu ludności z tego terenu na stałe.

Nie tylko w przypadku liczby ludności obserwowano w Polsce pewną zmienność. W ostatnich latach w Polsce zmiany również następowały w transporcie zbiorowym. Niestety, ich kierunek nie był pozytywny w każdym miejscu. Dotyczy to w szczególności liczby kursujących autobusów, która ze względu na rozmiary zmian może zostać określona mianem gwałtownej. Dzięki przeprowadzonym analizom zauważono bowiem, że ciągu 10 lat, w ponad połowie województw przeciętna dobową liczba autobusów kursujących po drogach wojewódzkich uległa obniżeniu o co najmniej 32% w stosunku do 2010 roku (tab. 3). Pomimo niedoskonałości związanej z wykorzystaniem w tym celu zbioru danych, ze względu na skalę zmian jaka nastąpiła można wywnioskować, że dostępność usług transportowych realizowanych przy wykorzystaniu autobusów uległa pogorszeniu w całej Polsce.

Wśród województw o charakterze peryferyjnym, zarówno na tle reprezentowanej grupy, jak i na tle kraju, wyróżniają się województwa lubelskie, warmińsko-mazurskie oraz świętokrzyskie. Doświadczyły one bowiem relatywnie najbardziej niekorzystnych zmian w zakresie kursów autobusów. W przypadku dwóch pozostałych województw peryferyjnych, czyli podlaskiego i podkarpackiego, w porównaniu do reszty kraju zmniejszenie ruchu autobusów było relatywnie niewielkie. Odnosząc się zatem do salda migracji, nie można jednoznacznie wskazać, że zmniejszenie ruchu autobusów (a zatem potencjalnej dostępności komunikacyjnej dla mieszkańców) niekoniecznie jest jednym z czynników, wpływających na decyzję mieszkańców względem opuszczenia pewnego miejsca.

Dostępność komunikacyjna nie dotyczy jedynie transportu opartego na autobusach. Istotną rolę w transporcie zbiorowym odgrywa również kolej, a w szczególności codzienna możliwość przemieszczania się w obrębie regionu i aglomeracji.

W przypadku transportu kolejowego sytuacja w Polsce jest odmienna względem transportu autobusowego. O ile w każdym województwie poziom wykorzystania transportu autobusowego malał, o tyle w transporcie kolejowym takie zjawisko nie wystąpiło (tab. 4). Nie oznacza to jednak, że nie wystąpiło wcale, ponieważ w przypadku województw, w których istnieje problem związany z odpływem ludności na obszarach wiejskich, jednocześnie zauważalna jest tendencja zmniejszania liczby osób korzystających przewozów z regionalnych i aglomeracyjnych.

Tabela 3. Średni dobowy ruch autobusów na drogach wojewódzkich w wybranych latach
 Table 3. Average daily bus traffic on provincial roads in selected years

Województwo	2010	2015	2020	Dynamika zmian	Dynamika zmian
				2015/2010 [%]	2020/2010 [%]
Dolnośląskie	16099	12113	9941	75,24	61,75
Kujawsko-Pomorskie	6342	5397	4099	85,10	64,63
Lubelskie	7175	4826	4157	67,26	57,94
Lubuskie	4347	2986	2416	68,69	55,58
Łódzkie	5962	4873	5050	81,73	84,70
Małopolskie	11212	9649	7716	86,06	68,82
Mazowieckie	15048	12915	9882	85,83	65,67
Opolskie	4658	4152	3159	89,14	67,82
Podkarpackie	6250	4776	5252	76,42	84,03
Podlaskie	2869	2549	2129	88,85	74,21
Pomorskie	8631	7665	7496	88,81	86,85
Śląskie	12863	12204	9533	94,88	74,11
Świętokrzyskie	4696	3317	1713	70,63	36,48
Warmińsko-Mazurskie	5379	4162	2462	77,37	45,77
Wielkopolskie	11334	9003	6497	79,43	57,32
Zachodniopomorskie	6493	4769	4625	73,45	71,23
Polska (wartość uśredniona)	8085	6585	5383	81,45	66,58

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [GDDKiA 2015a, b, 2022].

Source: own elaboration based on: [GDDKiA 2015a, b, 2022].

Tabela 4. Liczba pasażerów korzystających z kolejowych przewozów regionalnych i aglomeracyjnych w latach 2010–2020 [w mln osób]

Table 4. Number of passengers using regional and agglomeration rail transport 2010-2020 [in millions of persons]

Województwo	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Dolnośląskie	11,5	11,4	12,3	13,5	15,6	17,2	19,8	22,0	23,9	29,1	17,2
Kujawsko-Pomorskie	7,2	7,0	6,7	6,4	6,6	6,5	6,3	6,4	6,5	7,1	4,8
Lubelskie	4,1	4,7	5,0	4,8	4,8	4,3	3,5	3,4	3,0	2,9	2,1
Lubuskie	3,0	2,9	3,0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	1,9
Łódzkie	6,8	7,3	7,0	6,7	6,1	6,1	6,3	9,1	10,2	11,6	7,7
Małopolskie	12,1	11,5	10,2	7,6	7,2	8,2	12,4	13,1	12,9	12,1	8,0
Mazowieckie	68,9	71,6	81,8	90,7	93,5	93,7	90,7	90,9	85,6	91,6	60,3
Opolskie	6,6	6,5	6,4	6,1	5,1	4,8	4,3	4,4	4,7	4,5	2,6
Podkarpackie	4,0	3,7	3,4	3,0	2,8	2,8	2,7	2,7	2,9	3,3	2,1
Podlaskie	1,8	1,8	1,6	1,3	1,2	1,0	0,9	1,1	1,2	1,4	1,0
Pomorskie	47,0	48,0	46,3	43,6	43,5	47,5	50,4	51,8	53,5	56,6	34,9
Śląskie	18,4	17,3	18,6	17,8	18,2	18,0	17,3	17,5	19,2	23,3	14,5
Świętokrzyskie	2,0	2,6	3,0	2,6	2,2	2,0	1,9	2,3	2,6	2,6	1,9
Warmińsko-Mazurskie	4,7	4,6	4,4	4,1	4,0	3,7	3,3	3,5	3,3	3,4	2,4
Wielkopolskie	18,7	18,7	21,1	21,5	22,5	23,3	24,4	22,8	25,1	27,3	16,5
Zachodniopomorskie	7,9	8,0	7,7	7,3	7,3	7,2	6,9	6,7	6,9	7,2	4,8
Polska (wartość uśredniona)	14,0	14,2	14,9	15,0	15,2	15,6	15,9	16,3	16,5	17,9	11,4

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [Koleje pasażerskie...].

Source: own elaboration based on: [Koleje pasażerskie...].

Analizując obszary peryferyjne, można zaobserwować pewne zależności. Obszary wiejskie charakteryzujące się największym odpływem migracyjnym, czyli leżące na terytorium województw: warmińsko-mazurskiego, podlaskiego oraz lubelskiego, jednocześnie charakteryzują się sukcesywnym zmniejszaniem zarówno możliwości związanych z transportem autobusowym, jak i liczby osób korzystających z transportu kolejowego. W przypadku województw podkarpackiego i świętokrzyskiego, gdzie w porównaniu do wcześniej wymienionych województw odpływ ludności nie następował z taką intensywnością, występuje pewna różnica związana z dostępnością transportową.

Biorąc pod uwagę województwo świętokrzyskie można zauważyć, że kolej stanowiła pewnego rodzaju substytut względem autobusów. Gwałtownemu zmniejszeniu liczby kursów autobusów jednocześnie towarzyszyło, z niewielkimi fluktuacjami, raczej systematyczne zwiększenie się liczby pasażerów korzystających z usług kolejowych realizowanych w obrębie regionu oraz aglomeracji. Co więcej, udział wymienionych kursów kolejowych względem wszystkich realizowanych kursów pasażerskich w transporcie kolejowym w badanym okresie był najwyższy wśród wszystkich obszarów peryferyjnych. Dodatkowo, pod względem osiągniętego stosunku przewozów regionalnych i aglomeracyjnych względem wszystkich przewozów kolejowych w 2020 roku opisywane województwo było 6. na tle kraju [Koleje pasażerskie 2021].

W przypadku województwa podkarpackiego sytuacja pod względem transportu publicznego jest jeszcze inna niż na pozostałych obszarach peryferyjnych. O ile nie stanowi ona wyjątku, w przypadku transportu kolejowego (tak jak w województwie świętokrzyskim), o tyle przypadku transportu autobusowego wystąpiła sytuacja nietypowa. W przypadku województwa podkarpackiego częstotliwość kursowania autobusów w stosunku do 2010 roku zmniejszyła się, ale warto zauważyć, że po 10 latach województwa podkarpackie, łódzkie i pomorskie utraciły stosunkowo najmniej połączeń w tej kategorii transportu. Za zjawisko nietypowe można uznać fakt, że województwa podkarpackie i łódzkie były jedynymi obszarami, na których terenie nastąpiło zwiększenie liczby kursujących autobusów w 2020 roku względem 2015 roku. Podsumowując zatem podstawowe możliwości transportu publicznego na terytorium tego województwa, należy stwierdzić, że pomimo występujących w nich negatywnych zmian, w przypadku województwa podkarpackiego, transport autobusowy można uznać za względnie stabilny. W rezultacie, dostępność transportu publicznego na terenie województw podkarpackiego i świętokrzyskiego mogła mieć pozytywny wpływ na relatywnie lepszą sytuację z perspektywy migracji względem obszarów peryferyjnych położonych w województwach warmińsko-mazurskim, podlaskim oraz lubelskim.

Biorąc pod uwagę fakt, że w przypadku zarówno pogarszającej się sytuacji dotyczącej transportu autobusowego, jak i niepoprawiającej się sytuacji dostępności kolei regionalnych w całym kraju ludność zmuszona jest do szukania alternatywnych rozwiązań w kwestii transportowej. Ma to odzwierciedlenie w badaniach dotyczących rozwoju obszarów wiejskich. Na podstawie liczby zarejestrowanych pojazdów na 100 mieszkańców na obszarach wiejskich, w latach 2010–2019 nastąpił ich wzrost z 46 do 62 [Stanny i in. 2023]. Element niewątpliwie istotny w kontekście komfortu korzystania z własnego środka transportu stanowi infrastruktura drogowa, a w szczególności dostępność dróg ekspresowych i autostrad na danym obszarze (tab. 5).

Tabela 5. Zamiejskie drogi ekspresowe i autostrady na 100 km² obszarów wiejskich wraz z powierzchnią obszarów wiejskich w latach 2010–2020Table 5. Expressways and motorways outside urban areas per 100 km² of rural areas, together with the area of rural areas between 2010 and 2020

Województwo	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Pow. (km ²)
Dolnośląskie	1,17	1,22	1,45	1,45	1,46	1,46	1,46	1,71	2,19	2,19	2,16	17 744
Kujawsko-Pomorskie	0,38	0,69	0,77	1,02	1,14	1,14	1,14	1,15	1,15	1,38	1,57	17 106
Lubelskie	0,02	0,02	0,04	0,17	0,28	0,28	0,32	0,32	0,36	0,49	0,53	23 260
Lubuskie	0,37	1,05	1,05	1,34	1,58	1,48	1,51	1,51	1,68	1,68	1,68	13 086
Łódzkie	0,43	0,43	1,49	1,56	2,21	2,21	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	16 852
Małopolskie	0,55	0,55	0,93	0,92	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,07	1,12	13 555
Mazowieckie	0,30	0,32	0,51	0,56	0,55	0,58	0,58	0,65	0,84	1,02	1,14	32 914
Opolskie	0,92	0,91	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	8 555
Podkarpackie	0,00	0,00	0,08	0,62	0,74	0,74	0,97	1,04	1,04	1,04	1,04	16 611
Podlaskie	0,00	0,00	0,03	0,13	0,13	0,20	0,28	0,28	0,43	0,46	0,47	19 150
Pomorskie	0,55	0,55	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,79	0,79	0,79	17 072
Śląskie	1,23	1,34	1,66	1,66	1,72	1,87	1,86	1,86	1,86	2,08	2,28	8 740
Świętokrzyskie	0,27	0,38	0,38	0,42	0,42	0,42	0,42	0,61	0,79	0,83	0,83	9 647
Warmińsko-Mazurskie	0,21	0,27	0,56	0,55	0,55	0,55	0,58	0,83	0,89	0,96	0,96	23 190
Wielkopolskie	0,81	0,87	1,06	1,16	1,27	1,27	1,27	1,40	1,52	1,67	1,67	27 769
Zachodniopomorskie	0,59	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	1,25	1,33	20 728
Polska (wartość uśredniona)	0,49	0,58	0,76	0,86	0,95	0,96	1,00	1,06	1,16	1,26	1,31	17 874

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [Drogi ekspresowe..., Powierzchnia].

Source: own elaboration based on: [Drogi ekspresowe..., Powierzchnia].

Z wyjątkiem województwa opolskiego, można zauważyć, że proporcja długości dróg o wyższej jakości względem powierzchni obszarów wiejskich rosła, co oznaczało systematyczną rozbudowę dróg ekspresowych i autostrad. Warto jednak podkreślić, że pomimo sukcesywnego rozwoju tych składowych infrastruktury drogowej, ich dostępność na obszarach wiejskich w województwach zakwalifikowanych jako peryferyjne można uznać za gorszą w porównaniu do reszty kraju. Ponownie obserwowana jest pewna zależność, dotycząca województw znajdujących się w gorszej sytuacji na tle Polski względem ruchu przestrzennego ludności, a dostępności komunikacyjnej – tym razem z perspektywy dostępności relatywnie ważniejszych rodzajów dróg. Warto też zwrócić uwagę na pewną prawidłowość zaobserwowaną w wymienianym już wcześniej opracowaniu Stanny i współautorów [2023]. Mianowicie, niedostateczne zagęszczenie węzłów drogowych może sprawiać, że wybudowana na obszarach wiejskich infrastruktura liniowa służy raczej potrzebom miast położonych wzdłuż jej przebiegu. Wobec czego występuje sytuacja, w której obserwowany jest brak poprawy dostępności komunikacyjnej lub nawet jej pogorszenie [Stanny i in. 2023].

Należy mieć na uwadze, że pomimo opracowania danych w taki sposób, aby możliwe było realne porównanie dostępności drogowej, wartość informacyjna tak skonstruowanego wskaźnika jest obciążona jedną niedoskonałością, wynikającą ze znacznie różniących

się wielkości powierzchni obszarów wiejskich. Przykładowo, w wyniku dokonanego wyboru gmin na początku badań powierzchnia obszarów wiejskich w województwie warmińsko-mazurskim była ponad dwukrotnie większa w stosunku do obszarów wiejskich w województwie świętokrzyskim. Zatem do wykonanych w ten sposób obliczeń należy podchodzić z pewnym dystansem, ponieważ odwołując się do przytoczonego przykładu oraz uzyskanych wartości wskaźnika, można byłoby uznać że województwo warmińsko-mazurskie jest relatywnie lepiej wyposażone w drogi ekspresowe i autostrady, co niekoniecznie musi być stwierdzeniem prawdziwym.

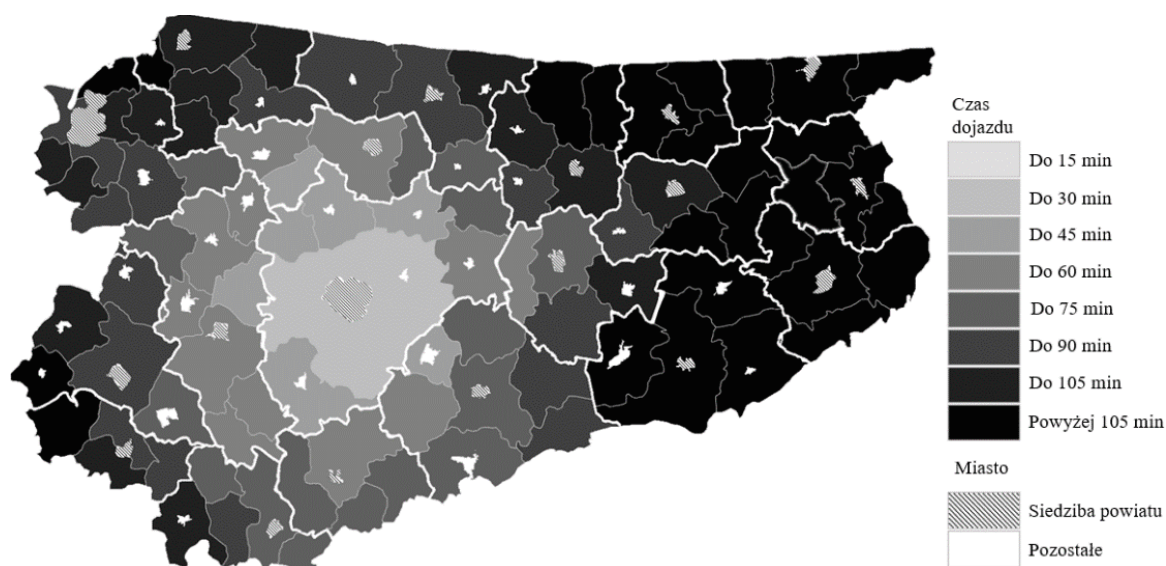
Ważnym aspektem w przypadku infrastruktury transportowej są także elementy takie jak np. ukształtowanie tereny czy uwarunkowania prawne zastosowane na danym obszarze (normy prawne, sankcje, zakazy, nakazy). Przykładowo około 32% powierzchni województwa podlaskiego jest ograniczona względem realizacji przedsięwzięć w zakresie m.in. infrastruktury kolejowej. Jest to rezultat ograniczeń prawnych związanych z licznie występującymi na jego obszarze m.in. rezerwatami przyrody, obszarami chronionych krajobrazów, czy specjalną formą ochrony przyrody wymuszonej programem „Natura 2000” [Busłowska 2020]. W przypadku wpływu ukształtowania terenu na budowę infrastruktury transportowej można wskazać np. występowanie obszarów pagórkowatych, które ze względu na dość duże wysokości względne utrudniają budowę połączeń transportowych [Guzik i in. 2021b].

Nawiązując więc jeszcze do poruszanej wcześniej kwestii porównywalności wskaźnika dotyczącego infrastruktury drogowej, warto wskazać, że w przypadku województwa warmińsko-mazurskiego barierą w rozwoju dostępności komunikacyjnej są jeziora. Zatem ze względu na ich obecność droga może być znacznie wydłużona lub niemożliwa do pokonania [Guzik i in. 2021a]. Pomimo rozwoju infrastruktury drogowej (nawet tej o wysokiej jakości), może okazać się, że w niektórych obszarach województwa przełamanie pewnej bariery komunikacyjnej jest przedsięwzięciem bardzo trudnym do zrealizowania.

To, w jaki sposób m.in. wymieniona wcześniej bariera naturalna w postaci jezior istotnie wpływa na przemieszczanie się ludności, można zaobserwować na podstawie czasu, jaki muszą przeznaczyć na podróż mieszkańcy ze wschodniej części regionu, aby dotrzeć do Olsztyna (rys. 1)

O ile w przypadku obszarów wiejskich leżących przy granicy województwa warmińsko-mazurskiego czynnikiem wpływającym w głównej mierze na czas podróży do Olsztyna jest odległość, o tyle w przypadku niektórych obszarów wiejskich ze wschodniej części regionu można zauważyć relatywnie dłuższy czas przemieszczania się, w porównaniu do obszarów wiejskich leżących np. w południowej części regionu (przy zbliżonej odległości w kilometrach).

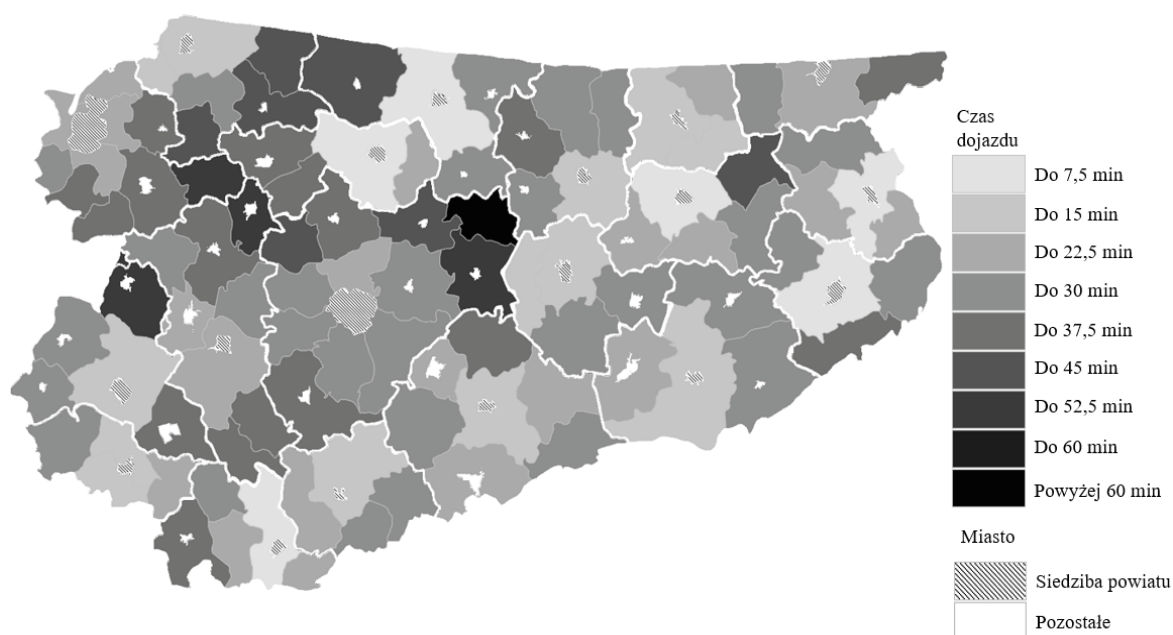
Z perspektywy mieszkańców istotna jest również dostępność do miast będących siedzibami powiatu. O ile dotarcie do siedzib powiatów z obszarów wiejskich graniczących z nimi zajmuje w większości przypadków maksymalnie 30 minut, o tyle w przypadku terenów niebędących w bezpośrednim sąsiedztwie, w skrajnych przypadkach, wartość ta może wzrosnąć nawet dwukrotnie (rys. 2).



Rysunek 1. Czas dojazdu samochodem osobowym z obszarów wiejskich do Olsztyna
Figure 1. Travel time by car from rural areas to Olsztyn

Źródło: [GUS 2024].

Source: [GUS 2024].



Rysunek 2. Czas dojazdu samochodem osobowym z obszarów wiejskich do siedziby powiatu
Figure 2: Travel time by car from rural areas to county seat

Źródło: [GUS 2024].

Source: [GUS 2024].

Biorąc pod uwagę fakt, że miasta będące siedzibami powiatów w większości przypadków stanowią ważne miejsce zatrudnienia, a także pełnią istotną funkcję z perspektywy spraw urzędowych, codzienne podróżowanie w wymiarze czasowym sięgającym około godziny¹ może być nieatrakcyjne z perspektywy mieszkańców.

O tym, że poszczególne czynniki dotyczące czasu oraz dystansu, jaki musi pokonać mieszkaniec danego terytorium są ważne, świadczy fakt o występowaniu istotnie statystycznej zależności pomiędzy ruchem przestrzennym ludności a wymienionymi elementami (tab. 6).

Tabela 6. Wartość korelacji liniowej Pearsona na obszarach wiejskich woj. warmińsko-mazurskiego pomiędzy średnią wartością salda migracji na 1000 mieszkańców w latach 2010–2020 a wybranymi parametrami

Table 6. Value of Pearson's linear correlation in rural areas of the Warmińsko-Mazurskie Voivodeship between the average value of the migration balance per 1000 inhabitants in the years 2010–2020 and selected parameters

Parametr	Odległość do Olsztyna [km]	Odległość do miasta powiatowego [km]	Czas dojazdu do Olsztyna [min]	Czas dojazdu do miasta powiatowego [min]
Wartość korelacji r	–0,3173	–0,2992	–0,3373	–0,2614
Poziom istotności p	0,0014	0,0026	0,0006	0,009

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [GUS 2024, Migracje na...].

Source: own elaboration based on: [GUS 2024, Migracje na...].

Na podstawie uzyskanych wyników można wywnioskować, że wystąpiła słaba ujemna zależność pomiędzy średnią wartością salda migracji na 1000 mieszkańców a pozostałymi parametrami. Należy jednak zwrócić uwagę na kierunek uzyskanych współzależności. W każdym przypadku można bowiem stwierdzić, że wraz ze wzrostem odległości do stolicy regionu lub miasta powiatowego wartość salda migracji ulegnie zmniejszeniu. Taka sama zależność występuje w przypadku wartości salda migracji a czasem dojazdu do wymienionych wcześniej miejsc. Na podstawie dokonanych obliczeń można zatem wywnioskować, że obszary wiejskie położone w relatywnie większej odległości od stolicy regionu bądź macierzystego miasta powiatowego mogą w większym stopniu ulegać wyludnieniu w wyniku czynnika, jakim są migracje. Wartym podkreślenia jest też fakt, że spośród miast powiatowych lub miast na prawach powiatu w województwie warmińsko-mazurskim prawie 3/4 z nich znajduje się na liście miast tracących funkcje społeczno-gospodarcze, którą opracowano w ramach Krajowej Strategii Rozwoju Regionalnego 2030 [MFiPR 2024]. W konsekwencji oprócz nieatrakcyjnych czynników związanych z podróżą, znaczna część województwa warmińsko-mazurskiego jest jeszcze bardziej narażona na odpływ ludności, ponieważ wcześniejsze docelowe miejsca przemieszczenia się mieszkańców np. w wyniku zatrudnienia w mieście będącym siedzibą powiatu, z czasem mogą stać się relatywnie mniej atrakcyjne.

¹ Czas potrzebny do pokonania drogi w dwie strony.

Podsumowanie i wnioski

Odwołując się do wszystkich składowych elementów dostępności komunikacyjnej przedstawionych wcześniej, należy uznać, że wraz z pogarszaniem się wszystkich jej elementów istnieje większa skłonność mieszkańców do podjęcia decyzji o opuszczeniu danego miejsca zamieszkania, co w konsekwencji prowadzi do powstania zjawiska depopulacji. Obszary wiejskie na terenie województw, w których odnotowywano największy odpływ ludności charakteryzowały się jednocześnie najgorszą sytuacją w kraju względem dostępności komunikacyjnej. Jednak spośród tak wyselekcjonowanej grupy można wskazać województwo o relatywnie najgorszej sytuacji z perspektywy możliwości transportowych, a jest nim województwo warmińsko-mazurskie. Jest to uwarunkowane tym, że w porównaniu do obszarów wiejskich na terenie województw podlaskiego i lubelskiego negatywne zmiany, jakie zaszły na jego terenie w zakresie transportu publicznego, miały gwałtowny charakter przy jednocześnie relatywnie mniejszym wzroście dostępności dróg wyższej klasy (co akurat może być uwarunkowane tym, że wymienione wcześniej województwa rozpoczynały budowę tego rodzaju dróg niemal od zera). Rozwój autostrad i dróg ekspresowych jest niewątpliwie ważnym elementem z perspektywy każdego obszaru, ale trzeba mieć na uwadze fakt, iż ich pozytywny wpływ z punktu widzenia dostępności ma charakter lokalny – czyli dotyczy obszarów w ich bliskim sąsiedztwie. Ważny jest także aspekt ujęty w części teoretycznej dotyczący wykluczenia komunikacyjnego. Jak wskazano wcześniej, w Polsce odnotowywano znaczne zwiększenie liczby zarejestrowanych pojazdów na obszarach wiejskich, co może świadczyć nie tylko wzroście zamożności ich mieszkańców, ale także o poszukiwaniu przez nich alternatywy transportowej. Jednak wzrost dostępności zarówno drogowej, jak i samych możliwości zakupowych pojazdów nie sprawi, że osoby nie uprawnione do ich prowadzenia oraz osoby starsze realnie zwiększą swój komfort komunikacyjny w wyniku tych niewątpliwie pozytywnych zmian. Ponadto, w przypadku osób mających własny środek transportu należy zwrócić uwagę na dużą ilość czasu, jaką muszą przeznaczyć, aby dotrzeć do ważnych z perspektywy województwa miast. Dodatkowym czynnikiem niesprzyjającym do dalszego zamieszkiwania poszczególnych obszarów wiejskich jest też fakt, że znaczna większość istotnych dla województwa warmińsko-mazurskiego miast jest narażona na relatywne pogorszenie swojego położenia gospodarczego.

Zwracając uwagę na tendencje zmian w transporcie publicznym oraz aspekt wskazany wcześniej odnośnie grupy osób wykluczonych transportowo, można spodziewać się, że problem związany z wykluczeniem komunikacyjnym na obszarach wiejskich w województwie warmińsko-mazurskim wzrośnie, co będzie stanowiło jedno z kolejnych wyzwań dla samorządów lokalnych. Mogą być one potęgowane w przyszłości w związku z przybierającym na sile zjawisku depopulacji. Brak działań z perspektywy dostępności komunikacyjnej może skutkować zarówno zwiększeniem problemu wykluczenia komunikacyjnego, jak i zjawiska wyludniania się. Mając na uwadze charakter tych obu zjawisk, brak lub nieodpowiednia reakcja prawdopodobnie będzie skutkowała pogłębieniem problemów wynikających ze wskazanych wcześniej kwestii.

Bibliografia

- Adamowicz M., 2021: The potential for innovative and smart rural development in the peripheral regions of Eastern Poland, *Agriculture* 11(3), 1–28, <https://doi.org/10.3390/agriculture11030188>
- Adamowicz M., Zwolińska-Ligaj M., 2020: The “Smart Village” as a way to achieve sustainable development in rural areas of Poland, *Sustainability* 12(16), 1–28, <http://doi.org/10.3390/su12166503>
- Amornkitvikai Y., Harvie C., Karcharnubarn R., 2022: The impact of demographic structure, human capital, migration and environmental degradation on economic growth in Asia, *Journal of Economic Studies* 50(2), 216–233, <https://doi.org/10.1108/JES-09-2021-0487>
- Avermann N., Schlüter J., 2019: Determinants of customer satisfaction with a true door-to-door DRT service in rural Germany, *Research in Transportation Business & Management* 32, 100420, <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2019.100420>
- Baranyak I., 2022: Demographic potential of the Carpathian region of Ukraine: scenario modelling, *Bulletin of the Khmelnytskyi National University Series: Economic Sciences* 4, 252–257, <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-308-4-38>
- Bauchinger L., Reichenberger A., Goodwin-Hawkins B., Kobal J., Hrabar M., Oedl-Wieser T., 2021: Developing sustainable and flexible rural–urban connectivity through complementary mobility services, *Sustainability* 13(3), 1280, <https://doi.org/10.3390/su13031280>
- Busłowska A., 2020: Wpływ infrastruktury kolejowej na rozwój regionalny w ujęciu teorii myślenia sieciowego, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok.
- Cabello S.A., Bochaca J.G., 2023: Rural Schools in Spain: Strengths and Weakness, *Ager: Journal of Depopulation and Rural Development Studies* 38, 113–142, <https://doi.org/10.4422/ager.2023.08>
- Camarero L., Oliva J., 2022: Foreword by Luis Camarero and Jesús Oliva, [w:] E.V. Brovarone, G. Cotella, L. Staricco (red.), *Rural accessibility in European regions*, Routledge, New York, 12–15, <https://doi.org/10.4324/9781003083740>
- Carlow V.M., Mumm O., Neumann D., Schmidt N., Siefer T., 2021: TOPOI Mobility: Accessibility and settlement types in the urban rural gradient of Lower Saxony—opportunities for sustainable mobility, *Urban, Planning and Transport Research* 9(1), 207–232, <https://doi.org/10.1080/21650020.2021.1901603>
- De Vos J., Lättman K., Van der Vlugt A.L., Welsch J., Otsuka N., 2023: Determinants and effects of perceived walkability: a literature review, conceptual model and research agenda, *Transport Reviews* 43(2), 303–324, <https://doi.org/10.1080/01441647.2022.2101072>
- Dolińska A., Jończy R., Rokita-Poskart D., 2020: Post-secondary-school migration of young people to large regional centres as a factor of depopulation and disharmonious regional development in Poland, *European Research Studies Journal* 23(3), 260–279, <http://doi.org/10.35808/ersj/1637>
- Dolińska A., Jończy R., Śleszyński P., 2020: Migracje pomaturalne w województwie dolnośląskim wobec depopulacji regionu i wymogów zrównoważonego rozwoju społeczno-gospodarczego, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
- Dolińska A., Jończy R., Śleszyński P., Rokitowska-Malcher J., Rokita-Poskart D., Ptak M., 2023: Migracje z miast na wieś. Determinanty oraz wybrane konsekwencje w wymiarze ekonomicznym i przestrzenno-środowiskowym (na przykładzie strefy podmiejskiej Wrocławia), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.

- Drogi ekspresowe i autostrady, Bank Danych Lokalnych, [źródło elektroniczne] <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/start> [dostęp 08.09.2024]
- Gałęcka A., 2023: Zagrożenia dla stabilności finansowej gmin wiejskich z makroregionu polski wschodniej w opinii lokalnych władz, *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu* 1, 61–74, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.2243>
- García-Madurga M.Á., Esteban-Navarro M.Á., Saz-Gil I., Anés-Sanz S., 2024: Depopulation and Residential Dynamics in Teruel (Spain): Sustainable Housing in Rural Areas *Urban Science* 8(3), 110, <https://doi.org/10.3390/urbansci8030110>
- GDDKiA, 2015a: Generalny pomiar ruchu w 2010 [źródło elektroniczne] <https://www.archiwum.gddkia.gov.pl/pl/987/gpr-2010> [dostęp: 08.09.2024]
- GDDKiA, 2015b: Generalny pomiar ruchu w 2015 [źródło elektroniczne] <https://www.archiwum.gddkia.gov.pl/pl/2551/GPR-2015> [dostęp: 08.09.2024]
- GDDKiA, 2022: Generalny pomiar ruchu 2020/2021, [źródło elektroniczne] <https://www.gov.pl/web/gddkia/generalny-pomiar-ruchu-20202021> [dostęp 08.09.2024]
- Glauber R., 2022: Rural depopulation and the rural-urban gap in cognitive functioning among older adults, *The Journal of Rural Health* 38(4), 696–704, <https://doi.org/10.1111/jrh.12650>
- Gómez Valenzuela V., Holl A., 2024: Growth and decline in rural Spain: An exploratory analysis, *European Planning Studies* 32(2), 430–453, <http://doi.org/10.1080/09654313.2023.2179390>
- Grzebyk M., Miś T., Stec M., Zając D., 2019: Skala, kierunki i dynamika zmian społeczno-gospodarczych na obszarach wiejskich wschodniej Polski po przystąpieniu do Unii Europejskiej, *Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań*.
- GUS, 2024: Oszacowanie czasu przejazdu i odległości pomiędzy gminami w Polsce w 2021 roku [źródło elektroniczne], <https://stat.gov.pl/statystyki-eksperymentalne/obszary-funkcjonalne-oraz-dostepnosc-terytorialna/> [dostęp 12.10.2024]
- Guzik R., Kołoś A., Fiedień Ł., Kocaj A., Wiedermann K., 2021: Dostępność komunikacyjna i relacje przestrzenne w województwie warmińsko-mazurskim, *Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków*.
- Heffner K., 2019: Rural labour markets and peripherization processes in Poland, *Rural Areas Between Regional Needs and Global Challenges: Transformation in Rural Space*, 53–71, https://doi.org/10.1007/978-3-030-04393-3_4
- Heffner K., Twardzik M., 2022: Rural areas in Poland—changes since joining the European Union, *European Countryside* 14(2), 420–438, <https://doi.org/10.2478/euco-2022-0021>
- Hishiyama J., Taco P. W.G., Arruda F., 2021: Accessibility in transportation and land use planning, *Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos* 7, 1–25, <https://doi.org/10.18224/baru.v7i1.8715>
- Imhof S., 2021: Emerging transport solutions and their contributions towards a sustainable rural transport system (Doctoral dissertation), University of Bern, Faculty of Science, Institute of Geography Bern, <https://doi.org/10.48549/3132> [praca doktorska].
- Imhof S., Blättler K., 2023: Assessing spatial characteristics to predict DRT demand in rural Switzerland, *Research in Transportation Economics* 99, 101301, <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2023.101301>
- Imhof S., Mayer H., 2024: How social innovations emerge in a rigid regulatory context: the case of demand responsive transport in Switzerland, *Transportation Planning and Technology* 1–24, <https://doi.org/10.1080/03081060.2024.2350535>

- Jones C.I., 2022: The End of Economic Growth? Unintended Consequences of a Declining Population, *American Economic Review* 112(11), 3489–3527, <https://doi.org/10.1257/aer.20201605>
- Józefowicz K., 2020: Atrakcyjność migracyjna miast i obszarów wiejskich województwa wielkopolskiego, *Space–Society – Economy* 31, 213–227, <https://doi.org/10.18778/1733-3180.31.11>
- Józefowicz K., 2022: Small-town depopulation in the Wielkopolskie voivodeship, Poland, *Journal of Urban and Regional Analysis* 14(1), 79–100, <https://doi.org/10.37043/JURA.2022.14.1.5>
- Kaczan D. J., Orgill-Meyer J., 2020: The impact of climate change on migration: a synthesis of recent empirical insights, *Climatic Change* 158(3), 281–300, <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02560-0>
- Kałuża-Kopias D., 2014: Atrakcyjność migracyjna wielkich miast–stan obecny, *Problemy Polityki Społecznej. Studia i Dyskusje* 27(4), 41–54.
- Knierim L., Schlüter J. C., 2021: The attitude of potentially less mobile people towards demand responsive transport in a rural area in central Germany, *Journal of Transport Geography* 96, 103202, <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103202>
- Koleje pasażerskie w województwach – dynamika zmian w latach 2010–2020, Urząd Transportu Kolejowego, [źródło elektroniczne] <https://dane.utk.gov.pl/sts/analizy-i-opracowania/17451,Koleje-pasazerskie-w-wojewodztwach-dynamika-zmian-w-latach-2010-2020.html> [dostęp 10.09.2024].
- Kołoszko-Chomentowska Z., Zdziałek M., 2019: Potencjał wiejskich obszarów peryferyjnych na przykładzie województwa podlaskiego, *Acta Scientiarum Polonorum, Administratio Locorum* 18(1), 73–80, <https://doi.org/10.31648/aspal.3655>
- Kowalewska G., Markowski L., 2024: Determinants of the Tendency for Migration of Nursing Students Living in Rural Areas of Eastern Poland, *Sustainability* 16(13), 5498, <https://doi.org/10.3390/su16135498>
- Kudęłko J., 2023: Problemy i wyzwania rozwoju obszarów wiejskich, [w]: D. Rynio, A. Zakrzewska-Półtorak (red.), *Przestrzeń i regiony w nowoczesnej gospodarce. Księga jubileuszowa dedykowana Profesorowi Stanisławowi Korenikowi*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław, <https://doi.org/10.15611/2023.93.0.18>
- Lewandowska A., Stopa M., Inglot-Brzęk E. 2021: Innovativeness and entrepreneurship: Socio-economic remarks on regional development in peripheral regions, *Economics & Sociology* 14(2), 222–235, <https://doi.org/10.14254/2071-789X.2021/14-2/12>
- Lima M.F., Thompson C.W., Aspinall P., Bell S., 2020: Communities facing urban depopulation: Exploring people’s environmental preferences. A case study of Lisbon, Portugal, *Cities & Health* 6(2), 288–308, <https://doi.org/10.1080/23748834.2020.1727820>
- Lorente T.Á., de Oliveira J.L.S.S., Cardoso A.B., 2020: The social problem of rural depopulation in Spain and Portugal, [w]: F. Entrena-Durán, R.M. Soriano-Miras, R. Duque-Calvache (red.), *Social Problems in Southern Europe: A Comparative Assessment*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, 143–156.
- Ludność wg grup wieku i płci, Bank Danych Lokalnych, [źródło elektroniczne] <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/start> [dostęp 08.09.2024]
- Majdzińska A., 2022: Identyfikacja obszarów depopulacyjnych w makroregionie północno-zachodnim i ich ocena pod względem zaawansowania starości demograficznej, *Przegląd Zachodniopomorski* 37(01), 361–389, <https://doi.org/10.18276/pz.2022.37-16>

- Maleszyk P., 2023: Youth Out-Migration Before and During the COVID-19 Pandemic: Insights from a Depopulating Region in Poland, *Barometr Regionalny* 19(1), 29–40, <https://doi.org/10.56583/br.2140>
- Migracje na pobyt stały gminne wg płci migrantów, w ruchu wewnętrznym i zagranicznym, Bank Danych Lokalnych, [źródło elektroniczne] <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/start> [dostęp 08.09.2024]
- Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej [MFIPR], 2024: Krajowa Strategia Rozwoju Regionalnego, Zaktualizowana imienna lista 139 miast średnich tracących funkcje społeczno-gospodarcze, [źródło elektroniczne], <https://www.gov.pl/web/fundusze-regiony/krajowa-strategia-rozwoju-regionalnego> [dostęp 12.10.2024]
- Morze M. (red.) 2024: Obszary wiejskie w Polsce w 2022 r., Urząd Statystyczny w Olsztynie, Olsztyn.
- Mosora L., Lopushynskiy I., Midor K., Bembenek M., 2024: Study of the Migration Attractiveness of the Countries of the European Continent: Analysis of the Factors of its Formation, Management Systems in Production Engineering 32(3), 409–418, <https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0038>
- Muntele I., Istrate M., Horea-Șerban R.I., Banica A., 2021: Demographic resilience in the rural area of Romania, A statistical-territorial approach of the last hundred years, *Sustainability* 13(19), 1–17, <https://doi.org/10.3390/su131910902>
- Nurzhanova G., Mussirov G., Niyazbekova S., Ilyas A., Tyurina Y., Maisigova L., Troyanskaya M., Kunanbayeva K., 2020: Demographic and migration processes of labor potential: A case study the agricultural sector of the Republic of Kazakhstan, *Entrepreneurship and Sustainability* 8(1), 656, [http://doi.org/10.9770/jesi.2020.8.1\(45\)](http://doi.org/10.9770/jesi.2020.8.1(45))
- Organiściak-Krzykowska A., 2022: Społeczno-ekonomiczne konsekwencje przemian demograficznych, [w:] A. Organiściak-Krzykowska J. Hryniewicz (red.), *Depopulacja w ujęciu lokalnym*, Rządowa Rada Ludnościowa, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Papadopoulos A. G., Baltas, P., 2024: Rural Depopulation in Greece: Trends, Processes, and Interpretations, *Geographies* 4, 1–20, <https://doi.org/10.3390/geographies4010001>
- Park J., Lee J.K., Roh C.G., 2023: Recommendations for Linkage Service and Operational Strategy to Revitalize Urban-Style Buses in Rural Areas: A Case Study of Yangsan City, *Journal of Digital Contents Society* 24(12), 3213–3220, <http://doi.org/10.9728/dcs.2023.24.12.3213>
- Pourramazani H., Miralles-Garcia J.M., 2022: Concept of accessibility in sustainable transport: Criteria and perspectives, *WIT Transactions on the Built Environment* 212, 49–60, <https://doi.org/10.2495/UMT220051>
- Powierzchnia, Bank Danych Lokalnych, [źródło elektroniczne] <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/start> [dostęp 08.09.2024]
- Prenzel P., 2021: Are old regions less attractive? Interregional labour migration in a context of population ageing, *Papers in Regional Science* 100(6), 1429–1448, <https://doi.org/10.1111/pirs.12627>
- Rosner A., 2014: Migracje wewnętrzne i ich związek z przestrzennym zróżnicowaniem rozwoju społeczno-gospodarczego wsi, *Wieś i Rolnictwo* 162(1), 63–79.
- Ruch naturalny wg płci, Bank Danych Lokalnych, [źródło elektroniczne] <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/start> [dostęp 08.09.2024]
- Runge A., Runge J., Kantor-Pietraga I., Krzysztofik R., 2020: Does urban shrinkage require urban policy? The case of a post-industrial region in Poland, *Regional Studies, Regional Science* 7(1), 476–494, <https://doi.org/10.1080/21681376.2020.1831947>

- Siskova M., Kuhn M., Prettnner K., Prskawetz A., 2023: Does human capital compensate for population decline?, *The Journal of the Economics of Ageing* 26, 100469, <https://doi.org/10.1016/j.jeoa.2023.100469>
- Śleszyński P., 2020: Koncepcja nowego wskaźnika atrakcyjności migracyjnej i jego zastosowania, *Czasopismo Geograficzne* 91(1–2), 37–58.
- Ślusarz G., 2021: Depopulation In Peripheral Regions of Eastern Poland–Determinants and Consequences, *Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists* 23(4), 181–200, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5226>
- Sobczyk M., 2006: Statystyka: aspekty praktyczne i teoretyczne Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin.
- Sörensen L., Bossert A., Jokinen J.P., Schlüter J., 2021: How much flexibility does rural public transport need?–Implications from a fully flexible DRT system, *Transport Policy* 100, 5–20, <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.09.005>
- Stanny M., Rosner A., Komorowski Ł., 2018: Monitoring rozwoju obszarów wiejskich. Etap III. Struktury społeczno-gospodarcze, ich przestrzenne zróżnicowanie i dynamika, Fundacja Europejski Fundusz Rozwoju Wsi Polskiej, Instytut Rozwoju Wsi i Rolnictwa PAN, Warszawa.
- Stanny M., Rosner A., Komorowski Ł., 2023: Monitoring rozwoju obszarów wiejskich. Etap IV. Dekada przemian społeczno-gospodarczych, Fundacja Europejski Fundusz Rozwoju Wsi Polskiej, Instytut Rozwoju Wsi i Rolnictwa PAN, Warszawa.
- Staricco L., 2022: 15-, 10-or 5-minute city? A focus on accessibility to services in Turin, Italy, *Journal of Urban Mobility* 2, 100030, <https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2022.100030>
- Strulik H., 2024: Long-run economic growth despite population decline, *Journal of Economic Dynamics and Control* 104943, <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2024.104943>
- Szukalski P., 2019: Depopulacja: dlaczego o niej nie mówimy?, *Demografia i Gerontologia Społeczna – Biuletyn Informacyjny* 6, 1–7.
- Szweda-Lewandowska Z., 2020: Prawo i przemiany demograficzne – o nienadążaniu regulacji i instytucji prawnych za przemianami demograficznymi wynikającymi z procesu starzenia się populacji, *Polityka Społeczna* 558(9), 10–17, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.4278>
- Tejero-Beteta C., Moyano A., Sánchez-Cambronero S., 2024: Factors Influencing the Efficiency of Demand-Responsive Transport Services in Rural Areas: A GIS-Based Method for Optimising and Evaluating Potential Services, *ISPRS International Journal of Geo-Information* 13(8), 275, <https://doi.org/10.3390/ijgi13080275>
- United Nations, 2019: Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2019: World Population Prospects 2019, Department of Economic and Social Affairs, New York.
- Velkovski V., 2022: Need for a new vision on demographic policy in the rural areas of the Republic of Bulgaria, [w:] T. Nedeva (red.), *Innovative Development of Agricultural Business and Rural Areas. Conference proceedings*, University of National and World Economy, Sofia, 134–144..
- Vuković D., 2022: Depopulation as a public policy issue: inclusive development policies as new population policies, *Social Policy* 57(1), 51–76.

- Wiśniewski S., 2015: Zróżnicowanie dostępności transportowej miast w województwie łódzkim, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, <http://doi.org/10.18778/7969-521-8>
- Xing Y., Pike S., Pourrahmani E., Handy S., Wang Y., 2022: Exploring the Consumer Market of Microtransit Services in the Sacramento Area, California, Dryad, Dataset, <https://doi.org/10.25338/B8VK84>
- Yu Z., Zhang H., Sun P., Guo Y., 2022: The pattern and local push factors of rural depopulation in less-developed areas: A case study in the mountains of North Hebei Province, China, International Journal of Environmental Research and Public Health 19(10), 5909, <https://doi.org/10.3390/ijerph19105909>
- Živanović V., Joksimović M., Golić R., Malinić V., Krstić F., Sedlak M., Kovjanić A., 2022: Depopulated and Abandoned Areas in Serbia in the 21st Century – From a Local to a National Problem, Sustainability 14(17), 10765, <https://doi.org/10.3390/su141710765>
- Živić D., 2021: Franjo Tuđman and demographic revitalization/Sustainability of Croatia, Review of Croatian History 17(1), 129–147, <https://doi.org/10.22586/review.v17i1.13382>
- Zolotarev S., Kusakina O., Ryazantsev I., Yushchenko I., Ivashova V., 2023: Transport accessibility assessment of rural tourism facilities, E3S Web of Conferences 376, 04005, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337604005>
- Żukowska S., Chmiel B., Połom M., 2023: The smart village concept and transport exclusion of rural areas – a case study of a village in Northern Poland, Land 12(1), 260, <https://doi.org/10.3390/land12010260>

Aleksandra Bilik✉

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Rola centrum logistycznego w globalnym łańcuchu dostaw na przykładzie działalności stowarzyszenia Europlatforms

Role of Logistics Centers in the global supply chain based on Europlatforms association activities

Synopsis. Artykuł dotyczy roli centrów logistycznych (CL) jako kluczowych elementów globalnego łańcucha dostaw, koncentrując się na ich wpływie na efektywność i konkurencyjność przedsiębiorstw. Celem opracowania było rozpoznanie roli centrów logistycznych w globalnym łańcuchu dostaw na podstawie działalności stowarzyszenia Europlatforms, które zrzesza ponad 100 centrów logistycznych z dziewięciu krajów Unii Europejskiej. W badaniach wykorzystano analizy SWOT oraz porównawczą danych z centrów logistycznych w Hiszpanii, Niemczech, Polsce i we Włoszech. Z badań wynika, że w krajach o wysokim poziomie rozwoju gospodarczego centra logistyczne rozwijają się bardziej intensywnie. Ponadto pozycję centrów logistycznych w rankingach determinuje jakość infrastruktury oraz częstotliwość dostarczania przesyłek w zaplanowanym lub określonym czasie. Analiza SWOT wskazała, że słabą stroną centrów logistycznych jest przestarzała infrastruktura i ograniczona dostępność kadry. Z kolei szansą na powstawanie tego rodzaju obiektów jest rozwój sieci intermodalnych i wdrażanie nowych technologii. Wyniki analiz potwierdzają strategiczne znaczenie centrów logistycznych jako elementów wspierających efektywność i konkurencyjność w globalnych łańcuchach dostaw.

Słowa kluczowe: centrum logistyczne, logistyka, magazynowanie, transport, łańcuch dostaw, gospodarka światowa

Abstract. The article focuses on the role of logistics centers (LCs) as key elements of the global supply chain, emphasizing their impact on the efficiency and competitiveness of enterprises. The aim of the study was to identify the role of logistics centers in the global supply chain based on the activities of the Europlatforms association, which unites over 100 logistics

✉ **Aleksandra Bilik** – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Ekonomiczny; e-mail: olabilik2204@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-8596-3044>

centers from nine European Union countries. The research utilized a SWOT analysis and a comparative analysis of data from logistics centers in Spain, Germany, Poland and Italy. The findings indicate that logistics centers develop more intensively in countries with higher levels of economic development. Moreover, the position of logistics centers in rankings is determined by the quality of the infrastructure and the frequency of deliveries made on time or within a scheduled period. The SWOT analysis highlighted that the weaknesses of logistics centers include outdated infrastructure and limited availability of qualified personnel. On the other hand, opportunities for the development of such facilities lie in the expansion of intermodal networks and the implementation of new technologies. The results of the analyses confirm the strategic importance of logistics as elements that enhance efficiency and competitiveness in global supply chains.

Key words: logistics center, logistics, warehousing, transport, supply chain, global economy

Kody JEL: F53, O18, O19

Wprowadzenie

Współczesna gospodarka charakteryzuje się dynamicznym wzrostem globalizacji oraz złożonością procesów logistycznych, co wymusza konieczność ciągłego doskonalenia systemów wspierających przepływ towarów i informacji. Rosnące oczekiwania konsumentów, globalne zależności handlowe oraz rozwój technologii sprawiają, że efektywne zarządzanie łańcuchami dostaw jest jednym z kluczowych czynników sukcesu współczesnych przedsiębiorstw. W tym kontekście centra logistyczne (CL) odgrywają strategiczną rolę jako punkty integracji i koordynacji przepływów materiałowych. Pełnią funkcje wykraczające daleko poza tradycyjne magazynowanie i transport [Fechner 2004]. Ich znaczenie wzrasta szczególnie w Europie, gdzie, dzięki zrzeszeniom takim jak Europlatforms, CL rozwijają wspólne standardy operacyjne, optymalizują wykorzystanie zasobów infrastrukturalnych oraz tworzą sieci współpracy między różnorodnymi podmiotami gospodarczymi.

Centra logistyczne łączą różne gałęzie transportu, co umożliwia efektywną realizację dostaw na skalę międzynarodową, a także wspierają rozwój regionalny przez tworzenie miejsc pracy i poprawę infrastruktury transportowej. Jednocześnie stają się one kluczowymi elementami globalnych łańcuchów dostaw. Przyczyniają się do poprawy konkurencyjności przedsiębiorstw oraz zwiększają ich zdolność do elastycznego reagowania na zmiany rynkowe [Paprocki i Pieriegud 2003]. Zintegrowane zarządzanie logistyką w centrach logistycznych przyczynia się również do realizacji celów zrównoważonego rozwoju, takich jak redukcja emisji dwutlenku węgla poprzez optymalizację tras transportowych czy rozwój intermodalności.

Celem badań było rozpoznanie roli centrów logistycznych w globalnym łańcuchu dostaw na podstawie działalności stowarzyszenia Europlatforms, które zrzesza ponad 100 centrów logistycznych z różnych krajów Unii Europejskiej. Organizacja ta stanowi przykład nowoczesnego podejścia do zarządzania logistyką, obejmującego wspólne

korzystanie z zasobów, wymianę wiedzy i doświadczeń oraz rozwijanie synergii operacyjnej między różnymi obiektami CL. Analiza dotyczy zarówno potencjału logistycznego centrów, jak i wyzwań stojących przed branżą, takich jak ograniczona dostępność wykwalifikowanej siły roboczej, potrzeba modernizacji starszych obiektów czy zmieniające się wymagania w zakresie zrównoważonego rozwoju.

W opracowaniu sformułowano dwie hipotezy badawcze.

H₁: Rozwój centrów logistycznych w krajach słabiej rozwiniętych gospodarczo jest bardziej intensywny w porównaniu do państw o ugruntowanej pozycji w branży logistycznej.

H₂: W krajach najbardziej rozwiniętych pod względem logistycznym pozycję centrów logistycznych w rankingach determinuje jakość infrastruktury oraz częstotliwość dostarczania przesyłek w zaplanowanym lub określonym czasie.

Wnioski z analiz mogą być przydatne w kształtowaniu strategii rozwoju branży logistycznej w Europie oraz identyfikacji działań, które mogą wspierać konkurencyjność i zrównoważony rozwój tej branży na rynku globalnym.

Materiały i metody

Analiza została przeprowadzona na podstawie danych z centrów logistycznych zrzeszonych w organizacji Europlatforms, które reprezentują dziewięć krajów Unii Europejskiej, w tym Niemcy, Hiszpanię, Polskę oraz Włochy. Stowarzyszenie Europlatforms dostarcza aktualnych danych dotyczących operacji, rozwoju i struktury centrów logistycznych, co pozwala na uzyskanie pełniejszego obrazu funkcjonowania tych obiektów w globalnym łańcuchu dostaw. Analizowane dane obejmują wskaźniki ekonomiczne oraz operacyjne z lat 2018–2023, które umożliwiają ocenę wpływu centrów logistycznych na lokalne gospodarki oraz rozpoznanie ich roli w międzynarodowych łańcuchach dostaw.

Główną metodą analityczną zastosowaną w opracowaniu była analiza SWOT. Ta powszechnie stosowana metoda umożliwia systematyczną ocenę mocnych i słabych stron centrów logistycznych oraz identyfikację szans i zagrożeń związanych z ich działalnością. Wybór tej metody był podyktowany jej szerokim zastosowaniem w analizach strategicznych, zwłaszcza w branży logistycznej. W analizach uwzględniono kluczowe aspekty funkcjonowania centrów logistycznych, takie jak infrastruktura transportowa, dostępność wykwalifikowanej kadry, lokalizacja centrów oraz stopień integracji CL z innymi elementami europejskiego łańcucha dostaw.

Oprócz analizy SWOT zastosowano również metodę porównawczą dla centrów logistycznych w Niemczech, Hiszpanii, Polsce i we Włoszech. Porównanie tych obiektów pozwoliło na określenie istoty ich znaczenia pod względem wielkości powierzchni centrów, obsługiwanych przez nie gałęzi transportu i uplasowania w globalnym rankingu Banku Światowego pod kątem poziomu efektywności logistycznej. W badaniu wykorzystano także dane z publikacji branżowych oraz międzynarodowych rankingów logistycznych, takich jak Logistics Performance Index (LPI) Banku Światowego. Narzędzie LPI umożliwiło porównanie efektywności logistyki między krajami, w tym także Polski, co dostarcza dodatkowego kontekstu dla oceny pozycji europejskich centrów logistycznych w globalnym łańcuchu dostaw.

Wyniki badań i dyskusja

Wśród wielu uwarunkowań oddziałujących na innowacyjność w regionie oraz rozwój wiedzy społecznej coraz częściej podkreśla się znaczenie prawidłowego zagospodarowania terenu i celowości rozmieszczenia funkcji logistycznych w przestrzeni. Różnorodne formy zagospodarowania tych funkcji mogą być pewnego rodzaju determinantą lub ograniczeniem dla powstawania wzajemnych oddziaływań i sieciowych związków instytucjonalnych. Powiązania te są kluczowym elementem do powstawania oraz implementowania innowacji gospodarczych, produktowych i procesowych.

W literaturze występuje wiele określeń dla pojęcia, czym jest centrum logistyczne. Często zamiennie, w zależności od potrzeby spełnianej funkcji lub w wyniku używanej przez przedsiębiorstwa strategii marketingowej centrum logistyczne może być utożsamiane z centrum magazynowym, magazynem centralnym lub magazynem wyrobów gotowych. Istnieją jednak między wymienionymi pojęciami istotne różnice. Według terminologii logistycznej [Janiak 2020, Centrum logistyczne] centrum logistyczne to obiekt przestrzennie funkcjonalny wraz z infrastrukturą i organizacją, w którym realizowane są usługi logistyczne, związane z przyjmowaniem, magazynowaniem, rozdziałem i wydawaniem towarów oraz usługi towarzyszące, świadczone przez niezależne w stosunku do nadawcy lub odbiorcy podmioty gospodarcze. Centra logistyczne to także obiekty gospodarcze, przedsiębiorstwa, których jedną z głównych funkcji jest koordynowanie obsługi logistycznej, w tym magazynowo-transportowej razem z budowaniem logistycznego systemu informacji wspieranego technologiami informatycznymi. Centrum magazynowe z kolei to według Fechnera [2010] obiekt przestrzenny z właściwą mu organizacją i infrastrukturą umożliwiającą różnym niezależnym przedsiębiorstwom wykonywanie czynności na towarach w związku z ich magazynowaniem i przemieszczaniem między nadawcą a odbiorcą. Centrum magazynowe jest zatem centrum logistycznym o ograniczonej funkcjonalności, do magazynowania, spedycji i transportu samochodowego ze względu na nieprzystosowanie do obsługi intermodalnych usług logistycznych oraz dodatkowych.

Logistyczne centrum dystrybucji może być również definiowane jako ośrodek zajmujący się koordynacją logistycznych usług i transportu na zarówno krótkie, jak i dalekie odległości, gwarantujący prawidłowe połączenie transportowe wraz z transferem informacji pomiędzy producentami, dystrybutorami i konsumentami oraz systemem kontroli. Centrum logistyczne może być też określane jako samodzielny podmiot gospodarczy świadczący kompleksowe usługi logistyczne, realizując tym samym dane funkcje dystrybucyjne i zaopatrzeniowe na konkretnym obszarze. Centrum logistyczne dysponuje między innymi [Czaplik 2004]:

- wydzielonym terenem i infrastrukturą, w tym: drogi, place, parking, budowle inżynierskie, budynki,
- wyposażeniem technologicznym do przemieszczania i magazynowania oraz urządzeniami do zarządzania,
- wykwalifikowanym personelem.

Liczba i typy zadań realizowane przez centra logistyczne są stosunkowo liczne. Do standardowych zadań, jakie realizują centra logistyczne, należy zarządzanie transportem i magazynowanie. Komplementarnie do nich występuje także wiele zadań dodatkowych takich jak: obsługa celna, zarządzanie zapasami, zarządzanie płatnościami za

transport, obsługa klienta i kontrola jakości. Kompleksowość tych zadań jest różna. Oddając pewną część swych kompetencji, przedsiębiorstwa skupiają się na swoich głównych zadaniach, dzięki czemu są w stanie osiągnąć wymierne korzyści, zarówno w sferze finansowej, jak i czasowej.

Współpraca centrów logistycznych i przedsiębiorstw może przybierać różne formy. Długoterminowe umowy lub kontrakty na realizację danej usługi są najpopularniejszymi z nich. Wyjaśnieniem dla tych powiązań są posiadane przez centra technologie, umożliwiające optymalizację nie tylko ilości jednostek transportowych, czyli ich ładowności, ale także przewozów transportowych dzięki dążeniu do pomniejszania całkowitej liczby tras.

Centra logistyczne działając w obszarze łańcucha dostaw, powinny powodować wzrost efektywności procesów logistycznych oraz budować wartość. Dokonując przeglądu standardowych funkcji wykonywanych przez centra logistyczne, podkreśla się znaczenie usług logistycznych dla obsługi produktów przemieszczanych w obrocie międzynarodowym i krajowym. CL mogą pełnić funkcje [Matlewski i Jezierski 2009]:

- magazynowe i manipulacyjne z dwoma zakresami aktywności; w pierwszym wynajmuje się powierzchnię magazynową przedsiębiorstwom, a w drugim magazynowanie stanowi element usługi realizowanej dla zlecających podmiotów; w ramach tej usługi realizowane są czynności manipulacyjne w powierzonych towarach;
- dystrybucyjne, polegające na fizycznej dystrybucji dóbr, co jest możliwe dzięki własnej bazie transportowej lub współpracy z operatorami logistycznymi;
- usługowe, skoncentrowane na tworzeniu usług dla aktualnych i potencjalnych klientów – zakres kreowanych usług stanowi odpowiedź na popyt klientów;
- informacyjne, integralnie związane ze zsynchronizowanym przepływem dóbr rzeczowych – w ramach centrum zapewnia się obsługę informacyjną klientów w celu realizacji kompleksowych usług logistycznych.

Miejsce centrum logistycznego w łańcuchu dostaw

Centra logistyczne posiadają wiele atrybutów odróżniających je od innych typów obiektów logistycznych. Fakt ten nie pozostaje bez wpływu na rolę centrów logistycznych w łańcuchach dostaw. Należy zauważyć, iż tego typu obiektom logistycznym poświęcono już wiele miejsca w literaturze przedmiotu.

O roli centrów logistycznych w łańcuchach dostaw decydują poszczególne atrybuty, którymi charakteryzują się te obiekty. Według Paprockiego i Pieriegud'a jako pierwszy z nich można wyróżnić multimodalność – dostęp do różnych (co najmniej dwóch) gałęzi transportu (najczęściej transport samochodowy i kolejowy). Poprzez bezpośredni dostęp do infrastruktury różnych gałęzi transportu centra logistyczne zapewniają możliwość wyboru optymalnych rozwiązań z uwagi na oczekiwania podmiotów łańcucha. Dodatkowo umożliwiają realizację łańcuchów dostaw zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju przez dobór odpowiedniej struktury gałęzi transportu.

Wielofunkcyjność jest kolejnym atrybutem charakteryzującym się szerokim zakresem świadczonych usług i realizowanych czynności. Centra logistyczne poprzez skoncentrowaną lokalizację przedsiębiorstw świadczących usługi różnego typu, głównie z zakresu TSL, realizują wiele usług logistycznych na rzecz łańcuchów dostaw. Uczestniczą także

w realizacji innych procesów, w zależności od struktury branżowej podmiotów osiedlonych w konkretnym centrum logistycznym.

Następną ważną cechą CL jest ich dostępność dla wielu użytkowników – oferowanie usług dla wielu podmiotów, stwarzanie korzystnych warunków dla kooperacji przedsiębiorstw z różnych i tych samych branż oraz kształtowanie platform integrujących jej uczestników (m.in. przedstawicieli przemysłowych, handlowych oraz operatorów logistycznych). Dostęp dla wielu użytkowników i realizowana współpraca pozwalają na osiąganie efektów synergicznych w różnych obszarach funkcjonowania łańcuchów dostaw.

Centra logistyczne stanowią swoiste inkubatory wartości dodanej łańcuchów dostaw, w które są wkomponowane. Dzięki ogółowi atrybutów centrum logistycznego wartość dodana łańcucha dostaw tworzona jest „z korzyścią dla wszystkich jego ogniw, klientów oraz pozostałych interesariuszy” [Witkowski 2010, s. 36].

Istotnym elementem przy ocenie znaczenia CL w globalnych łańcuchach dostaw jest według Yavas’a i Ozkan-Ozen’a [2020] ich przystosowanie do funkcjonowania w ramach koncepcji centrum logistycznego 4.0, za którą stoi czwarta rewolucja przemysłowa. *Freight villages* powinny dążyć do rozwoju w każdym z czterech aspektów zarządzania, jakimi są: obsługa, informacja, transport i magazynowanie. Przy implementacji poszczególnych rozwiązań centra logistyczne mają potencjał do rozwoju na skalę globalną w ramach logistyki 4.0 i dalej przemysłu 4.0. Do tych rozwiązań zaliczyć można [Yavas i Ozkan-Ozen 2020]:

- inteligentne: systemy transportowe, magazynowanie, obsługiwanie i mobilność,
- platformy wymiany towarów, cyfrowe platformy informacyjne i cyfrową łączność,
- pojazdy autonomiczne,
- sojusze centrów logistycznych,
- systemy lokalizacji w czasie rzeczywistym,
- bezpieczeństwo informacji,
- zero emisyjność.

Inteligentne centrum logistyczne ma potencjał zwiększenia swojej efektywności przy wykorzystaniu najnowszych technologii informatycznych takich jak *Big Data* lub *Internet of Things*. Przyczynia się również do tworzenia strategii zarządzania operacjami logistycznymi przez funkcję wspomagania decyzji opierającą się na wykorzystaniu zbiorów danych. Tego typu centra logistyczne odegrają w niedalekiej przyszłości kluczową rolę w organizacji i realizacji całej strategii zarządzania łańcuchem dostaw, wykraczając daleko poza typowe magazyny, w których wcześniej skupiano się głównie na przechowywaniu [Cho 2018]. Ponadto podkreśla się także istotę wprowadzania robotyzacji, która ma znacznie zmniejszyć zależność CL od siły roboczej i pozwolić zwiększyć szybkość oraz dokładność wykonywanych czynności.

Centra logistyczne jako węzły korytarzy transportowych

Istotnym wyznacznikiem lokalizacji centrów logistycznych jest położenie w zasięgu ważnego międzynarodowego lub lokalnego korytarza transportowego. We współczesnej polityce europejskiej istotne znaczenie odgrywają korytarze transportowe, które są filarem nowej bazowej sieci transportowej Unii Europejskiej. Aktualnie w Europie duży nacisk kładzie się na międzynarodowy charakter układów transportowych. Transeuropejskie

sieci transportowe – TEN-T (*trans-european transport networks*) umożliwiają połączenia dróg krajowych i kolejowych w jednolity system, pozwalają na likwidację „wąskich gardeł” oraz ułatwiają dostęp do regionów peryferyjnych, mających utrudnione warunki rozwoju [Bidzińska-Jakubowska 2010]. Sieć transportowa Unii Europejskiej została podzielona na sieci bazową i kompleksową. Oba poziomy mają obejmować wszystkie rodzaje transportu: drogowy, kolejowy, lotniczy, morski oraz żeglugę śródlądową, a także platformy intermodalne [Marszałek 2001].

Korytarzem transportowym określa się ciąg transportowy, w którym są co najmniej dwie gałęzie transportu międzynarodowego, wzdłuż którego przebiegają szlaki transportowe o odpowiednich parametrach technicznych z rozmieszczonymi na nich węzłami transportowymi, na przykład właśnie centrami logistycznymi. Korytarze transportowe mają istotne znaczenie w lokalizacji centrów logistycznych, gdyż udział transportu w realizacji procesów logistycznych jest kluczowy. Bogatsza i bardziej różnorodna struktura gałęziowa transportu w korytarzach transportowych zwiększa atrakcyjność inwestycyjną i zachęca do lokalizacji centrów logistycznych na tym obszarze. W aspekcie lokalizacyjnym centra logistyczne powinny nawiązywać do przebiegu istniejących korytarzy transportowych, gdyż są naturalnym miejscem budowy intermodalnych centrów logistycznych [Krystosik i Tracz 2015]. Są także istotnym elementem punktowej infrastruktury logistycznej, bez którego nie byłby możliwy rozwój przedsiębiorstwa transportowego ani realizacja przepływów w ramach łańcuchów dostaw.

Centra logistyczne w Polsce i Europie

Polska jest atrakcyjnym krajem do budowania kompleksów, jakimi są centra logistyczne z uwagi na przecinanie się w tym miejscu ważnych szlaków drogowych, dostęp do morza i członkostwo w Unii Europejskiej. Z tego względu w kraju funkcjonuje kilkadziesiąt małych, średnich i dużych obiektów tego typu. Do najważniejszych centrów logistycznych odpowiadających zachodnioeuropejskim standardom zalicza się:

- Wielkopolskie Centrum Logistyczne – Konin – Stare Miasto,
- Śląskie Centrum Logistyczne w Gliwicach z dostępem do Odry,
- Euroterminal Sławków,
- Centrum Logistyczno-Inwestycyjne Poznań (Clip Logistics).

W Europie centra logistyczne znajdują się one głównie w pobliżu dużych węzłów komunikacyjnych, a szczególnie w sąsiedztwie portów morskich czy lotniczych. Aby zwiększyć swoją wydajność, zarządzający tymi obiektami łączą się w organizacje takie jak np. Europlatforms (łącznie ponad 100 współpracujących ze sobą centrów logistycznych). Potencjał najbardziej rozbudowanych punktów obejmuje aktualnie ponad 80% europejskiego transportu i ten trend będzie jeszcze bardziej rozszerzał wpływ centrów logistycznych na branżę [Fechner 2010].

Z rankingu dotyczącego poziomu rozwoju centrów logistycznych w Europie udośćnionego w 2020 roku wynika, że kraje o największym znaczeniu tego rodzaju obiektów, takie jak Włochy i Niemcy od kilkadziesiąt lat odnoszą bardzo duże sukcesy w branży logistycznej. Istotną rolę ogrywają także *freight villages* (centra logistyczne) w Hiszpanii. Polska w 2015 roku zajmowała 15. pozycję, a w 2020 roku znalazła się w pierwszej piątce krajów z najlepszymi centrami logistycznymi w Europie (tab. 1).

Tabela 1. Ranking europejskich centrów logistycznych w 2020 roku
 Table 1. European logistics center's ranking in 2020

1		D - Bremen
2		IT - Quadrante Europa Verona
3		D - Nürnberg
4		ES - Zaragoza (Plaza)
5		D - Berlin Süd Großbeeren
6		PL - CLIP Logistics
7		IT - Parma
8		IT - Bologna
9		A - Cargo Center Graz
10		IT - Padova
11		IT - Nola
12		D - Berlin West Wustermark
13		FIN - RRT Kouvola
14		IT - Torino
15		D - Leipzig
16		D - GVZ JadeWeserPort
17		A - Ennshafen
18		H - BILK
19		D - Erfurt
20		ES - ZAL Barcelona

Źródło: [European Freight Village...].
 Source: [European Freight Village...].

Centra logistyczne stanowią w obecnych czasach istotny element całego łańcucha dostaw, usprawniając proces dostarczenia towaru do punktu docelowego. Mogą to być zarówno mniejsze, miejskie centra logistyczne, jak i duże obiekty, osiągające rozmiar od 50 do nawet 100 ha, obejmujące swoim działaniem całą Europę. Polska stanowi ważny punkt na mapie takich centrów, przyczyniając się do tego także przez uplasowanie w ostatnich latach na 5. miejscu w Unii Europejskiej pod względem potencjału magazynowego oraz na 1. miejscu w kategorii rozwoju transportu.

Rozpoznanie roli CL krajów stowarzyszonych w Europlatforms w łańcuchu dostaw

Europlatforms to europejskie stowarzyszenie platform logistycznych, które zostało utworzone w 1991 roku. Nie ma ono jednej stałej siedziby, ale sekretariat Europlatforms mieści się w Brukseli, gdzie znajduje się biuro koordynujące działania stowarzyszenia. Stowarzyszenie nie prowadzi działalności gospodarczej i nie oferuje usług bezpośrednio klientom, ale działa na rzecz swoich członków. Członkostwo w stowarzyszeniu jest dobrowolne i wiąże się z opłatą członkowską. Stowarzyszenie organizuje konferencje,

seminaria i szkolenia dla swoich członków, a także publikuje raporty i materiały badawcze dotyczące rynku centrów logistycznych w Europie.

Stowarzyszenie koncentruje się na rozwoju platform logistycznych jako kluczowej infrastruktury transportowej. Obecnie zrzesza dziewięć krajów, które wspólnie zarządzają siecią ponad stu platform i centrów logistycznych: w Portugalii, Włoszech, Niemczech, Danii, Grecji, na Węgrzech, w Polsce, Finlandii i Hiszpanii (rys. 1). Przez ich obiekty przebiegają wszystkie priorytetowe dla Unii Europejskiej korytarze transportowe [Europlatforms 2024].



Rysunek 1. Członkowie stowarzyszenia Europlatforms

Figure 1. Members of Europlatforms association

Źródło: [Members of EUROPLATFORMS].

Source: [Members of EUROPLATFORMS].

Wśród celów statutowych stowarzyszenia, które obowiązują wszystkich jego członków, wyróżnić można [Europlatforms 2024]:

- rozbudowę i promowanie znaczenia centrów logistycznych w Europie przez rozwój i promocję idei, projektów związanych z centrami logistycznymi,
- dążenie do tworzenia i rozwijania sieci współpracy pomiędzy poszczególnymi centrami logistycznymi w Europie, a także z podobnymi organizacjami działającymi poza tym kontynentem dzięki współpracy i tworzeniu wartości dodanej pomiędzy nimi,
- dostarczanie informacji o centrach logistycznych przez udostępnianie informacji o centrach logistycznych zarówno Unii Europejskiej, Komisji Gospodarczej ONZ dla Europy (UNECE), Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD), jak i państwom, samorządom, organizacjom i wszystkim powiązanym przedsiębiorstwom,

- działanie na rzecz ochrony wspólnych interesów swoich członków związanych z ich działalnością,
- starania o pozyskanie środków ekonomicznych i finansowych dla swoich członków na rzecz wspierania zrównoważonego transportu w centrach zrzeszonych w stowarzyszeniu,
- prowadzenie badań, inicjacja i wdrażanie programów, projektów, działań oraz usług, które mogą być korzystne dla większości zrzeszonych centrów logistycznych.

Działania podejmowane na rzecz zrzeszonych w stowarzyszeniu krajów i ich centrów logistycznych znajdują odzwierciedlenie w funkcjonowaniu globalnych łańcuchów dostaw. Między innymi dzięki strategicznemu położeniu na priorytetowych korytarzach transportowych centra logistyczne krajów należących do Europlatforms odgrywają ważną rolę w europejskich i globalnych łańcuchach dostaw. Umożliwiają efektywny transfer towarów wewnątrz i na zewnątrz rynków europejskich, wspierając jednocześnie handel międzynarodowy. Dzięki współpracy członków stowarzyszenia promuje ono harmonizację procesów, co może przyczyniać się do większej przejrzystości i efektywności przepływu towarów w ramach łańcuchów dostaw. Dodatkowo organizacja ta mobilizuje zaangażowanie CL w politykę europejską, reprezentując swoje interesy w instytucjach unijnych i wzmacniając swoją pozycję na rynkach. Dzięki połączeniu działań lokalnych i międzynarodowych centra logistyczne przyczyniają się do rozwoju zintegrowanej sieci logistycznej w Europie. Wspierając zieloną logistykę i współpracę transgraniczną, działalność Europlatforms przyczynia się do budowy nowoczesnych, odpornych na zakłócenia łańcuchów dostaw. Wszystkie te czynniki umożliwiają wzrost możliwości logistycznych centrów w ramach obsługiwanych ładunków w coraz szerszej kooperacji z globalnymi łańcuchami dostaw.

Tabela 2. Analiza SWOT członków Europlatforms

Table 2. SWOT analysis of members of Europlatforms

Mocne strony	Słabe strony
• scentralizowanie, • dobra lokalizacja, • bardzo dobry dostęp do infrastruktury (drogowej, kolejowej, portowej), • funkcja intermodalnych hubów, • tworzenie wspierającego się środowiska we-wnętrznego	• brak możliwości rozbudowy istniejących obiektów, • ograniczony teren do zabudowy, • przestarzała infrastruktura energetyczna, • ograniczona dostępność pracowników/brak specjalistycznych kadr.
Szanse	Zagrożenia
• możliwość rozbudowy sieci połączeń intermodalnych (połączenie z zapleczem kraju), • rozbudowa i modernizacja terminali intermodalnych, • możliwość generowania nowych usług (np. związanych z bezpieczeństwem),	• konflikty handlowe, • zwiększająca się konkurencja ze strony innych obiektów (typowych centrów dystrybucji), • zagrożenia klimatyczne (np. niski stan wód w przypadku obiektów zintegrowanych z portami, powodzie), • niewielka powierzchnia w stosunku do zagranicznych centrów, • niski potencjał gospodarczy regionu.

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Europlatforms [2024] w ocenie centrów logistycznych od samego początku kieruje się trzema, jasno określonymi kryteriami. Należy do nich: potencjał dla Europy, potencjał dla danego kraju (w którym konkretne centrum jest zlokalizowane) oraz stan rozwoju danego obiektu. W kontekście przyszłej roli centrów logistycznych istotne znaczenie ma przeprowadzona analiza SWOT (tab. 2).

W ocenie potencjału europejskich centrów należy przyjąć zastrzeżenie, że dokonana analiza ma charakter ogólny, gdyż obejmuje wszystkie zrzeszone w swoich ramach obiekty. Z kolei nie każdy z czynników dotyczy bezpośrednio konkretnych lokalizacji, a inne wymienione determinanty mają charakter obiektywny (np. zagrożenia klimatyczne, które odnoszą się do wszystkich form działalności gospodarczej). Słabe strony centrów logistycznych wynikają z tego, że wiele z nich powstało jeszcze w latach 80. i 90. XX wieku, w związku z czym pojawia się problem ich modernizacji.

Porównanie wybranych centrów logistycznych zrzeszonych w Europlatforms

Celem określenia znaczenia centrów logistycznych stowarzyszonych w ramach Europlatforms wykorzystano dostępne dane dotyczące podmiotów znajdujących się najwyżej w rankingu. Dodatkowo wzięto również pod uwagę zajmowane przez Niemcy, Włochy, Hiszpanię i Polskę miejsca w światowym rankingu Indeksu sprawności logistycznej (Logistics Performance Index–LPI) z 2023 roku (tab. 3). Wskazany indeks jest narzędziem stworzonym przez Bank Światowy służącym ocenie oraz porównywaniu wydajności sektora logistyki w różnych krajach. Dzięki LPI kraje mogą zidentyfikować mocne i słabe strony swojej infrastruktury i usług logistycznych wpływających na handel międzynarodowy. Indeks ocenia kraje w sześciu kluczowych obszarach [World Bank 2024a]:

- cła, czyli sprawność i szybkość odpraw celnych na granicach,
- infrastruktura, czyli stan dróg, kolei, portów lotniczych i morskich,
- usługi logistyczne, czyli dostępność i jakość usług takich jak magazynowanie, transport czy spedycja,
- ułatwienia w handlu i transporcie, czyli stosowanie przepisów oraz procedur sprzyjających ruchom towarów i ich manipulacjom,
- kompetencje logistyczne, czyli wiedza i umiejętności pracowników branży logistycznej,

Tabela 3. Porównanie wybranych centrów logistycznych zrzeszonych w Europlatforms

Table 3. Comparison of selected logistics centers associated in Europlatforms

Nazwa centrum logistycznego	Calkowita powierzchnia centrum	Obsługiwane gałęzie transportu	LPI indeks kraju – pozycja; wynik
GVZ Bremen – Niemcy	475 ha	kolejowy, drogowy, morski, lotniczy	3; 4,1
Interporto Quadrante Europa Verona – Włochy	420 ha	kolejowy, drogowy, morski, lotniczy	13; 3,9
Platforma Logistica Plaza Zaragoza – Hiszpania	1311 ha	kolejowy, drogowy, morski, lotniczy	19; 3,7
Clip Logistics – Polska	48,5 ha	kolejowy, drogowy	26; 3,6

Źródło: [Características, Die Seite wurde..., Interporto Quadrante Europe, World Bank 2024a].

Source: [Características, Die Seite wurde..., Interporto Quadrante Europe, World Bank 2024a].

- monitorowanie i śledzenie, czyli możliwość monitorowania oraz śledzenia przesyłek w czasie rzeczywistym.

Indeks opiera się na takich źródłach informacji jak badania ankietowe dotyczące oceny logistyki w danym kraju przez ekspertów oraz publicznie dostępnych danych. Bank Światowy wykorzystuje oficjalne dane statystyczne dotyczące infrastruktury czy handlu, wobec czego narzędzie to jest cennym wskaźnikiem zarówno dla rządów poszczególnych krajów, które chcą usprawnić przepływ towarów jak i usług, ale również dla potencjalnych inwestorów z zagranicy.

Centra logistyczne w analizowanych krajach zajmują znaczące powierzchnie, które ciągle są powiększane i modernizowane. Kraje, w których się znajdują, zajmują wysokie pozycje w światowym rankingu. Bank Światowy wziął w tym zestawieniu pod uwagę 139 krajów świata, a Polska zajęła w nim również wysokie – 26. miejsce. Świadczyć to może o dużym znaczeniu centrów logistycznych w globalnym łańcuchu dostaw, co sprzyja dalszemu rozwojowi branży na międzynarodowym rynku. Istotny potencjał centrów logistycznych jest widoczny zwłaszcza w przypadku Polski, na której terenie centra są stosunkowo niewielkie i nie obsługują wszystkich gałęzi transportu w porównaniu z innymi, ale w rankingach w kolejnych latach plasują się coraz wyżej.

Porównanie sprawności logistycznej wybranych krajów w latach 2007 i 2023

Mając na uwadze poziom rozwoju gospodarczego krajów, w których zlokalizowane są największe centra logistyczne w Europie, skupiono się na porównaniu wyników i pozycji zajmowanych w LPI przez główne kraje europejskie oraz Polskę. Za okres, który umożliwiłby dostrzeżenie istotnych zmian w rozwoju procesów logistycznych, wybrano lata 2007–2023, ze względu na istotny upływ czasu, w którym dokonanie się fizycznych zmian w funkcjonowaniu tych procesów było możliwe. W ramach zestawienia, poza Polską wybrano Hiszpanię, Niemcy i Włochy z uwagi na liczne rozmieszczenie centrów logistycznych oraz charakterystyczne uwarunkowania historyczne w kontekście powstawania i rozwoju CL w tych krajach, stanowiące wyznacznik do rozważań na ten temat. Dla krajów takich jak Polska, w których dopiero od kilkunastu lat centra logistyczne zaczęły zyskiwać na popularności, porównanie z krajami mającymi bogatą historię w tym zakresie może być istotnym punktem w ocenie efektywności i wydajności rynku logistycznego, w tym funkcjonowania centrów logistycznych.

Ranking opracowany przez Bank Światowy oparty jest na wspomnianych sześciu aspektach, według których kwalifikacji podlegają poszczególne kraje, a rezultaty przedstawione są za pomocą uzyskanego wyniku oraz zajętej pozycji na tle innych krajów. Wynik zawiera się w skali 1–5, przy czym 1 to ocena najniższa, a 5 to ocena najwyższa. W tabeli 4 zestawiono dane dotyczące pozycji zajmowanych przez Hiszpanię, Niemcy, Polskę i Włochy na podstawie rankingów z 2007 i 2023 roku. Na tle 139 krajów wziętych pod uwagę w rankingu Niemcy zdecydowanie przodują jeśli chodzi o kraje europejskie, zajmując w przypadku każdego z kryteriów pozycje w najlepszej dziesiątce, zarówno w 2007 roku, jak i w 2023. W ramach kilku kryteriów, takich jak łatwość organizowania konkurencyjnych cenowo przesyłek międzynarodowych, skuteczność procesów odprawy celnej i częstotliwość dostarczania przesyłek w zaplanowanym lub oczekiwanym czasie odnotowano spadek pozy-

cji, pozostałe utrzymały się na tym samym poziomie lub ich jakość się zwiększyła. W przypadku Włoch, w ciągu 16 lat nie zauważono wyraźnego wzrostu lub spadku, co wskazywać może na utrzymanie stabilnej pozycji tego kraju na rynku. Pozycje Polski w ramach każdego kryterium charakteryzowały się wzrostem od 14 do 47 p.p., co przełożyło się na wzrost każdej pozycji średnio o około 32%. Jeszcze wyższe wyniki w 2023 roku w porównaniu do 2007 roku odnotowano w przypadku Hiszpanii, dla której wzrost pozycji oscylował w granicach 20–86 p.p., co wpłynęło na poprawę pozycji w rankingu w okresie 16 lat o około 49%. Największy wzrost dla Hiszpanii i Polski zaobserwowano w ramach kryterium dotyczącego terminowości dostarczanych przesyłek i możliwości ich śledzenia. Mogło się do tego przyczynić implementowanie nowoczesnych technologii, które wraz z upływem czasu i za sprawą odpowiednich możliwości finansowych mogły być wdrażane.

Tabela 4. Pozycje zajmowane przez poszczególne kraje w rankingu LPI wg obowiązujących kryteriów

Table 4. Positions of selected countries in LPI ranking in accordance to applicable criteria

Pozycja wg kryterium	Rok	Hiszpania	Niemcy	Polska	Włochy
Zdolność śledzenia przesyłek	2007	22	5	40	21
	2023	11	3	23	20
Kompetencje i jakość usług logistycznych	2007	24	3	38	21
	2023	14	3	33	20
Łatwość organizowania konkurencyjnych cenowo przesyłek międzynarodowych	2007	23	4	52	21
	2023	8	8	38	26
Skuteczność procesów odprawy celnej	2007	30	4	38	29
	2023	20	7	24	24
Częstotliwość dostarczania przesyłek w zaplanowanym lub oczekiwanym czasie	2007	29	8	40	27
	2023	4	10	21	21
Jakość infrastruktury handlowej i transportowej	2007	24	3	51	23
	2023	19	3	39	19

Źródło: opracowanie własne na podstawie [World Bank 2024b].

Source: own elaboration based on [World Bank 2024b].

W kontekście wyników uzyskanych przez analizowane kraje, dla każdego z kryterium zarówno w 2007 roku, jak i w 2023 roku wyniki dla Niemiec plasowały się na poziomie wyższym niż 3,7 (na 5 możliwych), dla Włoch i Hiszpanii – wyższym niż 3,2, dla Polski – wyższym niż 2,7 (tab. 5). Okres do okresu, w przypadku Włoch i Polski, odnotowano zwiększenie się ogólnego wyniku średnio o kolejno 3,3 i 18% dla wszystkich kryteriów. Niemcy z kolei otrzymały w 2023 roku średnio o 1,5% niższy wynik niż w 2007 roku w ramach każdego z obszarów. Wyraźnie, bo o 30%, zwiększył się wynik Polski pod względem jakości infrastruktury handlowej i transportowej. Podobnie było w przypadku zdolności śledzenia przesyłek, jakości usług logistycznych i skuteczności procesów odprawy celnej. Pozycja centrów logistycznych pod względem tych kryteriów w latach 2007–2023 zwiększyła się o około 20%. Duży wzrost pozycji CL pod względem analizowanych zmiennych odnotowano także w Hiszpanii. Odmierna sytuacja w tym zakresie wystąpiła w Niemczech i we Włoszech.

Z danych wynika, że do sukcesu centrów logistycznych przyczyniają się różne czynniki. W przypadku Włoch główną determinantą jest terminowość dostarczania przesyłek, a w Niemczech do takich czynników należą także kompetencje i jakość świadczonych usług logistycznych oraz jakość infrastruktury handlowej i transportowej. W ten sposób druga z hipotez została pozytywnie zweryfikowana.

Tabela 5. Wyniki poszczególnych krajów w rankingu LPI wg obowiązujących kryteriów

Table 5. Scores of selected countries in LPI ranking in accordance to applicable criteria

Wynik wg kryterium	Rok	Hiszpania	Niemcy	Polska	Włochy
Zdolność śledzenia przesyłek	2007	3,63	4,12	3,12	3,66
	2023	4,1	4,2	3,8	3,9
Kompetencje i jakość usług logistycznych	2007	3,55	4,21	3,04	3,63
	2023	3,9	4,2	3,6	3,8
Łatwość organizowania konkurencyjnych cenowo przesyłek międzynarodowych	2007	3,45	3,91	2,92	3,57
	2023	3,7	3,7	3,3	3,4
Skuteczność procesów odprawy celnej	2007	3,17	3,88	2,88	3,19
	2023	3,6	3,9	3,4	3,4
Częstotliwość dostarczania przesyłek w zaplanowanym lub oczekiwanym czasie	2007	3,86	4,33	3,59	3,93
	2023	4,2	4,1	3,9	3,9
Jakość infrastruktury handlowej i transportowej	2007	3,51	4,19	2,69	3,52
	2023	3,8	4,3	3,5	3,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie [World Bank 2024b].

Source: own elaboration based on [World Bank 2024b].

Porównanie wyników LPI dla Hiszpanii, Niemiec, Polski i Włoch w latach 2007 i 2023 podkreśla różnice w tempie rozwoju logistyki w tych krajach, jednocześnie ukazując znaczące zmiany w pozycji Polski i Hiszpanii na tle bardziej rozwiniętych rynków logistycznych Europy. Poruszone w ramach rankingu stworzonego przez Bank Światowy kryteria pozostają istotnymi czynnikami w rozwoju całego obszaru logistyki, w tym również centrów logistycznych. Należy zauważyć, że wszystkie wymienione kryteria są kompatybilne ze świadczonymi przez CL usługami logistycznymi i dodatkowymi.

Nieustająco wysoki poziom wyników świadczy o ugruntowanej pozycji Niemiec jako europejskiego lidera globalnego rynku logistycznego. Włochy, choć nie osiągają tak wysokich wyników jak Niemcy, charakteryzują się stabilnym poziomem rozwoju logistyki, co świadczy o równowadze w funkcjonowaniu ich sektora logistycznego i zdolności do utrzymania konkurencyjności na rynku. Hiszpania i Polska, na tle pozostałych analizowanych krajów, wyróżniają się dynamicznym rozwojem centrów logistycznych. Wynika to z inwestycji w infrastrukturę logistyczną, wzrostu znaczenia Polski jako obszaru tranzytowego Europy Środkowo-Wschodniej oraz integracji z globalnymi łańcuchami dostaw.

Polska zbliża się do standardów europejskich liderów w obszarze centrów logistycznych, co znajduje odzwierciedlenie w coraz wyższych pozycjach w rankingu. Niemniej, różnice między Polską a krajami takimi jak Niemcy czy Włochy pozostają zauważalne, co wskazuje na potrzebę kontynuacji inwestycji w infrastrukturę, technologie oraz podnoszenie efektywności procesów logistycznych. Rozwój Polski i Hiszpanii w latach

2007–2023 wskazuje na duży potencjał tych krajów do powstawania nowych, dużych centrów logistycznych. W perspektywie długoterminowej rozwój centrów logistycznych oznacza zdolność do dalszej integracji z rynkami międzynarodowymi oraz wzrost konkurencyjności na europejskim i światowym rynku.

Podsumowanie i wnioski

Rozważania przedstawione w artykule skoncentrowano na analizie roli centrów logistycznych w globalnych łańcuchach dostaw, ze szczególnym uwzględnieniem działalności stowarzyszenia Europlatforms. Celem było zbadanie, w jaki sposób centra logistyczne wpływają na efektywność procesów logistycznych, konkurencyjność gospodarek oraz rozwój infrastruktury transportowej w Europie. Przeprowadzone badania wykazały, że centra logistyczne odgrywają strategiczną rolę w integracji przepływów towarów i informacji, a ich działalność przyczynia się do rozwoju gospodarczego, zwiększenia efektywności operacyjnej oraz wspierania zrównoważonego rozwoju.

Zrzeszenie Europlatforms, obejmujące ponad 100 centrów logistycznych w dziewięciu krajach Unii Europejskiej, stanowi przykład efektywnego zarządzania logistyką na poziomie międzynarodowym. Centra te wspierają gospodarki narodowe poprzez tworzenie miejsc pracy, wzrost PKB, modernizację infrastruktury oraz wdrażanie nowoczesnych technologii. Centra logistyczne jako kluczowe węzły w globalnych łańcuchach dostaw łączą różne gałęzie transportu i wspierają przepływ towarów zarówno na poziomie regionalnym, jak i międzynarodowym. Zrzeszenie Europlatforms odgrywa istotną rolę w promowaniu współpracy między międzynarodowymi centrami logistycznymi, harmonizacji procesów i standaryzacji działań, co zwiększa przejrzystość i efektywność całych łańcuchów dostaw. Dzięki strategicznemu położeniu wielu centrów na priorytetowych korytarzach transportowych, działania stowarzyszenia wspierają rozwój zrównoważonej logistyki oraz poprawiają konkurencyjność europejskiego sektora logistycznego na rynku globalnym.

Badania potwierdziły, że rozwój centrów logistycznych w krajach mniej rozwiniętych gospodarczo, takich jak Polska czy Hiszpania, jest bardziej dynamiczny niż w państwach o ugruntowanej pozycji w branży logistycznej, takich jak Niemcy. Przeprowadzone analizy rankingu Logistics Performance Index (LPI) Banku Światowego za lata 2007–2023 wykazały, że Polska i Hiszpania znacznie poprawiły swoje pozycje dzięki inwestycjom w infrastrukturę oraz wdrażaniu nowoczesnych technologii logistycznych. Z kolei w krajach takich jak Niemcy wysoka jakość infrastruktury oraz niezawodność dostaw utrzymują te państwa na czołowych pozycjach w rankingu. W ten sposób sformułowane hipotezy zostały pozytywnie zweryfikowane.

Pomimo licznych korzyści, centra logistyczne napotykają pewne przeszkody, takie jak ograniczona dostępność wykwalifikowanej kadry, starzenie się infrastruktury oraz konieczność spełnienia coraz wyższych wymogów w zakresie zrównoważonego rozwoju. W analizie SWOT wskazano potrzeby modernizacji obiektów, rozbudowy sieci intermodalnych oraz wdrażania innowacyjnych technologii, takich jak sztuczna inteligencja, automatyzacja i Internet of Things, które mogą znacząco poprawić efektywność operacyjną i obniżyć koszty. Dalsze badania w obszarze logistyki powinny koncentrować

się na rozwiązaniach wspierających zrównoważony rozwój CL oraz na wdrażaniu wspomnianych technologii cyfrowych. Istotne jest także rozwijanie współpracy między międzynarodowymi centrami logistycznymi, co umożliwi lepszą integrację procesów oraz standaryzację działań w globalnym łańcuchu dostaw.

Reasumując, badania potwierdzają, że centra logistyczne, wspierane przez organizacje takie jak Europlatforms, stanowią strategiczny element nowoczesnej gospodarki. Mają one duży potencjał do dalszego wzmacniania globalnych łańcuchów dostaw, zarówno przez innowacje technologiczne, jak i optymalizację operacji. W efekcie CL będą nadal odgrywać istotną rolę w procesach logistycznych, przyczyniając się do wzrostu gospodarczego, tworzenia zrównoważonych rozwiązań oraz zwiększania konkurencyjności europejskiego rynku logistycznego na arenie międzynarodowej.

Bibliografia

- Bidzińska-Jakubowska B., 2010: Unia Europejska. Instytucje, porządek prawny, polityki wspólne, integracja Polski z UE, Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego, Opole.
- Características, PLAZA, [źródło elektroniczne] <https://clip-group.com>, <https://www.plazalogistica.com/caracteristicas/> [dostęp: 03.12.2024].
- Centrum Logistyczne, Słownik logistyczny, [źródło elektroniczne], https://www.logistyka.net.pl/sownik-logistyczny/szczegoly/90,centrum_logistyczne [dostęp: 02.12.2024].
- Cho G-S., 2018: A Study on Establishment of Smart Logistics Center based on Logistics 4.0, Journal of Multimedia Information System, Korea Multimedia Society, Republic of Korea.
- Czaplik M., 2004: Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań w transporcie i logistyce, Naukowe Koło Logistyki DIALOG, AE w Katowicach, Ustroń-Jaszowiec, 6–7 maja, 292.
- Die Seite wurde nicht gefunden, DGG, [źródło elektroniczne] <https://www.gvz-org.de/en/freight-villages/bremen-en/> [dostęp: 03.12.2024].
- European Freight Village Ranking 2020: Lots of movement in the TOP 10, DGG, [źródło elektroniczne] <https://www.gvz-org.de/en/consultancy-services/freight-village-ranking/> [dostęp: 07.05.2024].
- Europlatforms, 2024: What is Europlatforms? [źródło elektroniczne] <https://www.europlatforms.eu/definition/> [dostęp: 07.05.2024].
- Fechner I., 2004: Centra logistyczne. Cel – realizacja – przyszłość, Wydawnictwo Biblioteka Logistyka, Poznań.
- Fechner I., 2010: Centra logistyczne i ich rola w procesach przepływu ładunków w systemie logistycznym Polski, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport 21, 19–32.
- Interporto Quadrante Europa, CONSORZIO ZAI, [źródło elektroniczne] <https://quadranteeuropa.it/en/interporto/interporto-quadrante-europa> [dostęp: 09.05.2024].
- Janiak T., 2020: Europejskie centra logistyczne 2020 szansą na stabilizację łańcuchów dostaw?, Logistyka, [źródło elektroniczne] <https://www.logistyka.net.pl/bank-wiedzy/item/90960-europejskie-centra-logistyczne-szansa-na-stabilizacje-lancuchow-dostaw> [dostęp: 08.05.2024].
- Krystosik M., Tracz W., 2015: Uwarunkowania lokalizacji centrów logistycznych, [w:] B. Porter (red.), Planuj, twórz, zarządzaj: GIS w gospodarce przestrzennej, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 96–107.
- Marszałek S., 2001: Ekonomia, organizacja i zarządzanie w transporcie, Wydawnictwo Śląskiej Wyższej Szkoły Zarządzania, Katowice.

- Matlewski A., Jezierski A., 2009: Rynkowe uwarunkowania lokalizacji centrum logistycznego w Gdańsku, Cele i uwarunkowania funkcjonowania współczesnych przedsiębiorstw, Prace Naukowe WSzB w Gdańsku 3 , 278–279.
- Members of Europlatforms, [źródło elektroniczne] <https://www.europlatforms.eu/members/> [dostęp: 07.05.2024].
- Paprocki W., Pieriegud J., 2003: Rozwój centrów logistycznych w Polsce, Eurologistics 5, 18.
- Witkowski J., 2010: Zarządzanie łańcuchem dostaw. Koncepcje, procedury, doświadczenia, PWE, Warszawa.
- World Bank, 2024a: International LPI, [źródło elektroniczne] [źródło elektroniczne] <https://lpi.worldbank.org/international> [dostęp: 10.05.2024].
- World Bank, 2024b: Logistics Performance Index (LPI), [źródło elektroniczne] [https://databank.worldbank.org/source/logistics-performance-index-\(lpi\)](https://databank.worldbank.org/source/logistics-performance-index-(lpi))[https://databank.worldbank.org/source/logistics-performance-index-\(lpi\)](https://databank.worldbank.org/source/logistics-performance-index-(lpi)) [dostęp: 02.12.2024].
- Yavas V., Ozkan-Ozen Y.D., 2020: Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0, Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review 135, 101864.

Joanna Bril¹✉, **Edward Rydygier**²

¹ The Blessed Father Findysz Sub-Carpathian High School in Jasło

² Municipal Office of the Capital City of Warsaw

Packaging waste management in a circular economy in Poland

Gospodarowanie odpadami opakowaniowymi w gospodarce o obiegu zamkniętym w Polsce

Abstract. The article examines the issue of packaging waste management in Poland in the conditions of a circular economy, which requires the implementation of stringent EU requirements for waste recycling. The aim of the article is to demonstrate the need for municipalities to participate in the packaging waste management system as owners of municipal waste. Taking into account the participation of municipalities in the research is a new aspect of the analysis of the waste management system in relation to EU and global research. The research methods used in the research included: analysis of legal acts regulating the functioning of the packaging and packaging waste management system, review of source materials, including expert opinions of waste industry specialists and non-governmental organizations, opinions of councilors and local government advisors, review of articles from the national, regional and local government. In addition to the analysis method, an observational method documented with photos of types of packaging and approaches to implementing the packaging circulation system was used. Subsequent government legislative initiatives undertaken to regulate producer responsibility for packaging recycling were analyzed, initially concerning partial responsibility and then extended responsibility (EPR). The final conclusions demonstrate the need for municipalities to participate in the packaging waste management system that includes extended producer responsibility. The need for fair legislative solutions for all entities operating in packaging waste management was pointed out. It was shown that the implementation of the EPR system will change the entire existing national municipal waste management system and will affect not only the functioning of the packaging industry but also other important areas of the national economy, such as trade and transport.

Key words: Packaging, packaging waste, waste management, circular economy, extended producer responsibility, deposit system, municipalities

✉ **Joanna Bril** – The Blessed Father Findysz Sub-Carpathian High School; e-mail: joannabril@vp.pl; <https://orcid.org/0000-0002-7177-3356>

Edward Rydygier – Municipal Office of the Capital City of Warsaw; e-mail: erydygier@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7696-7646>

Synopsis. W artykule zbadano zagadnienie gospodarowania odpadami opakowaniowymi w Polsce w warunkach gospodarki o obiegu zamkniętym, co wymaga realizacji rygorystycznych unijnych wymagań dotyczących recyklingu odpadów. Celem artykułu jest wykazanie konieczności udziału gmin w systemie gospodarowania odpadami opakowaniowymi jako właścicieli odpadów komunalnych. Uwzględnienie udziału gmin samorządowych w funkcjonowaniu systemu gospodarowania odpadami opakowaniowymi stanowi nowość w odniesieniu do badań prowadzonych w UE i na świecie. W przeprowadzonych badaniach użyto takie metody badawcze jak: analiza aktów prawnych regulujących funkcjonowanie systemu gospodarki opakowaniami i odpadami opakowaniowymi, przegląd materiałów źródłowych, w tym ekspertyz specjalistów branży odpadowej oraz ekspertyz organizacji pozarządowych, opinii radnych i doradców samorządowych, przegląd artykułów z prasy ogólnopolskiej, regionalnej i samorządowej. Oprócz metody analizy, zastosowano metodę obserwacyjną udokumentowaną zdjęciami rodzajów opakowań i sposobów realizacji systemu obiegu opakowań. Zanalizowano kolejne rządowe inicjatywy legislacyjne podjęte w celu uregulowania odpowiedzialności producentów za recykling opakowań, początkowo dotyczące częściowej odpowiedzialności, a następnie odpowiedzialności rozszerzonej (ROP). We wnioskach końcowych wykazano konieczność udziału gmin w systemie gospodarowania odpadami opakowaniowymi włączającym rozszerzoną odpowiedzialność producenta, a także wskazano na konieczność sprawiedliwych rozwiązań legislacyjnych uwzględniających udział wszystkich podmiotów działających w ramach gospodarki odpadami opakowaniowymi. Wykazano także, że wdrożenie systemu ROP zmieni cały dotychczasowy krajowy system gospodarki odpadami komunalnymi oraz wpłynie nie tylko na funkcjonowanie branży opakowaniowej, także na inne ważne obszary gospodarki krajowej takie, jak handel i transport.

Słowa kluczowe: opakowania, odpady opakowaniowe, gospodarowanie odpadami, gospodarka w obiegu zamkniętym, rozszerzona odpowiedzialność producenta, system kaucyjny, gminy

JET codes: Q53, Q56, Q58

Introduction

Packaging plays an increasingly important role in today's world. Gone are the days when food products were sold by weight in bags or containers that customers brought with them to the store. Nowadays, it is difficult to imagine products sold without packaging. Despite the many advantages, this situation also has drawbacks, because after using the products, the packaging becomes waste, which is often difficult to dispose of, such as plastic bottles and bags.

The aim of the article is to demonstrate the need for municipalities to participate in the packaging waste management system as owners of municipal waste. Taking into the account the participation of municipalities in the research is a new aspect of the analysis of the waste management system in relation to EU and global research.

The implementation of waste management in EU countries in the conditions of a circular economy must take into the account stringent requirements for waste recy-

cling. Attention was drawn to the need for municipalities to participate in the packaging waste management system that includes extended producer responsibility, and subsequent government initiatives to regulate the functioning of the packaging management system were assessed in this respect.

In the current economy in European Union countries, customers cannot be solely responsible for recycling packaging waste. Therefore, the government has undertaken legislative initiatives aimed at introducing the responsibility of packaging producers for their disposal. Initially, the work focused on partial responsibility, but as the EU economy moved toward a closed-loop economy, legislative changes included broader producer responsibility (so-called “extended,” in relation to “partial”).

Materials and methods

The research was carried out using the methods of qualitative and comparative analysis as well as the observational method. The authors of the article studied applicable legal acts, such as parliamentary acts and other documents regarding the functioning of the packaging and packaging waste management system in Poland. Source materials were reviewed, including opinions of waste industry specialists and experts from non-governmental organizations, councilors and local government advisors, as well as articles in the national, regional and local government press for information on packaging waste management. In addition to the qualitative analysis method, an observational method was also used, resulting in photo documentation of the types of packaging and the organization of circulation and recycling of packaging.

It should be emphasized that the authors of the article, in addition to their knowledge in the field of return logistics and management, used in their research their experience gained in activities in regional government authorities and in work in local government administration [Bril and Rydygier 2020].

Characteristics of packaging

Packaging, within the meaning of the Act on Packaging and Packaging Waste Management [Dz.U. 2013 poz. 888], is a product, including a non-returnable product, made of any material, intended for storing, protecting, transporting, delivering or presenting products, from raw materials to processed goods. The following products are considered packaging:

- produced and intended to be completed at the point of sale,
- single-use, sold, filled, manufactured or intended to be filled at the point of sale,
- a component part of the packaging and an auxiliary element attached to the packaging, fulfilling the functions of packaging, but an auxiliary element attached directly or as an element constituting an integral part of the product which is intended for joint use or removal.

Packaging material is any type of material that is used to protect a product that is manufactured, sold, and shipped to a customer.

Types of packaging in logistics

The type of packaging is an issue that goes far beyond product protection. The size, material and design of packaging, in addition to purely aesthetic values appreciated by the customer, have a direct impact on the storage and transport costs. Therefore, decisions regarding the selection of the type of packaging are often of strategic importance for the company. Each individual product can be stored in different types of packaging at the same time. Packaging, according to EU Directive 94/62/EC, is divided into commercial, collective and transport [Regattieri et al. 2018].

Commercial packaging

Commercial packaging is used to store and protect the product. It has direct contact with the article and allows it to be kept in optimal condition. It is also the smallest portion of the product intended for individual sale. It can be a can, carton, bag, bottle, or sachet (Figs 1–2). Commercial packaging should have the following features:

- enable product identification in accordance with applicable regulations, indicate information on use and other important data, such as expiration date,
- some packaging can also help identify the brand and attract the consumers' attention,
- ensure stability in the display area in the store (staying on the shelf),
- isolate the contents,
- protect the product using as little material as possible.



Figure 1. Food product packaging

Rysunek 1. Opakowanie produktu spożywczego

Source: private material, photo by E. Rydygier.

Źródło: materiał prywatny, fot. E. Rydygier.



Figure 2. Consumer product packaging (cardboard)

Rysunek 2. Opakowanie produktu użytkowego (karton)

Source: private material, photo by E. Rydygier.

Źródło: materiał prywatny, fot. E. Rydygier.

Collective packaging

A specific number of unit packages are placed in the collective packaging. It provides additional protection and facilitates the sale of the product on a larger scale. For this purpose, mainly cardboard boxes are used, while they are less often made of plastic. Bottles of mineral water or beer cans are often connected together as a form of collective packaging (Figs 3–4). Collective packaging should have the following features [Farmer 2022]:

- can be stacked (in a warehouse or point of sale) and protect the products against damage during transport,
- contain a certain number of products,
- attract the customers' attention.



Figure 3. Fruit (raspberries) in one package
Rysunek 3. Owoce (maliny) w jednym opakowaniu

Source: private material, photo by E. Rydygier.
Źródło: materiał prywatny, fot. E. Rydygier.



Figure 4. Connected 6 mineral water bottles
Rysunek 4. Połączone butelki z wodą mineralną

Source: private material, photo by E. Rydygier.
Źródło: materiał prywatny, fot. E. Rydygier.

Transport packaging

Transport packaging contains a specific number of commercial or collective packaging forming a loading unit; the most common of these include pallets and containers and cardboard boxes with a size adapted to the dimensions of the pallets (Figs 5–6).

Transport packaging should have the following features [Hassak 2019, Janowski 2023]:

- stability and enabling the accumulation of the large number of loads,
- ensuring optimal use of space in warehouses and means of transport,
- having appropriate certificates and being made of durable materials,
- impact on brand perception (this applies especially to e-commerce logistics, where transport packaging can build the company's image, e.g. recognizable Amazon boxes).



Figure 5. Wooden pallet

Rysunek. 5. Paleta drewniana

Source: advertising materials, „Magazyny Kontenery” Selling Co.

Źródło: materiał reklamowy, „Mobilbox” Selling Co.



Figure 6. Container for transporting goods

Rysunek 6. Kontener do transportu towarów

Source: advertising material, „Mobilbox” Selling Co.

Źródło: materiał reklamowy, „Mobilbox” Selling Co.

Classification of packaging in Polish law

However, the types of packaging according to the Act on Packaging and Packaging Waste Management are classified according to their use:

- unit packaging – used to deliver the product to the user at the point of purchase; they may also be packaging intended for the consumption of products, disposable vessels,
- collective packaging – containing multiple unit packages of products, regardless of whether they are handed over to the user or are used to supply points of sale, and which can be removed from the product without affecting the product's features,
- transport packaging – used to transport products in unit or collective packaging to prevent product damage, excluding containers for road, rail, water or air transport.

Packaging is also classified according to the material from which it is made [Każmierczak 2022]:

- plastic (e.g. bags, boxes, bottles, stretch foil, Styrofoam),
- made of aluminum (e.g. cans, lids, caps),
- made of steel, including steel sheets (e.g. barrels, cans, caps),
- made of paper and cardboard (e.g. cartons, labels),
- made of household glass, except ampoules (e.g. bottles, jars),
- made of wood (e.g. pallets, spacers),
- other (e.g. ceramics, cork, jute, textiles).

In addition to the 7 main materials from which packaging is made, there are two more special types of packaging:

- multi-material packaging,
- packaging for hazardous substances.

In Poland, plastic packaging accounts for 24% of the total weight of packaging, glass 24%, paper and cardboard (P/T) 35%, and the others 17% [IOŚ-PIB 2022]. The types of packaging listed above are subject to regulations related to ensuring recovery and recycling. Packaging of hazardous substances requires additional special protection [Żakowska 2021].

In logistics, the “load unit” is of particular importance. It is the basic unit in the transport and storage of products. These include pallets, containers, barrels, reels, IBC containers (also known as IBCs), big bags, etc. Various cargo units can be stored in one warehouse in separate zones or in areas appropriately adapted for this purpose. One of the important criteria for selecting packaging is the desire to reduce direct costs (purchase of materials and waste management) and indirect costs (picking and packaging processes, handling, storage and losses resulting from damage) [Wojewódzka-Król and Roblecki 2018].

Packaging classification criteria

Factors influencing the selection of the type of packaging [Emblem and Emblem 2023]:

- product properties, e.g. state of matter (liquid, solid, gas), mass and volume, sensitivity to external factors, stability (does it deform under pressure), durability, degree of risk, and value,
- production and packaging process – determines what unit and collective packaging can be used. Their form and size also depend on whether the products will be packed manually or automatically,
- method of transport and storage – many different factors should be taken into account in this regard, including permissible height of stacks, storage time, handling methods (some of which may generate undesirable vibrations), number of loading/unloading operations, possible logistics (in accordance with the returns policy in e-commerce, reusable bulk packaging is sometimes used), ambient temperature and humidity during storage and transport,
- impact of the packaging waste on the environment and the possibility of recycling or reusing packaging,
- points of sale – it should be taken into the account where the products will be displayed and how they will be serviced. In e-commerce, it is worth paying attention to the unboxing experience, because it is the customer’s first physical contact with the brand and product.
- legal acts and regulations defining packaging requirements, e.g. technical standards (EN or ISO), international transport rules (e.g. International Standard for Phytosanitary Measures ISPM No. 15), environmental regulations and transport regulations and marking of dangerous goods, such as the European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR).

Packaging management

According to a report by “The Empty Space Economy” [Forbes Insights 2024], one quarter of the space in transported containers and packages is occupied by air. In addition, as many as 66% of respondents from senior management believe that eliminating empty space would reduce the investment in packaging by at least 25%. This goal can be achieved through actions such as [Stepnowska 2018]:

- standardization of packaging dimension (Fig. 7),
- automation of the transport of packaging materials (Fig. 8).

One of the main benefits of standardizing dimensions is the optimal use of space at all stages of the supply chain, from production through storage to transport. Hence the widespread use of euro pallets in European countries as transport packaging, which allows for the maximum use of the available space. A very good solution is the mutual commitment of suppliers, logistics operators, distributors and sellers to use a common, modular standard: 1200×800 mm (Europallet), 600×800 mm (1/2 Europallet) or 300×400 mm (1/3 Europallet). Entrepreneurs should analyze the assortment and select the appropriate basic dimensions (which are a sub-multiple of the Europallet dimensions) that fit most of the stored products [Bentkowski and Bentkowski 2020]. An important factor from the point of view of transport costs is the so-called dimensional (or volumetric) weight, which determines the space occupied by the goods in relation to their mass. Transport companies use it to set rates for the transport of light but large packages. In this area, the integration of the system with unit load parameter control systems, scales, automatic labelers and cobots supporting the packaging process is a significant convenience, because thanks to the collected data on the assortment, a piece of software is able to indicate to the employee what packaging they should use to prepare a specific order. Properly selected packaging increases the efficiency of packaging management [Meherishi et al. 2019].



Figure 7. Europallets

Rysunek 7. Europalety

Source: advertising materials, “Polskie Opakowania” Distribution Co.

Źródło: materiały reklamowe, spółka dystrybucyjna „Polskie Opakowania”.



Figure 8. Automatic unloading system

Rysunek 8. Automatyczny system rozładunku

Source: advertising materials, “Cargomatic” Production Co.

Źródło: materiały reklamowe, spółka produkcyjna „Cargomatic”.

When planning packaging optimization in the industrial sector, it is worth taking into the account packaging materials, methods of internal and external transport and storage, as well as costs related to waste management. Only a comprehensive approach to the problem guarantees the right choice of packaging ideally suited to the needs of the company. When a manufacturer introduces packaging made of any material, paper, wood, steel or plastic, or multi-material packaging or packaging for hazardous substances, they must ensure their statutory level of recycling. This involves additional obligations, such as paying a product fee or submitting an annual report to the Marshal’s Office.

Packaging waste

Packaging waste is post-consumer packaging from the entire packaging system. Packaging waste is defined as all types of packaging, including reusable packaging withdrawn from reuse [Gembora 2023].

Types of packaging waste [Zhuo et al. 2023]:

- waste generated on the premises of business entities; some types of waste are used by the plants themselves or sold as raw materials to another company.

This waste should be segregated at the place of generation into groups of homogeneous materials. When waste generated in the production of packaging and packaging materials is not uniform in terms of material (e.g. laminates containing paper, plastics and aluminum) and there are no processing facilities at the place of generation, the producer is obliged to recover or dispose of it.

- household waste, whose collection is related to the initial segregation of waste carried out by residents at the household level and the installation of a network of containers for waste collection. If the waste is homogeneous in terms of material (paper, plastics, cullet) and if it is properly segregated on site and protected against contamination, it is a potential raw material for reuse.

In 2020, the average European generated 178 kg of packaging waste, including 35 kg of plastic packaging and 73 kg of paper and cardboard waste. In the EU, 40% of plastics and 50% of paper are used to produce packaging. In the European market, 36% of the mass of municipal solid waste becomes packaging [Komisja Europejska 2022]. Between 2009 and 2019, the amount of packaging waste generated in the EU increased by 13.6 million tons (20.5%). In Poland, the mass of municipal waste generated in 2021 amounted to 13.7 million tons, which is an increase of over 4% compared to last year. The mass of packaging introduced to the market in Poland in 2020 amounted to 6.5 million tons [GUS 2022].

Impact of the circular economy on waste management

Circular economy rules

The circular economy (also called the closed-loop economy) is an economic model based on the closed cycle of product life. Circular economy means that after the maximum potential of a product has been used in its life cycle, the product is reused and thus returns to the life cycle [Szczech-Pietkiewicz and Czerniak 2024]. This procedure preserves natural raw materials and reduces the amount of waste generated. EU directives on the development of a circular economy favor the reuse and recycling of waste with a strict limitation of disposal through landfilling and incineration [Wiesmeth 2020, Iwaszczuk et al. 2022]. Burning waste is prohibited because it requires energy from the processing of other raw materials and is a source of new pollutants. However, after consultations with experts, the environmentally harmless incineration of high-calorie waste with heat and electricity recovery was allowed, even though in the conditions of a closed-loop economy [Rydygier and Bril 2020], this type of incineration cannot constitute a form of recycling. These activities are part of the search for ways to replace conventional sources with alternative sources, because in terms of energy, 1 ton of coal corresponds to 2–3 tons of municipal waste [Kawęcka and Cholewa-Wójcik 2019].

A circular economy affects not only the way waste is managed but also the entire packaging cycle, because product packaging becomes waste after unpacking or use [Sikorski 2021]. In May 2018, the Council of the European Union adopted new regulations regarding waste packages. These directives require recycling of at least 55% of municipal waste by 2025, 60% in 2030, 65% in 2035. By 2030, only 10% of municipal waste will be allowed to go to landfills [Interreg Europe 2020].

It should be emphasized that the processing of secondary raw materials is a less burdensome process for the environment than the processing of primary raw materials, so recycling contributes to climate protection [OECD 2015].

Packaging waste recycling

Packaging waste, like other waste, must be recycled in accordance with EU directives. Big cities are forced to invest in large recycling installations [Vuk et al. 2023]. In Poland, for example, work is currently progressing on the construction of the Municipal Waste Recycling Center in the post-industrial area of the “Nowa Huta” District in Krakow (Fig. 9). The completion of the first stage of work on the construction of the center is

scheduled for the end of June 2024. The Municipal Waste Recycling Center in Krakow is a multi-task project, implemented in stages, under which it is planned to build [Rapalski 2024]:

- plastic recycling plant,
- municipal waste recovery plant,
- large waste recovery plant,
- selective municipal waste collection point intended to collect municipal waste delivered by property owners located in the city,
- municipal waste storage hall intended for waste undergoing processing, waste and products obtained in the recycling process, along with the installation of a photovoltaic installation on the roofs of buildings, which is part of an extensive program for producing electricity from renewable sources and will reduce the operating costs of the installation.

The first stage of the plastic recycling center includes the construction of:

- installation for preparing plastic foils for recycling (recovered in municipal waste sorting processes) by sorting PE foils and an installation for producing polyethylene granules by foil shredding, washing and granulation,
- municipal waste storage hall,
- social, administrative and office buildings and reception desk,
- necessary accompanying infrastructure in terms of access road together with internal roads within the center, maneuvering areas and parking lots, external sanitary installations; domestic water, water for fire protection purposes, sanitary and storm sewage, electricity, and heating.

The currently expected total cost of implementing the Plastics Recycling Plant amounts to PLN 245 million. The Municipal Purification Company (“MPO” Kraków) obtained funding for the implementation of the first stage of construction from the National Fund for Environmental Protection and Water of:

- PLN 149,550,000 in the form of a loan,
- PLN 30,000,000 in the form of a grant.

The recycling machines planned as part of legislative work on introducing extended producer responsibility for manufactured packaging are intended to improve the selection of packaging waste. For now, municipalities will introduce their own recycling machines for educational purposes. Such an educational recycling machine was placed next to the building of the “Ursynów” District Office in Warsaw (Fig. 10). This device is used to exchange plastic and glass bottles and aluminum cans for ECO-points using a special application (ECO Prtfel – eng. eco wallet). In gratitude for their environmental protection activities, residents will receive discounts on, e.g., coffee, or cinema or theater tickets. From the new season, the offer also includes tickets to the “Jump World” trampoline park, discounts on natural and organic cosmetics in the “BioOrganika” store, and discount codes for subscriptions to *National Geographic* publications. The prize pool will be expanded [Urząd Dzielnicy Ursynów m.st. Warszawy 2020].

The recycling rate in Europe in 2020 was 64% of the weight of packaging waste and 37.6% of the weight of plastic packaging waste [Eurostat 2023]. In Poland, the recycling rate for packaging waste was approximately 60% and 31.5% for plastic packaging waste in 2019 [GUS 2022].



Figure 9. Waste Recycling Center in Kraków
Rysunek 9. Centrum Recyklingu Odpadów w Krakowie

Source: information materials, Portal of the Kraków City

Źródło: materiały informacyjne, portal miasta Krakowa



Figure 10. Recycling machine in Warsaw
Rysunek 10. Recykomat w Warszawie

Source: [Urząd Dzielnicy Ursynów m.st. Warszawy 2020].

Źródło: [Urząd Dzielnicy Ursynów m.st. Warszawy 2020].

System of packing circulation

Role of the producer

In Poland, since 2012, municipalities by law are obliged to manage waste [Dz.U. 2013 poz. 21 z późn. zm.]. Since waste management involves the costs of waste removal and disposal, the Ministry of the Environment has undertaken legislative work on the partial responsibility of producers in the costs of waste recycling. Unfortunately, no major changes have been made to impose financial responsibility on manufacturers, other than requiring customers to purchase plastic shopping bags. In July 2018, a revised package of European Union waste directives was published, setting higher recycling rates for municipal and packaging waste. According to these directives, 50% in 2020 and as much as 65% in 2035 of waste should be recycled. New EU regulations oblige producers of packaged products to comply with the so-called extended producer responsibility (EPR), which is a set of measures taken to ensure that those who introduce products, including products in packaging, bear financial responsibility or financial and organizational responsibility at the stage of the product's life cycle when it becomes waste [Jóźwiak 2024].

The implemented concept of extended producer responsibility leads to a reduction in the amount of packaging waste generated from plastics, which cannot currently be recycled. Another element is the standardization of returnable packaging specified in standards under penalty of penalties for placing non-standard packaging on the market [Brown A. et al. 2023]. During the discussion on the act, municipalities believed that the implementation of extended producer responsibility must involve a product fee paid by producers. Ultimately, these fees would cover the costs related to the operation and development of recovery and recycling organizations and the selective collection of packaging waste.

Developed by the Ministry of Climate (which replaced the former Ministry of Environment), the producer responsibility system was based on two mechanisms: fees and deposits. The fee mechanism was to include two types of manufacturer fees:

- the first fee paid only for packaged products intended for households placed on the market, which will then be paid to marshals' offices,
- a second levy that will apply in practice to all other packaging products that will be sold on the market and that will be paid to the extended producer responsibility organization.

In contrast, the deposit mechanism applies to selected types of packaging.

The new regulations were initially supposed to be implemented in the summer of 2020, meanwhile in October 2020, the Ministry of Climate announced that the new regulations on extended producer responsibility would only enter into force on January 1, 2022. From that date, packaging producers would participate in the costs of waste management. Pursuant to the Act, producers of packaged products are to finance the collection and management of packaging waste at a much higher level than is currently the case. The amount of fees charged to packaging producers was to be determined by the regulator's office. According to the assumptions of the Ministry of Climate, this office was to be established at the Institute of Environmental Protection, which would be responsible, among others, for maintaining the waste database. The fees were to be charged per tone of packaging placed on the market and would depend, among others, on what they consist of (plastic, metal, paper or glass) and whether they are easy to manage (i.e. whether a given product is more environmentally friendly, i.e. more recyclable). The production of PET bottles with shrink film would become unprofitable. Customers would have to pay more for tetra packs, which consist of several materials and are more difficult to recycle. The funds obtained from the application of extended producer responsibility would flow to local governments to co-finance waste collection and processing systems. The act being developed in 2020 was suspended before implementation because it was necessary to introduce extended producer responsibility. Additionally, it was planned to introduce mechanisms aimed at, among others: eliminating cases of certifying untruths in relation to packaging waste recycling and increasing financing for packaging waste recycling.

The proposed changes to the Extended Producer Responsibility Act have an impact on all waste management, which is felt by many entrepreneurs operating in the Polish market.

The most important changes underway include:

- introducing a mandatory packaging fee,
- implementing an obligation to ensure recycled plastic content levels in beverage bottles,
- introducing the obligation to achieve levels of selective collection of packaging waste,
- appointment of an institutional representative for packaging waste,
- changes regarding the functioning of the packaging recovery organization, which will adopt the name of a producer responsibility organization,
- introducing the possibility of using plastic lids and lids attached to containers during the stage of intended use of the product. This obligation is addressed to entities intro-

ducing products in disposable plastic beverage containers with a capacity of up to 3 liters. This obligation is to apply from July 1, 2024,

- introducing the obligation to place labels on packaging indicating the method of selective waste collection. The signage must be usable by visually impaired and blind people,
- regulating the powers of the Institute of Environmental Protection – National Research Institute in the scope of supervision of the Extended Producers Responsibility system,
- improving control over recycling obligations in the system of issuing DPR (packaging waste recovery note) and EDPR (packaging waste export recovery note) documents, which are used by packaging recovery organizations.

The EPR Act entered into force on January 1, 2023, but work on finalizing the act has been delayed. In December 2023, there was a change of government, and the new management of the Ministry of Climate has taken over several delayed but priority tasks for the economy from its predecessors, one of them being building an extended producer responsibility system, which is the basis of the entire circular economy. The act should have entered into force in 2022, but the draft act was criticized by producers. In the European Union countries at that time, the issue of EPR was already well researched and included in the legal regulations of the member states [Joltreau 2022].

The new ministry has started working on the new project and estimates that it will take two years. On the one hand, business admits that this is a necessary act, but on the other hand, it calls for “fair” solutions. Producers anticipate disputes with local governments.

Currently, the Ministry of Climate and Environment (formerly Ministry of Climate) is working on further amendments to this act; two acts on extended producer responsibility are expected as part of this amendment [Józwiak 2024]. The first amendment would compensate municipalities for losses due to the exclusion of PET and beverage cans from the municipal stream, while the second would introduce extended producer responsibility. The system is designed to be developed in the future, so it is being implemented in stages. For now, there is no cash flow mechanism, there is the issue of appropriate adjustment periods, i.e. *vacatio legis*, but EU law is changing and there are many challenges in waste management. The Ministry communicates with entrepreneurs well in advance about the direction of legislative changes, so that entrepreneurs have some opportunity to adapt to the changes.

Deposit system

The deposit system that is currently in operation was implemented pursuant to the amendment to the Act on Packaging and Packaging Waste Management of July 13, 2023 [Dz.U. 2023, poz. 1852]. The main provisions of the amendment are:

- introducing the principles of operation of the national deposit system,
- establishing the territorial scope of the system and introducing a refund of the deposit without the need to present proof of purchase,
- obligation for beverage producers to mark packaging with information about the deposit, the value of which cannot exceed PLN 2.00,
- defining the conditions for operating the deposit system, issuing permits for a period of up to 10 years and establishing the rules for calculating fees in the event of failure to meet the requirements for selective waste collection.

The Act defines the concept of a deposit as a specific amount collected when selling products in beverage packaging and returned upon the return of the packaging. The deposit system is the process of collecting a deposit upon sale and returning it when the package is returned. A distinction is made between an entrepreneur dealing in the marketing of products in packaged beverages and an entrepreneur involved in the direct sale of packaged beverages.

Currently, the Ministry of Climate and Environment is working on amending the act passed in July 2023. The changes are intended to clarify the provisions regarding issuing, withdrawing and changing the authorization to operate a deposit system. The project also takes into account the industry's demands regarding, among others, the deposit following the packaging throughout the sales chain, excluding dairy product packaging, and introducing a harmonized labeling system. The new deposit system is to enter into force on January 1, 2025 [MKiŚ 2024].

Entrepreneurs introducing drinks in packages covered by the system will be obliged to place markings on these packages indicating that the package is covered by the deposit system and specifying the amount of the deposit. The system will cover single-use beverage packaging: PET bottles with a capacity of up to 3 liters, metal cans with a capacity of up to 1 liter, and reusable glass bottles with a capacity of up to 1.5 liters. The deposit amount is specified in the regulation: PLN 0.50 for PET bottles and cans, PLN 1.00 for glass bottles.

The principle of operation of the planned deposit system:

- when purchasing a drink in a package with a logo, the customer will be charged a deposit, which will be added to the price of the drink only at the checkout,
- all commercial units, regardless of their area, if they offer drinks in packages covered by the system, will collect the deposit; it does not matter the business profile of a given store, only the products offered,
- packaging covered by the system will be appropriately marked with the deposit system logo, and it will not be possible to collect the deposit for packaging without the logo,
- the deposit can be collected when you return the packaging, you will not be required to present a receipt,
- packaging can be returned at any collection point. The obligation to collect packaging covered by the system is imposed on stores over 200 m², and small stores below 200 m² may voluntarily join the system. The packaging should not be crushed before returning to the collection point,
- it will also be possible to create collection points for empty packaging outside commercial units.

Benefits of introducing the system:

- reducing environmental pollution from packaging waste,
- increasing the level of selective collection of packaging waste,
- increasing recycling rates of packaging waste,
- creating positive waste segregation habits.

Entrepreneurs placing packaged drinks on the market will be obliged to achieve certain levels of separate collection of packaging and packaging waste under the system (77% from 2025 and 90% from 2029). Additionally, for single-use plastic bottles, they

will be obliged to ensure that these packaging, including their caps and lids, contain a weight share of at least: from 2025 – 25% of recycled plastics and from 2030 – 30% recycled plastic.

In accordance with the principle of extended producer responsibility, those who introduce drinks in packaging covered by the deposit system will finance the deposit system. Those who introduce packaging will bear the costs related to, among others, the collection and transport of packaging and waste, as well as keeping records and settling deposits. The system will be further financed from unreturned deposits and from the sale of recycled materials. The Act allows for the operation of several deposit system operators on the market.

The Ministry does not expect any issues that there will be several deposit machines from different operators in a single store (which is not welcomed by Polish consumers), as the act stipulates that operators are to cooperate with each other and sign contracts (Figs 11–12). There are several operators in other EU countries, including in Germany. The Ministry of Climate and Environment believes that logistically, virtually every country in the EU can be Poland's point of reference when it comes to labeling and collection systems, but from the point of view of the multitude of operators, the best model is the German system [Ernst&Young 2024].

It should be emphasized that the EU is not forcing Poland to introduce a deposit system, but high mandatory recycling levels, such as 77% in the first year of the EU regulation and 90% in 2029, are in practice impossible to achieve without a deposit system. If producers do not achieve these levels, they will be forced to pay product fees per kilogram, as specified in the regulation of the Minister of Climate and Environmental Protection. In the first year of operation of the system, this amount is minimal and amounts to PLN 0.10 per kilogram. The Ministry continues to analyze the functioning of the deposit system to ensure that it is a fair solution, bearing in mind the appeal for a fair EPR from local government officials and entrepreneurs from the waste management industry.



Figure 11. Bottle vending machine design in a store

Rysunek 11. Projekt butelkomatu w sklepie

Source: Portal PAP Self-government.

Źródło: portal PAP Samorząd.



Figure 12. Pilot of the deposit system in Carrefour

Rysunek 12. Pilotaż systemu kaucyjnego w Carrefour

Source: Portal PAP Media Room.

Źródło: portal PAP Media Room.

EU's Packaging and Packaging Waste Regulation

Work in the European Union on the Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR), i.e. the regulation that will have a very large impact on waste management, is currently being completed.

On November 30, 2022, the European Commission published a preliminary proposal for the PPWR. The regulation introduces uniform operating rules in all EU Member States [Komisja Europejska 2022].

The PPWR introduces stricter regulations aimed at ensuring that the principles of sustainable use of packaging are respected in each European Union Member State. The PPWR Regulation will replace the existing PPWD Directive (Packaging and Packaging Waste Directive) on packaging and packaging waste, which has been in force in Europe since 2018 (which replaced Directive 94/62/EC, in force since 1994). Although the PPWD contains guidelines that all EU Member States must follow, these guidelines may be implemented differently from country to country, and there are significant differences in practice.

The primary objective of the PPWR is to reduce the impact of packaging on the environment in Europe. For this purpose, uniform rules for conducting business by producers and importers of packaged goods in the European Union have been developed. Therefore, the same packaging labels and the same definitions will apply in all EU countries. The introduction of the PPWR will result in:

- limiting the amount of packaging (weight and volume),
- eliminating packaging waste that is not suitable for recycling,
- expanding packaging recycling and the use of reusable packaging,
- extending the management of packaging processes.

The PPWR will affect business processes because:

- the use of certain types of packaging will be prohibited (from 2030), such as, among others: disposable packaging in the catering industry (food and beverages), retail (fresh fruit and vegetables) and hotel industries (toiletries and hygiene products),
- all packaging will be recyclable (from 2030),
- unnecessary space in packaging will be prohibited, the packaging must not contain more than 40% of free space or air and must be as light as possible,
- increasing the use of recycled materials in packaging will be required,
- the presence of certain substances in packaging will be limited, packaging materials will be allowed to contain a total of no more than 100 mg/kg of lead, cadmium, mercury and hexavalent chromium,
- the weight of packaging placed on the market per capita will be limited.

The PPWR was recently adopted by the European Parliament but has not yet been implemented. The final text is to enter into force in the last quarter of 2024. Poland must respect the PPWR Regulation, as it is a binding legal act and must be applied throughout the entire EU.

An appeal for a fair EPR

On March 26, 2024, nationwide local government organizations, waste management entrepreneurs and the social side appealed to the government to urgently implement a fair system of extended producer responsibility [Unia Metropolii Polskich 2024]. According to the authors of the appeal, the system should be based on municipal systems, and municipalities should be provided with appropriate financing. The signatories of the appeal criticized the planned implementation of the deposit system from January 1, 2025, because they believe that EPR should be implemented first and only then the deposit system.

It was recalled that despite many years of debates and consultations on the EPR system, it has still not been implemented in the form required by EU law for Poland. An effective and fair EPR currently does not exist in national law and immediate action must be taken to change this fact.

First of all, the EPR system should be based on municipal systems and support their functioning by ensuring adequate financing. Only if producers participate in the costs of waste collection and management will municipalities be able to prevent an increase in fee rates for residents or reduce them.

The EPR system should also take into the account complementary solutions of the deposit system and hazardous waste collection, as well as the provisions of the amended waste directive and the currently pending PPWR of the Council and the European Parliament.

The aim of all the above elements is to ensure that as much raw material waste as possible is recycled, which translates into achieving the legally required levels of recycling by Poland and all system participants, not only municipalities.

All entities supporting the appeal declared their will and readiness to cooperate and support the Ministry of Climate and Environmental in legislative work in order to achieve a common goal – creating a fair and complete EPR system combined with the deposit system that is consistent with EU law.

According to the entities signing the appeal, the future EPR system should be based on the following assumptions:

1. Introduction of a new act, not building a system in subsequent amendments.
2. Basing the EPR on existing municipal systems while maintaining full municipal authority over waste.
3. In accordance with the currently applicable waste directive, the entity introducing products in packaging should be obliged to cover the full costs of collection, transport, preparation and recycling of waste arising from its products, cover the costs of ecological education, conduct proper reporting on the amount of waste recycled, and pay a fine (named a product fee) for failure to fulfill the recycling obligations.
4. A well-structured reporting module that takes into account the interests of all parties, including:
 - records of municipal waste management systems,
 - records prepared by producer responsibility organizations,
 - records prepared by recycling companies,
 - records prepared by economic self-government organizations.

Fees paid by entrepreneurs (including the deposit) should depend on the type of packaging (ecomodulation) and be calculated for all packaging (including those covered by

the deposit system) placed on the market and calculated in such a way as to ensure full financing of the costs of waste collection and management. It is necessary to ensure that the deposit system operates as part of the EPR system and not separately. It is necessary to ensure that both systems enter into force simultaneously. The regulator of the system is to be the National Institute of Environmental Protection – Research Institute, which will perform functions in the field of supervision, control and implementation of analytical tasks in relation to the entire EPR system. The mechanism for sealing the system of issuing DPR and EDPR documents should function by giving the Regulator the authority to verify the data contained in these documents, including directly with recyclers.

The signatories of the appeal believe that taking into account the above assumptions in the final draft of the act may contribute not only to achieving the legal and economic goal, but above all also the environmental one. This will make it possible to develop a complete and coherent EPR system defining the roles and requirements for individual groups of system stakeholders and to ensure them an appropriate place in the system, without discriminating against any of them.

The signatories of the Appeal point out that work on the regulation, which will have a significant impact on waste management, is nearing completion in the European Union.

Conclusions

Due to the government's decision to legislatively regulate the issue of extended producer responsibility for recycling packaging waste, the Ministry of Climate and Environment is carrying out intensive work on further amendments to the Act on Extended Producer Responsibility, modeled on the solutions implemented in Germany.

Legislative changes regarding packaging waste management are important for the broadly understood waste industry. The situation in the municipal waste industry has been unstable for years, and since 2018, there has been an ongoing legislative offensive, resulting in constant changes in the required standards. This unstable situation translates into costs incurred by residents. It should be emphasized that all the proposed changes will largely affect local governments that own municipal waste. The implementation of the deposit system and extended producer responsibility will have a direct impact on municipalities, and the possible implementation of the PPWR indirectly. The implementation of EPR is part of the implementation of the principles of a circular economy in the field of waste management, as it ensures the implementation of the "polluter pays" principle. All waste management entities agree that the implementation of the EPR system will change the entire functioning of the municipal waste management system.

Municipal governments criticize government proposals to transfer funds from packaging fees to packaging recovery organizations, because municipalities have been constructing and strengthening their municipal waste management systems since 2011 as part of the implementation of their own tasks, which are regulated primarily by the provisions of the constitution specifying the role and place of local government. The EPR system should complement these systems with an important factor, which is the financial element, which should be fair, effective, transparent and controllable. Therefore, those who place products on the market should pay fees under extended producer responsibility

to the operator, a public entity, which would then transfer these funds within the public finance sector to local government units as funds intended solely for the implementation of waste tasks, which, in accordance with the waste directive, should be financed from the EPR system. Municipal governments have undertaken an initiative called “Fair EPR,” which brings together all local government organizations from large metropolises to small communes, and its main postulate is to introduce extended responsibility first, and the deposit system should only be implemented in the second stage.

Despite appeals from municipal governments arguing that only the EPR system with transparent rules of financial and organizational responsibility will ensure success in achieving environmental and social goals, the Ministry of Climate and Environment distances itself from their demands.

The introduced deposit system is a challenge not only for the waste industry but also for the industry of enterprises that collect packaging. Experts from the Polish Chamber of Packaging emphasize that stores are primarily responsible for organizing the trade system and operating the deposit system is an additional task imposed on them. Residents will have to return undamaged bottles, and then it may turn out that the support for the system expressed in surveys will quickly turn into discouragement, the consequences of which will be borne by the entire industry. Today, residents support the implementation of the system, but they do not take into the account that it may result in higher prices for waste collection, because waste collection companies will have to compensate for the lack of valuable raw materials in the collected waste.

The contractor providing waste collection services to the commune will include in the price of the service the risk of failure to achieve the stipulated levels, which will be transferred to it. As a result, the miniature cosmetics packaging used in hotels and disposable tableware will be withdrawn from the market, and plastic bags with a thickness of less than 15 microns will disappear. It should be noted that many types of packaging will no longer be produced, which will ultimately translate into the raw material composition of future waste. Experts predict that the implementation of changes in packaging waste management due to the implementation of the extended producer responsibility system will make the EU requirements to achieve a 55% waste recycling level by 2025 unrealistic.

Waste processing installations will have to operate differently, but the changes will also be felt by residents as customers who buy packaged goods. The changes will affect not only the packaging industry but also broad areas of the national economy, such as trade and transport.

References

- Bentkowski J.M., Bentkowski J.M., 2020: Development of freight transport in the European Union – selected issues, *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management* 145, 23–45.
- Bril J., Rydygier E., 2020: Implementation of return logistics rules in waste management by municipalities, *Scientific Journal of Warsaw University of Life Sciences on Economics and Organization of Logistics* 5, 2, 53–63.
- Brown A., Laubinger F., Borkey P., 2023: New Aspects of EPR: Extending producer responsibility to additional product groups and challenges throughout the product lifecycle, *OECD Environment Papers* 225, Worley, Sydney, Australia.

- Emblem A., Emblem H., 2023: Technika opakowań. Podstawy, materiały, procesy wytwarzania [Packaging technology. Basics, materials, manufacturing processes], Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa [in Polish].
- Ernst&Young, 2024: Niemiecka ustawa o opakowaniach i nowe obowiązki polskich firm [German Packaging Act and new obligations of Polish companies]; [in Polish], [electronic source] https://www.ey.com/pl_pl/law/niemiecka-ustawa-o-opakowaniach-i-nowe-obowiazki-polskich-firm [accessed: 08.05.2023].
- Eurostat, 2023: Packaging waste statistics, [electronic source] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics#Waste_generation_by_packaging_material [accessed: 10.10.2024].
- Farmer N. (ed.), 2022: Innowacje w opakowaniach żywności i napojów [Innovations in food and beverage packaging], Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa [in Polish].
- Forbes Insights, 2024: The Empty Space Report, [electronic source] <https://www.forbes.com/conect/forbes-insights-reports> [accessed: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics#Waste_generation_by_packaging_material [accessed: 10.10.2024].
- Gembora A., 2023: Gospodarka odpadami opakowaniowymi – co musisz o niej wiedzieć [Packaging waste management – what you need to know about it], Wiedza i Praktyka, Sulejówek [in Polish].
- GUS, 2022: Ochrona Środowiska [Environmental Protection], Warszawa [in Polish].
- Hassak K., 2019: Wymagania logistyczne opakowań transportowych [Logistical requirements of transport packaging], Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź [in Polish].
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:de4f236d-7164-11ed-9887-01aa-75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF [accessed: 30.11.2022].
- Interreg Europe, 2020: Sustainable waste management in a circuit economy, Interreg Europe, European Union, European Regional Development Fund, Brussels, Belgium.
- IOŚ-PIB, 2022: Gospodarka opakowaniami i odpadami opakowaniowymi w Polsce w 2020 r. Sprawozdania organizacji odzysku opadów opakowaniowych [Packaging and packaging waste management in Poland in 2020. Reports of the packaging waste recovery organizations], Instytut Ochrony Środowiska – PIB w Warszawie [in Polish].
- Iwaszczuk A., Sabal M., Nowaczek A., Kurtyna-Bakalarska M., Ulerman R., Mazur J., 2022: Wdrażanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w praktyce gospodarczej [Implementing the principles of the circular economy in business practice], Wydawca Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków [in Polish].
- Janowski S., 2023: Opakowania transportowe. Poradnik [Transport packaging. Guide], Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa [in Polish].
- Joltreau E., 2022: Extended Producer Responsibility, Packaging Waste Reduction and Eco-design, Environmental and Resource Economics 83, 3, 1–52.
- Jóźwiak Z., 2024: Kłopoty z ROP: Klienci i tak zapłacą, pytanie, kto rozdysponuje pieniądze, ROP coraz bardziej niepokoi przedsiębiorców [Problems with ERP: Customers will pay anyway, the question is who will distribute the moneyEPR worries entrepreneurs more and more], Prawo.pl, [electronic source] <https://www.prawo.pl/samorzad/rop-coraz-bardziej-niepokoi-przedsiębiorcow,529191.html> [accessed: 26.09.2024] [in Polish].
- Kawęcka A., Cholewa-Wójcik A., 2019: Challenges for the packaging industry in the Circular Economy, Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN 109, 5–15.

- Kaźmierczak M., 2022: Ekologistyka a rozwój opakowań w łańcuchu dostaw (cz. 2), [Ecologistics and the development of packaging in the supply chain (part 2)], *Gospodarka Materiałowa i Logistyka* 3, 20–30, [in Polish].
- Komisja Europejska, 2022: Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych, zmieniające rozporządzenie (UE) 2019/1020 i dyrektywę (UE) 2019/904 oraz uchylające dyrektywę 94/62/WE Projekt Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE o opakowaniach i odpadach opakowaniowych z dn. 30.11.2022 r. [Regulation of the European Parliament and of the Council on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904 and repealing Directive 94/62/EC Draft Regulation of the European Parliament and of the EU Council on packaging and packaging waste dated November 30, 2022], [in Polish].
- Meherishi L., Narayana S.A., Ranjani K.S., 2019: Sustainable packaging for supply chain management in circular economy: A review, *Journal of Cleaner Production Supply* 237, 117582.
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska [MKiŚ], System Kaucyjny [Deposit system], [electronic source], <https://www.gov.pl/web/klimat/system-kaucyjny> [accessed: 27.09.2024].
- OECD, 2015: *Environment at a Glance*, OECD Publishing, Paris, France.
- Rapalski P., 2024: Kraków. Budują Centrum Recyklingu Odpadów Komunalnych przy ul. Igłomskiej w Nowej Hucie [Cracow. They are building a Municipal Waste Recycling Center at on Igłomska Street in Nowa Huta], *Kraków Nasze Miasto*, [electronic source] <https://krakow.naszemiasto.pl/krakow-uduja-centrum-recyklingu-odpadow-komunalnych-przy/ar/c3-9664825> [accessed: 04.04.2024].
- Regattieri A., Santarelli G., Piana F., 2018: *Packaging Logistics*, Chapter in: *Operations, Logistics and Supply Chain Management*, Series: *Lecture Notes in Logistics*, Springer, Berlin.
- Rydygier E., Bril J., 2020: Waste management in Poland versus the circular economy, *Scientific Journal of Warsaw University of life Sciences on Economics and Organization of Logistics* 5, 2, 83–95.
- Sikorski P. (ed.), 2021: *Gospodarka o obiegu zamkniętym w przedsiębiorstwie. Poradnik dla małych i średnich przedsiębiorców* [Circular economy in the enterprise. A guide for small and medium-sized entrepreneurs], Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Warszawa [in Polish].
- Stepnowska M., Roślicki J., Grzybowska K., 2018: Wpływ formy opakowań na realizację procesów logistycznych [The influence of the form of packaging on the implementation of logistics processes], *Gospodarka Matrriałowa i Logistyka* 9, 11–16, PWE, Warszawa-Warsaw [in Polish].
- Szczech-Pietkiewicz E., Czerniak A., 2024: Gospodarka obiegu zamkniętego jako potencjał zrównoważonego rozwoju polskich przedsiębiorstw [Circular economy as a potential for sustainable development of Polish enterprises], *Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów* 197, 88–96, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Kolegium Zarządzania i Finansów, Warszawa [in Polish].
- Unia Metropolii Polskich, 2024: Apel o sprawiedliwy ROP [An appeal for a fair EPR], [electronic source] <https://www.metropolie.pl/artukul/apel-o-sprawiedliwy-rop-1> [accessed: 26.03.2024].
- Urząd Dzielnicy Ursynów m.st. Warszawy, Portal Ursynów 2020: Pierwszy recykler na Ursynowie [The first recycler in Ursynów], *Urząd Dzielnicy Ursynów m. st. Warszawy*, [electronic source] <https://ursynow.um.warszawa.pl/pierwszy-recykler-na-ursynowie> [(dostępaccessed: 24.01.2020)].

- Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach [Act of 14 December 2012 on waste, as amended], [Dz.U. 2013 poz. 21 z późn. zm.], [in Polish].
- Ustawa z dnia 13 czerwca 2013 r. o gospodarce opakowaniami i odpadami opakowaniowymi [Act of 13 June 2013 on packaging and packaging waste management], [Dz.U. 2013 poz. 888], [in Polish].
- Ustawa z dnia 13 lipca 2023 r. o zmianie ustawy o gospodarce opakowaniami i odpadami opakowaniowymi [Act of July 13, 2023 amending the Act on packaging and packaging waste management], [Dz.U. 2023, poz. 1852] [in Polish].
- Vuk A., Szucs I., Gathy A. B., 2023: Packaging waste and recycle in EU, Intern, Review of Applied Sciences and Engineering 14, 3, 402–412.
- Wiesmeth H., 2020: Implementing the Circular Economy for Sustainable Development Sustainable Development, Elsevier, Amsterdam.
- Wojewódzka-Król K., Roblecki R., 2018: Infrastruktura transportu. Europa Polska – Teoria i praktyka [Transport infrastructure. Europe Poland – Theory and practice], Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa [in Polish].
- Żakowska H., 2021: Opakowania a środowisko: wymagania, standardy, projektowane, znakowanie [Packaging and the environment: requirements, standards, design, labeling], Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa [in Polish].
- Zhuo Y., He J., Li W., Deng J., Lin Q., 2023: A review on takeaway packaging waste: Types, ecological, impact, and disposal route, Environmental Pollution 337, 122518.

Małgorzata Górka✉

Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie

Wykorzystanie metod i narzędzi zarządzania jakością w przedsiębiorstwie na przykładzie firmy odzieżowej

Application of quality management methods and tools in the enterprise on the example of a clothing company

Synopsis. Współcześnie przedsiębiorstwa są bardziej świadome konieczności doskonalenia swoich produktów i procesów. Nieustannie dostosowują możliwości technologii do zmieniających się potrzeb klientów oraz aktywnie poszukują nowoczesnych rozwiązań, które pozwolą im realizować zamówienia, przy jednoczesnym zachowaniu najwyższych standardów jakości. Głównym celem pracy była identyfikacja przyczyn problemów występujących w procesie produkcyjnym wybranego przedsiębiorstwa z branży odzieżowej za pomocą diagramu przyczynowo-skutkowego Ishikawy oraz metody 5Why. Zidentyfikowano również poboczne problemy badanego przedsiębiorstwa w różnych obszarach procesu produkcyjnego. Ponadto wskazano możliwości wdrożenia działań, które w przyszłości pomogą zminimalizować bądź wyeliminować zidentyfikowane trudności.

Słowa kluczowe: zarządzanie jakością, przedsiębiorstwo, metody zarządzania jakością, techniki zarządzania jakością, studium przypadku, przedsiębiorstwo branży odzieżowej

Abstract. Today, companies are more aware of the need to improve their products and processes. They constantly adapt technology capabilities to the changing needs of customers and actively look for modern solutions that will allow them to fulfill orders while maintaining the highest quality standards. The main aim of the work was to identify the causes of problems occurring in the production process of a selected enterprise from the clothing industry using the Ishikawa cause-and-effect diagram and the 5Whys method. Secondary problems of the examined company in various areas of the production process were also identified. In addition, opportunities to implement actions that will help minimize or eliminate the identified difficulties in the future were indicated.

Key words: quality management, enterprise, quality management methods, quality management techniques, case study, clothing industry company

Kody JEL: D01, D04, D22, D29, M11

✉ **Małgorzata Górka** – Państwowa Akademia Nauk Stosowanych; e-mail: malgorzata.gorka@pans.krosno.pl; <https://orcid.org/0000-0003-2763-2780>

Wstęp

Wraz z rozwojem społeczeństwa zmianie uległy jego oczekiwania względem dostarczanych mu produktów i usług, spojrzenie na jakość uległo ewolucji. Obecnie jakość odgrywa coraz większą rolę i jest najskuteczniejszym narzędziem w konkurencji rynkowej, a zadowolenie konsumenta stało się jednym z najważniejszych czynników sukcesu rynkowego [Olszewska, 2014]. Jakość w ujęciu konsumenckim oznacza cechy lub właściwości, których oczekuje klient, określa stopień doskonałości produktu lub usługi [Roszak 2014]. Zmieniające się w ostatnich latach trendy konsumenckie przyczyniają się do wzrostu poziomu świadomości, znajomości praw oraz postaw i potrzeb konsumentów. Zyskują oni kompetencje, które pozwalają im na dokonanie oceny jakości produktu i optymalizację podejmowanych decyzji zakupowych. Nabywcy nie poszukują produktów czy tanich usług, są gotowi zapłacić więcej, by kupić produkt dobrej jakości. Konieczne zatem jest dostarczenie na rynek produktów i usług, które spełnią, a nawet przewyższą potrzeby obecnych i przyszłych klientów, a dla organizacji warunkiem niezbędnym do przetrwania i rozwoju jest ich ciągłe doskonalenie.

Zarządzanie jakością to podejście, w którym dąży się do zapewnienia wysokiego poziomu jakości produktowi, usłudze, procesowi, a także organizacji jako całości celem spełnienia wymagań, potrzeb i oczekiwań klientów. Każde działanie w przedsiębiorstwie może wpływać na jakość produktu. Zarządzanie jakością obejmuje całą organizację, w której każdy pracownik powinien dążyć do doskonalenia własnej pracy. Tworzenie jakości to skomplikowany proces, który obejmuje wiele obszarów: aspekty techniczne, ekonomiczne, organizacyjne, a także świadomość ludzką. Wysoka jakość wyrobów jest dla organizacji szansą na zysk, obniżenie kosztów produkcji, zadowolenie klienta i zapewnienie jego lojalności.

Wdrażanie nowoczesnych metod organizacji i zarządzania procesami produkcyjnymi pozwala w sposób usystematyzowany oraz ciągły usprawniać, a także doskonalić najważniejsze procesy, pomaga utrzymać standard oferty na odpowiednim poziomie, jest również gwarancją, że organizacja dąży do ciągłego doskonalenia produktów i procesów, poprawy ich jakości oraz minimalizacji niezgodności [Nowicki i in. 2013]. Metody i narzędzia zarządzania jakością służą utrzymaniu wysokiej jakości i doskonaleniu wyrobów, a jakość kształtowana jest w całym cyklu życia wyrobu (od projektu, poprzez zaopatrzenie, produkcję, dystrybucję po usługi posprzedażowe), dlatego organizacje powinny wykorzystać cały wachlarz instrumentów zarządzania jakością, by rozwiązywać problemy jakościowe na różnych etapach przepływu towarów w łańcuchach dostaw [Zimon 2014]. Jak zauważa Wojtynek i Budzik [2015], zastosowanie narzędzi jakościowych jest podstawą do poprawy każdego procesu, a wyniki zastosowania danego narzędzia zależą od umiejętności oraz doświadczenia w ich wdrażaniu.

Przegląd piśmiennictwa

Jakość jest jednym z kluczowych wyróżników organizacji, decydującym o jej konkurencyjności i wizerunku. Wymaga ciągłego doskonalenia wszystkich obszarów: procesów produkcyjnych, świadomości ludzkiej, aspektów organizacyjnych oraz ekonomicznych. Tworzenie jakości jest długotrwałym procesem. Przedsiębiorstwa,

które chcą pozostać konkurencyjne na rynku, kładą ogromny nacisk na zarządzanie jakością. Myślenie jakościowe mogą wykorzystać do głębszego i obszerniejszego wykorzystania swoich możliwości [Żółtowski i Żółtowski 2012]. Zdaniem Łukasińskiego [2009] organizacje, które chcą umocnić swoją pozycję na rynku, muszą osiągnąć odpowiedni poziom jakości oferowanych produktów. Wymaga to systematycznej optymalizacji jakości pracy zarówno zarządzających, jak i pracowników. Jakość wyrobów zależy głównie od kierujących organizacją, dlatego na sukces rynkowy tak duży wpływ ma jakość zarządzania.

Zarządzanie jakością jest stanem świadomości, w którym zmiany w organizacjach prowadzą przede wszystkim do poprawy jakości i zwiększenia produktywności. Czynnikiem jakości decyduje o ich sukcesie rynkowym, dlatego organizacje starają się jak najlepiej sprostać oczekiwaniom i potrzebom wszystkich osób zainteresowanych jakością produktu lub procesem jego wytwarzania. System zarządzania procesem kreowania jakości jest narzędziem zarządzania przedsiębiorstwem. Sam proces zarządzania jakością obejmuje wszystkie działania, które prowadzą do doskonalenia jakości [Jakubiec 2014]. Jak zauważają Skrzypek i in. [2019] zarządzanie jakością oznacza, że organizacja podejmuje decyzje oparte na faktach dla osiągnięcia celów w sposób efektywny. System taki musi być odpowiednio użytkowany i obsługiwany. Do elementów użytkowania systemu zarządzania jakością zaliczyć można: dokumentację, politykę jakości, cele, szkolenia, wdrożenie metod i technik zarządzania jakością.

Zarządzanie jakością polega na opracowywaniu i ciągłej aktualizacji polityki jakości oraz celów jakościowych, planowaniu realizacji tych celów, ciągłym monitorowaniu procesów wpływających na jakość oraz ciągłym jej doskonaleniu w firmie. Jak podaje Ejdyś [2011], zarządzanie jakością to zarządzanie procesami, zasobami organizacji, a także innymi czynnikami, które mają wpływ na jakość. W systemie zarządzania jakością najważniejszym obiektem jest klient wewnętrzny i zewnętrzny, który określa swoje wymagania jakościowe, a celem systemu zarządzania jakością jest wykorzystanie wszystkich zasobów organizacji, by to osiągnąć.

Instrumenty zarządzania jakością stosowane są do rozwiązywania różnorodnych problemów pojawiających się w przedsiębiorstwach. W tym obszarze wykorzystuje się szerokie spektrum narzędzi i metod, które są ciągle doskonalone i ulepszane. Instrumenty te wspierają działania organizacji przez dostarczenie odpowiednio przetworzonych danych o zdarzeniach i procesach, pozwalają organizacjom doskonalić jakość procesów oraz produktów, przez eliminację wad i marnotrawstwa. Instrumenty jakości możemy podzielić na: zasady, metody, narzędzia i techniki. Jak zauważa Ratajszczak [2021] w literaturze przedmiotu pojawiają się jednak trudności związane z określeniem, co stanowi metodę, technikę, a co narzędzie. Tradycyjnie przyjmuje się, iż:

1. **Zasady** działają długoterminowo i wpływają na strategię rozwoju firmy, wykraczają poza ramy organizacji i trudno jest na bieżąco oceniać ich wyniki. Nie dostarczają gotowych rozwiązań czy schematu postępowania, nie zawierają wytycznych operacyjnych, ale mogą służyć do kierowania i motywowania działań oraz wpływania na motywację pracowników do działania na rzecz doskonalenia i podnoszenia jakości [Mazur i Gołaś 2010]. Zasady określają strategię rozwoju organizacji. Są to normy postępowania, standardy i reguły uznawane za podstawę zachowań i działania jak np. podejście systemowe, przywództwo, orientacja na klienta.

2. Metody pozwalają na rozwiązywanie zadań w całym cyklu życia wyrobu. Cechują się dużą złożonością, pozwalają kształtować jakość projektową i jakość wykonania. Wykorzystują dane zebrane przy pomocy narzędzi jakości. Metody są zorientowane na osiąganie określonych celów, przeznaczone są do wykorzystania na konkretnych etapach wytwarzania wyrobów. Do metod zarządzania jakością zaliczamy m.in.: audyt jakości, FMEA, DOE, QFD, Poka Yoke [Starzyńska i Grabowska 2010].
3. Narzędzia to instrumenty zarządzania jakością, które służą do gromadzenia i przetwarzania danych ilościowych i jakościowych związanych z różnorodnymi aspektami zarządzania jakością. Stosowane są w obrębie konkretnej techniki bądź metody. Możemy tutaj wyróżnić np.: schemat blokowy, diagram Ishikawy, histogram, diagram Pareto, karty kontrolne [Wiśniewska i Grudowski 2014]. W literaturze przedmiotu najczęściej spotkamy podział narzędzi na tradycyjne, nowe i wspomagające. Tradycyjne narzędzia zarządzania jakością wykorzystuje się do identyfikacji punktów w procesach (usługach czy produktach), gdzie pojawiają się niezgodności oraz do analizowania przyczyn ich powstawania. Nowe narzędzia jakości stanowią uzupełnienie tradycyjnych narzędzi, mają na celu wspomaganie organizacji w doskonaleniu swoich procesów [Winkowska i Winkowski 2018]. Narzędzia stosowane są zazwyczaj w ramach danej metody, ale funkcjonują również jako niezależne techniki.

Cel, materiał i metodyka badań

Celem pracy była identyfikacja przyczyn problemów występujących w procesie produkcyjnym wybranego przedsiębiorstwa z branży odzieżowej przy pomocy diagramu przyczynowo-skutkowego Ishikawy oraz metody 5Why. Zidentyfikowano główny, jak również poboczne problemy badanego przedsiębiorstwa w różnych obszarach procesu produkcyjnego. Ponadto w pracy wskazano możliwości wdrożenia działań, które w przyszłości pomogą zminimalizować lub wyeliminować zidentyfikowane trudności.

Materiał badawczy stanowiły głównie udostępnione dokumenty, rozmowy z kierownictwem i kadrą pracowniczą oraz przeprowadzenie audytu wstępnego, który miał za zadanie dostarczenie informacji o istniejących w firmie warunkach pracy i występujących problemach. Wyniki audytu oraz prowadzone rozmowy i obserwacje pozwoliły na określenie źródeł istniejących problemów występujących w procesie produkcyjnym, a także pozwoliły na identyfikację kierunków zmian w zarządzaniu jakością firmy.

Badanie zostało przeprowadzone w lutym, marcu i kwietniu 2023 roku w przedsiębiorstwie branży odzieżowej, specjalizującym się w produkcji odzieży roboczej i firmowej, prowadzące działalność w formie spółki akcyjnej, w województwie podkarpackim w powiecie krośnieńskim. Spółka działa od 2012 roku i zatrudnia około 80 pracowników. Praca odbywa się w systemie jednozmianowym. Przedsiębiorstwo ma własną halę produkcyjną, krojownię, magazyn wyrobów gotowych oraz nowoczesny park maszynowy. Spółka mieści się w jednym budynku podzielonym na szwalnię i hafciarnię, ma również studio projektowania haftów i nadruków. Przedsiębiorstwo specjalizuje się w produkcji odzieży roboczej, ochronnej i reklamowej. Odzież robocza używana jest na poszczególnych stanowiskach pracy, dostosowana jest do jej charakteru oraz różnych czynności wynikających z zakresu obowiązków pracowniczych. Do odzieży

roboczej zaliczamy: bluzy, koszule, koszulki, kamizelki, spodnie, oraz akcesoria: czapki, kaski, okulary, rękawiczki. Głównym celem odzieży ochronnej jest zapewnienie pracownikowi ochrony przed określonym czynnikiem, który nie stanowi bezpośredniego zagrożenia dla życia i nie powoduje poważnych lub trwałych uszkodzeń zdrowia jak np. odzież dla spawaczy, pracowników narażonych na kontakt z silnymi substancjami chemicznymi czy odzież ostrzegawcza.

Asortyment produkowanej odzieży jest bardzo duży, do wyboru jest wiele kolekcji odzieży roboczej, szeroka paleta kolorów i rozmiarów:

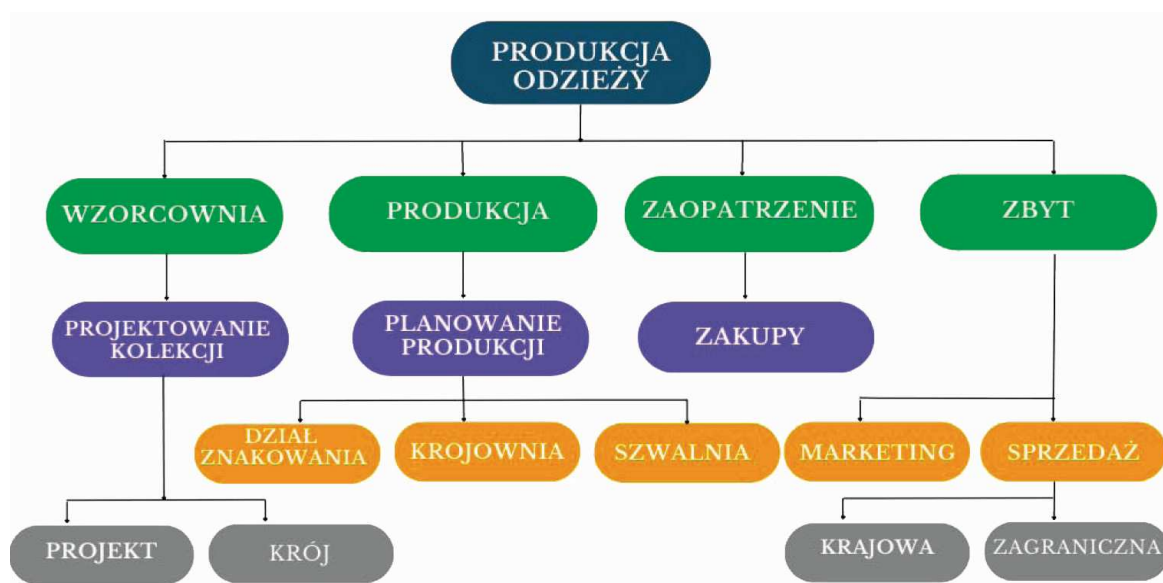
- odzież robocza (spodnie robocze, bluzy robocze, kurtki ocieplane, odzież odblaskowa, kurtki typu *softshell*, koszulki robocze, fartuchy, polary);
- odzież odblaskowa dla pracowników poruszających się po drogach przy ograniczonej widoczności, pracowników na budowie, do tzw. prac wewnątrz, na magazynie czy halach produkcyjnych;
- odzież medyczna: żakiety medyczne damskie, fartuchy medyczne, spódnice medyczne oraz spodnie;
- odzież robocza ocieplana przeznaczona dla pracowników pracujących na zewnątrz. Zapewnia zabezpieczenie przed śniegiem, deszczem i wiatrem. Asortyment to m.in.: wodoodporne kurtki robocze zimowe, bluzy robocze ocieplane, bezrękawniki robocze, spodnie robocze ocieplane do pasa, spodnie robocze ocieplane ogrodniczeki;
- odzież hotelowa przeznaczona dla hoteli, restauracji, salonów SPA. Asortyment to m.in.: sukienki firmowe, koszule firmowe damskie, koszule firmowe męskie, spodnie wizytowe, żakiety kosmetyczne, spodnie i bluzy kosmetyczne, odzież dla pokojówek, zapaski kelnerskie;
- odzież dla gastronomii – odzież dedykowana do użytku w gastronomii przez: kucharzy, pomocników kuchennych, kelnerów oraz obsługę Sali. Asortyment to: zapaski kelnerskie, kitle kucharskie, koszule firmowe, fartuchy;
- odzież reklamowa ozdobiona haftem, sitodrukiem transferowym, folią *flex*, *flock* i *subliflock*.

Metody badawcze wykorzystane w pracy to metoda dokumentacyjna, metoda analizy i krytyki piśmiennictwa – *case study*.

Proces technologiczny produkcji odzieży

Proces realizacji zamówienia w badanym przedsiębiorstwie rozpoczyna się po ustaleniu telefonicznym bądź e-mailowym przez dział handlowy informacji dotyczących specyfikacji produktu i wymagań klienta (rodzaj produktu, liczba sztuk, kolor, a także wielkość i umiejscowienie logo lub hasła reklamowego). Wykonywana jest wycena zamówienia, a po jej akceptacji przez klienta uruchamia się proces produkcji odzieży. Schemat organizacji przedsiębiorstwa został przedstawiony na rysunku 1.

Proces technologiczny produkcji odzieży składa się z kilku etapów: przygotowania produkcji (projektowanie, konstruowanie, cięcie materiałów, przygotowanie do szycia), produkcji (szycie), i post produkcji (wykańczanie z prasowaniem, oznakowanie, metkowanie, pakowanie oraz transport).



Rysunek 1. Schemat organizacji przedsiębiorstwa

Figure 1. Company organization chart

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

Dane z procesu produkcyjnego zebrano podczas metody obserwacji bezpośredniej oraz dokumentacji udostępnionej przez przedsiębiorstwo. Metoda obserwacji bezpośredniej umożliwiła kompletne zrozumienie procesu produkcyjnego i rzetelne przeprowadzenie badań. Identyfikację problemów poprzedzono przeprowadzeniem wywiadów pogłębiających z przedstawicielami działów biorących udział w procesie produkcyjnym. Do zebrania i zobrazowania poszczególnych przyczyn powodujących występowanie problemów w procesie wykonano diagramy Ishikawy. Uzupełnieniem identyfikacji było zastosowanie narzędzia 5Why, które przez ciągłe pytanie „dlaczego” częściowo doprowadziło do gotowych rozwiązań w odpowiedzi na powstałe problemy w procesie produkcyjnym. Dzięki takiemu podejściu kompleksowo zidentyfikowano problemy, a także konkretnie wskazano możliwości wdrożenia działań zmniejszających bądź eliminujących wskazane problemy.

Wyniki badań

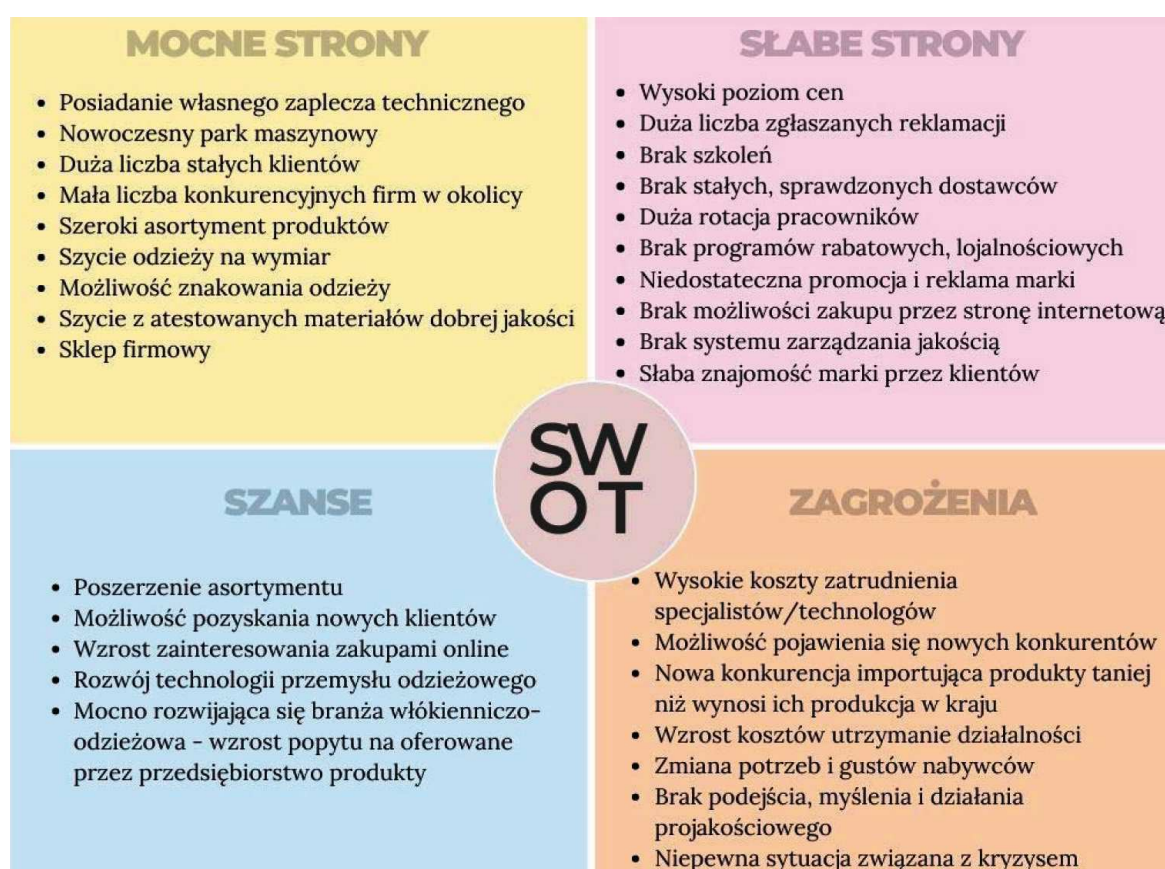
W każdym przedsiębiorstwie produkcyjnym napotyka się na problemy, zarówno mniejsze, jak i większe, a umiejętność skutecznego ich rozwiązywania jest kluczowa dla odróżnienia organizacji o niskiej efektywności od tych, które osiągają najwyższe cele [Chruściel 2022]. Aby wyeliminować niezgodności lub im zapobiec, niezbędne jest ustalenie źródła ich powstawania. Stanowi to kluczową kwestię w usprawnianiu działania przedsiębiorstwa. Nie tylko należy zidentyfikować przyczyny problemu, ale także określić, które z nich mają największe znaczenie oraz ustalić związki między nimi.

Obserwacja przebiegu procesu produkcji odzieży w analizowanym przedsiębiorstwie, przeprowadzone w trakcie wywiadu pogłębionego z kadrą pracowniczą, które dotyczyły jakości produktów ukazały główne problemy, które następnie poddano dalszej analizie.

W tym celu wykorzystano analizę SWOT oraz narzędzia zarządzania jakością takie jak diagram przyczynowo skutkowy Ishikawy, oraz 5Why.

Celem przeprowadzonej analizy SWOT była ocena wewnętrznych i zewnętrznych czynników, które mają wpływ na badane przedsiębiorstwo i produkt. Przeprowadzona analiza pozwoliła zidentyfikować mocne i słabe strony wewnętrzne oraz szanse i zagrożenia zewnętrzne. Umożliwiło to lepsze zrozumienie bieżącej sytuacji przedsiębiorstwa. Przeprowadzono ją po wnikliwej analizie dokumentacji finansowej i marketingowej firmy, a także raportów sprzedażowych oraz po przeprowadzonych rozmowach z kadrami kierowniczą.

Analiza SWOT została wykorzystana jako narzędzie diagnostyczne do oceny aktualnej sytuacji organizacji i jej produktu.



Rysunek 2. Analiza SWOT

Figure 2. SWOT Analysis

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

Przeprowadzona analiza SWOT (rys. 2) wykazała, że silną stroną przedsiębiorstwa jest posiadanie własnego zaplecza technologicznego. Spółka ma własną halę produkcyjną z nowoczesnym parkiem maszynowym. Mocną stroną jest również duża zdolność konkurencyjności – jakość produktów odgrywa dużą rolę, a wyroby produkowane są z dobrych jakościowo, certyfikowanych materiałów. W okolicy nie ma dużych producentów odzieży roboczej. Do mocnych stron zaliczyć należy także duży wybór asortymentu, szybie

odzieży według wzoru klienta oraz możliwość znakowania odzieży jedną z kilku metod. Spółka ma również stacjonarny sklep firmowy – dodatkowy kanał dystrybucji. Słabą stroną przedsiębiorstwa są między innymi wysokie, mało konkurencyjne ceny produkowanej odzieży. Firmy, zakupując odzież roboczą, nie zawsze największą wagę przywiązują do jej jakości, ważna jest także jej cena. Problemem jest także znaczna ilość skarg i reklamacji (spowodowanych np. zbyt długim oczekiwaniem na realizację zamówienia), co negatywnie wpływa na wizerunek marki. Słaba rozpoznawalność firmy spowodowana jest przez niewystarczające działania marketingowe, niskie nakłady na reklamę. Brak systemu zarządzania jakością może w przyszłości uniemożliwić firmie uzyskanie kontraktów lub prowadzenie interesów z najbardziej znaczącymi przedsiębiorstwami. Największą szansą jest możliwość pogłębiania bądź poszerzania asortymentu, dopasowanie go do obecnych trendów i potrzeb konsumentów, co może przyczynić się do zdobycia nowych klientów oraz wzrostu sprzedaży. Rozwój technologii przemysłu odzieżowego, zastosowanie nowoczesnych technologii w powiązaniu z nowoczesnymi maszynami jest dla spółki okazją na zwiększenie udziału w rynku odzieżowym. Szansą na rozwój przedsiębiorstwa i zwiększenie sprzedaży może być także sprzedaż przez Internet – klienci coraz częściej preferują taką formę zakupu.

Identyfikacja i analiza przyczyn niezgodności za pomocą diagramu Ishikawy oraz metody 5Why

Jednym z rezultatów prowadzenia działalności produkcyjnej są wyroby niezgodne, czyli takie, które nie spełniają wymagań klienta. Przyczyną takiego stanu rzeczy może być niewłaściwe wykonanie jednego lub kilku etapów procesu produkcyjnego, zastosowanie nieodpowiedniego materiału lub komponentu, nieprawidłowe przechowywanie czy transport. Straty finansowe wynikające z niskiej jakości wyrobów, błędów w cyklu produkcyjnym stanowią dodatkowe obciążenie dla organizacji. Wyróżnić możemy następujące przyczyny powstania wyrobów niezgodnych:

- Przyczyny techniczne – odnoszą się zarówno do problemów związanych z procesem produkcji, jak i z samym wyrobem. Są to np. awarie maszyn, błędy w konstrukcji wyrobu, użycie niskiej jakości materiałów.
- Przyczyny ludzkie – odnoszą się zarówno do problemów związanych z czynnikiem ludzkim, jak i z komunikacją w zespole. Przykładem takich problemów może być brak umiejętności i doświadczenia pracowników.
- Przyczyny organizacyjne – odnoszą się do problemów związanych z zarządzaniem produkcją i jakością w organizacji, jak brak jasno określonych procedur jakościowych czy braki w procesach, procedurach i systemach.

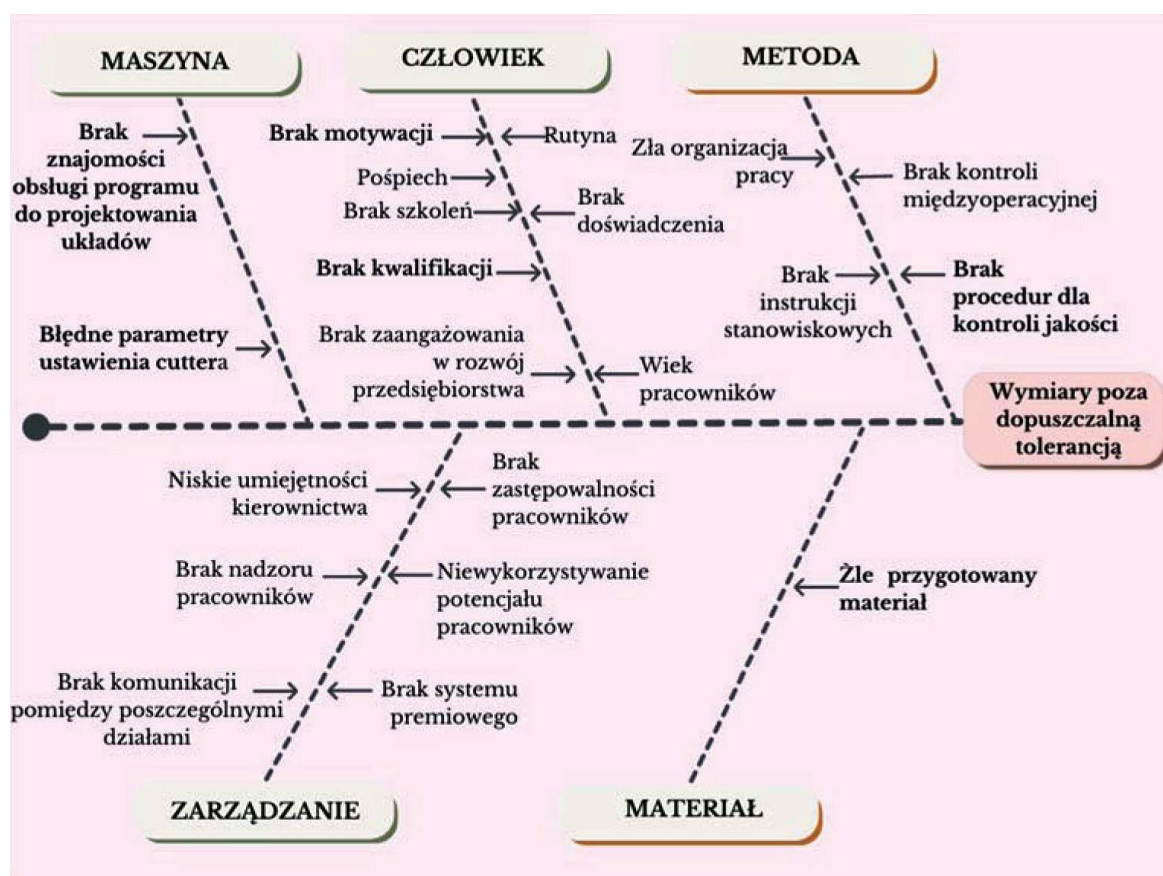
W związku z informacją z działu sprzedaży o zwiększonej ilości zgłaszanych przez klientów reklamacji zwłaszcza w ostatnim kwartale (odsetek reklamacji dla każdego wyrobu wynosił około 10% zamówień), w przedsiębiorstwie przeprowadzono analizę w odniesieniu do przyczyn, których reklamacje te dotyczyły. Najczęściej powtarzającymi się przyczynami skarg i reklamacji były:

1. Wymiary poza dopuszczalną tolerancją (co oznacza, że konkretne wymiary danego elementu odzieży są poza zakresem akceptowalnych odchyłeń. Dopuszczalna tolerancja wykonania odzieży w każdym wymiarze wynosi ± 1 cm).

2. Wady estetyczne odzieży (na podstawie zgłaszanych od klientów reklamacji wytypowano następujące wady: niedokładne lub nierównomierne szwy; niedociągnięcia, niedopasowanie części odzieży; nierówna długość rękawów lub nogawek; niezgodne z dokumentacją połączenia poszczególnych elementów wykroju; uszkodzenia materiałów: plamy, zatłuszczenia, przetarcia, wyblaknięcia, zmarszczki, rozciągnięcia lub skurcze materiałów; wady związane z dekoracją: niedokładne umieszczenie logo, napisów lub haftów, niedokładne ozdobienie odzieży, błędy w kolorach i wzorach aplikacji; niewłaściwe zamocowanie guzików, zamków lub haftu, brak szwów zabezpieczających; brak dodatków krawieckich).

3. Zbyt długi czas oczekiwania na realizację zamówienia.

Do analizy niezgodności i błędów w procesie produkcji wykorzystano narzędzia zarządzania jakością – diagram Ishikawy oraz 5Why.



Rysunek 3. Diagram Ishikawy dla problemu wymiary poza dopuszczalną tolerancją

Figure 3. Ishikawa diagram for the dimensions out of tolerance problem

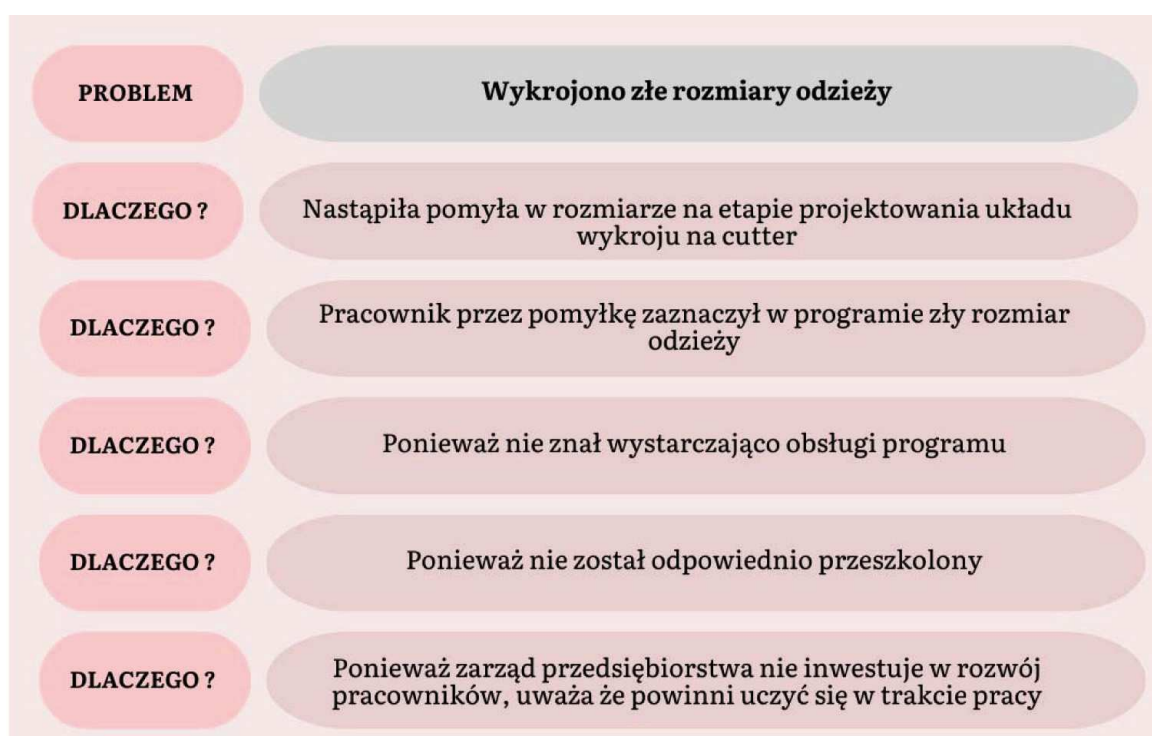
Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

Analiza powstałych w procesie błędów i niezgodności pozwoliła na wykazanie przyczyn odpowiedzialnych za występowanie tych wad. Wskazano wiele czynników, które wywołały daną wadę – wymiary odzieży poza dopuszczalną tolerancją. Najwięcej z nich znajduje się w grupie czynników – maszyna i człowiek. Na rysunku 3 przedstawiono najważniejsze czynniki, które wpływają na powstawanie tej wady w procesie.

W celu poznania przyczyny źródłowej pojawienia się niezgodności w trakcie procesu przeprowadzono dodatkową analizę metodą 5Why. Metoda 5Why służy do identyfikacji pierwotnej przyczyny problemu, opiera się na założeniu, że większość problemów ma głębsze, ukryte przyczyny, które należy odkryć i rozwiązać, aby zapobiec ich ponownemu wystąpieniu w przyszłości. Metoda ta polega zadaniu pięciu pytań „dlaczego?” celem dotarcia do źródła problemu. Pytanie to powinno być powtarzane przynajmniej pięć razy, jednak nie ma to charakteru sztywnego ograniczenia, a jedynie ma pomóc w dokładnym zlokalizowaniu prawdziwych przyczyn problemu. Korzystając z tej metody, można wykryć zarówno oczywiste, jak i ukryte przyczyny problemów, pozwala ona na pogłębione zrozumienie sytuacji, identyfikację słabych punktów w procesach i wprowadzenie skutecznych działań naprawczych. Dzięki temu, zamiast podejmować doraźne działania mające na celu eliminację skutków problemu, można skupić się na eliminowaniu jego przyczyn. Analizę przeprowadzono w trzech etapach. W etapie pierwszym zebrano informacje na temat zidentyfikowanych problemów. W kolejnym etapie wybrano osoby odpowiedzialne za ustalenie przyczyn. Ostatnim etapem było zadawanie pytań „dlaczego?” aż do momentu znalezienia źródła występujących problemów.

Analiza metody 5Why (rys. 4) dla dwóch istotnych czynników: błędny układ wykroju oraz wykrojone elementy odzieży niezgodne ze specyfikacją.



Rysunek 4. Analiza 5Why

Figure 4. 5 Why Analysis

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

Przeprowadzona analiza 5Why wskazuje, że rzeczywistym problemem jest brak szkoleń dla pracowników. Brak odpowiedniej wiedzy i umiejętności prowadzi do niskiej wydajności, a także skutkuje popełnianiem błędów, niską jakością produktów, opóźnieniami w produkcji i zwiększeniem kosztów. Czynnościami naprawczymi powinien być cykl szkoleń pracowników, ale także bardziej staranna selekcja nowych pracowników podczas rekrutacji.



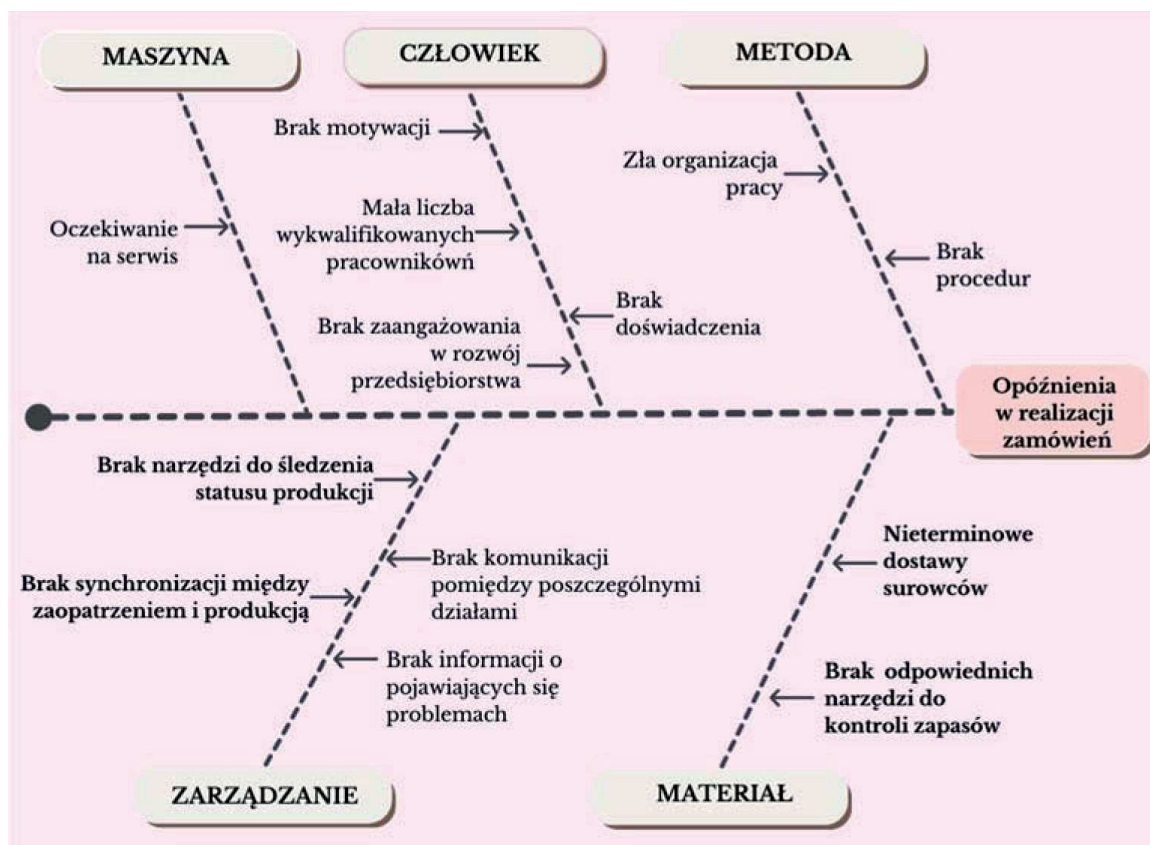
Rysunek 5. Analiza 5Why

Figure 5. Why Analysis

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

Po dokonaniu analizy metodą 5Why (rys. 5) widać, że rzeczywistym problemem jest brak instrukcji oraz brak kontroli międzyoperacyjnej. Wprowadzenie kontroli na wcześniejszych etapach produkcji – już na etapie krojenia, pozwoliłoby na wykrycie potencjalnych problemów lub wad we wczesnej fazie procesu. Dzięki temu można podjąć działania naprawcze wcześniej, zanim problemy się pogłębią lub wpłyną na dalsze etapy produkcji, wychwycić niezgodności i wdrożyć środki zapobiegawcze, aby zapobiec marnotrawieniu czasu na dalszą obróbkę niezgodnych wyrobów. Identyfikacja i eliminacja wad na wczesnym etapie produkcji pozwoliłaby zmniejszyć straty materiałowe, koszty napraw oraz odrzutów. Brak instrukcji stanowiskowych powoduje, że pracownicy wykonują swoje obowiązki w odmienny lub niezgodny z oczekiwaniami sposób. Prowadzi to do niejednorodnej jakości pracy, błędów, niezgodności w produktach oraz braku spójności w procesie produkcyjnym, a także utrudnia proces szkolenia nowych pracowników. Bez dokładnych wytycznych dotyczących obowiązków i procedur, trudniej jest wprowadzić nowe osoby do zespołu i zapewnić im odpowiednie przeszkolenie. Może to prowadzić do dłuższego okresu adaptacyjnego, większej liczby błędów i niskiej efektywności pracy.



Rysunek 6. Diagram Ishikawy dla problemu opóźnienia w realizacji zamówień

Figure 6. Ishikawa diagram for the order fulfillment delay problem

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

Poza jakością to terminowość dostaw stanowi istotny czynnik wpływający na zadowolenie klienta. Analizując diagram przedstawiony na rysunku 6, można stwierdzić, że przestoje w procesie produkcyjnym i opóźnienia w realizacji zleceń spowodowane są przez różne czynniki. Najważniejsze to: nieterminowe dostawy surowców, brak narzędzi do śledzenia statusu produkcji i kontroli zapasów, a także brak stałych, sprawdzonych dostawców. Najbardziej problematyczny obszar stanowi zatem materiał i zarządzanie.

Wdrożenie sugestii pracowniczych Kaizen w celu wprowadzenia działań usprawniających

Jak zauważa Klimecka-Tatar [2021], współcześnie przedsiębiorstwa, a w szczególności ich kadra zarządzająca, muszą ciągle i równomiernie doskonalić wszystkie obszary swojej działalności. Wśród wielu sposobów na doskonalenie organizacji ważne miejsce zajmuje filozofia Kaizen, która skupia się na zmianach działań na poziomie organizacyjnym. Zgodnie z jej zasadami, doskonalenie procesów powinno odbywać się małymi krokami, z ogólną akceptacją i zaangażowaniem uczestników procesu. Pracownicy organizacji powinni być stale zachęceni do poszukiwania optymalnych rozwiązań i elimi-

nowania błędów (problemów) w całym systemie. Według koncepcji Kaizen w procesie doskonalenia istotne jest osiągnięcie łatwo dostępnych celów, pozwala to ograniczyć lęk pracowników przed radykalnymi zmianami i jednocześnie umożliwia osiągnięcie sukcesu w sposób powolny, ale skuteczny.

System Kaizen polega na stopniowym wprowadzaniu niewielkich zmian w przedsiębiorstwie. Jest narzędziem uniwersalnym, sprawdzi się w każdym przedsiębiorstwie. Jest sposobem na zachęcenie pracowników do ciągłego doskonalenia oraz usprawnienia procesów. Przedsiębiorstwo zbiera i wdraża pomysły pracowników dotyczące usprawnienia wykonywanych przez nich czynności. System ten, dobrze wdrożony, przyczyni się może do stałego usprawniania organizacji. Koncepcja ta opiera się na 10 zasadach, których zastosowanie pozwala na stopniowe ulepszanie pracy na każdym etapie i na każdym szczeblu. Są to:

1. Problemy stwarzają możliwości.
2. Zastosuj 5 Why, próbując szukać źródła problemu.
3. Bierz pomysły od wszystkich.
4. Bierz pod uwagę rozwiązania możliwe do wdrożenia.
5. Nie trzymaj się kurczowo ustalonego stanu rzeczy.
6. Twierdzenie, że czegoś nie da się zrobić, to zbędna wymówka.
7. Wybieraj proste rozwiązania, nie czekając na te doskonałe.
8. Zamiast pieniędzy użyj sprytu.
9. Wszelkie błędy poprawiaj na bieżąco.
10. Ulepszanie bez limitów [Midor i Lenart 2015].

Sukces przedsiębiorstwa zależy w dużej mierze od zaangażowania i efektywności pracowników, aby to osiągnąć, istotna jest skuteczna motywacja do pracy. System motywacyjny jest jednym z najważniejszych elementów wpływających na skuteczność pracy w danej organizacji, może przyczynić się do zwiększenia produktywności, poprawy jakości pracy, redukcji absencji oraz wzrostu zaangażowania pracowników. Jednym z czynników, który w znaczny sposób generuje błędy w procesie produkcji i wpływa na niezgodność produktów, jest brak motywacji załogi. Pracownicy nie mają jasnych kryteriów do osiągnięcia, brakuje im celów, co z kolei wpływa na ich zapał do pracy. Dodatkowo brak motywacji prowadzi do wzrostu absencji i rotacji pracowników, co z kolei oddziałuje na stabilność organizacji i generuje koszty. Aby zapobiegać odejściom z powyższego powodu, dobrym rozwiązaniem jest uruchomienie programu Kaizen, w ramach którego zbierane będą pomysły optymalizacyjne oraz wdrażane będą inicjatywy pracowników.

System sugestii pracowniczych pozwoli badanemu przedsiębiorstwu zwiększyć motywację pracowników, uświadomi, że są odpowiedzialni za jakość i efektywności procesów. Największą zaletą systemu jest to, że można go wprowadzić bez konieczności ponoszenia dużych nakładów finansowych czy stosowania skomplikowanych technik. Zaletą Kaizen jest również fakt, że stawia akcent na współpracę, bo wszyscy pracownicy przedsiębiorstwa, niezależnie od zajmowanego stanowiska czy doświadczenia, mają szansę aktywnie brać udział w procesie tworzenia dynamicznie rozwijającej się, przyjaznej dla pracowników organizacji. Wdrożenie systemu motywacyjnego pozytywnie wpłynie na sprawność działania pracowników, ich zadowolenie z pracy oraz w efekcie na realizację celów przedsiębiorstwa. Jeśli pracownicy są odpowiednio motywowani, ich

potrzeby są zaspokojone, a dobre warunki pracy przyczyniają się do większego zadowolenia z wykonywanej pracy.

System sugestii opiera się na kreatywności pracowników, konieczne zatem jest nadanie pracownikom odpowiednich uprawnień oraz zapewnienie im wsparcia technicznego, oraz potrzebnych zasobów. Przedsiębiorstwo powinno również stworzyć odpowiednią atmosferę, by motywować pracowników do rozwijania wiedzy, a także wyznaczać cele i nagradzać pomysły. Do obsługi programu musi być powołana osoba lub komisja, która będzie rozpatrywać zgłoszone wnioski i nadzorować ich wdrażanie.

Implementacja systemu sugestii w przedsiębiorstwie jest procesem wieloetapowym. Kolejne etapy wdrażania powinny następować po sobie w określonej kolejności:

1. Pierwszym etapem wdrażania systemu sugestii Kaizen jest wytworzenie świadomości wśród załogi przez przeprowadzenie akcji informującej pracowników o możliwości uczestnictwa w programie. Można to zrobić np. przez umieszczenie na tablicy ogłoszeń informacji/plakatów czy ulotek na temat systemu Kaizen.
2. Kolejnym krokiem jest przeprowadzenie szkolenia. W pierwszej kolejności szkolenie dla kierownictwa – to oni będą odpowiedzialni za funkcjonowanie systemu, następnie szkolenie dla operatorów, jego celem będzie zapoznanie pracowników z filozofią Kaizen. Szkolenie powinno obejmować takie zagadnienia jak: zasady Kaizen, przykłady Kaizenów, określenie zasad realizacji wniosków oraz sugestie pracowników odnośnie wprowadzonego systemu. Każdy pracownik w organizacji powinni mieć wiedzę na temat Kaizen, umieć zgłaszać sugestie i przygotowywać rozwiązania, a także znać korzyści płynące z tego systemu.
3. W następnym etapie następuje przygotowanie, niezbędnej dla funkcjonowania programu, dokumentacji, w której skład powinien wchodzić regulamin programu i karta formularza zgłoszeniowego (dla pracowników i dla komisji). Trzeba ustalić sposób nadzoru i dystrybucji dokumentów, oraz procedury rozpatrywania oraz zatwierdzania wniosków.

Prawidłowo wdrożony system sugestii w średniej wielkości przedsiębiorstwie może stanowić efektywne narzędzie do zbierania i wdrażania pomysłów pracowników, zapewniając ciągłe doskonalenie i rozwój organizacji. W analizowanym przedsiębiorstwie system powinien opierać się na zgłaszaniu pomysłów drobnych, najlepiej takich, które pracownik może wdrożyć samodzielnie. Ważne są również pomysły o niewymiernej wartości, takie, które nie mają bezpośredniego wpływu na mierzalne wskaźniki czy efekty finansowe, ale mogą przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa czy warunków pracy. Kryteria oceny pomysłów powinny być jasne, proste do zastosowania. Aby skutecznie wdrożyć system, organizacja musi zapewnić kulturę otwartości, która zachęci pracowników do dzielenia się swoimi pomysłami i sugestiami. Pracownicy powinni czuć się komfortowo i bezpiecznie, wiedząc, że ich pomysły są mile widziane i doceniane.

Wdrożenie wizualnego systemu operacji dostaw w celu wyeliminowania przestojów produkcyjnych

Metoda Kanban to wizualny system organizacji dostaw, który umożliwia śledzenie i kontrolowanie dostaw części, półproduktów i materiałów do produkcji w momencie pojawienia się zapotrzebowania na te elementy. Stanowi sygnał oznaczającym koniecz-

ność zamówienia brakujących części, zapewnia prawidłowy przepływ informacji oraz towarów między magazynem a produkcją. Kanban sprawdza się zarówno w dużych przedsiębiorstwach mających zaawansowane systemy do zarządzania produkcją, jak i w małych przedsiębiorstwach, gdzie procesy produkcyjne prowadzone przez niewielki zespół pracowników. Można go dostosować i zmodyfikować do konkretnych potrzeb oraz warunków przedsiębiorstwa.

Odpowiednia organizacja i zarządzanie magazynem oraz dbałość o dostępność niezbędnych surowców ma kluczowy wpływ na płynność procesów zachodzących w każdym przedsiębiorstwie. Przeprowadzona za pomocą diagramu Ishikawy i metody 5Why analiza wykazała, że w opóźnienia w realizacji zleceń spowodowane są brakiem dodatków krawieckich takich jak guziki, napy, gumki na czas na linii produkcyjnej. Dostawa potrzebnych komponentów często trwa kilka dni, skutkiem tego są przestoje produkcyjne. Przestoje związane są także z rozbieżnościami pomiędzy ilością dodatków znajdujących się w systemie magazynowym a stanem fizycznym. Różnice te spowodowane są wadliwymi lub niekompletnymi dodatkami, zagubieniem drobnych części w procesie szycia. Częstotliwość występowania opóźnień jest częsta. Konieczne jest zatem wprowadzenie rozwiązań, które pozwolą usprawnić proces, zapobiegają przestojom i zagwarantują większą terminowość.

W badanym przedsiębiorstwie Kanban może mieć zastosowanie magazynie. Wdrożenie systemu w magazynie pozwoliłoby na skuteczne zarządzanie zapasami oraz ułatwiło pracownikom wizualną kontrolę stanu zapasów i przepływu materiałów. Ten system może być również używany do uzupełniania zapasów na regałach, na których znajdują się pojemniki z dodatkami takimi jak: nici, suwaki do zamków błyskawicznych, guziki. Po wykryciu braku danego komponentu pracownik zgłasza konieczność uzupełnienia stanu magazynowego. Pracownik magazynu przesyła powiadomienie do osoby odpowiedzialnej za zaopatrzenie, aby uwzględniono tę informację przy składaniu zamówienia u dostawców.

Przed rozpoczęciem wdrożenia systemu Kanban ważne jest określenie potrzeb magazynu. Należy dokładnie zidentyfikować, jakie towary są przechowywane w magazynie oraz jakie są wymagania dotyczące ich zaopatrzenia i dystrybucji. Dla każdego towaru należy określić minimalny i maksymalny stan zapasów, których nie powinno się przekraczać. Na tej podstawie ustala się punkty zamówień, tj. moment, w którym należy dokonać zamówienia towaru. Każdy towar w magazynie powinien być oznakowany w sposób wizualny, tak aby pracownik mógł łatwo zidentyfikować, jakie towary należy zamówić. Na każdym regale umieszczone powinny być kartki z informacją o nazwie towaru oraz jego minimalnym stanie zapasów. Kiedy stan zapasów zmniejszy się poniżej minimalnego poziomu, kartka zostaje przekazana do działu zaopatrzenia, który dokonuje zamówienia towaru u dostawcy. Jednak pierwszym etapem implementacji systemu powinno być szkolenie pracowników, powinni oni poznać jego podstawowe zasady, sposób funkcjonowania i obsługi. Następnie należy zdefiniować cele, jakie chcemy osiągnąć dzięki zastosowaniu Kanbanu. W przypadku omawianego przedsiębiorstwa celem jest poprawa organizacji procesów i czasu realizacji zlecenia. Kolejnym etapem wdrażania będzie przygotowanie kart Kanban, które będą wykorzystywane w magazynie. Karta Kanban jest kluczowym elementem systemu, sygnalizując potrzebę zamówienia materiałów od dostawcy. W literaturze można znaleźć wiele gotowych wzorów kart,

ale w większości przypadków firmy dostosowują je graficznie do swoich wymogów. W każdej karcie należy uwzględnić następujące dane: nazwa materiału, opis materiału, pojemność pojemnika/uzupełnienia/wielkość partii, dostawcę, miejsce składowania.

Karty Kanban mogą pełnić funkcję systemu informacyjnego, umieszczone w widocznym miejscu w pojemniku, kontrolują przepływ materiałów. Ich zastosowanie umożliwi przedsiębiorstwu zapewnienie dostępności wymaganej ilości materiałów w odpowiednim miejscu i czasie oraz kontrolę ich przepływu. W ten sposób przedsiębiorstwo zapewni prawidłowe funkcjonowanie całego procesu produkcyjnego, minimalizując przestoje i opóźnienia spowodowane brakiem komponentów.

W przedsiębiorstwie nie ma prostego narzędzia do szybkiego monitorowania procesu produkcji, pracownicy nie mogą sprawdzić etapu realizacji danego zlecenia, które z nich oczekują na wykonanie i z jakiego powodu występują opóźnienia w procesie.

Jednym z narzędzi używanych w systemie Kanban jest tablica Kanban. Głównym celem zastosowania takiej tablicy w dziale planowania produkcji byłaby identyfikacja przestojów poprzez oznaczanie ich na tablicy oraz wizualizacja zadań do wykonania. Przestoje oznacza się na tablicy przy pomocy czerwonych kart, które zawierają informacje o dacie wystąpienia przestoju oraz jego przyczynie. Na takiej tablicy znajdują się informacje dotyczące terminów realizacji, informacje o stanie realizacji zleceń oraz ilości potrzebnych materiałów. W kolumnach tablicy umieszczone będą karteczki z zadaniami do wykonania (zlecenia produkcyjne). Kolejnym elementem systemu będą limity, określają one maksymalną liczbę zleceń, które mogą być realizowane jednocześnie. Każda z kolumn powinna mieć limit kart, które można na niej umieścić. Na tablicy będzie widoczny także czas potrzebny na ich wykonanie.

Przedsiębiorstwo może wprowadzić ten system na czas próbny, po którym podejmie decyzję o dalszym utrzymaniu lub rezygnacji z niego, w przypadku, gdy nie osiągnie on zadowalających i oczekiwanych efektów.

Współczesne trendy na rynku oraz wzrastająca świadomość konsumentów odnośnie jakości produktów, wymuszają na przedsiębiorstwach dążenie do wytwarzania produktów o jak najwyższej jakości. Doskonalenie jakości stanowi zaplanowany i systematyczny proces zmian, jego celem jest zmniejszenie występowania błędów oraz ulepszanie produktów lub usług. Proces ciągłego doskonalenia powinien być postrzegany jako kultura stale dążąca do minimalizacji strat we wszystkich procesach, systemach i obszarach działalności organizacji, zaangażowani w nią powinni być pracownicy na wszystkich szczeblach. W celu zapewnienia satysfakcji klientów przedsiębiorstwa starają się wykrywać wszelkie błędy i niezgodności wyrobów już podczas procesu produkcyjnego. Ważna jest ich szybka i właściwa identyfikacja oraz ocena, a następnie ich wyeliminowanie.

Dyskusja

Zastosowanie narzędzi jakości takich jak diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy oraz 5Why w szybki i prosty sposób pozwoliło przeanalizować występujące w procesie problemy, oraz zbadać ich przyczyny, co jest niezbędne do opracowania skutecznych środków naprawczych. Podobne wnioski zostały sformułowane przez Niedzielskiego i Podsiadło [2018] w swojej pracy na temat zastosowania metod i narzędzi zarządzania jakością w przedsiębiorstwie działającym w branży galwanizacyjnej, w którym wystą-

piło wiele przypadków niezgodności produkcyjnych. Zastosowanie diagramu Ishikawy pozwoliło zidentyfikować przyczyny wywołujące rozpoznane skutki. Narzędzia zarządzania jakością mają wiele zastosowań, są proste do zastosowania i mało kosztowne. Jak zauważa Tomaszewska [2022] w swoich badaniach dotyczących praktycznego wykorzystania narzędzi zarządzania jakością do identyfikacji problemów w procesie produkcyjnym przedsiębiorstwa z branży poligraficznej, ich wykorzystanie umożliwiło kompleksową identyfikację problemów. Zastosowane narzędzi, takich jak diagram Ishikawy oraz 5Why pozwoliło wykryć problem główny, a także problemy poboczne w różnych obszarach procesu produkcyjnego związanych z realizacją zamówień. Przeprowadzona z ich pomocą analiza pozwoliła wyodrębnić najbardziej problematyczny dział. Zdaniem Ujda-Dyńka i Janocha [2018] stosując narzędzia jakości, poddając proces kolejnym analizom, przedsiębiorstwa mają możliwość ciągłego doskonalenia. Uzyskane dzięki temu wyniki pomogą wprowadzić rozwiązania skutecznie eliminujące źródła wad. W badaniach Terelak-Tymczyna i in. [2018] zastosowanie narzędzi jakości takie jak diagram Ishikawy FMEA czy diagram Pareto-Lorenza pozwoliło zidentyfikować problemy związane z produkcją mieszanki gumowej oraz szybko wyeliminować przyczyny problemu. Podsumowując, narzędzia jakości powinny być dla organizacji stałym elementem, pomagającym w analizie i ocenie, a następnie w doskonaleniu poziomu jakości wyrobu oraz jego procesu produkcyjnego. Zastosowanie metod i narzędzi jest kluczowe dla minimalizacji wad i niezgodności już na etapie produkcji, zamiast wykrywania ich podczas eksploatacji wyrobu.

Analiza wykazała, że na pojawiające się w procesie produkcji odzieży błędy i niezgodności wpływ miało wiele różnych czynników. Aby je usunąć lub ograniczyć należy zastosować odpowiednie działania zapobiegawcze. Zaproponowane działania polegające na wdrożeniu systemu sugestii pracowniczych Kaizen i stosowaniu tablicy i kart Kanban, mają na celu niedopuszczenie lub ograniczenie powstawania produktów niezgodnych. Wdrożenie tych metod pozwoli na minimalizację kosztów utraty surowca i energii oraz zwiększy odpowiedzialność pracowników za powierzone im zadania. Wdrożenie systemu sugestii pracowniczych może pozytywnie wpłynąć na funkcjonowanie badanego przedsiębiorstwa, pracownicy będą bardziej chętni do dzielenia się swoją wiedzą i doświadczeniem. Pozwoli to zwiększyć ich motywację, zaangażowanie, poprawić efektywność, a także zbudować więź i zwiększyć poczucie przynależności do organizacji, a w dalszej perspektywie również do poprawy warunków pracy, poprawy stosunków między kierownictwem a pracownikami; wzrostu produktywności. Wdrożenie systemu pozwoli organizacji wykorzystać intelektualny potencjał wszystkich pracowników, którzy będą mogli się rozwijać, a przedsiębiorstwo i procesy będą stale ulepszane. Badania przeprowadzone przez Piasecką-Głuszak [2016] na próbie 48 polskich przedsiębiorstw dowodzą, że pracownicy oceniają działanie Kaizen bardzo pozytywnie. Badania te dowodzą, że procesy ciągłego doskonalenia mają znaczący wpływ na poprawę działalności przedsiębiorstwa oraz na jego innowacyjność. Wdrażanie małych, ale ciągłych usprawnień z wykorzystaniem dostępnej wiedzy, odpowiednich zasobów, narzędzi i technik może okazać się korzystne w długookresowej perspektywie. Implementacja Kaizen może jednak napotykać na problemy, jednym z głównych jest brak pełnego zaangażowania kierownictwa w proces wdrażania. Jeśli kierownictwo nie jest przekonane o wartości i znaczeniu Kaizen, może być trudno uzyskać wsparcie oraz akceptację od reszty organizacji.

Proces wprowadzania zmian w organizacji jest zawsze złożony, utrudniać może go opór ze strony pracowników (obawa przed zmianami) lub działów, które obawiają się utraty kontroli lub obciążenia dodatkowymi obowiązkami. Badania Ratajszczak [2021] dotyczące przydatności stosowania instrumentarium zarządzania jakością w procesie produkcji mebli oraz wyposażenia medycznego pokazały, że w praktyce filozofia Kaizen jest rzadko stosowana. Pracownicy czują się lekceważeni, a kierownictwo nie podejmuje działań mających na celu wprowadzenie widocznych i motywujących usprawnień. Jak zauważa Karaś i Rajchel [2015], brak szkoleń związanych z tematem, niewiedza i niewłaściwe podejście pracowników oraz kierownictwa, brak zaangażowania, brak pracy zespołowej, a także zbyt wysokie wymagania ze strony kadry kierowniczej są to najczęstsze przyczyny niepowodzeń. Aby wprowadzić Kaizen, konieczna jest gruntowna zmiana sposobu myślenia i funkcjonowania przedsiębiorstwa, szczególnie przez podniesienie kompetencji i wiedzy pracowników oraz ulepszanie sposobów komunikacji w całej organizacji. Pracownicy, którzy wkładają dodatkowy wysiłek na rzecz organizacji, powinni mieć świadomość, że jest on dla organizacji ważny i cenny [Sangórski, 2022]. Jak zauważa Gabryelewicz i in. [2015] ostatecznie, nawet najbardziej podstawowy system nie może zostać wdrożony bez zmiany sposobu myślenia ludzi, ponieważ to oni są odpowiedzialni za jego realizację. Kluczowym elementem sukcesu jest zatem postawa i zaangażowanie większości pracowników, a efekty zastosowania Kaizen zależą w dużej mierze od specyfiki przedsiębiorstwa i otwartości na zmiany.

Podsumowanie i wnioski

Umiejętność poprawnego identyfikowania problemów w przedsiębiorstwie jest niezwykle istotna dla skutecznego zarządzania i podejmowania decyzji. W wyniku przeprowadzonych badań określono i uporządkowano czynniki, które miały wpływ na wystąpienie błędów oraz niezgodności w omawianym procesie. Wskazane przyczyny pomogą dostarczyć wskazówek dla działań mających na celu poprawę jakości procesu produkcji odzieży oraz ułatwią rozwiązanie występujących trudności.

Wnioski z przeprowadzonych analiz można podsumować następująco:

- Analiza SWOT umożliwia rozpoznanie i ocenę czynników wewnętrznych oraz zewnętrznych, które wpływają na organizację. Pozwoliła na identyfikację unikalnych zasobów, umiejętności, atutów i zalet organizacji. Pokazała, w czym przedsiębiorstwo jest dobre i w czym ma przewagę konkurencyjną oraz obszary, w których organizacja ma niedoskonałości, ograniczenia lub braki.
- Zastosowanie narzędzi zarządzania jakością takich jak diagram Ishikawy i metoda 5Why umożliwiło w prosty sposób zdiagnozowanie głównych problemów oraz poznanie ich przyczyn źródłowych.
- Przeprowadzona analiza pokazuje, że w omawianym przedsiębiorstwie na powstanie wyrobów niezgodnych wpływ ma wiele różnych, powiązanych ze sobą czynników. Najczęstszą ich przyczyną jest podejście pracowników do pracy, rutyna, pośpiech, dobór nieodpowiednich materiałów czy niewłaściwa organizacja pracy. Wynikają one z braku szkoleń, motywacji, nadzoru i tolerowania przez nadzorujących pracę niewłaściwych metod wykonywania pracy, jak np. wykonywanie pracy przez osoby bez doświadczenia i odpowiednich kwalifikacji. Przedsiębiorstwo powinno inwestować

- w rozwój wiedzy pracowników, a także technik i narzędzi pracy. Właściwe kwalifikacje, szkolenie, świadomość jakości, motywacja i kultura jakości są kluczowe dla minimalizowania niezgodności i osiągnięcia wysokiej jakości produkcji.
- Zastosowanie narzędzi zarządzania jakością przyniosło zamierzone rezultaty. Analiza przyczynowa umożliwiła identyfikację niezgodności. Potwierdzono skuteczność stosowania narzędzi jakościowych, co stanowi zachętę do ich dalszego wykorzystywania w celu zapobiegania powstaniu wyrobów niespełniających oczekiwań klientów.
 - Zaproponowane w niniejszych badaniach działania zapobiegawcze polegające na wdrożeniu systemu sugestii pracowniczych Kaizen i zastosowaniu tablicy oraz kart Kanban, mają na celu niedopuszczenie lub ograniczenie powstania niezgodności.
 - System sugestii pracowniczych stanowi silne narzędzie, które poprawi morale i zmobilizuje pracowników do aktywnego udziału w doskonaleniu organizacji. Dzięki niemu możliwe jest wykorzystanie potencjału i wiedzy pracowników do ciągłego doskonalenia oraz rozwoju przedsiębiorstwa. Zachęci on pracowników do odejmowania wysiłków na rzecz podnoszenia jakości produktu oraz zwiększy ich odpowiedzialność za powierzone im zadania.
 - Zastosowanie kart i tablicy Kanban pozwoli organizacji zminimalizować koszty utraty surowca, pomoże usprawnić kontrolę wizualną procesu, a magazyn będzie bardziej uporządkowany, a także lepiej zorganizowany.

Bibliografia

- Chruściel P., 2022: Schemat rozwiązywania problemów na przykładzie przedsiębiorstwa produkcyjnego z branży opakowań przemysłowych, *Zarządzanie i Jakość* 4(4), 58–73.
- Ejdys J., 2011: Model doskonalenia znormalizowanych systemów zarządzania oparty na wiedzy. Rozprawy Naukowe nr 206, Biblioteka Nauk o Zarządzaniu, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok.
- Gabryelewicz I., Gawłowicz P., Sadłowska-Wrzesińska J., 2015: Kaizen jako skuteczna metoda wspomagająca efektywne zarządzanie przedsiębiorstwem, *Problemy Profesjologii* 2, 139–148.
- Jakubiec M., 2014: Analiza i ocena wdrażania i funkcjonowania systemu zarządzania jakością w kontekście rozwoju przedsiębiorstwa, *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu* 376, Zrównoważony rozwój organizacji – odpowiedzialne zarządzanie, 313–322.
- Karaś E., Rajchel D., 2015: Poprawa warunków realizacji produkcji i logistyki z wykorzystaniem metody Kaizen i programu 5S, *Logistyka* 6, 672–680.
- Łukasiński W., 2009: Dylematy jakości, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie* 806, 129–140.
- Mazur A., Gołaś H., 2010: Zasady, metody i techniki wykorzystywane w zarządzaniu jakością, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- Starzyńska B., Grabowska M., 2010: Klasyfikacja instrumentarium zarządzania jakością na potrzeby doskonalenia procesów w przedsiębiorstwach, *Ekonomiczne Problemy Usług* 51, 515–524.
- Midor K., Lenart M., 2015: Wdrożenie systemu Kaizen w firmie branży motoryzacyjnej – studium przypadku, *Systems Supporting Production Engineering* 3(12), *Jakość i Bezpieczeństwo*, 119–131.

- Niedzielski P., Podsiadło H., 2018: Redukcja niezgodności produkcyjnych dzięki wykorzystaniu narzędzi Total Quality Management – studium przypadku, *Journal of Modern Management Process* 3, 2, Podejścia do zarządzania we współczesnych organizacjach, 26–34.
- Nowicki P., Kafel P., Sikora T., 2013: Zasady zarządzania jakością w polskich przedsiębiorstwach – studium przypadków, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie* 918, 71–81.
- Olszewska A., 2014: Przydatność wybranych narzędzi i metod doskonalenia jakości w ocenie podlaskich przedsiębiorców, *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie* 73, 459–470.
- Piasecka-Głuszak A., 2016: Działania Kaizen z perspektywy pracowników polskich przedsiębiorstw, *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu* 448, 226–241.
- Ratajszczak K., 2021: Weryfikacja przydatności metod i narzędzi zarządzania jakością w procesie produkcji wyrobów medycznych – studium przypadku, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie* 84, 145–159.
- Roszak M., 2014: Zarządzanie jakością w praktyce inżynierskiej, *Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska, Gliwice*.
- Sangórski M., 2022: Procesowe podejście do systemowego zarządzania pomysłami pracowniczymi, *Inżynieria Mineralna* 1(49), 57–64.
- Skrzypek E., Grela G., Piasecka A., 2019: Uwarunkowania doskonalenia zarządzania jakością, *Wydawnictwo Katedra Zarządzania Jakością i Wiedzą UMCS, Lublin*.
- Terelak-Tymczyna A., Biniek A., Bachtiak-Radka E., 2018: Identyfikacja problemów w procesie produkcji mieszanki gumowej z wykorzystaniem wybranych metod i narzędzi zarządzania jakością, *Zarządzanie Przedsiębiorstwem* 21(4), 22–29.
- Tomaszewska K., 2022: Wykorzystanie narzędzi zarządzania jakością do identyfikacji problemów w procesie produkcyjnym wybranego przedsiębiorstwa, *Akademia Zarządzania* 6(4), 117–137.
- Ujda-Dyńska B., Janocha S., 2018: Zastosowanie narzędzi zarządzania jakością do analizy wadliwości wyrobu, *V Ogólnopolska Konferencja Studenckich Kół Naukowych. Badania i innowacje z perspektywy młodego naukowca*, 256–274.
- Winkowska J., Winkowski C., 2018: Przegląd metod i narzędzi jakości wykorzystywanych w przedsiębiorstwie produkcyjnym, *Inżynieria Jakości Produkcji i Usług* 9(2), 370–381.
- Wiśniewska M., Grudowski P., 2014: Zarządzanie jakością i innowacyjność w świetle doświadczeń organizacji Pomorza, *Innobaltica*, Gdańsk.
- Wojtynek L., Budzik R., 2015: Kontrola jakości i narzędzia jakości w doskonaleniu procesu produkcji pojazdów samochodowych, *Logistyka* 6 [CD 1], 946–953.
- Zimon D., 2014: Narzędzia i systemy zarządzania jakością w procesie doskonalenia jakości towarów, *Przedsiębiorczość i Zarządzanie* 15(10), cz. 1 Finansowe i organizacyjne aspekty kooperacji nauki i lokalnej przedsiębiorczości, 149–158.
- Żółtowski, M., Żółtowski, B., 2012: Narzędzia kształtowania jakości usług w przedsiębiorstwie, *Logistyka* 6, 1024–1035.

Ewelina Koziara[✉], Gabriela Purcha, Jadwiga Topczewska
Uniwersytet Rzeszowski

Problemy logistyki ostatniej mili w opinii studentów

Last-mile logistics problems in the opinion of students

Synopsis. Zachowania nabywcze konsumentów mają wpływ na rozwój kanałów dystrybucji oraz na logistykę ostatniej mili. Celem badań było rozpoznanie opinii studentów na temat kanałów dostaw żywności, a także wskazanie propozycji wykorzystania w jej optymalizacji rozwiązań z zakresu sztucznej inteligencji (AI). Narzędziem badawczym był kwestionariusz ankiety. Tylko 12% respondentów w wieku 19–25 lat deklarowało, że nie dokonuje zakupów żywności online. Główną platformą zakupową było Allegro. Kryterium wyboru dostawy stanowiły najczęściej koszty i szybkość jej realizacji. Preferowana była dostawa do paczkomatu, jednak wskazano na brak możliwości otwarcia przesyłki podczas jej umieszczania w skrytce. Jako główne możliwości wykorzystania narzędzia AI w logistyce ostatniej mili wskazano optymalizację tras oraz prognozowanie skali zakupów określonej kategorii produktów spożywczych.

Słowa kluczowe: dostawy, żywność, innowacje

Abstract. Consumer purchasing behavior has an impact on the development of distribution channels and last-mile logistics. The aim of the study was to analyze students' opinions on food supply channels and also to identify proposals for the use of artificial intelligence solutions in its optimization. The research tool was a survey questionnaire. Only 12% of the respondents aged 19–20 declared that they do not shop for food online. The main shopping platform was Allegro. The most common criteria for choosing delivery were cost and speed. Delivery to a parcel box was preferred. Respondents indicated that the parcel could not be opened when it was placed in the box. The optimization of routes and forecasting the scale of purchases of a specific category of food products were indicated as the main opportunities to use AI tools in last-mile logistics.

Key words: supplies, food, innovation

Kody JEL: R40, R41, P56

[✉]Ewelina Koziara – Uniwersytet Rzeszowski, SKN AnimalEquus, Kolegium Nauk Przyrodniczych; e-mail: ek118719@stud.ur.edu.pl

Gabriela Purcha – Uniwersytet Rzeszowski, SKN AnimalEquus, Kolegium Nauk Przyrodniczych; e-mail: gp118732@stud.ur.edu.pl

Jadwiga Topczewska – Uniwersytet Rzeszowski, Kolegium Nauk Przyrodniczych; e-mail: jtopczewska@ur.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0003-3921-5116>

Wstęp

Dynamiczny rozwój kanałów dystrybucji oraz zachowania konsumentów mają znaczący wpływ na logistykę ostatniej mili [Melkonyan i in. 2020]. Firmy transportowo-logistyczne muszą dostosowywać się do oczekiwań w zakresie kosztów i szybkości realizacji zlecenia. Aby sprostać oczekiwaniom klientów, przedsiębiorstwa muszą elastycznie reagować na zwiększenie sprzedaży, zwłaszcza w branży e-commerce oraz rosnącą indywidualizację handlu. Wiele trudności pojawia się zwłaszcza w kontekście dostaw rozproszonych, często w mniejszych partiach towarów oraz w gęsto zaludnionych obszarach miejskich [BjØrgen i in. 2021]. W praktyce oznacza to konieczność rozwijania sieci punktów nadania i odbioru, a także wykorzystanie nowoczesnych narzędzi dla efektywnego zarządzania coraz większą liczbą przesyłek [Brach i Pawłowska 2020].

W ciągu ostatniej dekady rewolucyjne zmiany technologiczne przekształciły przedsiębiorstwa, w tym sektor handlu detalicznego. Nastąpił dynamiczny wzrost e-commerce w ujęciu globalnym. Jest to efekt wykorzystania nowoczesnych narzędzi i platform internetowych, które umożliwiają sprzedaż online produktów i usług. Dodatkowo rozwój technologii mobilnych i narzędzi analizy dużych zbiorów danych przyczynił się do dalszego zwiększenia wydajności i personalizacji w zakresie obsługi klientów [Cichosz 2020].

Logistykę ostatniej mili definiuje się jako kompleksowe działania z zakresu transportu i logistyki, skoncentrowane na dostarczaniu przesyłek bezpośrednio do klientów końcowych. Ostatnia mila to termin z obszaru logistyki, który opisuje skoordynowane procesy mające na celu zapewnienie wygodnej i efektywnej dostawy dla klientów [Hagberg i Hultén 2022]. Obejmuje transport towarów z centrów dystrybucji, magazynów lub sklepów do miejsc przeznaczenia, lub wybranych przez klientów punktów odbioru, takich jak paczkomaty czy punkty *pick-up* w sklepach [Cichosz 2020]. Powszechnie uważa się, że ostatnia mila dotyczy końcowego odcinka łańcucha dostaw, od centrum dystrybucyjnego do odbiorcy docelowego [Olsson i in. 2019]. Mimo iż ten etap łańcucha dostaw może być najkrótszy, to ze względu na skalę wyzwań z nim związanych często jest najbardziej kosztowny i trudny do zrealizowania w praktyce [Awwad i in. 2018].

Głównym celem przedsiębiorstw/sprzedawców jest doskonalenie procesów logistycznych. Poprzez ściśle zsynchronizowane działania w całym łańcuchu dostaw, możliwe jest optymalizowanie przepływu materiałów i dostosowanie do potrzeb klientów. Takie działania mogą zapewnić większą niezawodność i szybszą reakcję na zakłócenia w przebiegu tego procesu [Hagberg i Hulthén 2022]. Ponadto, wykorzystanie technologii cyfrowych w logistyce może istotnie wspomóc zarówno jego sprawny przebieg, jak i przyczynić się do zrównoważonego rozwoju [Ranieri i in. 2018, Patella i in. 2020, Chen i in. 2021, Lemardele i in. 2021, Demir i in. 2022, Giuffrida i in. 2022, Leon i in. 2023]. Coraz większa świadomość w zakresie zmian klimatycznych w wyniku emisji gazów cieplarnianych może być przyczyną poszukiwania zeroemisyjnych sposobów dostawy [Patella i in. 2020].

Wzrost złożoności łańcucha dostaw, rosnące oczekiwania klientów, skracające się cykle życia produktów i technologii oraz niestabilne środowisko sprawiają, że niepewność w łańcuchu dostaw i ryzyko stają się głównymi przeszkodami w osiągnięciu termi-

nowości, zwiększeniu satysfakcji klientów, poprawie efektywności oraz redukcji kosztów [Ranieri i in. 2018, Wang i in. 2018, Melkonyan i in. 2020].

Ekspersi rynku logistycznego wskazują, że obsługa ostatniej mili odpowiada nawet za 20–50% kosztów całego łańcucha dostaw [Brodacki 2022]. Główne przyczyny tak dużych kosztów to przede wszystkim różnorodność miejsc dostawy (dostawa do domu, paczkomatu, punktu odbioru lub sklepu). W związku z tym konieczne jest efektywne zarządzanie kanałami dostawy. Dodatkowo skomplikowane procesy logistyczne, takie jak koordynacja dostaw, zarządzanie zwrotami i elastyczność w obsłudze różnych typów przesyłek generują dodatkowe obciążenia. Aby sprostać tym wyzwaniom, branża musi inwestować w technologie wspomagające zarządzanie łańcuchem dostaw oraz optymalizację procesów. Automatyzacja procesów magazynowych, systemy śledzenia przesyłek i rozwój inteligentnych algorytmów trasowania mogą pomóc znacząco zmniejszyć koszty i poprawić efektywność dostaw [Giuffrida i in. 2022]. Współpraca pomiędzy różnymi podmiotami w łańcuchu dostaw oraz ciągle monitorowanie i analiza danych również mogą przyczynić się do usprawnienia całego procesu i zmniejszenia kosztów obsługi ostatniej mili [Koliński i Stajniak 2019]. Nowe technologie mogą odegrać kluczową rolę w optymalizacji dostaw ostatniej mili, zarówno na obszarach miejskich, jak i mniej zurbanizowanych. Wiele inteligentnych technologii jest wykorzystywanych w realizacji zakupów online, a zatem łańcuch dostaw może skorzystać także z dostępnych innowacyjnych rozwiązań. Procesy automatyzacji w pierwszej kolejności usprawniły prace magazynowe i paletyzację. Należy podkreślić, że sztuczna inteligencja (AI) i uczenie maszynowe wnoszą ogromny potencjał i możliwości w zakresie usprawniania dostaw, np. optymalizacji tras pojazdów, prognozowania popytu, trasowania i śledzenia, a także sygnalizują zakłócenia przebiegu procesów [Chen i in. 2021, Giuffrida i in. 2022]. Algorytmy te podlegają ciągłej ewolucji, a ich wykorzystanie może znacząco usprawnić ostatni etap dostaw i tym samym obniżyć koszty ostatniej mili [Boichuk 2022, Demir i in. 2022].

Celem badań było rozpoznanie opinii studentów na temat kanałów dostaw żywności na etapie ostatniej mili, potencjalnych problemów, a także wskazanie propozycji wykorzystania w jej optymalizacji innowacyjnych rozwiązań.

Materiały i metody

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem kwestionariusza ankiety online. Kwestionariusz zawierał pytania jednokrotnego i wielokrotnego wyboru. Pytania dotyczyły m.in. kategorii produktów spożywczych kupowanych w Internecie, poziomu satysfakcji i preferowanego kanału dostawy oraz możliwości wykorzystania nowoczesnych technologii w procesie doskonalenia dystrybucji ostatniej mili. Wybór produktów spożywczych podyktowany był ich codzienną konsumpcją. Ankieta zawierała również pytania w ramach tzw. metryczki, dotyczyły one wieku, płci oraz miejsca zamieszkania respondentów.

Przeprowadzone badania ankietowe miały charakter anonimowy. Obejmowały zarówno kobiety, jak i mężczyzn w wieku od 19 do 25 lat. W ankiecie wzięło udział 200 respondentów, w tym 60% stanowiły kobiety, a 40% mężczyźni (tab. 1). Nie odnotowano żadnych błędnych odpowiedzi, co przyczyniło się do uzyskania kompletnych kwestionariuszy w ramach prowadzonych badań ankietowych.

Tabela 1. Charakterystyka socjodemograficzna respondentów

Table 1. Sociodemographic characteristics of respondents

Wyszczególnienie	Próba ogółem	Próba ogółem [%]
Badani według płci		
kobiety	120	60
mężczyźni	80	40
Badani według wieku		
19–21	37	18,5
22–23	112	56
24–25	51	25,5
Badani według miejsca zamieszkania		
wieś	61	30,5
miasto do 50 tys.	54	27
miasto od 50 do 150 tys.	60	30
miasto powyżej 150 tys.	25	12,5

Źródło: badania własne.

Source: own research.

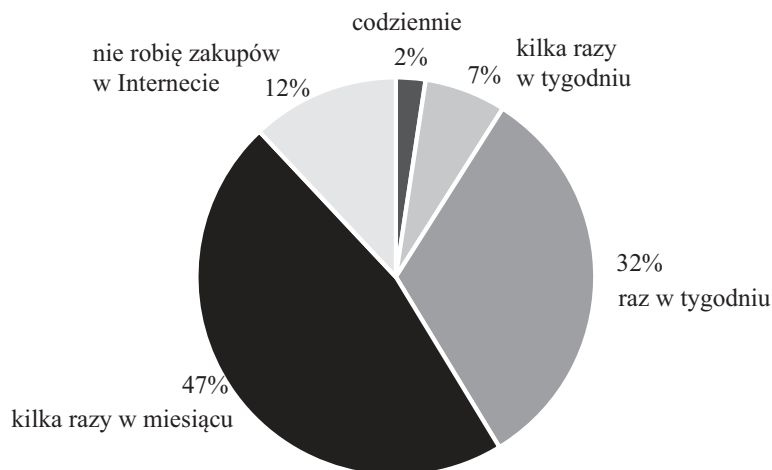
Uzyskane dane opracowano z użyciem programu Excel. Do statystycznej analizy danych wykorzystano program Statistica v. 13.3. W celu zbadania istotności związku między wybranymi zmiennymi zastosowano test niezależności chi-kwadrat Pearsona (przy poziomie istotności alfa $<0,05$). Jedną grupą zmiennych to płeć respondentów, a drugą to problemy z dostawą zakupów (np.: wybór opcji dostawy, czas dostawy, obsługa klienta, koszt dostawy) oraz wykorzystanie AI w doskonaleniu logistyki ostatniej mili (np.: optymalizacja sposobu dostawy, tras, wykorzystanie dronów i/lub samochodu dostawczego).

Wyniki badań i dyskusja

Jak podają Giuffrida i in. [2022], w Unii Europejskiej odsetek kupujących w Internecie wynosił 64% wszystkich osób w wieku 16–74 lata. Jak wynika z raportu „E-commerce w Polsce 2023” [2023], liczba osób deklarujących dokonywanie zakupów w polskich sklepach online kształtowała się na poziomie 75% ankietowanych. Inflacja przyczyniła się do zwiększenia wydatków na żywność, co ma istotne znaczenie również w zakupach takich produktów w Internecie.

Z badań własnych wynika, że tylko 12% respondentów nie kupowało żadnych produktów z kategorii żywność w sklepach internetowych (rys. 1). Zakupów raz w tygodniu dokonywało 32% badanych, a kilka razy w miesiącu – 47%.

Badania przeprowadzone przez Chodaka i Łęczek w 2013 roku [2014] wykazały, że nieco ponad połowa respondentów (50,1%) robiła zakupy online rzadziej niż raz na miesiąc. Największą grupę stanowiły osoby młode, w wieku od 18 do 25 lat (ponad 68%), które zazwyczaj częściej korzystają z zakupów przez Internet. W cytowanych badaniach tylko 8,3% respondentów robiło zakupy w e-sklepach raz w tygodniu, a 6,1% kilka razy w tygodniu. Zdecydowanie więcej respondentów, w porównaniu do wyników badań własnych, deklarowało, że dokonuje zakupów internetowych kilka razy w miesiącu. Porównanie to wskazuje na bardzo dynamiczny rozwój tej formy zakupów.

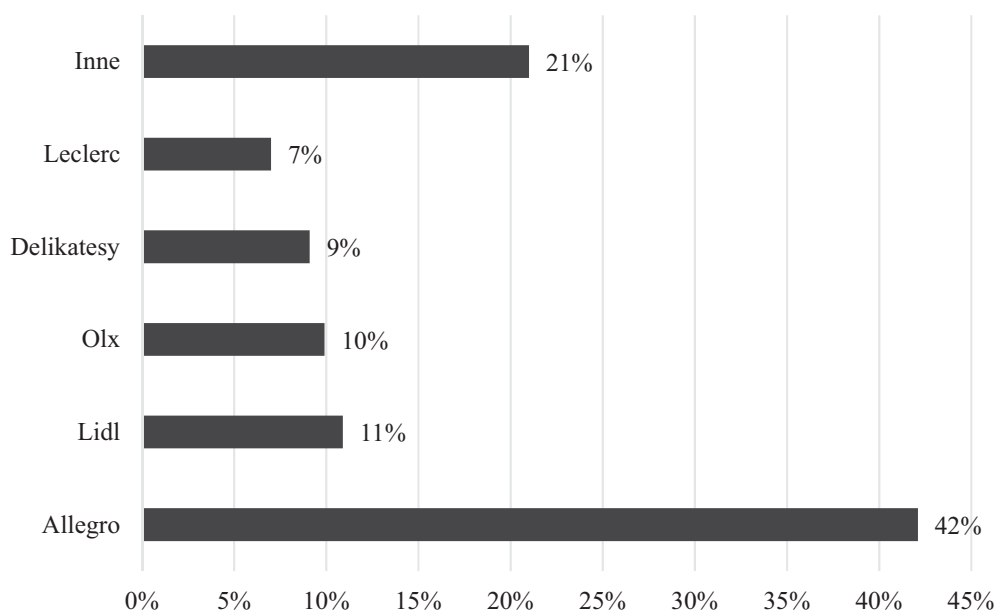


Rysunek 1. Częstotliwość dokonywania zakupów produktów spożywczych online w odpowiedziach respondentów [%]

Figure 1. Frequency of online grocery shopping in respondents' answers [%]

Źródło: badania własne.

Source: own research.



Rysunek 2. Najczęściej wybierane platformy zakupowe żywności w odpowiedziach respondentów [%]

Figure 2. Most popular food shopping platforms in respondents' answers [%]

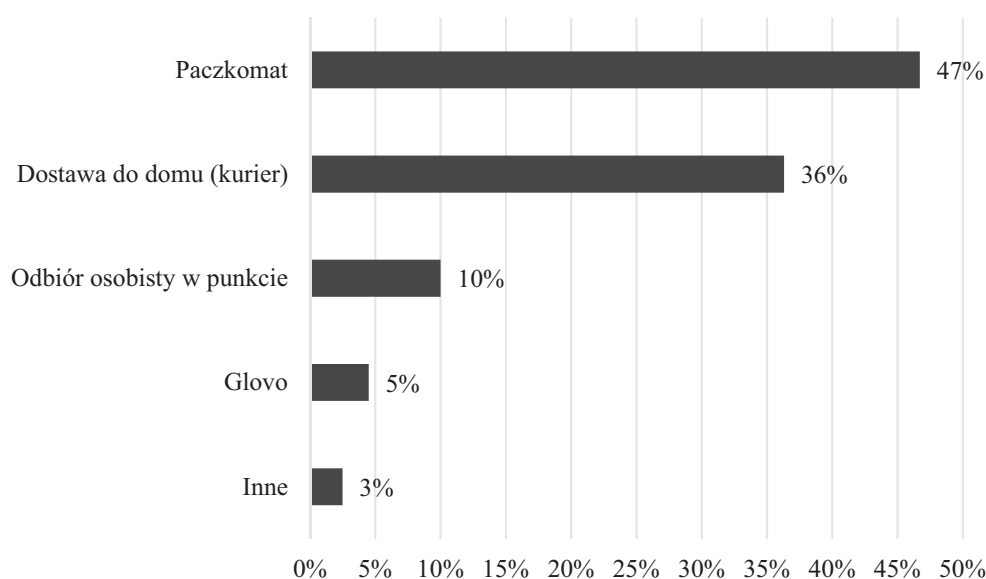
Źródło: badania własne.

Source: own research.

Analiza odpowiedzi na pytanie dotyczące wyboru platformy zakupowej produktów spożywczych wykazała, że największą popularnością wśród ankietowanych cieszyło się Allegro, wskazało ją ponad 42% respondentów. Z kolei Lidl (11%), OLX (10%) oraz Delikatesy (9%) były wybierane na dalszych pozycjach (rys. 2). Według autorów raportu „E-commerce w Polsce 2023” [2023] również najwięcej wskazań w zakresie serwisów internetowych sprzedających artykuły spożywcze miało Allegro. Na drugim miejscu

znalazł się Auchan, a na trzecim Lidl. W przypadku badań własnych respondenci wskazywali podobnie jak w cytowanym raporcie wiele kolejnych serwisów spożywczych. Ich udział nie przekroczył poziomu wskazań 2%, dlatego w zastawieniu podane zostały łącznie jako „Inne”.

Analiza odpowiedzi dotyczących najczęściej wybieranego sposobu dostawy wskazuje, że 47% respondentów preferowało paczkomaty (rys. 3). Było to spowodowane zapewne komfortem w zakresie lokalizacji punktu odbioru przesyłki oraz brakiem konieczności oczekiwania na kuriera. Z roku na rok zwiększa się liczba klientów świadomych, dla których istotne są również kwestie realizacji dostaw w aspekcie zanieczyszczenia środowiska. Jak wykazały badania Boichuk [2022], przez wybór paczkomatów można obniżyć emisję dwutlenku węgla o 83%. Najmniej popularnym sposobem dostawy wśród ankietowanych były usługi Glovo (około 5%); (rys. 3). W Polsce najczęściej wybraną formą dostawy jest przesyłka do paczkomatu, co wyróżnia kupujących na tle innych krajów europejskich. Według raportu „E-Commerce w Polsce 2023” [2023] aż 93% klientów dokonujących zakupów przez Internet wybiera tę opcję dostawy. Na drugim miejscu była Orlen Paczka, a następnie Allegro One Box [E-Commerce w Polsce 2023].



Rysunek 3. Najczęściej wybierany sposób dostawy przez respondentów [%]

Figure 3. The most frequently chosen delivery method by respondents [%]

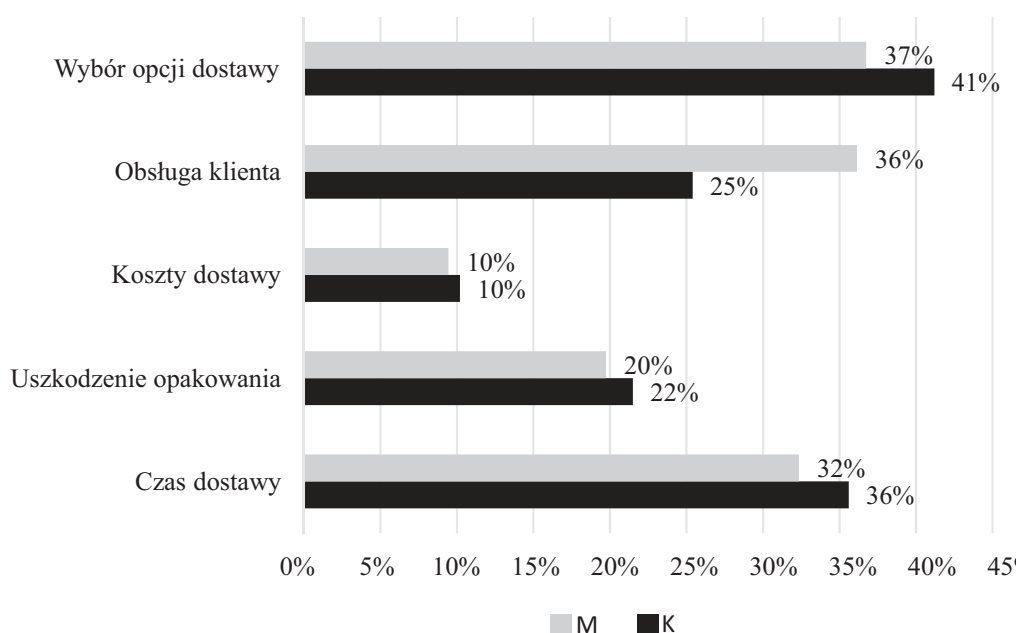
Źródło: badania własne.

Source: own research.

Według badań Chodaka i Łęczek [2014] realizowanych w 2013 roku najczęściej wybraną opcją dostawy była dostawa kurierska (62,1%). Poczta Polska była preferowana przez 21,8% respondentów, a 9,8% badanych wybierało odbiór w paczkomatach. Najmniejszą popularnością cieszył się odbiór osobisty w sklepie, wybierany jedynie przez 4,6% ankietowanych. Po kilku latach głównym wyborem w opcji dostawy stał się paczkomat. Jak podkreśla Lai i in. [2022], paczkomat określany jest jako inteligentna skrytka i zautomatyzowana stacja paczkowa. To punkt usługowy zajmujący się usługą odbioru

własnego [Wang i in. 2018]. Pomaga dostawcom usług ostatniej mili minimalizować liczbę nieudanych dostaw, umożliwiając im dostarczanie przesyłek do wskazanych skrytek, a konsumenci mogą znacznie obniżyć koszty, wybierając czas i miejsce odbioru towaru, o dowolnej porze dnia, według własnego uznania [Lai i in. 2022].

Przeprowadzone badania wykazały, że oczekiwania w zakresie platform sprzedażowych są zróżnicowane względem płci. Mężczyźni uważają, że problematyczny jest wybór opcji dostawy i obsługa klienta, podczas gdy dla kobiet istotny jest czas dostawy (rys. 4). Wybór sposobu dostawy jest istotny, ponieważ klienci posiadają różne preferencje oraz potrzeby. Szybka i niezawodna dostawa może zwiększyć satysfakcję klienta, a tym samym przyczynić się do dokonania ponownych zakupów.



Rysunek 4. Wskazania w zakresie problemów dostawy w odpowiedziach respondentów [%]

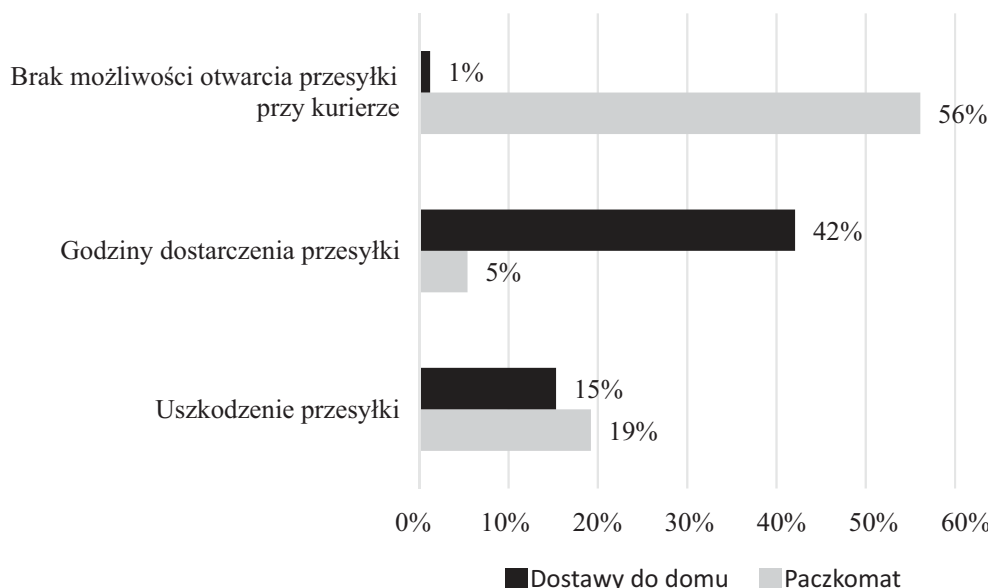
Figure 4. Indications of delivery problems in respondents' answers [%]

Źródło: badania własne.

Source: own research.

Analizując różnice między mężczyznami i kobietami dotyczące problemów w dostawie, można stwierdzić, że istotna dla respondentów była obsługa klienta. Większość mężczyzn (36%) zadeklarowała, że doświadczyli problemów w tym zakresie. Według większości respondentów kluczowe wyzwania związane z ostatnią milą dotyczą różnych obszarów. Jak wynika z uzyskanych odpowiedzi, 36% kobiet i 32% mężczyzn zwracało uwagę na czas realizacji dostawy. Ważnym kryterium wyboru była obsługa klienta – dla 25% kobiet i 36% mężczyzn (rys. 4). Nie potwierdzono istotnych zależności między płcią respondentów a wskazaniem dotyczącym problemów dostawy. Analizując te opinie w kontekście problemu ostatniej mili, można stwierdzić, że znaczna grupa respondentów byłaby zainteresowana rozwiązaniami alternatywnymi, które mogą oferować korzystniejsze warunki dostawy. Według badań przeprowadzonych przez Chodaka i Łęczek w 2013 roku większość ankietowanych (56,9%) nigdy nie doświadczyła otrzymania

uszkodzonej paczki, podczas gdy 32,2% respondentów rzadko napotykało ten problem [2014]. Tylko 9,6% badanych czasami doświadczało otrzymywania uszkodzonych przesyłek, a jedynie około 1,3% zgłosiło częste występowanie tego zjawiska. W badaniach własnych uszkodzenie dotyczyło w większym zakresie paczkomatu. Respondenci zwrócili również uwagę na częsty brak możliwości otwarcia przesyłki przy kurierze (rys. 5).



Rysunek 5. Wskazania w zakresie potencjalnych problemów dostawy do paczkomatu i przesyłek kurierskich [%]

Figure 5. Indications of potential problems of Parcel box and courier delivery [%]

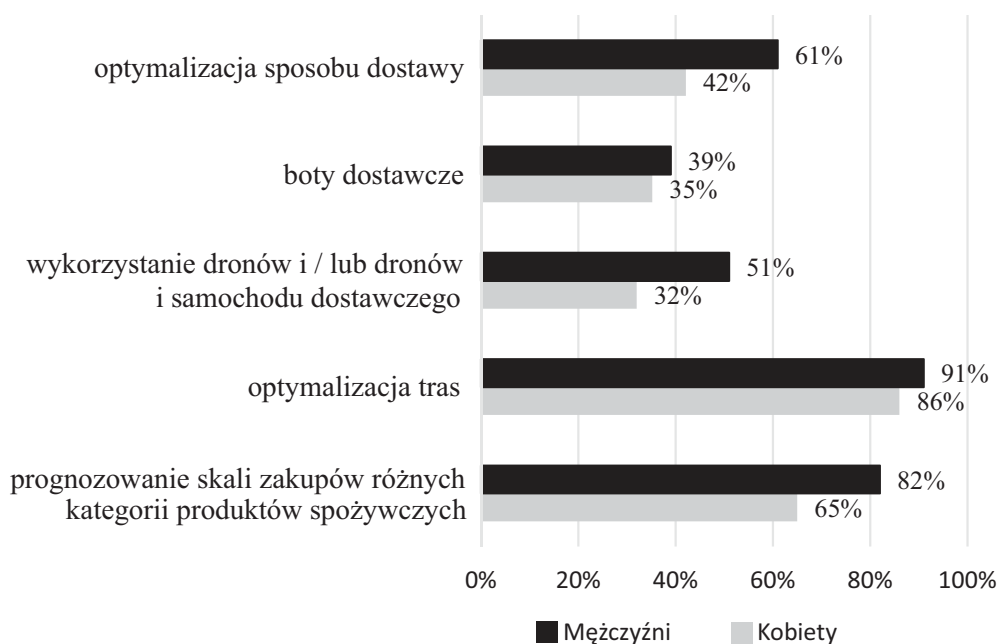
Źródło: badania własne.

Source: own research.

Rynek firm kurierskich jest jednym z najszybciej rozwijających się sektorów w branży TSL. Kluczowym wyzwaniem, z którym musi się zmierzyć, jest dostarczanie przesyłek do klientów końcowych. W obliczu rosnących oczekiwań klientów oraz silnej konkurencji, firmy te inwestują w najnowsze technologie i kładą duży nacisk na wysoką jakość usług [Fajczak-Kowalska i Kowalska 2017].

Zdecydowana większość respondentów (91% mężczyzn i 86% kobiet) wskazała, że wykorzystanie AI w doskonaleniu logistyki ostatniej mili przyczyni się do optymalizacji tras, a w konsekwencji do redukcji kosztów (rys. 6). Sztuczna inteligencja umożliwia optymalizację tras przez wykorzystanie zaawansowanych algorytmów, które analizują różnorodne czynniki, takie jak odległość, czas podróży, ruch drogowy czy preferencje klientów. Analiza istotności związku między płcią respondentów a wskazaniem dotyczącym wykorzystania AI w doskonaleniu logistyki ostatniej mili testem niezależności chi-kwadrat Pearsona wykazała jego brak. Mogło to wynikać z małej liczebności grupy badawczej oraz znaczącej różnicy w liczbie mężczyzn i kobiet.

Algorytmy oparte na *Big Data* przeprowadzają analizę danych w czasie rzeczywistym, dostosowując trasę w zależności od aktualnych warunków na drodze. Dzięki technikom uczenia maszynowego i algorytmom genetycznym sztuczna inteligencja potrafi



Rysunek 6. Wskazania respondentów dotyczące wykorzystania AI w doskonaleniu logistyki ostatniej mili [%]

Figure 6. Respondents' indications on the use of AI in improving last mile logistics [%]

znaleźć najbardziej efektywne trasy, minimalizując koszty i czas podróży. Ponadto może być wykorzystywana do planowania tras uwzględniających wiele punktów dostawy oraz do optymalizacji harmonogramu dostaw, co pozwala zwiększyć efektywność logistyczną i zmniejszyć koszty operacyjne [Pawlicka i Bal 2021].

Podsumowanie i wnioski

Podsumowując, można stwierdzić, że zakupy online z różnych kategorii produktów spożywczych wśród młodych osób stają się coraz bardziej popularne. W przeprowadzonych badaniach tylko 12% respondentów w wieku 19–25 lat deklarowało, że nie dokonuje zakupów żywności w Internecie. Główną platformą zakupową było Allegro, zapewne ze względu na powszechną znajomość tego serwisu wśród kupujących. Kryterium wyboru dostawy w odpowiedziach respondentów stanowiły najczęściej koszty i szybkość jej realizacji. Na decyzje zakupowe, poza atrakcyjną ceną, mają wpływ również kody rabatowe, szerszy asortyment, większy wybór sposobów dostawy, lepsze zdjęcia produktów, więcej informacji o produkcie, bardziej spersonalizowane oferty oraz lepsza obsługa klienta [E-commerce 2023]. Preferowana w odpowiedziach respondentów była dostawa do paczkomatu. Blisko połowa respondentów wskazała wybór takiej formy dostawy. Ankietowani zwrócili jednak uwagę na brak możliwości otwarcia przesyłki podczas jej umieszczania w skrytce. Szacunki wskazują, że tę formę dostarczenia produktów wybiera 81% kupujących w Polsce. Może to wynikać z rozbudowanej infrastruktury, ale przede wszystkim z szybkiej dostawy, co jest bardzo cenione przez konsumentów.

Jako główne możliwości wykorzystania narzędzia AI w logistyce ostatniej mili wskazano optymalizację tras oraz prognozowanie skali zakupów określonej kategorii pro-

duktów spożywczych. Analiza danych i prognozowanie może w miarę dokładnie wskazywać na wahania popytu określonego asortymentu produktów. Algorytmy hybrydowe w powiązaniu z technologią GPS umożliwiają sterowanie flotą pojazdów, wykorzystując rozwiązania zbliżone do optymalnych, minimalizując odległości i czas podróży, a także maksymalizując pojemność dostaw. Technologie AI uwzględniają również takie czynniki, jak okna czasowe dostaw, pojemność pojazdów i warunki ruchu drogowego, aby określić najbardziej efektywne trasy dla każdego pojazdu. Ta elastyczność zapewnić może terminowe dostawy i zwiększyć zadowolenie klientów.

Bibliografia

- Awwad M., Shekhar A., Iyer A., 2018: Sustainable Last-Mile logistics operation in the Era of E-commerce, *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, sierpień 27–29, Waszyngton, 584–591.
- Brodacki D., 2022: Transformacja ostatniej mili – zeroemisyjność w logistyce miejskiej, *Polityka Insight*, Warszawa.
- Björger A., Bjerkan K.Y., Hjelkrem O.A., 2021: E-groceries: Sustainable last mile distribution in city planning, *Research in Transportation Economics* 87, 100805, <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2019.100805>
- Boichuk N., 2022: Logistyka ostatniej mili jako najdroższy odcinek łańcucha dostaw, [w:] S. Konecka, A. Łupicka (red.), *Logistyka gospodarki światowej*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, 123–133, <https://www.doi.org/10.18559/978-83-8211-106-4/9>.
- Brach J., Pawłowska M., 2020: Operator zastępczy w dostawach realizowanych w ramach tzw. ostatniej mili, *Zeszyty Naukowe Polskiego Towarzystwa Ekonomicznego w Zielonej Górze* 13, 31–42, <https://www.doi.org/10.26366/PTE.ZG.2020.177>
- Chen C., Demir E., Huang Y., Qiu R., 2021: The adoption of self-driving delivery robots in last mile logistics, *Transportation research part E: logistics and transportation review* 146, 102214, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102214>
- Chodak G., Łęczek J., 2014: Problem ostatniej mili – wyniki badań sklepów internetowych i konsumentów, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka* 9(9), 25–43.
- Cichosz M., 2020: Drony w logistyce ostatniej mili – innowacja wspierająca zrównoważoną logistykę, [w:] P. Zagrajek (red.), *Sektor lotniczy w erze transformacji społecznej i technologicznej*, Wydawnictwo SGH, 415–430.
- Demir E., Syntetos A., Van Woensel T., 2022: Last mile logistics: Research trends and needs, *IMA Journal of Management Mathematics* 33(4), 549–561, <https://doi.org/10.1093/imaman/dpac006>
- E-Commerce w Polsce 2023, Gemius S.A., Warszawa.
- Fajczak-Kowalska A., Kowalska M., 2017: Jakość usług logistycznych – rozwiązania wykorzystywane w ostatniej mili przez firmy kurierskie, *Logistyka* 2, 42–43.
- Giuffrida N., Fajardo-Calderin J., Masegosa A.D., Werner F., Steudter M., Pilla F., 2022: Optimization and machine learning applied to last-mile logistics: A review, *Sustainability* 14(9), 5329, <https://doi.org/10.3390/su14095329>
- Hagberg J., Hulthén K., 2022: Consolidation through resourcing in last-mile logistics, *Research in Transportation Business & Management*, 45, 100834, <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100834>

- Koliński A., Stajniak M., 2019: Zarządzanie współczesnymi łańcuchami dostaw, Wybrane aspekty jakościowe i organizacyjne, Instytutu Naukowo-Wydawniczego „Spatium”, Radom.
- Lai P.L., Jang H., Fang M., Peng K., 2022: Determinants of customer satisfaction with parcel locker services in last-mile logistics, *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 38(1), 25–30, <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2021.11.002>
- Lemardelé C., Estrada M., Pagès L., Bachofner M., 2021: Potentialities of drones and ground autonomous delivery devices for last-mile logistics, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 149, 102325, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102325>
- Leon S., Chen C., Ratcliffe A., 2023: Consumers’ perceptions of last mile drone delivery, *International Journal of Logistics Research and Applications* 26(3), 345–364, <https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1957803>
- Melkonyan A., Gruchmann T., Lohmar F., Kamath V., Spinler S., 2020: Sustainability assessment of last-mile logistics and distribution strategies: The case of local food networks, *International Journal of Production Economics* 228, 107746, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107746>
- Olsson J., Hellström D., Pålsson H., 2019: Framework of last mile logistics research: A systematic review of the literature, *Sustainability* 11(24), 7131, <https://doi.org/10.3390/su11247131>
- Pawlicka K., Bal M., 2021: Zastosowanie sztucznej inteligencji i zrównoważonych finansów łańcucha dostaw w obsłudze logistycznej omnichannel, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka* 10, 27–35, <https://doi.org/10.33226/1231-2037.2021.10.3>
- Patella S.M., Grazieschi G., Gatta V., Marcucci E., Carrese S., 2020: The adoption of green vehicles in last mile logistics: A systematic review, *Sustainability* 13(1), 6, 1–29, <https://doi.org/10.3390/su13010006>
- Ranieri L., Digiesi S., Silvestri B., Roccotelli M., 2018: A review of last mile logistics innovations in an externalities cost reduction vision, *Sustainability* 10(3), 782, <https://doi.org/10.3390/su10030782>
- Wang X., Yuen K.F., Wong Y.D., Teo C.C., 2018: An innovation diffusion perspective of e-consumers’ initial adoption of self-collection service via automated parcel station, *The International Journal of Logistics Management* 29(1), 237–260, <https://doi.org/10.1108/IJLM-12-2016-0302>

Aleksandra Helena Pasieczna-Dixit✉, **Dariusz Starkowski**
Pomeranian University in Starogard Gdansk

Management and Identification of model risk sources: Examples using systemic risk measures

Zarządzanie i identyfikacja źródeł ryzyka modelu na przykładzie miar ryzyka systemowego

Abstract. As finance practitioners increase their reliance on computational models and data, the risk associated with erroneous models and improper model usage increases, with consequences for individual companies, regulatory bodies, and the larger economy. To help control model risk, we identify five categories of model risk sources: 1) dataset issues; 2) data processing related issues; 3) model construction related issues, 4) model implementation related issues; 5) model interpretation related issues. We justify this classification with examples in each category that study the impact of these sources on the estimates of systemic risk measures. The aim of the article is to draw attention to the need to create a framework for risk management in a logistics company based on a bank, which would include quantitative models. The article also presents general strategies that can be implemented in such a risk management framework in a logistics enterprise using the example of a bank.

Key words: Model Risk, Model Risk Management, Systemic Risk Measures, Monte Carlo, bank, Banking, Logistics company

Synopsis. W miarę jak praktycy finansowi coraz bardziej polegają na modelach obliczeniowych i danych, wzrasta poziom ryzyka związanego z błędnymi modelami i niewłaściwym wykorzystaniem modeli, co ma konsekwencje dla poszczególnych firm, organów regulacyjnych i całej gospodarki. Aby pomóc w kontrolowaniu ryzyka modelu, identyfikujemy pięć kategorii źródeł ryzyka modelu: 1) problemy ze zbiorem danych; 2) problemy związane z przetwarzaniem danych; 3) kwestie związane z konstrukcją modelu; 4) kwestie związane z implementacją modelu; 5) kwestie związane z interpretacją modelu. Uzasadniamy tę klasyfikację przykładami w każdej kategorii, które badają wpływ tych źródeł na oszacowania miar ryzyka systemowego. Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na potrzebę stworzenia

✉ **Aleksandra Helena Pasieczna-Dixit** – Pomeranian University in Starogard Gdansk, Institute of Security and Administration; e-mail: wwwpasiecznapl@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6867-3584>

Dariusz Starkowski – Pomeranian University in Starogard Gdansk, Institute of Mining Economics and Logistics; e-mail: dariusz.starkowski@twojestudia.pl; <https://orcid.org/0000-0001-9232-7673>

ram zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie logistycznym na podstawie banku, które obejmowałyby modele ilościowe. W artykule przedstawiono również ogólne strategie, które można wdrożyć w takich ramach zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie logistycznych na przykładzie banku.

Słowa kluczowe: ryzyko modelu, zarządzanie ryzykiem modelu, miary ryzyka systemowego, Monte Carlo, bank, bankowość, przedsiębiorstwo logistyczne instytucja finansowa

Kody JEL: D81, C63, O1/P4

Introduction

Quantitative finance is usually assumed to have started with the doctoral thesis “The theory of speculation” written by Louis Bachelier [Bachelier 1900, Cesa 2017]. Since then, mathematical and computational models have been used for a wide variety of applications in finance, including pricing [Black and Scholes 1973] and evaluating risk profiles [Merton 1974]. Due to the digitalization of modern businesses, mathematical and computational models have been incorporated within banking logistics as well, such as for reducing the costs associated with cash inventory optimizations [Baker et al. 2012], cash demand forecast [Cedolin et al. 2024] and customer flow optimization [Madadi et al. 2013]. With much of the finance world relying on models, it is not surprising that, at some point, many of these models may cause various financial crises, whereas others indicate the reliance on these models for causing the crises [Weatherall 2013].

Given the widespread use of models, it is thus important that the practitioners understand the risks associated with their use. Improper model risk management can be damaging for investors, companies, and, under some circumstances, propagate these negative effects to the larger economy. The term model risk here refers to the risk associated with the general development and usage of models and is a subject of active research. Models are built on observed data and have implicit and explicit assumptions about the workings of the world.

Since they approximate various phenomena, their value in guiding practitioners can only be as good as the data used to build the model, the assumptions that entered the model, the implementation of the model, and the interpretation of the results. According to Derman [Derman 1996], model risk is a consequence of general model construction and uncertainty in the field of finance, a view shared by some researchers [Crouhy et al. 1998]. Everything related to a model is thus a part of the model risk, including data contamination, incorrect implementations, poorly approximated solutions, software or hardware bugs, and the practitioners themselves. With this view, it is difficult to isolate the individual sources of risk for risk control.

The goal of any organization is, among other things, to manage efficient logistics processes. Its implementation requires the implementation of a risk management system so that it is possible to estimate significant risk groups accompanying the implementation of the logistics processes, develop integrated risk management strategies, and develop risk analysis tools in logistics processes. Risk management is the planned and deliberate analysis, control and control of risk positions. Planning means a systematic, not random

analysis, while purposefulness means conscious tracking of the positions, opportunities and risks of a specific institution derived from the company's goals. Effective risk management in logistics requires the identification and analysis of potential threats, planning and implementation of the risk minimization measures, plus regular monitoring of their effectiveness and adaptation to changing the business conditions.

Planning means a systematic rather than a random analysis, while purposefulness means conscious tracking of the positions, opportunities and risks of a specific institution derived from the company's goals. Effective risk management in logistics requires the identification and analysis of potential threats, planning and implementation of risk minimization measures, and regular monitoring of their effectiveness and adaptation to changing business conditions.

Some authors study model risk with more focused points of view. For example, few research works define model risk as the inaccuracy arising from estimation errors and the use of incorrect models [Boucher et al. 2014, Glasserman and Xu 2014, Hendricks 1996]. Few other authors consider model risk induced by the data-fitting approach used for statistical modelling, namely, the choice of tests for the data and estimation of the model parameters [Sibbertsen et al. 2008]. For readers interested in the quantification of model risk, we indicate the active research occurring in this domain [Danielsson et al. 2016, Banulescu-Radu et al. 2020, Pasieczna 2021]. As opposed to quantifying the model risk, the aim of this work is to identify and categorize the model risk sources.

This paper highlights the need for better model risk management, and endeavors to push for proper documentation, implementation, and usage of quantitative models, especially for those relying on large amounts of data. While listing the model risk sources, this work relies on examples based on market-data based models that quantify systemic risk (SR). Specifically, we highlight potential issues that occur with the computational tools used for estimating stress in a financial network. SR is the risk of collapse of the entire financial system. As opposed to the risk on an individual bank, the risk is spread (and realized) across the entire financial network. A systemic collapse tends to have triggers at individual banks (e.g., bankruptcy of a very important bank), and can have consequences that leak into the larger economy (e.g., a national level recession). Systemic risk measures (SRMs) aim to quantify the level of stress of the system and recognize the major contributors, and so SRMs are a crucial tool for regulators and banking institutions. Since systemic events impact the larger economy, it is highly important that they accurately measure that for which they were proposed. Underestimating SR might result in more risk-taking behaviors by banks, leading to an increase in the overall financial stress and an increased risk of a systemic collapse with long-term consequences for the real economy. On the other hand, overestimating SR can cause regulators to apply excessive penalties on banks, leading to a decrease in economic stimulus and a consequent slow-down in economic growth.

The importance of banking logistics cannot be understated in the context of SR, since failures in appropriate modeling of the various processes in liquidity and risk management can result in a shock that negatively impacts the broader financial system. For example, delays or disruptions in replenishment of cash at ATMs due to external factors (e.g., natural disasters, war) can lead to customers causing bank runs, resulting in a liquidity crisis and an eventual propagation of the contagion into the larger financial system.

Typically, there are two main model families (not a strict classification) used when measuring SR: network models and market-data based models. Network or graph models rely on balance sheet data to model the financial network, and use interbank connections (such as interbank loans) to propagate shocks [Cifuentes et al. 2014, Hurd 2016]. Market-data based models, the focus in this work, rely on market data, such as stock prices, to estimate the correlations that indicate bank co-movements due to interbank dependencies as well as exposures to common assets. The latter family has certain advantages, the main being that market data is accessible to the public and considered more informative (transparent) for investors. Additionally, market data is available at different frequencies (monthly, weekly, daily, intra-day), as compared to balance sheet data, typically available only once a quarter. Higher frequency data can be very insightful to analyze extremely fast SR contagion events.

While this work applies to a wide variety of SRMs and other computational models, we focus on two candidate SRMs to highlight potential sources of model risk. Both SRMs are related to the too-connected-to-fail (TCTF) aspect of SR. The first SRM is the marginal expected shortfall (MES), which looks at how a particular bank reacts when the market under-performs [Acharya et al. 2010, Brownlees and Engle 2012]. It can be interpreted as the marginal contribution of a bank to market falls [Idier et al. 2013], and thus attempts to quantify the SR using the inter-connectedness of the financial network. If the MES of the bank is estimated with an external market index (as opposed to the index it belongs to), then it can represent the performance (sensitivity) of the bank to bad market days, and thus looks at the company's exposure to SR. The second SRM studied in this work is the Delta Conditional Value at Risk (ΔCoVaR), which looks at how the market risk changes to bank crashes [Adrian and Brunnermeier 2008, Castro and Ferrari 2014]. Like the MES, the ΔCoVaR also considers the aspect of inter-connectedness in quantifying the SR of the financial system. The chosen SRMs differ only in direction: one examines the reaction of banks to market falls (banks' exposure to SR), the other examines the reaction of the market to bank crashes (financial network's exposure to individual banks).

We expect both SRMs to act independently of each other, except when the reference market index and the bank are highly correlated to each other. Typically, if an appropriate reference market index is chosen, such situations do not arise, and these SRMs capture slightly different effects from one another.

Despite their advantages, market-data based SRMs have certain limitations. Firstly, inter-connectedness is inferred from price returns correlations. It is difficult to conclude whether an observed correlation is due to an interbank dependency or an exposure to a common factor. Secondly, market-data based metrics give little to no importance to the precise cause of systemic triggers, and typically simulate shocks as drops in stock value of a bank or drops in a reference market index. Thirdly, they have high model risk [Danielsson et al. 2016], with even identification of systemically important banks with SRMs being prone to errors due to estimation risk alone [Danielsson et al. 2016]. The last point makes their use limited in the context of regulation, since if the model risk is high, the model outcomes are less dependable, and it becomes difficult for regulators to judge the systemic importances of banks. Given the high model risk of SRMs, they are good candidates to illustrate the need for better model risk management, which is the aim of this

paper. The risks associated with improper management of model risk can be devastating for individual banks, which are specific logistics companies, and the effects can translate into the real economy.

The rest of the article has the following structure. Section 2 – Theoretical Concepts and Tools contains the theoretical concepts and tools used, namely, classification of the model risk sources, brief definitions of the SRMs, description of the data used, and the implementation details of the algorithm used to estimate the SRMs. Section 3 – Research results, being the main contribution of this article, expands upon the classification of the model risk sources with technical examples pertinent to the estimation of the chosen SRMs. When possible, we provide suggestions that might be used to reduce the model risk associated with certain sources. Section 4 discusses the implications of the work in the context of SRMs, along with schemes to manage the model risk. Section 5 concludes the article.

The aim of this work is primarily to identify and classify the sources of model risk, along with the intention to create a dialogue between model developers and risk managers so that model risk can be properly estimated by the logistics company. To substantiate this classification, examples are provided of the impact that these sources have on the estimates of logistic and systemic risk measures used by the banks and regulators to quantify the magnitude of stress in the financial system. The examples used cover a specific application, although it can be used in other branches of the economy, including logistics.

Materials and Methods

Theoretical Concepts and Tools

Identification of Model Risk Sources

Multiple researchers have attempted to identify model risk sources in different financial models. For example, Derman [Derman 1996] identifies the following seven sources of model risk:

- inapplicability of modelling,
- incorrect model,
- correct model, incorrect solution,
- correct model, inappropriate use,
- poorly approximated solution,
- software and hardware bugs,
- unstable data.

In another example, Kato et al. [2000]) state that in pricing models, the sources of model risk include:

- use of incorrect assumptions,
- errors in the estimations of parameters,
- errors resulting from discretization,
- errors in market data.

For risk measurement models, they identify the difference between assumed and actual distribution, and errors in the logical framework of the model. In a paper by Management Solutions [Lamas et al. 2014], the authors identified three categories of model risk sources:

- data deficiencies in terms of availability and quality,

- estimation uncertainty or model error,
- model misuse.

While these classifications differ from one practitioner to another, model risk sources tend to lie along three main dimensions:

- data,
- the computational model,
- the interpretation (more generally, the usage) of the model outcomes.

Given that data is becoming increasingly central to financial models, we find it appropriate to divide the data axis into two categories – (1) issues related to dataset collection and description, (2) issues related to data-processing, where the raw data is treated or transformed before being used in computational models. Additionally, finance practitioners continue to build and rely on computational models, and so we divide the model risk sources within the computational model axis in two categories – (1) model construction related sources, i.e., issues related to the model development at the abstract level, and (2) model implementation related sources, i.e., issues dealing with the practicalities of software and hardware. With this, we propose the following classification of model risk sources.

1. **Dataset Issues:** These sources refer to risk sources that practitioners are exposed to during dataset collection and description processes.
2. **Data Processing Issues:** These are risk sources that appear during the transformation of raw data to make the datasets more ‘model friendly.’
3. **Model Construction Related Issues:** These sources of model risk specifically consider issues associated with the development of the model algorithm, and not with the practicalities of the model implementation.
4. **Model Implementation Related Issues:** These model risk sources refer to problems linked to the practical implementation of the model, including software and hardware limitations.
5. **Model Interpretation Related Issues:** This category of model risk sources deals with issues linked to the usage of model outcomes for decision-making processes.

While this proposal is based on literature review and personal experience, it can be used to initiate discussions for better model risk management. In Section 3, we provide a detailed explanation of these categories along with examples in each category that help justify our proposed list. Though the examples lie within the context of market-data based SRMs, the list applies to all types of models (e.g., forecasting, optimization models, inventory management models, risk models, pricing models, portfolio optimization models) that use data and computational tools. This proposed classification aims to create dialogue between the modelers and risk managers, with the intent of identifying major model risk sources within different processes and (hopefully) mitigating model risk.

Systemic Risk Measures

To highlight the model-risk sources present in SRMs, we selected two widely used market-data based SRMs, which we briefly describe here.

Both SRMs do not consider the cause of the shock that causes a collapse, and simply consider that the bank or the market has had an event which caused its market value to fall. The event at a bank could be due to realization of the systematic risk (broader

trend of market behavior), or unsystematic risk (specific to the company, e.g., inventory problems, cash mismanagement, local bank runs). The event at the market could be due to macro-announcements (e.g., pandemic lockdowns, war, trade sanctions, supply chain restrictions). While we focused on SRMs, the analysis of the model risk can be applied to most computational models, including forecasting and risk management.

i. Marginal Expected Shortfall

The MES of a bank is defined as the average performance of the bank when a reference market index is in its left tail [Acharya et al. 2010, Brownlees and Engle 2012, Idier et al. 2013]. Thus, it looks at the exposure of the bank to market falls. Mathematically:

$$MES_{i,t}(\alpha) = \mathbb{E}\left[R_{i,t} \mid R_{m,t} \leq VaR_{m,t}(\alpha)\right]. \quad (1)$$

Here, $R_{i,t}$ and $R_{m,t}$ represent the price returns of the bank i and the market m at time t . $\mathbb{E}[x]$ is the expectation value of x . $VaR_{m,t}(\alpha)$ is the Value-at-Risk (VaR) of the market at confidence level α , and is defined as the maximum possible loss, whose probability is within a pre-defined confidence level over a predefined time horizon [Hendricks 1996, Holton 2003, Pasiieczna 2019]. In a Monte Carlo (MC) setup like ours, the MES of a bank is the average simulated returns of the bank over the MC iterations satisfying the condition that the market's simulated returns are below the simulated market VaR.

ii. Delta Conditional Value at Risk

The $\Delta CoVaR$ was proposed to study the contribution of a bank to overall SR [Adrian and Brunnermeier 2008, Castro and Ferrari 2014]. As the name suggests, it looks at the change in the CoVaR, defined as the market VaR conditional on an event at the bank. Mathematically:

$$\Delta CoVaR_{i,t}(\alpha) = CoVaR_t^{[m|R_{i,t}=VaR_{i,t}(\alpha)]}(\alpha) - CoVaR_t^{[m|R_{i,t}=VaR_{i,t}(0.5)]}(\alpha). \quad (2)$$

Here, $CoVaR_t^{[m|R_{i,t}=VaR_{i,t}(\beta)]}(\alpha)$ is defined as the VaR of the market m at confidence level α when the returns of the bank i are at their VaR (confidence level β). $\beta = 0.5$ implies median returns at the bank ('normal' functioning). Thus, the $\Delta CoVaR$ SRM looks at how the market risk (defined through the market VaR) changes when the bank crashes. While it is possible to estimate the $\Delta CoVaR$ using a quantile regression [Bianchi and Sorrentino 2020], we use a slightly different approach where we compute the market VaR over a certain range (defined as $1\% = \pm 0.5\%$ of the total MC iterations) of simulated market returns around the required quantile (i.e., $\beta \pm 0.005$) of the bank's simulated returns.

Data Description

Our chosen list of banks was a subset of the banks considered systemically important and directly supervised by the European Central Bank (ECB). ECB regularly updates and publishes the full list online along with criteria for significance [European Central Bank 2021]. These banks function in countries which have adopted the Euro as their official currency, or whose currencies are pegged to the Euro (as is the case of Bulgaria).

We had collected the data in August 2021, when the ECB supervised 114 banks, of which, we kept 47 banks for study. The reasons for rejecting the remaining institutions were unavailability of data in Bloomberg, unlisted (or pending listing) on the market exchanges, a private company, or having been acquired by a bank already included. The complete list of banks along with their grounds for significance is provided in Table 1.

Price and outstanding shares data were obtained using the Bloomberg terminal [Bloomberg L.P. 2021]. Whenever possible, the data for each bank began on the first of January 2000, implying a history of slightly over 20 years until August 2021. Since the list of banks is static, based on the supervised list in August 2021, we expect survivorship bias in the dataset, and we discuss its implications in an example (Section 3.A.ii).

Computational Methods

This section describes the computational methods used to estimate the MES and ΔCoVaR . It consists of two subsections, the first dealing with the self-built market index used as the reference market index in the SRMs, and the second describing the Monte Carlo process to compute the SRMs.

i. Self-built market index

Here, a self-built market index was used as a reference market index for the SRMs. This index is constructed from the 47 banks described in Table 1, using the following steps:

- For every day within the simulation period, compute the market capitalization for each bank as the product of its last known outstanding shares and price.
- Add the market capitalization over all banks present on that day.
- Normalize this aggregated market value by dividing it using a divisor.

$$\text{index}_d = \frac{\sum_{i \in \text{comp}_d} \text{mcap}_i(d)}{\text{divisor}_d}. \quad (3)$$

Here, index_d is the value of the index, comp_d is the composition of the index, $\text{mcap}_i(d)$ is the market capitalization of bank i , and divisor_d is the divisor value on day d . The missing price and outstanding shares values were forward filled (last known data used) for the market index, as it represents the amount of wealth generated by these banks.

The divisor was reconstructed each time a new bank enters the market and used from the following day. This was necessary to ensure that the market index only takes past data into account. The first day was skipped for every bank in the index. Additionally, the starting value of the divisor was chosen such that the index begins with a value of 100 points. The expression for updating the divisor is:

$$\text{divisor}_{d+1} = \text{divisor}_d = \frac{\sum_{i \in \text{comp}_d} \text{mcap}_i(d)}{\sum_{i \in \text{comp}_{d-1}} \text{mcap}_i(d)}; \quad (4)$$

$$\text{divisor}_{d=2} = \frac{1}{100} \sum_{i \in \text{comp}_{d=1}} \text{mcap}_i(d=1). \quad (5)$$

There are two advantages to this index – (1) the start date of the market index is the first simulation date of the banks (01/01/2000), and (2) the index fully describes the movements of the banks and contains no external information. However, as mentioned earlier, we expect the presence of survivorship bias in the dataset, thereby impacting the perceived index performance (see Section 3.A.ii for its impact).

ii. Computational algorithm for SRMs

We use a Monte Carlo (MC) approach to estimate the two SRMs. MC techniques are used in simulating problems with uncertainty, and so are quite apt for risk analysis [Savvides 1994, Glasserman et al. 2000, Pasieczna 2019], including SRMs [Lehar 2005, Glasserman 2005, Minderhoud 2006, Siller 2013, Koike and Hofert 2020]. Since our aim is to identify model risk sources, as opposed to the estimation of SRMs or their model risk, we opt for a simplistic MC scheme to emphasize the risk associated with the mismanagement of model risk sources. Except in Section 3.C.i, price returns of the bank or the market are defined as logarithmic returns. The algorithm consists of two steps: 1) estimation of the distribution of price returns using the past data, and 2) generating future returns using the estimated distribution, from which we estimate the SRMs:

1. Estimation of price returns distribution: For each day of the simulation period, we use a rolling window (length 250 trading days, approximately 1 year) to estimate the price returns distribution:
 - We estimate the mean, standard deviation of the returns of all banks and the market index. The correlation values between the returns of each bank and the market index are also estimated.
 - An additional degrees of freedom parameter (proxy for the tailedness) is estimated for the returns of all banks and the market index when the Student's- t distribution is used.
2. Estimation of SRMs with the estimated distribution:
 - Using a Gaussian or Student's- t distribution with the parameters estimated, we generate 20,000 future price returns (except in Section 3.D.ii) for each bank and the market index using a bivariate process [Brownlees and Engle 2012]:

$$r_{m,d+1}^n = \mu_{m,d} + \sigma_{m,d} \epsilon_{m,d}^n, \quad (6)$$

$$r_{i,d+1}^n = \mu_{i,d} + \sigma_{i,d} \rho_{im,d} \epsilon_{m,d}^n + \sigma_{i,d} \sqrt{1 - \rho_{im,d}^2} \epsilon_{i,d}^n. \quad (7)$$

- Indices i , m , n and d refer to the bank, the market index, the MC iteration, and the simulation day, respectively. $r_{i/m,d+1}^n$ are the simulated returns for the next simulation day, $d+1$. $\mu_{i/m,d}$, $\sigma_{i/m,d}$ and $\epsilon_{i/m,d}^n$ are the estimated means, the estimated standard deviations and drawn random numbers from a standardized distribution (Gaussian or Student's- t) respectively. $\rho_{im,d}$ is the correlation between the returns of the bank and market index.
- MES estimation (confidence level α): Estimate the VaR of the market as the α^{th} quantile from the simulated market index values. The MES of a bank is the average of the simulated returns of a bank when the simulated market returns were below this VaR.

- ΔCoVaR estimation (confidence level α): For a given bank, consider all simulations of the market index returns, where the simulated returns of the bank were between the VaR at $\alpha + \varepsilon$ and $\alpha - \varepsilon$ quantiles. The VaR at α confidence level of these selected market returns is the stressed CoVaR. The unstressed CoVaR is similarly computed as the VaR at confidence level α of the selected market returns, where the bank's simulated returns were between the $0.5 + \varepsilon$ and $0.5 - \varepsilon$ quantiles. The difference between the stressed and unstressed CoVaRs is the ΔCoVaR . ε was set to 0.005 (1% of all MC iterations are selected), and the impact of changing this value is discussed in Section 3.C.ii.

Here, the missing data points were not treated (Section 3.B.i discusses the impact of the treatment type), and the distribution parameters were estimated by dropping these points. For statistical stability purposes, we required a minimum of 80% of available data within the rolling window for computing the mean, standard deviation and tailedness parameters, and a minimum of 60% for the correlation parameter. If this was not satisfied for a particular bank on a given day, no SRM was estimated for that bank on that day. For the Student's-t distribution, we had to impose a minimum value of 5 for the degrees of freedom parameter. The impact of this choice is discussed in Section 3.D.i.

Research Results and Discussion

Model Risk Sources: Examples using systemic risk measures.

This work is based on case studies that show the impact of different sources of model risk on the results obtained. The proposal to classify the sources of risk of the model was presented on the basis of our own research and a literature review.

The case studies focus on the quantification of two measures of systemic risk - Marginal Exceeded Shortfall (FEM) and Delta Conditional Value at Risk (ΔCoVaR), whose values are estimated using the Monte Carlo simulation method. The data used for the analysis includes market data on banks monitored by the Logistics company on the example of European Central Bank.

Dataset Issues

Data collection and description can be huge sources of model risk, depending on how the data is used. Both issues can be due to technological limitations (poor measurement tools), the nature of rare events, or human error (e.g., negligence). Poor quality data, for example, can make it extremely hard to extract the necessary information for practical use. Models that are built on bad data tend to give unreliable results, referred to in data science fields as 'Garbage In – Garbage Out' [Kilkenny and Robinson 2018]. Incomplete or missing data can adversely impact models that rely on inferring statistical properties of certain variables from the data. Just like quality and the completeness of data, documentation and description of the dataset is important. If the datasets are incorrectly described, then models built on those datasets will be exposed to high model risk. Irrelevant data might be used during model construction, acting as another potential source of model risk.

Data collection can also be subject to biases, such as survivorship bias where the dataset reflects only the entities that 'survived' until the time of the data collection process

[Gilbert and Strugnell 2010]. For example, if we collect historical market prices of the S&P-500 companies based on today's composition, then our dataset does not contain the companies removed from the index.

This leads to under-representation of companies that performed worse, and models built on this dataset are exposed to this bias. Financial data has been known to be subject to other types of biases as well [Bryant et al. 2019, Zhong and Hamilton 2023].

Since computational models are built on datasets, then dataset issues are a major source of model risk. Managing model risk associated with this source requires a huge effort on the part of banks, mainly on the side of data collection (either directly from markets, or from data providers), maintenance (includes monitoring and when possible, correcting, for any potential bias) and documentation of the datasets. This is a non-trivial problem, and many banks tend to have dedicated data teams for leading this effort. Data management is a rapidly evolving domain, and risk managers need to consider and account for the ever-growing need of researchers and practitioners for more data for better computational models [Dicuonzo et al. 2019].

To further underline the need for better data management, we study two specific examples – (1) poor data quality due to missing data, and (2) survivorship bias. In the first example, we show the deviations of the MES at 95% confidence levels for three banks as a function of missing data. In the second example, we show how the reference market index with survivorship bias has a slightly optimistic outlook when compared to another reference market index without this bias.

i. Poor data quality

This example highlights the impact of missing data on the MES estimates (95% confidence levels), using three banks:

- Crédit Agricole S.A.
- Deutsche Bank AG, a
- Banco Santander S.A.

First we estimated the MES using all available data, then 5% of all price data was randomly removed before recomputing the MES, and, finally, 10% of the total data was randomly removed for the third MES computation. Figure 1 shows the histograms of the deviations (in relative units with respect to the MES computed with all data) of the MES at 95% confidence levels for the three banks when 5% (orange) or 10% (green) of the data was removed.

We observe that the green histograms that have 10% missing data have more spread (mean: -0.26% , std: 5.09% , min: -22.34% , max: 13.00%) than the orange histograms which have 5% missing data (mean: 0.61% , std: 3.22% , min: -19.14% , max: 15.74%). This indicates that the model risk (defined as variability of the estimates) increases with the percentage of missing data. As price data goes missing, estimation of the statistical properties of the returns becomes unreliable, leading to an increase in the MES deviations. This has important consequences for SRMs. For example, if one were to choose the most significant banks from a larger dataset, then with just 5% of missing data (selected 5,259 data points out of 5,536) we observed variability of about 3%. With 10% of the missing data, the observed variability reaches about 5%. The perceived relative risk contributions of the banks can vary quite significantly, leading to an unreliable ranking of the banks'

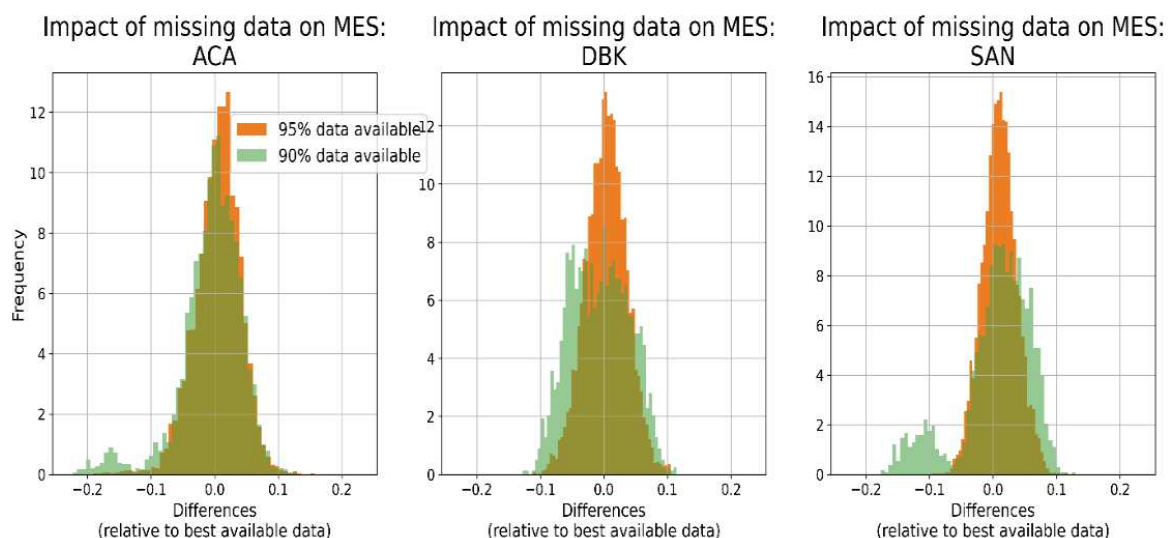


Figure 1. Relative differences of MES at a 95% confidence level from the MES computed with the best available data

Rysunek 1. Względne różnice MES obliczonego na podstawie najlepszych dostępnych danych z MES obliczonym na podstawie brakujących danych

Source: banks chosen: ACA (Crédit Agricole S.A.), DBK (Deutsche Bank AG) and SAN (Banco Santander, SA)
 Źródło: wybrane banki: ACA (Crédit Agricole S.A.), DBK (Deutsche Bank AG) i SAN (Banco Santander, SA)

systemic importances. Usage of the results by regulatory bodies without accounting for the associated model risk can lead to the regulators applying inappropriate penalties on less risky banks or being lenient on more risky banks.

i. Survivorship bias

This second example related to dataset issues deals with the issue of survivorship bias and discusses the implications, in the context of the perceived performance of the market indices. The dataset used in this work consists of market prices and the outstanding shares amount of 47 banks, which form a subset of systemically important banks supervised by the European Central Bank (ECB).

As mentioned earlier, the dataset reflects the banks supervised in August 2021, and does not consider the temporal change of this list. Hence, we expect survivorship bias to be present. To understand why, let us consider a bank that was supervised by the ECB prior to the 2015–2016 stock market sell off, but not supervised (became less significant) after the crash. We would not have downloaded price data about this bank. A reference market index built without this bank would not see the downward performance of the bank, the consequence of which is that this index would outperform another index that considers the temporal evolution appropriately. This perceived outperformance is an artefact of how the dataset was built and is the outcome of the survivorship bias present.

In the left subplot of Figure 2, we compare the temporal evolution of the self-built market index (Section 2.D.i) that contains the survivorship bias and the Euro Stoxx Banks index, or SX7E (QONTIGO, 2011) without this bias. The data for the SX7E index was obtained from <https://www.investing.com/> and begins on 28 December 2012, which implies a limited history for comparison of the two indices. Over the common history, we

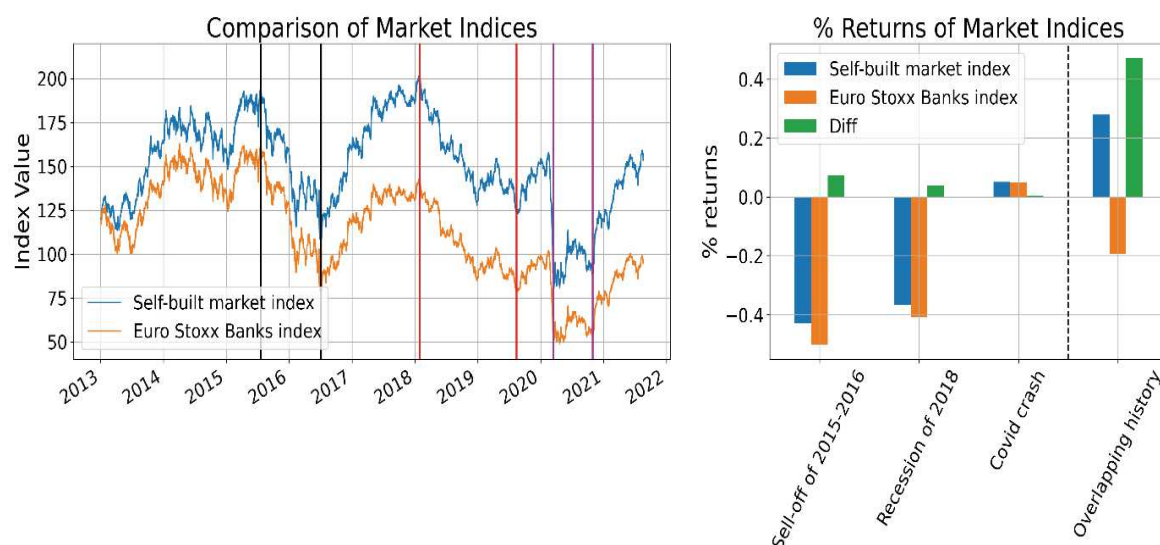


Figure 2. Comparison of the self-built market index that contains survivorship bias and the Euro Stoxx Banks index that does not contain survivorship bias

Rysunek 2. Porównanie samodzielnie zbudowanego indeksu rynkowego, zawierającego błąd przeżywalności, z indeksem Euro Stoxx Banks

Source: own work based on market index with Euro Stoxx Banks index

Źródło: opracowanie własne na podstawie indeksu rynkowego z indeksem Euro Stoxx Banks

observe similar behaviors for the two indices, with correlations between the respective log-returns reaching 97.76%. The self-built index seems to be a good proxy of the market index and has more available data.

Nonetheless, the self-built index outperforms the SX7E index, hinting at a non-negligible impact of the survivorship bias. To further analyze this issue, we computed the cumulative returns of both indices over 4 periods:

- sell-off of 2015–2016 [Irwin 2015, Li et al. 2015],
- recession of 2018 [DW 2019],
- COVID crash [Haldar and Sethi 2021],
- the entire overlapping history.

The results are presented in the bar plot on the right subplot of Figure 2. The difference bar (in green) corresponds to the perceived outperformance of the self-built market index over the SX7E index. We observe that the self-built index consistently beats the SX7E, with the difference being the smallest (but still positive) during the Covid crash period that is much closer to the data collection time.

Despite the remarkable similarity over the common history, we expect the impact of survivorship bias to be more pronounced before the start of the SX7E index since the index compositions would have differed much more. There are consequences on the evaluation of the SRMs as well, since the market index appears less risky, leading to an under-estimation of the network stress. This is particularly important in the context of the development of new SRMs, and the back-testing of the previous crises. Having survivorship bias might cause the SRM to help ‘avert’ a particular crisis, simply because the data consists of banks that have already averted (survived) the crisis.

Data Processing Related Issues

Before being used in models, some type of data processing might be done to make the data more ‘model friendly.’ This step introduces more potential sources of model risk, and practitioners need to be able to deal with them. Some examples of data processing steps include dealing with missing datapoints, correcting or flagging erroneous datapoints, re-arranging data into a more appropriate form, and performing small transformations on the dataset. If datasets are small, then manual verification, even if slightly cumbersome, of the data processing steps is possible, and the risk associated with this stage can be minimized. However, as datasets become larger, performing tasks manually become intractable, with many steps tending to become automated, leading to an increase of model risk.

To better understand this stage, consider the problem of detecting and flagging large price jumps in a stock’s daily time-series. If the jump exists for a day, it might most likely indicate that there is an error in the data, less likely reflect an extreme event, and flagging this jump as an error would require confirmation and verification. If the jumps are uncommon, a human might be able to verify each jump case by case and flag them manually. However, if the jumps are too many, the problem becomes intractable for manual verification, and practitioners turn to automation with some statistical metric (such as percentage of datapoints flagged as errors). Automation then must deal with having either too many datapoints flagged as errors (missing out true tail events) or having too many erroneous datapoints.

When the data processing stage becomes automated, more sources of model risk are introduced, typically in the form of computer bugs. In an ideal case, these bugs are caught and managed when the data processing steps are applied on many tests. However, bugs can pass all internal controls, and their impacts become known only when the transformed data is used for model building or during an audit. A well-known example is the rounding error bug of the Vancouver Stock Exchange Index [Nievergelt 2000], where small errors in rounding accumulated to a very large tracking error (around 50%) of the published index value with respect to the actual index value, causing the index to appear to be falling instead of growing. Using the published index value in computational models would indicate poor market performance (despite an increase in the value of daily transactions).

Model risk management at this stage typically depends on whether the data processing is manual or automatic. If it is manual, rigorous checks by different data analysts need to be implemented with very stringent controls. If automation is used, then good software practices would additionally need to be implemented. As is the case with datasets, computer programs need to be documented, tested, and released. Monitoring will additionally be required to ensure that the data processing programs remain robust to newer, and untested, circumstances of the real world. Implementing these practices comes at a cost to banks, both in terms of money and time, but the risk associated with bad implementation is typically much higher. To highlight the impact of the data processing stage, one example is provided below, where we compare the MES at a 95% confidence level for one bank computed with three ways of dealing with missing price data.

i. Dealing with missing price data

In this case study, three options are considered to deal with missing price data:

- drop the points,
- forward-fill the prices (use the last available information) before estimating the price return statistics,
- back-fill the prices (use the next available information in the past) before estimating the price return statistics.

All three approaches have problems, which manifest in the estimation of the SRMs. If we drop the points, then depending on the number of missing datapoints, we might end up with insufficient data, or unreliable statistics. If we forward-fill the prices, then the price returns will be zero for all the missing points, which might cause the variance of the returns to be lower. Finally, if the missing time-series data is back-filled, then the models are provided information before it should be available, leading to leaked information from the future (breaks in causality). The third approach should ideally never be used for SRMs, since it is possible to gain information about a market crash before the actual crisis. It is included only for teaching purposes.

We estimated the MES at a 95% confidence level for HSBC Bank Malta p.l.c. using these three options. Figure 3 contains: (left) the prices (in red), along with a rolling 250-day count (in black) of available price data, and (right) the MES curves for the three approaches of dealing with the missing data. The plots are zoomed in on the period from July 2008 to January 2010. We see that there are more holes between August 2008 and October 2008, the period containing the September 2008 crash, and the MES curves

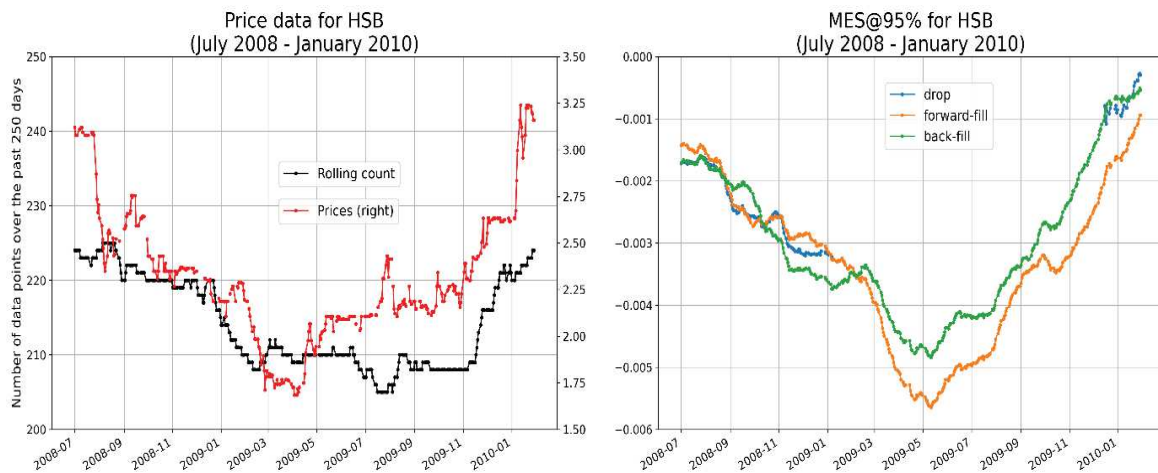


Figure 3. Impact of dropping, forward-filling, or back-filling missing datapoints on the MES at a 95% confidence level. Left subplot: Prices (red) and rolling count of available points (black). Right subplot: MES computed by dropping (blue), forward-filling (orange) or back-filling (green) missing data

Rysunek 3. Wpływ usuwania, uzupełniania do przodu, lub uzupełniania wstecznego brakujących danych dla MES przy poziomie ufności 95%. Po lewej: Cena (czerwony) i liczba dostępnych punktów danych (czarny). Na prawo: MES obliczone poprzez usunięcie (niebieski), uzupełnienie do przodu (pomarańczowy), lub uzupełnienie wsteczne (zielony) brakujących danych

Source: chosen bank HSB (HSBC Bank Malta p.l.c.)

Źródło: na przykładzie banku HSB (HSBC Bank Malta p.l.c.)

indicate the perceived exposure of the bank to the market fall. The three curves are quite different in this period, with the MES computed using the back-fill option (green curve) indicating the largest risk. However, after January 2009, the MES with the forward-fill option (orange curve) indicates the largest risk. The MES curve computed with the drop option (blue curve) typically follows one or the other. The interpretation is as follows. Since the back-fill option (green) has information about the price drop in the past, the perceived risk is higher before (and during) the fall. Similarly, once the price starts picking up, the information is available before, and the risk drops. With the forward-fill option (orange), there is a delay in the information availability due to the smaller perceived variance of the returns, and so the curve lags. The MES computed with the drop option (blue) reacts to the market prices as they are available, and so oscillates between the two.

If we ignore the back-fill option on the argument of causality, we might be tempted to conclude that the drop-option is the better option over the forward-fill option, but that is not always clear, and the better option depends upon the use case. If we are estimating a market index, then using the last available price might be the best option, since the market index reflects the amount of wealth created. However, if we are trying to estimate the statistics of the price returns, then dropping too many datapoints might lead to statistics that vary more, whereas forward-filling prices leads to standard deviation estimates that are smaller. Depending on the model requirements, the data needs to be processed correctly at this stage.

Model Construction Related Issues

During the abstract model construction phase, just before implementation, practitioners are exposed to many sources of model risk. The construction stage that we discuss in this section refers to the development of the algorithm (dealing with abstract aspects as opposed to the model implementation dealing with practical aspects) as part of the modeling process. This stage can equivalently be thought of as the model conception stage, where decisions regarding the data usage, algorithmic steps and expected model outcomes are made, without regard to the practicalities of software and hardware choices.

During the abstract development of the models, practitioners might inadvertently incorporate some biases within the models. These biases might be within the data itself (especially pertinent for machine learning algorithms, where the bias might be hidden in the training set), or in the algorithmic steps. For example, Google's Sentiment Analyzer gave negative or positive sentiment values depending on the sociocultural information mentioned in the input [Thomson 2017], which can be considered offensive and discriminatory against certain groups. These can have huge consequences when the models exposed to such biases are used to help decision-making.

Another major source of model risk during this phase lies in the assumptions made by the practitioners. These assumptions might be well accepted, such as the efficiency of markets, (all information is incorporated in market prices), or less universally accepted, such as static seasonality assumptions (ignoring the dynamic or shifting nature of the cycles) related to the distribution choice for an asset's returns. Depending on how appropriate the assumptions are in the real world, the model risk can be considered high or low. For example, during periods of high volatility, financial markets tend to become

correlated [Junior & Franca, 2012]. A model that assumes the relative independence of the markets may not accurately capture the dynamics during stressful periods, and thus develop a higher model risk. Approximations might fail for mathematical limitations as well, where certain phenomena are simply not captured.

Model inapplicability, i.e., the application of a model to a problem out of its development context, is yet another source of model risk for practitioners. For example, the Black-Scholes-Merton option pricing model was developed for European-style options (the right to exercise on the settlement date), and not for American-style options (the right to exercise at any time before the settlement date). If we apply the model on American-style options, then the model might fail to describe certain options exercised earlier.

Uncertainty in the model parameters, sometimes referred to as estimation risk [Klein and Bawa 1976, Lewellen and Shanken 2000], also contributes to model risk. Quantifying this risk typically involves quantifying the uncertainty in the model's outputs due to the uncertainty in the model's parameters. Parameter estimations can come from completely different approaches, such as using bootstrapping techniques [Christoffersen and Gonçalves 2004], or by building different variants of the models [Danielsson, et al., 201]. For example, consider a model that uses a historical demand of ATM cash to predict the minimum required cash levels to be maintained in future. A change in a parameter, such as the historical window length, causes variation in the estimation of the distribution of the cash demands, and consequently, the model outputs might change. Managing this source of model risk requires stringent model development practices and documentation of every choice that enters the model. Practitioners need to be able to envisage and find ways to circumvent biases in the datasets and the model development process. At the company level, this would typically involve setting up a model risk management team, whose sole responsibility is to ensure proper model development practices. Model risk management is a relatively new field, with much active research still being done [Garro 2020]. As financial institutions become more dependent on computational models, and use larger datasets, the need for model risk management becomes more important.

To highlight how important model risk management is at this stage, we study two examples – (1) the choice of price returns, and (2) the choice of a parameter value in the estimation of ΔCoVaR . In the first example, we study the impact of logarithmic or relative returns on the MES at a 95% confidence level for three banks. In the second example, we look at the ε parameter used in our implementation of estimating the ΔCoVaR at the 95% confidence level for two banks. This parameter controls the number of MC iterations around a required quantile (VaR or median) of the bank, over which the VaR of the market is estimated.

i. Choice of price returns

Many works in finance typically use logarithmic (natural base) returns and relative returns. Below are their definitions, with $p(t)$ the price, $\eta(t)$ the (natural) logarithmic return, and $r_r(t)$ the relative return at time t :

$$r_r(t) = \frac{p(t) - p(t-1)}{p(t-1)} \Leftrightarrow p(t) = p(t-1)[1 + r_r(t)] \quad (8)$$

$$r_l(t) = \log \left[\frac{p(t)}{p(t-1)} \right] \Leftrightarrow p(t) = p(t-1) \exp[r_l(t)] \quad (9)$$

$$r_r(t) = \exp[r_l(t)] - 1 \Leftrightarrow r_l(t) = \log[1 + r_r(t)] \quad (10)$$

If we assume that prices are non-negative, with some exceptions [Fernandez-Perez et al. 2023], relative returns are always greater than or equal to -1 . Due to their very nature, logarithmic returns will satisfy this requirement, since by Eq. (10):

$$\lim_{r_l(t) \rightarrow -\infty} r_r(t) = -1 \quad (11)$$

Thus, by using logarithmic returns, ‘real’ prices are effectively lower bound at 0. Additionally, we have:

$$\log[1 + x] \approx x \Rightarrow r_l(t) \approx r_r(t) \quad (12)$$

Thus, relative returns are the first order approximation of the logarithmic returns under the Taylor’s expansion, and so using logarithmic returns appears to make good mathematical sense for negative price changes. However, logarithmic returns do not always behave well with respect to positive price changes. Consider the following log-returns:

(-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3)

By Eq. (10), these translate to the following relative returns:

(-0.9502, -0.8647, -0.6321, 0, 1.7183, 6.3891, 19.0855)

This implies that if we use symmetric distributions for logarithmic returns with a given probability of losing 95%, then we end up with the same probability of gaining 1909%. These effects are naturally more pronounced in heavy-tailed distributions like the Student’s-t distribution. Additionally, relative returns are more intuitive.

In Figure 4, we compare the MES at the 95% confidence levels during the period from January 2007 to December 2008 for three banks: Bank of Valletta plc, BPER Banca S.p.A. and Banca Popolare di Sondrio, Società Cooperativa per Azioni. The MC algorithm under the Gaussian approximation was used with either logarithmic returns (blue) or relative returns (orange). The curves are plot in relative returns units for comparison.

We observe a small non-zero impact on the MES curves due to the choice of type of price returns. For some points, the risk perceived by logarithmic returns is higher (BPSO, between July 2007 and July 2008), whereas at some other points, the risk perceived by relative returns is higher (BPE, April 2007 to July 2007).

From these curves, it is difficult to say which type of returns have a higher perceived risk. While it makes sense to use logarithmic returns for SRMs (since SRMs typically focus on negative price changes), there may be situations when relative returns are more appropriate (say if we are interested in looking at positive price changes only). Model developers need to analyze the effects of their choice depending on their use cases.

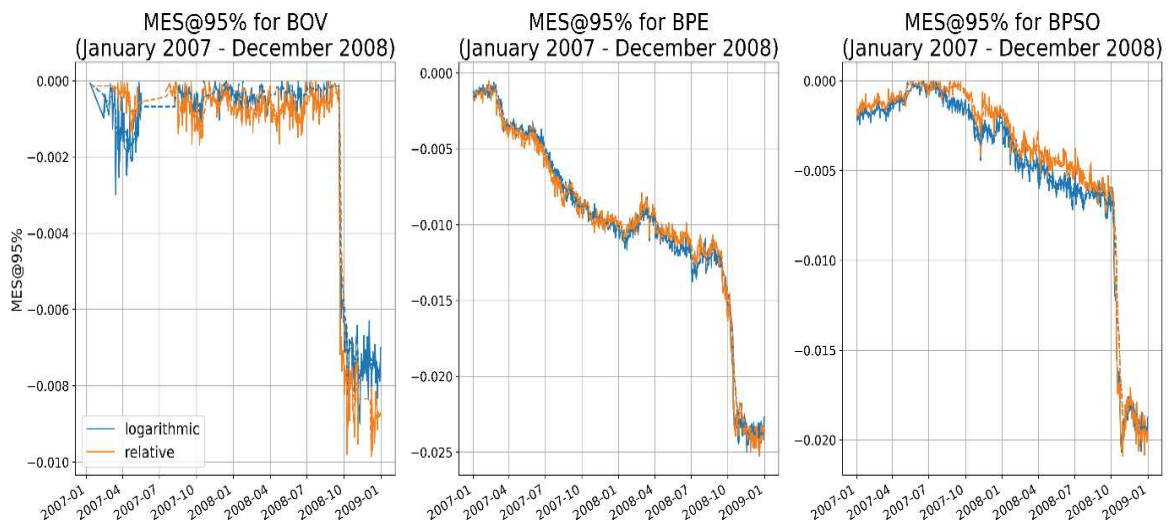


Figure 4. Impact of choice of type of price returns (logarithmic vs. relative) on the MES at 95% confidence levels for three banks. Chosen banks: BOV (Bank of Valletta plc), BPE (BPER Banca S.p.A.), BPSO (Banca Popolare di Sondrio, and Società Cooperativa per Azioni)

Rysunek 4. Wpływ wyboru rodzaju stopy zwrotu (logarytmicznej lub względnej) na MES przy poziomie ufności 95% dla trzech banków. Wybrane banki: BOV (Bank of Valletta plc), BPE (BPER Banca S.p.A.), BPSO (Banca Popolare di Sondrio, Società Cooperativa per Azioni)

Source: chosen banks: BOV (Bank of Valletta plc), BPE (BPER Banca S.p.A.), and BPSO (Banca Popolare di Sondrio, Società Cooperativa per Azioni).

Źródło: na przykładzie wybranych banków : BOV (Bank of Valletta plc), BPE (BPER Banca S.p.A.), BPSO (Banca Popolare di Sondrio, Società Cooperativa per Azioni).

ii. Choice of ε in ΔCoVaR

This second example considers the model risk due to the estimation risk of a parameter used in our implementation of ΔCoVaR (Section 2.D.ii). The parameter is ε , which defines the range around a desired quantile of a bank's simulated price returns, over which the market VaR (CoVaR) is estimated. If the parameter value is larger, a greater number of MC iterations are selected for estimating the CoVaR, bringing a higher stability (lower uncertainty) to the value. However, it also implies iterations that are not necessarily close in value to that of the desired quantile have been selected.

Figure 5 contains a visual representation of the selection process to better understand the algorithm. The blue line is the cumulative distribution function of the bank, and the blue diamond represents the VaR at the desired confidence level set to 95% (black dashed-dotted line at 5%) for this illustration. Three values of ε are studied here: 0.0025 (orange straight), 0.005 (green dashed) and 0.01 (red dotted). The ranges thus are 0.005 (100 iterations out of 20,000), 0.01 (200 iterations out of 20,000) and 0.02 (400 iterations out of 20,000) around the desired quantile. The CoVaR is then computed as the VaR of the market returns over iterations where the bank's returns are between the selected price returns. Note that ε ensures a symmetric range along the probability distribution (y) axis but does not guarantee symmetry along the price returns (x) axis. A larger (smaller) range implies that more (less) iterations are selected increasing (decreasing) the stability of the final CoVaR, but the required range of the bank's returns is much larger (smaller)

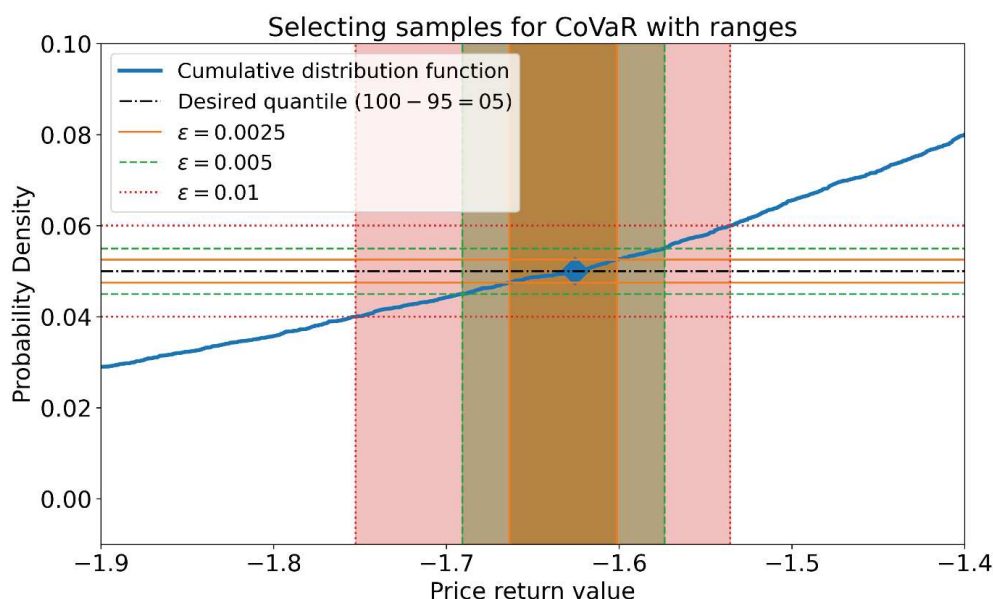


Figure 5. Visual representation of how samples are chosen for CoVaR. Given a distribution function (blue) of a bank, and a desired quantile (black dashed-dotted line), we select samples that lie between the desired quantile plus ε and the desired quantile minus ε . MC iterations where the bank's price returns lie between these limits (x-axis) are selected. The CoVaR is estimated as the average of the market returns of these selected iterations.

Rysunek 5. Wizualna reprezentacja sposobu wyboru próbek dla CoVaR. Biorąc pod uwagę funkcję rozkładu (niebieski) i pożądaną kwantyl (czarna linia przerywana), wybieramy próbki, które leżą pomiędzy pożądanym kwantylem plus ε i pożądanym kwantylem minus ε . Wybierane są iteracje MC, w których zwroty cenowe banku mieszczą się w tych przedziałach (oś x). CoVaR szacuje się jako średnią zwrotów rynkowych z wybranych iteracji.

Source: chosen banks: BOV (Bank of Valletta plc), BPE (BPER Banca S.p.A.), and BPSO (Banca Popolare di Sondrio, Società Cooperativa per Azioni).

Źródło: na przykładzie wybranych banków: BOV (Bank of Valletta plc), BPE (BPER Banca S.p.A.), BPSO (Banca Popolare di Sondrio, Società Cooperativa per Azioni).

and contains iterations much further away from (much nearer to) the required quantile value, represented as a blue diamond.

Thus, the value of ε impacts ΔCoVaR estimates in two ways: numerical stability (due to the number of iterations chosen), and relevance of the selected points. In Figure 6, we highlight the numerical stability aspect of the choice. To do so, we first computed the ΔCoVaR using the three ε values for two banks: BNP Paribas S.A. (BNP) and AXA Bank Belgium SA (CS). Then a five-day exponentially weighted moving average was computed to obtain a 'trend.' Deviations from this trend are provided in the figure. As the value of ε becomes smaller (larger), fewer (more) iterations are selected, decreasing (increasing) the numerical stability, and causing larger (smaller) fluctuations from the trend. The green histogram ($\varepsilon = 0.01$) has the narrowest distribution, representing the smallest fluctuations (highest stability) with respect to the others, whereas the blue histogram ($\varepsilon = 0.0025$) has the widest distribution, representing the largest fluctuations (lowest stability). The orange histogram ($\varepsilon = 0.05$) lies in between. As can be seen, choosing a particular value of a parameter has a certain model risk associated with it. The model risk highlighted here

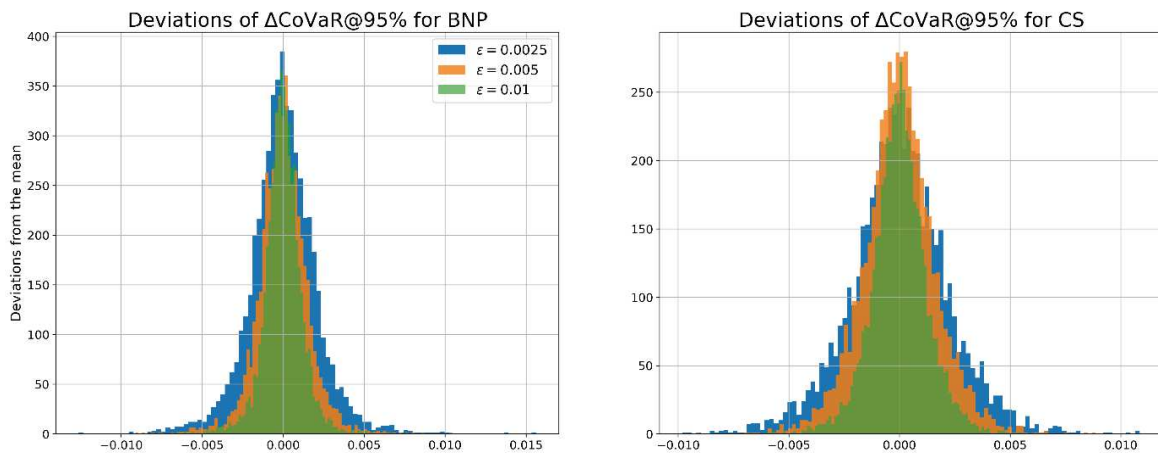


Figure 6. Histogram of the fluctuations of the ΔCoVaR at the 95% confidence levels around a 5-day exponentially weighted mean for different ε values of ε . Chosen banks: BNP (BNP Paribas S.A.) and CS (AXA Bank Belgium SA)

Rysunek 6. Histogram wahań ΔCoVaR przy 95% poziomie ufności wokół 5-dniowej wykładniczej średniej ważonej dla różnych wartości ε . Wybrane banki: BNP (BNP Paribas S.A.), CS (AXA Bank Belgium SA)

Source: chosen banks: BNP (BNP Paribas S.A.) and CS (AXA Bank Belgium SA).

Źródło: na przykładzie wybranych banków : BNP (BNP Paribas S.A.), CS (AXA Bank Belgium SA).

is linked to the model risk of the MC process, since one way to increase the stability is to increase (by a large amount) the number of MC iterations, while choosing a value of ε that is as small as possible.

Model Implementation Related Issues

The model risk sources considered here refer to the practical aspects of the modelling process. In the context of computational modelling, these sources usually appear in the form of computer bugs. Bugs can be introduced due to multiple factors: human error (bad programming style, misinterpretation of algorithms, etc.), faulty assumptions about the data and algorithm (data type mismatch, duplicate data, assumptions about edge cases), or software and hardware limitations (use of ‘alpha’ or ‘beta’ code, error mishandling, security restrictions, insufficient available memory, etc.).

Bug-free programs are extremely difficult to implement [Simmonds, 2018] and practitioners need to understand and anticipate the potential problems in code usage. As more ready-made computational and statistical packages are developed for users’ convenience, the model risk that users become exposed to increases. This can happen if the documentation of the implementation is incomplete/incomprehensible, or if the user does not spend time understanding the documentation. Black-box implementations, where the implementation is typically opaque to the user, tend to amplify these issues.

Computational complexity also increases model risk. Complexity refers to the ability of programmers to comprehend and debug a computer program. As a program becomes more complex, the chances of having bugs in the code increases. While the complexity of an implementation depends on the choice of language (high level language pro-

grams might be easier to debug than assembly level language programs), bugs are found everywhere, even in common spreadsheet software. For example, in 2012, JP Morgan, a prominent investment bank, lost over 6 billion dollars due to a small bug in their Excel implementation [Pollack 2013, EuSpRIG 2013].

During this stage, practitioners make implementation choices (as opposed to decisions in methodology) based on certain preliminary tests. These decisions are made to make the problem tractable, deal with bugs, have desirable outcomes in edge cases, or limit improbable scenarios (realistic scenarios). When certain choices are inappropriate in situations not considered in the tests, the model risk increases.

In addition, computer programs have hardware limitations, which, if not managed appropriately, can increase model risk. For example, memory issues might occur while performing large computations on a computer, which might lead to faulty results. Computers work in binary, requiring floating-point representations [Goldberg 1991] which might cause results to vary slightly (practically undetectable) for small runs of the program, but aggregate over larger runs.

Managing risk at this stage requires good computer engineering practices, such as Cleanroom engineering [Cobb and Mills 1990]. Cleanroom engineering develops the software under statistical quality control by: (a) specifying statistical usage, (b) defining an incremental pipeline for software construction that permits statistical testing, and (c) separating development and testing (only testers compile and execute the software being developed). While this setup might seem too extreme for banks, mitigating the risk associated with computer bugs might pay out the costs of implementing a similar setup.

We study two examples to underline the importance of model risk management at this stage – (1) the choice of the minimum value of the tailedness-parameter in the Student's-t distribution, and (2) the number of MC iterations. The first example looks at the MES at a 95% confidence level for three banks when the $v_{\min}$ parameter is altered. The parameter controls how heavy the Student's-t distribution is allowed to be, and thus has an impact on the tail events, which causes the MES estimates to vary. The second example analyzes the impact of the number of MC iterations on the variation and computational effort of the MES at a 95% confidence level for ten banks.

i. Choice of $v_{\min}$ in Student's-t distribution

While there are different distributions available to describe the observed price returns [(McDonald, 1996)], as a starting point, practitioners use the normal distribution, since it is symmetric and not heavy- or light-tailed. To introduce some heavy-tailed behavior, practitioners sometimes use the Student's-t distribution, which introduces one extra parameter v (called the degrees of freedom parameter) that controls the heaviness of the tails. As v approaches infinity, the distribution approaches the normal distribution: the smaller the v , the heavier the tails.

In our implementation of the SRMs (Section 2.D.ii), this parameter was estimated on historical data, and thus represents the observed heaviness of the tails. Initial tests indicated that when relatively small values of v were used in the MC process to generate price returns, we obtained tail scenarios that were unrealistic. On further analysis, we found that since the Student's-t distribution is symmetric, it could generate price returns that

were extremely large or small. For practical purposes, we had to set $\nu_{\min} = 5$. This implementation choice was done on a relatively small set of tests, and here we demonstrate the choice by reducing and increasing $\nu_{\min}$ by a factor of 2. We also include the simulation with the normal distribution, i.e., $\nu = \nu_{\min} = \nu_{\max} = \infty$.

In Figure 7, we look at how the MES at the 95% confidence levels changes across four values of $\nu_{\min}$: 2.5 (reduced by a factor of 2), 5 (choice), 10 (increased by a factor of 2), and ∞ (normal distribution). The upper subplots look at the MES curves of three banks: AIB Group plc, Eurobank Ergasias Services and Holdings S.A. and Sberbank Europe AG.

The bottom subplots show the ν curves for these banks so that we can understand the heavy-tailed nature (smaller values imply heavier tails). Since we expect the Student's-t distribution to be heavy-tailed, the risk (as seen by MES here) is expected (and observed) to be larger with this distribution than when the normal distribution (red curve,

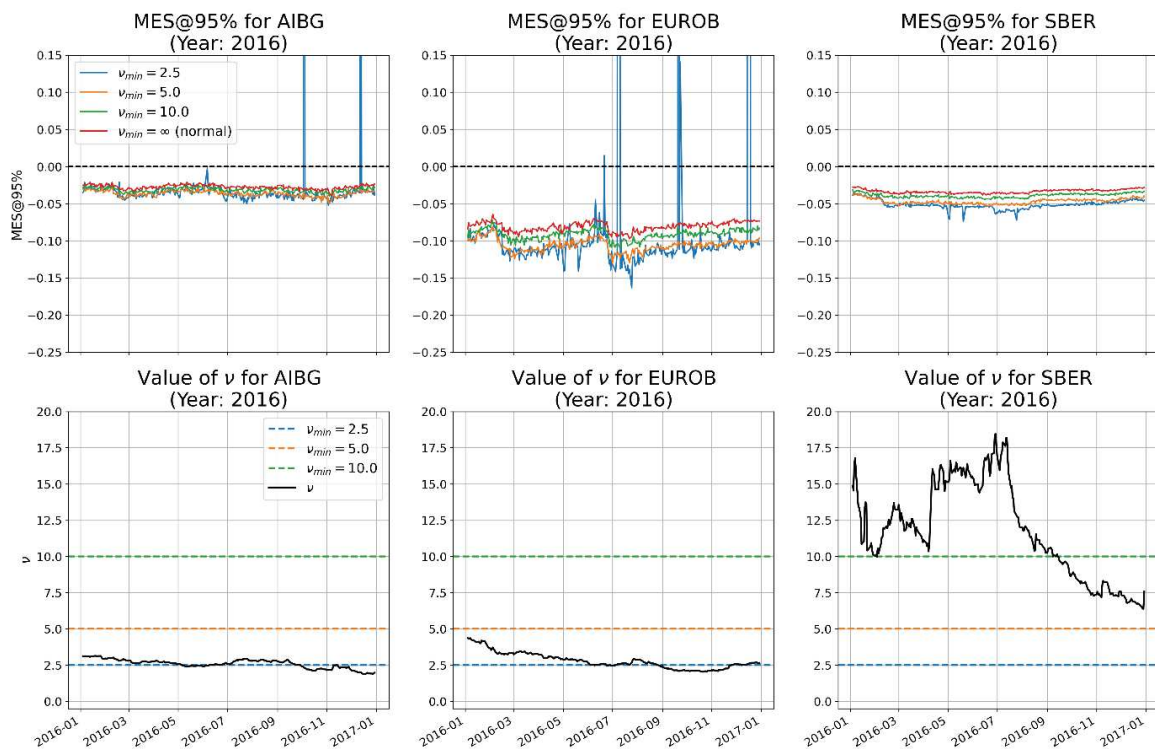


Figure 7. Impact of the choice of $\nu_{\min}$ on the MES at the 95% confidence levels (top subplots) for the year 2016. No filtering of minimum risk levels for the MES was done to highlight the sometimes non-physical heavy-tailedness nature of the Student's-t distribution. Provided in the three bottom subplots are the ν values of the banks.

Rysunek 7. Wpływ wyboru $\nu_{\min}$ na MES przy 95% poziomie ufności (górne wykresy) dla roku 2016. Nie przeprowadzono żadnego filtrowania minimalnych poziomów ryzyka dla MES, aby podkreślić czasami nierealistyczne właściwości rozkładu t-studenta. Na dolnych wykresach przedstawiono wartości ν banków.

Source: chosen banks: AIBG (AIB Group plc), EUROB (Eurobank Ergasias Services and Holdings S.A.), and SBER (Sberbank Europe AG).

Źródło: na przykładzie wybranych banków: AIBG (AIB Group plc), EUROB (Eurobank Ergasias Services and Holdings S.A.), SBER (Sberbank Europe AG).

$v_{\min} = v_{\min} = \infty$) is used. As $v_{\min}$ is set to smaller values, the tails become heavier, and we expect and observe the MES curves to move down (losses and thus risk metrics are represented as negative price returns). Indeed, the green curve ($v_{\min} = 10$) is above the yellow curve ($v_{\min} = 5$), which is above the blue curve ($v_{\min} = 2.5$). However, this is true only as long as the estimated v is below the $v_{\min}$. In the case of Sberbank Europe AG (upper and lower rightmost subplots), the v parameter is always above 5, and so the yellow and blue curves are remarkably similar.

Nonetheless, there are some jumps in the blue curve that make the choice of $v_{\min} = 2.5$ questionable. In the case of the first two banks (AIB Group plc and Eurobank Ergasias Services and Holdings S.A.), we see exceptionally large jumps that make the MES levels positive. While it is possible for MES to take positive values if the bank and market are not positively correlated, the fact that these jumps happen only for a few instances in an otherwise ‘properly behaving curve’ indicate that these are probably artefacts of the implementation. Indeed, when $v_{\min} = 5$, these jumps are not visible, and hence we chose the value of 5 as the minimum value. The jumps are present on the negative side as well, albeit much smaller since we used logarithmic returns (see the first example in the previous section).

This example demonstrates how programmers might make implementation choices. The best way to mitigate the risk with these choices is to perform tests on a relatively large set of examples to understand the impact of these choices. In this exercise, we were ‘lucky’ since the jumps are visible, but there might be cases where the impact of computational artefacts is not visible in any of the tests, and practitioners need to be able to debug bugs that appear when the software is released and applied in real-world scenarios.

ii. Impact of number of MC iterations

The second example looks at another implementation decision made due to practical constraints. Specifically, we study the choice of the number of MC iterations, which impacts: (a) the fluctuations of the MES at a 95% confidence level, and (b) the computational time. In all the other examples provided in this work, 20,000 MC iterations were used to estimate the MES or the ΔCoVaR . Preliminary tests guided this choice to optimize the tradeoff between the MC uncertainty and computational time.

In Figure 8, we show how practitioners might make the decision. The MES at the 95% confidence level was computed for ten banks (names provided in the caption of the figure), and for five values for the number of MC iterations (5,000, 10,000, 20,000, 40,000, and 80,000). In addition, we estimated the computational time in seconds for these ten banks. We expect the computational time to increase with the number of iterations. To estimate the fluctuations of the MES, we simply looked at deviations from a 5-day exponentially moving average. These deviations from the trend are expected to be higher if the number of iterations is small. The subplots show: (left) the computational effort measured in seconds as a function of the number of iterations along with a quadratic fit, and (right) the mean absolute deviation from the trend as a function of the number of iterations for the ten chosen banks.

As expected, the computational effort increases rapidly with the number of iterations, with an appropriate quadratic fit. If the quadratic term begins to dominate, then doubling the number of iterations would quadruple the computational time. We also confirm our

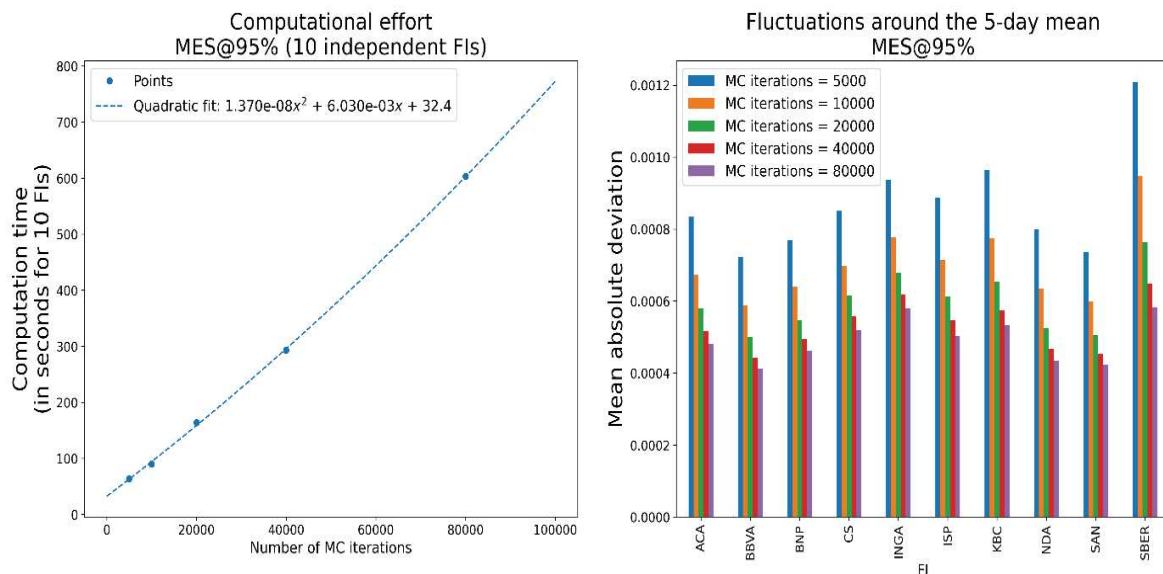


Figure 8. Left: Computational effort (in seconds for 10 banks) as a function of the number of MC iterations. Right: Fluctuations of the MES at the 95% confidence levels as a function of the number of MC iterations for the ten chosen banks around the 5-day exponentially weighted mean.

Rysunek 8. Po lewej: Nakład obliczeniowy (w sekundach, dla 10 banków) jako funkcja liczby iteracji MC. Po prawej: Wahania MES (przy 95% poziomie ufności jako funkcja liczby iteracji MC dla dziesięciu wybranych banków) wokół 5-dniowej średniej ważonej wykładniczo.

Source: chosen banks: ACA (Crédit Agricole S.A.), BBVA (Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, S.A.), BNP (BNP Paribas S.A.), CS (AXA Bank Belgium SA), INGA (ING Groep N.V.), ISP (Intesa Sanpaolo S.p.A.), KBC (KBC Group NV), NDA (Nordea Bank Abp), SAN (Banco Santander, S.A.), and SBER (Sberbank Europe AG).

Źródło: na przykładzie wybranych banków: ACA (Crédit Agricole S.A.), BBVA (Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, S.A.), BNP (BNP Paribas S.A.), CS (AXA Bank Belgium SA), INGA (ING Groep N.V.), ISP (Intesa Sanpaolo S.p.A.), KBC (KBC Group NV), NDA (Nordea Bank Abp), SAN (Banco Santander, S.A.), SBER (Sberbank Europe AG).

hypothesis that the deviations reduce as the number of iterations increases. However, the added benefit of minimizing the fluctuations is reduced as well, since as the number of iterations increases, the reduction of the deviations is slower than a linear growth. Thus, practitioners are required to make a choice that is a tradeoff between acceptable MC uncertainty and acceptable computational time.

This choice is one dictated by available hardware. If a faster computer were available, practitioners might be able to push for more MC iterations, whereas practitioners with slower computers would be forced to further reduce the number of iterations. There is an inherent model risk of the MC process, and this risk propagates through to the SRM estimates due to the choice and available hardware. General approaches (more of a desire) to reduce this particular risk include usage of:

- optimized models, so that more computational time is available for the actual iterations than for the overhead;
- appropriate models that focus on the variable of interest than anything else;
- low-variance models that target the model risk of MC process itself. However much the risk is reduced, implementation decisions will always carry some risk with them.

Model Interpretation Related Issues

This source of model risk refers to the risk associated with the usage of model outcomes for decision-making. Accordingly, the term ‘model interpretation’ here refers to the analysis and application of the model outcomes. Since models are simplified explanations (approximations) of real-world phenomena, they are limited in scope and applicability. Practitioners use models to understand a particular problem, but the models do not capture the entire picture. Misinterpretation thus can happen due to practitioners using models as ‘answer machines’ [Wagner et al. 2010], or when the results are taken out of context. In the context of SRMs, understanding and managing this risk is quite important. Typically, regulatory bodies might use SRMs with the intention of monitoring the overall systemic stress and controlling the contributions of individual banks. If the overall systemic stress is underestimated, then this can lead to an unobserved buildup of stress, which might culminate in an eventual collapse of the financial system and adversely impact the larger economy. An overestimation of the overall systemic stress can also adversely affect the financial system since regulators might stifle economic growth by restricting perceived risky ventures.

While aiming to control the contributions of individual banks to overall systemic stress, the model risk of SRMs can lead to suboptimal regulatory action.

Typically, systemically important banks are required to allocate a pre-determined part of their capital to offset systemic risk. For example, consider the bucketing scheme used by the Financial Stability Board (FSB) in conjunction with the Basel Committee to determine the global systemically important banks (G-SIBs). Depending on the eventual bucket into which a bank is placed, it must have from 1% (for bucket 1) to 3.5% (for bucket 5, which is empty when the study is performed) of its Common Equity Tier 1 capital as a buffer for its systemic risk contribution [Bank For International Settlements 2018]. If a bank is wrongly allocated to a lower bucket (perceived less risky by regulators), then (a) it will be allowed (unjustly) to take more risky investments without a buffer to reduce the systemic stress, and (b) in the event of a systemic shock, it may not have enough capital to deal with the shock. On the other hand, if the bank is wrongly allocated to a higher bucket (perceived riskier), then the bank will be blocked from taking on ventures (the result might be that economic growth is stifled) with reduced available liquidity within the financial network.

Even though the two SRMs studied here are linked to the TCTF aspect of SR, they approach the problem slightly differently, and thus may not be directly compatible if used independently. For example, if a bank has the highest contribution according to ΔCoVaR , it is not guaranteed that the same bank will have the highest contribution according to MES. This problem is further amplified for regulatory bodies, who must analyze and weigh various aspects of SR (e.g., too-big-to-fail or TBTF, TCTF, impact on non-financial sectors). Given the types of SRMs in the finance literature, and their associated model risk, identification of systemically important banks and the management of overall systemic stress is a daunting task for regulators. When using model outcomes, human intervention might be needed, and such an option should be provided in any model-based framework. Indeed, in the bucketing scheme by the FSB, the G-SIBs may be placed in

buckets other than what the model dictates, referred to as exercise of supervisory judgement in their framework.

We provide one example below that attempts to highlight the risks of model misinterpretation within the context of SR. Specifically, we show that model outcomes using one SRM can lead to incompatibilities with outcomes from another SRM.

In this example, we rank all banks based on three criteria:

- size (specifically, the market capitalization without free-float corrections),
- MES,
- ΔCoVaR .

The size-based ranking acts as an indicator of the TBTF aspect of SR, whereas the MES- and ΔCoVaR -based ranking function as indicators of the TCTF aspect of SR. MES quantifies the impact of the market on a bank, and ΔCoVaR quantifies the impact of a bank on the market. The size-based ranking is done using the market capitalization of the banks (without correcting for the free-float factor) and has minimal computational requirements (just a product of the market price and outstanding shares amount). The other rankings are achieved using the outputs of the MC algorithm described earlier under the Gaussian approximation for the returns.

In Figure 9, we show the comparison of the ranking across the three indicators for five banks (out of 47) during the year 2020, where these banks were always among the top five according to size. We immediately observe that the rankings are not compatible across the three indicators. For example, the bank Sberbank Europe AG has the first rank according to size but lies between the 35th and 40th ranks according to MES, and between the 10th and 40th ranks according to ΔCoVaR . Even the relative ranking among

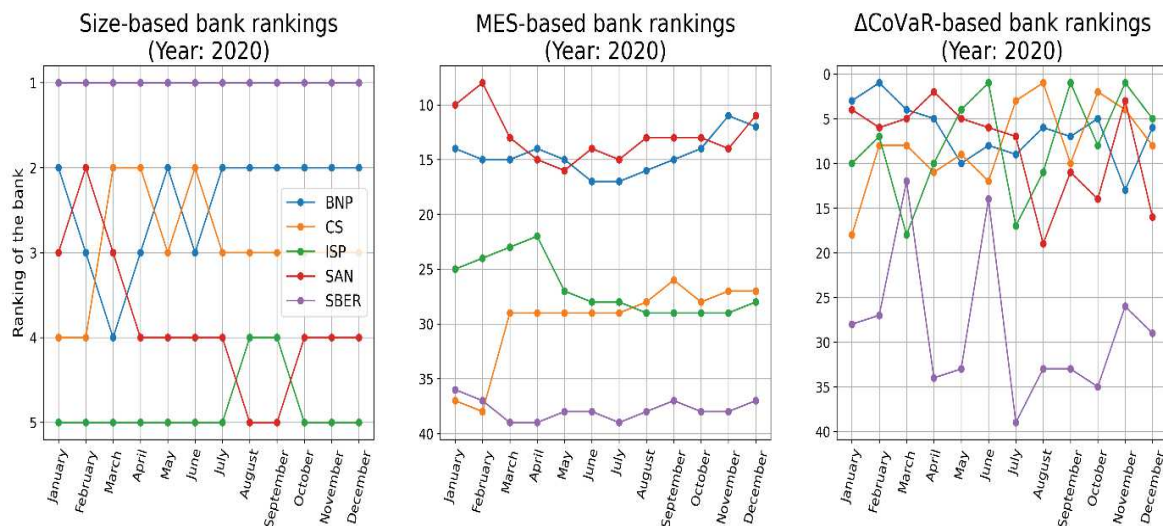


Figure 9. Ranking of five banks according to the size (market-capitalization), MES and ΔCoVaR .

Rysunek 9. Ranking pięciu banków według wielkości (kapitalizacji rynkowej), MES i ΔCoVaR .

Source: chosen banks are those with largest size in the year 2020: BNP (BNP Paribas S.A.), CS (AXA Bank Belgium SA), ISP (Intesa Sanpaolo S.p.A.), SAN (Banco Santander, S.A.), and SBER (Sberbank Europe AG).
 Źródło: na przykładzie wybranych banków o największej wielkości w 2020 roku: BNP (BNP Paribas S.A.), CS (AXA Bank Belgium SA), ISP (Intesa Sanpaolo S.p.A.), SAN (Banco Santander, S.A.), SBER (Sberbank Europe AG).

these banks is not consistent. This has important implications in regulatory and banking contexts, since relying on one SRM is not enough to really determine the systemically significantly important banks. Indeed, one might require many indicators to fully understand the contribution of a bank to the overall SR. While the usage of more indicators leads to a potential increase in model risk, missing out potential SR contributions can have negative implications for the financial system.

One approach to deal with multiple indicators might be to combine class effects. For example, we might wish to average the MES and ΔCoVaR outcomes to become a net TCTF contribution. Multiple aspects of SR, such as the TBTF and TCTF contributions, can then be added together before the ranking or clustering is done. This type of approach is used to identify the G-SIBs, where five aspects of SR are considered with equal weights: size, cross-jurisdictional activity, interconnectedness, substitutability/financial institution infrastructure and complexity. Each of these aspects is a (weighted) sum of multiple indicators so that regulators can obtain an overall picture of a bank's contribution to SR. Despite this, the framework allows for the exercise of supervisory judgement (human intervention) so that banks can be manually placed into risk buckets as deemed necessary, since a sum of indicators is still a model and might be insufficient to explain SR contributions.

Discussion

The examples highlighted in Section 3 indicate that practitioners are exposed to model risk at every stage of the modelling process – from data collection to model deployment and interpretation. Before attempting to provide some general strategies to help mitigate model risk, we will discuss some consequences of model failure at the level of individual companies and regulatory bodies.

Model failures can be devastating for individual companies and have negative effects on the financial network. For example, the failure of Long-Term Capital Management (LTCM) is often attributed to its poor risk management in terms of model risk [Kolman, 1999, Kato et al. 2000, Powell 2023]. Some have suggested that simply increasing the amount of data for their VaR models from the past five years to the past eleven years would have captured earlier stock market falls, and perhaps have reduced the impact of the crash [Ferguson 2008]. The consequences of LTCM's fall involved a major bailout with many major banks to prevent a systemic contagion event [Lowenstein 2001]. It seems that the benefits of a proper risk management framework that includes models and the modelling process far outweigh the risks associated with a failure of the models.

In the context of SR regulation, regulatory model failures can impact the entire financial network and the larger economy. Regulators typically rely on models and require banks to allocate a part of their capital to offset 'known' individual and systemic risks. As banks reduce these risks, they are incentivized to reinvest their freed-up capital to take up risk elsewhere. If there is a sector (or asset class) that is unregulated or considered less risky, banks will probably gravitate towards it, leading to a build-up of risk there [Acharya et al. 2011]. Depending on how the models work, this build-up might pass under the regulatory radar, creating a vulnerable spot for a systemic failure. Furthermore, banks are tempted to 'game the rules,' sometimes referred to as 'regulatory arbitrage'.

Broadly speaking, banks would like to structure their activities in a way that minimizes regulatory constraints while allowing them to take as much risk as possible [Nouy 2017]. In a model-based regulatory framework, banks might ‘optimize’ their reporting so that they can take more risks than the regulations allowed [Behn, et al. 2022]. To avoid unintended consequences, regulatory bodies thus must require risk management frameworks to include models, and use manual intervention when models are lacking.

Given the consequences associated with model failure, it makes sense to envisage a risk management framework that actively includes model risk. Furthermore, risk is perceived differently by various professions [Harkins 2013], and so there is a need for harmonization and open communication between the data management teams, computer programmers, analysts, risk managers and decision makers. At a team level, strategies would need to be implemented that aim to control their individual contributions to model risk. Some general strategies that might help with model risk management are provided below:

1. Managing dataset issues:
 - proper documentation of collected data, including source, time, data variables and description of the data variables;
 - summary statistics for missing datapoints;
 - highlighting potential biases within the dataset documentation.
2. Managing data processing related issues:
 - proper documentation of the transformations of the data, especially expected data input and expected transformed output;
 - highlighting the purpose of the data processing, and potential use cases, preferably with examples;
 - open communication about the automation tools used, including specific choices in code and test cases on which the code was evaluated.
3. Managing model construction related issues:
 - proper definition of the abstract model using algorithms and flowcharts that help highlight how the data is used and manipulated to gain the required outputs;
 - employment of strict model development practices that envisage model failures due to data issues, software and hardware issues and the inapplicability of the model;
 - brainstorming with other experts with the aim of ‘breaking’ the model to find potential limitations that may have been missed by the modeler;
 - highlighting as many assumptions and limitations of the model as possible;
 - indicating the choices used in the model development along with justification and, if possible, the impact of alternate choices.
4. Managing model implementation related issues:
 - proper documentation of the code so that other programmers can understand and alter it if needed;
 - inclusion and documentation of as many error catching scenarios as possible;
 - intensive testing of the code on all conceivable data, software, and hardware issues;
 - highlighting all implementation choices that were made based on the testing phase;
 - careful deployment of the code with sufficient monitoring in production before the model is used in decision-making.

5. Managing model interpretation related issues:

- avoidance of complete reliance on model outputs for decisions;
- open debate of the usage and limitations of data and computational models in the decision-making process;
- push for regular revisits of the models to understand model limitations and drive better model development;
- inclusion of a human judgement option to handle model failure.

These strategies target specific model risk sources, and every risk management framework will need to adapt them, depending on their needs. For example, regulatory bodies might wish to emphasize the risk associated with model interpretation, since they would have to justify increasing (or decreasing) the capital requirements of individual banks. Banks, on the other hand, might focus on the risk associated with data management, model construction and implementation, to optimize their daily operations, from cash management to investing, while following the regulatory guidelines.

Large banks, on the other hand, might focus on the risk associated with model construction and implementation, so that their activities take no more risk than is deemed necessary (and permitted). Hedge funds might target the risk associated with data and model aspects so that they can discover market inefficiencies for arbitrage.

To manage model risk, practitioners need to recognize that it will always be present. Models are approximations to observed phenomena and cannot be treated as the absolute truth. In quoting Box again [Box 1979], there is no need to ask the question ‘Is the model true?’ if ‘truth’ is the ‘whole truth’ as the answer must be ‘No.’ The only question of interest is ‘Is the model illuminating and useful?’

Conclusions

As practitioners continue building their reliance on computational models, the risk associated with model failure increases. Model risk in the context of SR has more negative consequences for the financial network and the larger economy. In this work, we provided a classification of the model risk sources and gave specific examples in each category to highlight how model risk might impact the estimation of SRMs. We additionally provided certain general strategies that might be employed at banks and regulatory bodies to mitigate the risks associated with these sources.

Given that model risk is always present, risk management teams must adapt their strategies to include modelling. This may be daunting due to the omnipresence of model risk – from the dataset collection to model usage. However, we argue that the benefits associated with controlling model risk outweigh the costs. As it is with models, there may be no one-size-fits-all framework to deal with model risk. Risk managers, data management teams, computer programmers, analysts and decision makers would have to work together to identify and control the sources of model risk. No matter what the scope of applicability of models is, practitioners will require transparent communication about models and their limitations.

Bibliography

- Acharya V.V., Cooley T.F., Richardson M.P., Walter I. 2011: Market failures and regulatory failures: Lessons from past and present financial crises, ADBI Working Paper Series 264.
- Acharya V.V., Pedersen L.H., Philippon T., Richardson M.P., 2010: Measuring Systemic Risk. AFA 2011 Denver Meetings Paper, University of Chicago, Booth School of Business, Chicago.
- Adrian T., Brunnermeier M.K., 2008: CoVaR. Federal Reserve Bank of New York, Federal Reserve Bank of New York, New York.
- Bachelier L., 1900: Theorie de la Speculation, Annales Scientifiques Ecole Normale Supérieure 3(17), 21–86.
- Baker T., Vaidyanathan J., Ashley N., 2012: A Data-Driven Inventory Control Policy for Cash Logistics Operations: An Exploratory Case Study Application at a Financial Institution, Decision Sciences 44(1), 205.
- Banulescu-Radu D., Hurlin C., Leymarie J., Scaillet O., 2020: Backtesting Marginal Expected Shortfall and Related Systemic Risk Measures, Management Science 67(9), 5301.
- Bank For International Settlements, 2018: Basel Committee on Banking Supervision. Globally systemically important banks: revised assessment methodology and the higher loss absorbency requirement, [electronic source] <https://www.bis.org/bcbs/publ/d445.htm> [accessed: 10.09.2024].
- Behn M., Haselmann R., Vig V. (2022). The limits of model-based regulation. The Journal of Finance 77, 1635–1684.
- Bianchi M.L., Sorrentino A.M., 2020: Measuring covar: An empirical comparison, Computational Economics 55, 511–528.
- Black F., Scholes M., 1973: The pricing of options and corporate liabilities. Journal of political economy 81, 637–654.
- Bloomberg L.P., 2021: Bloomberg Terminal, [electronic source] <https://www.bloomberg.com/professional/solution/bloomberg-terminal/> [accessed: 29.08.2024].
- Boucher C.M., Danielsson J., Kouontchou P.S., Maillet B.B., 2014: Risk models-at-risk, Journal of Banking & Finance 44, 72–92.
- Box G.E., 1979: Robustness in the strategy of scientific model building, [in:] R.L. Launer, G.N. Wilkinson (eds), Robustness in statistics. Research Triangle, Elsevier, North Carolina, 201–236.
- Brownlees C.T., Engle R., 2012: Volatility, correlation and tails for systemic risk measurement, SSRN, 1611229.
- Bryant R., Cintas C., Wambugu I., Kinai A., Diriye A., Weldemariam K., 2019: Evaluation of bias in sensitive personal information used to train financial models, 2019 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), IEEE, Ottawa, 1–55.
- Castro C., Ferrari S., 2014: Measuring and testing for the systemically important financial institutions, Journal of Empirical Finance 25, 1–14.
- Cedolin M., Orhan D., Genevois M., 2024: Statistical and Artificial Intelligence Based Forecasting Approaches for Cash Demand Problem of Automated Teller Machines, Journal of Engineering and Smart Systems 12(1), 21.
- Cesa M., 2017: A brief history of quantitative finance. Probability, Uncertainty and Quantitative Risk, 2, 1–16.

- Christoffersen P., Gonçalves S., 2004: Estimation Risk in Financial Risk Management, CIRANO, Montreal.
- Cifuentes A., Hawas F.J., Chavarria E., 2014: A Numerical Simulation Approach to Study Systemic Risk in Banking Systems, SSRN, 2539020.
- Cobb R.H., Mills H.D., 1990: Engineering software under statistical quality control. *IEEE software* 7, 45–54.
- Crouhy M., Galai D., Mark R., 1998: Model risk, *Journal of Financial Engineering* 7, 267–288.
- Danielsson J., James K.R., Valenzuela M., Zer I., 2016: Can we prove a bank guilty of creating systemic risk? A minority report, *Journal of Money, Credit and Banking* 48, 795–812.
- Danielsson J., James K.R., Valenzuela M., Zer I., 2016: Model risk of risk models, *Journal of Financial Stability* 23, 79–91.
- Derman E., 1996: Model Risk: What are the assumptions made in using models to value securities and what are the consequent risks? *Risk-London-Risk Magazine Limited* 9, 34–38.
- Dicuonzo G., Galeone G., Zappimbulso E., Dell'Atti V., et al., 2019: Risk management 4.0: The role of big data analytics in the bank sector, *International Journal of Economics and Financial Issues* 9, 40–47.
- DW, 2019: The worst year for stocks since financial crisis, [electronic source] <https://www.dw.com/en/2018-the-worst-year-for-stocks-since-financial-crisis/a-46915652> [accessed: 24.08.2024].
- European Central Bank, ECB, ESCB and the Eurosystem, [electronic source] <https://www.ecb.europa.eu/ecb/orga/escb/html/index.en.html> [accessed: 14.09.2024].
- EuSpRIG, 2013: The European Spreadsheet Risk Interest Group, [electronic source] <https://eusprig.org/research-info/horror-stories/> [accessed: 15.09.2024].
- Ferguson N., 2008: *The ascent of money: A financial history of the world*, Penguin, London.
- Fernandez-Perez A., Fuertes A.-M., Miffre J., 2023: The Negative Pricing of the May 2020 WTI Contract, *The Energy Journal* 44, 119–142.
- Garro M., 2020: The evolution of model risk management processes, *Journal of Risk Management in Financial Institutions* 13, 16–23.
- Gilbert E., Strugnell D., 2010: Does survivorship bias really matter? An empirical investigation into its effects on the mean reversion of share returns on the JSE (1984–2007), *Investment Analysts Journal* 39, 31–42.
- Glasserman P., 2005: Measuring marginal risk contributions in credit portfolios, FDIC Center for Financial Research Working Paper, 5–12.
- Glasserman P., Xu X., 2014: Robust risk measurement and model risk, *Quantitative Finance* 14, 29–58.
- Glasserman P., Heidelberger P., Shahabuddin P., 2000: Efficient Monte Carlo methods for value-at-risk, IBM Thomas J. Watson Research Division, Yorktown Heights, NY.
- Goldberg D., 1991: What every computer scientist should know about floating-point arithmetic, *ACM computing surveys (CSUR)* 23, 5–48.
- Haldar A., Sethi N., 2021: The news effect of COVID-19 on global financial market volatility, *Buletin Ekonomi Moneter dan Perbankan* 24, 33–58.
- Harkins M., 2013: The Misperception of Risk, [in:] *Managing Risk and Information Security: Protect to Enable*, Apress, Berekley, 15–25.
- Hendricks D., 1996: Evaluation of value-at-risk models using historical data, *Economic Policy Review* 2, 40–49.
- Holton G.A., 2003: *Value-at-Risk Theory and Practice*, Academic Press, San Diego.
- Hurd T.R., 2016: *Contagion!: Systemic Risk in Financial Networks*, Springer, Cham.

- Idier J., Lamé G., Mésonnier J.-S., 2013: How useful is the marginal expected shortfall for the measurement of systemic exposure? A practical assessment, ECB Working Paper, European Central Bank (ECB), Frankfurt a. M., 1546.
- Irwin N., 2015: Why the Stock Market Is So Turbulent, New York Times, [electronic source] <https://www.nytimes.com/2015/08/25/upshot/why-global-financial-markets-are-going-crazy.html> [accessed: 10.08.2024].
- Junior L.S., Franca I.D., 2012: Correlation of financial markets in times of crisis, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 391, 187–208.
- Kato T., Yoshida T. 2000: Model risk and its control, Institute for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan.
- Kilkenny M.F., Robinson K.M., 2018: Data quality: “Garbage in – garbage out”, *Health Information Management Journal* 47, 103–105.
- Klein R.W., Bawa V.S., 1976: The effect of estimation risk on optimal portfolio choice, *Journal of Financial Economics* 3, 215–231.
- Koike T., Hofert M., 2020: Markov chain monte carlo methods for estimating systemic risk allocations, *Risks* 8, 6–12.
- Kolman J., 1999: LTCM speaks, *Derivatives Strategy* 4, 12–17.
- Lamas L., Gallejones C.F., Moral R.G., Cascales J.G., Calvo J., 2014: Model Risk Management: Quantitative and qualitative aspects. *Management Solutions*.
- Lehar A., 2005: Measuring systemic risk: A risk management approach, *Journal of Banking & Finance* 29, 2577–2603.
- Lewellen J., Shanken J., 2000: Estimation Risk, Market Efficiency, and the Predictability of Returns, NBER Working Papers 7699.
- Li S., Chang A., Dave P., 2015: Stock market suffers worst one-day drop since 2008, Los Angeles Times, [electronic source], <https://www.latimes.com/business/la-fi-0822-financial-markets-20150821-story.html> [accessed: 20.09.2024].
- Lowenstein R., 2001: When genius failed: The rise and fall of Long-Term Capital Management, Random House Publishing Group, New York.
- Madadi N., Roudsari A.H., Wong K.Y., Galankashi M.R., 2013: Modeling and Simulation of a Bank Queuing System, 2013 Fifth International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation, Seoul, Korea (South).
- McDonald J.B., 1996: 14 Probability distributions for financial models, *Handbook of Statistics* 14, 427–461.
- Merton R.C., 1974: On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rates, *The Journal of finance* 29, 449–470.
- Minderhoud K., 2006: Systemic risk in the Dutch financial sector, *De Economist* 154, 177–195.
- Nievergelt Y., 2000: Rounding errors to knock your stocks off, *Mathematics Magazine* 3,1, 47–48.
- Nouy D., 2017: Gaming the rules or ruling the game? How to deal with regulatory arbitrage. *Shadow Banking*, 53.
- Pasieczna A.H., 2019: Monte Carlo Simulation Approach to Calculate Value at Risk: Application to WIG20 and MWIG40, *Financial Sciences. Nauki o Finansach, Sciendo* 24, 61–75.
- Pasieczna A.H., 2021: Model Risk of VaR and ES Using Monte Carlo: Study on Financial Institutions from Paris and Frankfurt Stock Exchanges, [in:] *Contemporary Trends and Challenges in Finance*, Springer, Cham, 75–85.
- Pollack L., 2013: A tempest in a spreadsheet, *Financial Times*, [electronic source] <https://www.ft.com/content/80bc5046-6ed2-30ef-b31a-bcbeac55d8bb> [accessed: 15.08.2024].

- Powell R., 2023: Six lessons from the collapse of LTCM, Timeline, [electronic source] <https://www.timeline.co/blog/six-lessons-from-the-collapse-of-ltcm> [accessed: 24.08.2024].
- QONTIGO, 2011: EURO STOXX Banks, [electronic source] <https://qontigo.com/index/sx7e/> [accessed: 05.09.2024].
- Savvides S., 1994: Risk analysis in investment appraisal, *Project Appraisal* 9, 3–18.
- Sibbertsen P., Stahl G., Luedtke C., 2008: Measuring model risk, *Journal of Risk Model Validation* 2, 65–82.
- Siller T., 2013: Measuring marginal risk contributions in credit portfolios, *Quantitative Finance* 13, 1915–1923.
- Simmonds D.M., 2018: Complexity and the engineering of bug-free software, *Proceedings of the International Conference on Frontiers in Education: Computer Science and Computer Engineering (FECS)*, 4–100.
- Thomson A., 2017: Google’s Sentiment Analyzer Thinks Being Gay Is Bad, *Motherboard, Tech by Vice*, [electronic source] <https://www.vice.com/en/article/j5jnj8/google-artificial-intelligence-bias> [accessed: 05.09.2024].
- Wagner W., Fisher E., Pascual P., 2010: Misunderstanding models in environmental and public health regulation, *NYU Envtl. LJ* 18, 293.
- Weatherall J., 2013: It is not the maths that causes the crisis, *Financial Times*, [electronic source] <https://www.ft.com/content/30fc4ece-760b-11e2-9891-00144feabdc0> [accessed: 05.09.2024].
- Zhong H., Hamilton M., 2023: Exploring gender and race biases in the NFT market, *Finance Research Letters* 53, 103651.

APPENDIX

Table 1. List of banks in the study

Tabela 1. Lista banków uwzględnionych w badaniu

Country	Bank Name	Grounds for significance
Austria	Addiko Bank AG	Significant cross-border activities
	BAWAG Group AG	Size (total assets EUR 30–50 bn)
	Erste Group Bank AG	Size (total assets EUR 150–300 bn)
	Raiffeisen Bank International AG	Size (total assets EUR 150–300 bn)
	Sberbank Europe AG	Significant cross-border activities
Belgium	AXA Bank Belgium SA	Article 6(5)(b) of Regulation (EU) No 1024/2013
	KBC Group NV	Size (total assets EUR 150–300 bn)
Bulgaria	DSK Bank AD	Among the three largest credit institutions in the Member State
Cyprus	Bank of Cyprus Holdings Public Limited Company	Total assets above 20% of GDP
	Hellenic Bank Public Company Limited	Total assets above 20% of GDP
Estonia	AS SEB Pank	Total assets above 20% of GDP
	Swedbank AS	Total assets above 20% of GDP
Finland	Nordea Bank Abp	Size (total assets EUR 500–1,000 bn)
France	BNP Paribas S.A.	Size (total assets above EUR 1,000 bn)
	Crédit Agricole	Size (total assets above EUR 1,000 bn)
	Société Générale	Size (total assets above EUR 1,000 bn)
Germany	Aareal Bank AG	Size (total assets EUR 30–50 bn)
	COMMERZBANK Aktiengesellschaft	Size (total assets EUR 300–500 bn)
	Deutsche Bank AG	Size (total assets above EUR 1,000 bn)
	Deutsche Pfandbriefbank AG	Size (total assets EUR 50–75 bn)
Greece	ALPHA SERVICES AND HOLDINGS S.A.	Size (total assets EUR 50–75 bn)
	Eurobank Ergasias Services and Holdings S.A.	Size (total assets EUR 50–75 bn)
	National Bank of Greece S.A.	Size (total assets EUR 50–75 bn)
	Piraeus Financial Holdings S.A.	Size (total assets EUR 50–75 bn)
Ireland	AIB Group plc	Size (total assets EUR 75–100 bn)
	Bank of Ireland Group plc	Size (total assets EUR 100–150 bn)

cont. table 1

cd. tab. 1

Country	Bank Name	Grounds for significance
Italy	BANCA MONTE DEI PASCHI DI SIENA S.p.A.	Size (total assets EUR 100–150 bn)
	BPER Banca S.p.A.	Size (total assets EUR 75–100 bn)
	Banca Carige S.p.A. – Cassa di Risparmio di Genova e Imperia	Article 6(5)(b) of Regulation (EU) No 1024/2013
	Banca Popolare di Sondrio, Società cooperativa per azioni	Size (total assets EUR 30–50 bn)
	Banco BPM S.p.A.	Size (total assets EUR 150–300 bn)
	Intesa Sanpaolo S.p.A.	Size (total assets EUR 500–1,000 bn)
	Mediobanca – Banca di Credito Finanziario S.p.A.	Size (total assets EUR 75–100 bn)
	UniCredit S.p.A.	Size (total assets EUR 500–1,000 bn)
Lithuania	Akcinė bendrovė Ūdiaulių bankas	Among the three largest credit institutions in the Member State
Malta	Bank of Valletta plc	Total assets above 20% of GDP
	HSBC Bank Malta p.l.c.	Total assets above 20% of GDP
Portugal	Banco Comercial Português, SA	Size (total assets EUR 75–100 bn)
Slovenia	Nova Ljubljanska Banka d.d. Ljubljana	Total assets above 20% of GDP
Netherlands	ABN AMRO Bank N.V.	Size (total assets EUR 300–500 bn)
	ING Groep N.V.	Size (total assets EUR 500–1,000 bn)
Spain	Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, S.A.	Size (total assets EUR 500–1,000 bn)
	Banco Santander, S.A.	Size (total assets above EUR 1,000 bn)
	Banco de Sabadell, S.A.	Size (total assets EUR 150–300 bn)
	Bankinter, S.A.	Size (total assets EUR 75–100 bn)
	CaixaBank, S.A.	Size (total assets EUR 300–500 bn)
	Unicaja Banco, S.A.	Size (total assets EUR 50–75 bn)

Source: bank data provided by the [European Central Bank].

Źródło: dane uzyskane z banku [European Central Bank].

Anna Strychalska-Rudzewicz✉

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Wybór dostawców w logistyce zaopatrzenia przedsiębiorstw produkcyjnych

Supplier selection in procurement logistics of manufacturing companies

Synopsis. Problem badawczy sformułowany w niniejszym artykule koncentruje się na zagadnieniu, jakie znaczenie pełnią kryteria wyboru dostawców w praktyce funkcjonowania przedsiębiorstw produkcyjnych. Naukowcy i praktycy od dawna dostrzegają znaczenie skutecznego i efektywnego wyboru dostawców, jednak proces ten pozostaje wciąż niedostatecznie zbadany empirycznie. Niniejsza praca ma na celu wypełnienie istniejącej luki badawczej w tym obszarze. Badania zrealizowano w 67 przedsiębiorstwach produkcyjnych z wykorzystaniem metody sondażu diagnostycznego z użyciem narzędzia w postaci autorskiego kwestionariusza internetowego. Badania zrealizowano w styczniu 2024 roku wśród firm działających na terenie północno-wschodniej Polski. Z przeprowadzonego badania wynika, że w przedsiębiorstwach produkcyjnych kluczowe znaczenie odgrywają takie kryteria wyboru dostawców jak: jakość dostarczanych produktów, niezawodność dostaw oraz dostępność produktów. Cena produktów, czas realizacji zleceń, zdolności produkcyjne oraz elastyczność dostaw odgrywają nieco mniejsze znaczenie dla odbiorców. Lokalizacja i ekologiczne praktyki dostawcy okazały się być najmniej istotne w kontekście wyboru dostawcy. Wykazano, że nie istnieją istotne statystycznie różnice między badanymi przedsiębiorstwami w ocenie znaczenia kryteriów wyboru dostawców.

Słowa kluczowe: kryteria wyboru dostawców, przedsiębiorstwa produkcyjne

Abstract. The research problem formulated in this article focuses on the question of the importance of supplier selection criteria in the practical operation of manufacturing companies. Academics and practitioners have long recognized the importance of efficient and effective supplier selection, but the process is still under-researched empirically. This thesis aims to fill the existing research gap in this area. The research was carried out in 67 manufacturing companies using a diagnostic survey method with a tool in the form of a proprietary online questionnaire. The research was carried out in January 2024 among companies operating in north-

✉ **Anna Strychalska-Rudzewicz** – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Ekonomicznych; e-mail: astry@uwm.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0002-4999-6772>

-eastern Poland. The survey shows that in manufacturing enterprises, the key criteria for supplier selection are: quality of delivered products, reliability of delivery, and availability of products. The price of products, lead time, production capacity and flexibility of deliveries play a slightly less important role for customers. Location and green supplier practices were found to be the least important in terms of supplier selection. It was shown that there are no statistically significant differences between the surveyed companies in their assessment of the importance of supplier selection criteria.

Key words: criteria for the selection of suppliers, manufacturing companies

Kod JEL: M290

Wstęp

Wybór dostawców w logistyce zaopatrzenia jest tematem o znaczącym praktycznym i naukowym znaczeniu. W kontekście przedsiębiorstw produkcyjnych, skuteczność procesu wyboru dostawców ma fundamentalne znaczenie dla zapewnienia ciągłości dostaw, jakości materiałów, optymalizacji kosztów oraz zwiększenia konkurencyjności na rynku. Analiza kryteriów wyboru dostawców oraz identyfikacja preferencji przedsiębiorstw w tym zakresie stanowią istotne narzędzia wspierające proces podejmowania decyzji logistycznych. Zatem celem artykułu była identyfikacja i ocena kryteriów wyboru dostawców w przedsiębiorstwach produkcyjnych.

Obszar logistyki zaopatrzenia jest niezwykle istotny dla przedsiębiorstwa [Kappauf i in. 2011, Vasina 2014, Cengiza 2017]. W tej sferze podejmowane są decyzje, które pozwalają na ograniczenie kosztów zamówień poprzez wybór odpowiednich dostawców, zapewnienie wysokiej jakości surowców oraz skuteczne nawiązywanie współpracy z partnerami biznesowymi. Rola zaopatrzenia jest kluczowa dla przebiegu całego procesu produkcyjnego, a także dla ostatecznych kosztów produktu lub usługi. Wymaga to od pracowników tej sfery wysokich kompetencji oraz umiejętności zarówno w działaniach wewnątrz, jak i na zewnątrz przedsiębiorstwa [Matusiak 2022].

Procesy zaopatrzeniowe w przedsiębiorstwie łączą wiele działań, takich jak przygotowanie produkcji, planowanie produkcji i kierowanie procesami produkcji, a także wymagają ścisłej współpracy z dostawcami. W związku z tym logistyka zaopatrzenia zarządza przepływem towarów i jest bardzo ważna dla powiązania procesów fizycznych z informacyjno-decyzyjnymi w firmie.

Logistyka zaopatrzenia zarządza strumieniem dostaw do przedsiębiorstwa i jest silnie powiązana z otoczeniem przedsiębiorstwa, ponieważ wszelkie działania podejmowane w tym obszarze wykraczają poza granice przedsiębiorstwa i granice międzyorganizacyjne. Misją rynkową zaopatrzenia jest maksymalne zaspokojenie potrzeb materiałowych przy jak najniższych kosztach dostaw [Zakrzewski i Zakrzewska 2014]. Podsystem zaopatrzenia ma za zadanie zapewnić ciągłość dostaw surowców, materiałów i opakowań potrzebnych do produkcji w przedsiębiorstwie. Główne zadania zaopatrzenia skupiają się na zakupie surowców i materiałów, kontroli jakości dostarczanych materiałów, współpracy z dostawcami, utrzymaniu niskiego poziomu zapasów, negocjowaniu cen czy współpracy z działami wykorzystującymi kupowane materiały [Janczewska 2017].

W obliczu globalnej konkurencji i rosnących kosztów zaopatrzenia organizacja procesów zakupowych w przedsiębiorstwach produkcyjnych staje się coraz bardziej istotna. Zauważa się zwiększone zainteresowanie menedżerów tym obszarem funkcjonalnym w praktyce biznesowej. Wraz z dynamicznym rozwojem logistyki i uznaniem zalet zarządzania logistycznego, procesy zakupowe zyskują na znaczeniu jako uzupełnienie dla działań logistycznych oraz kolejny aspekt poszukiwania wzrostu efektywności działania [Hadaś i Ragin-Skorecka 2017].

Głównym celem działu zakupów jest zapewnienie ciągłości realizacji zadań produkcyjnych poprzez skuteczne nabywanie dóbr i usług. Sposób działania tego działu zależy od specyfiki branży, w której działa przedsiębiorstwo. W przypadku przedsiębiorstw produkcyjnych dział zakupów ma za zadanie dostarczanie niezbędnych zasobów w celu zapewnienia ciągłości procesu produkcyjnego. Istotą ciągłości produkcji jest dostępność potrzebnych komponentów w momencie ich potrzeby, bez przerywania linii produkcyjnej. Ważne jest, aby dostawy komponentów były realizowane we właściwym czasie i miejscu, zgodnie z ustalonym harmonogramem. To jedno z najważniejszych zadań działów zakupów w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Należy również podkreślić, że zakupy mają istotny wpływ na wynik finansowy organizacji. Można to ująć w prostszych słowach jako udział kosztów zakupów w ogólnych kosztach przedsiębiorstwa [Marchlewska-Organista 2017].

Wybór dostawców w procesie zaopatrzenia

Wybór dostawcy to proces, w ramach którego przedsiębiorstwa identyfikują, oceniają i nawiązują umowy z dostawcami. Proces wyboru dostawcy angażuje znaczną część zasobów finansowych firmy i odgrywa kluczową rolę w osiągnięciu sukcesu organizacji. Głównym celem tego procesu jest ograniczenie ryzyka zakupu, maksymalizacja wartości dla nabywcy oraz budowanie bliskich i długoterminowych relacji między nabywcami a dostawcami [Iastremska 2018, Taherdoost i Brard 2019].

Proces wyboru i oceny dostawców stanowi istotny element działalności przedsiębiorstwa, szczególnie w obszarze zaopatrzenia. W przeszłości wiele firm stosowało standardowe zasady przy selekcji dostawców, co często prowadziło do błędów decyzyjnych związanych z niewłaściwą oceną. Z czasem zrozumiano jak duże znaczenie dla całej działalności przedsiębiorstwa ma odpowiedni wybór dostawców. Rozwinięcie analizy na podstawie szczegółowych kryteriów, z przypisanymi wagami odpowiadającymi potrzebom firmy, umożliwia uzyskanie klarownego obrazu współpracy z poszczególnymi firmami. W działaniach handlowych należy unikać rutynowych lub pochopnych decyzji, które mogą mieć negatywny wpływ. Analiza dostawców oparta na danych historycznych ujawnia podstawowe błędy popełniane przy zakupach, jednocześnie wskazując na nowe możliwości. Czasami dostawcy z którymi wcześniej współpraca była sporadyczna, okazują się być liderami wśród wszystkich dostawców, jeśli wziąć pod uwagę istotne kryteria oraz ocenę dotychczasowej współpracy. Z kolei obecni wiodący dostawcy mogą wypaść źle ze względu na negatywne oceny w kluczowych obszarach współpracy. Kompleksowa ocena dostawców ma na celu wykrycie tego rodzaju błędów i próbę wyboru najlepszych dostawców według określonych kryteriów selekcji [Nowakowski i Werbińska-Wojciechowska 2012].

Dokonanie odpowiedniego wyboru dostawców zgodnie z ustalonymi kryteriami selekcji oraz skupienie uwagi na kluczowych obszarach współpracy stanowi istotny element kompleksowej oceny dostawców. Kryteria oceny wskazują, jakie aspekty oferty będą brane pod uwagę podczas procesu wyboru [Biały i Midor 2019]. Kryteria szczegółowej oceny dostawców zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Kryteria oceny dostawców

Table 1. Supplier evaluation criteria

Kryterium oceny	Charakterystyczne parametry
Cena i warunki dostawy	poziom ceny; stabilność ceny; kredytowanie dostawy; koszty dostawy i transportu; zakres udzielanych rabatów; gotowość negocjacji cenowych
Jakość	jakość techniczna; normy wytwarzania; gwarancje jakościowe; system kontroli jakości;
Czas	dotrzymanie terminów dostaw; gotowość do realizacji dostaw na warunkach klienta; wyrozumiałość przy zakłóceniach w realizacji kontraktu
Elastyczność i adaptacyjność	łatwość wprowadzenia zmian; gotowość do realizacji zamówień na warunkach klienta; zdolność wytwarzania zindywidualizowanego produktu; możliwość podjęcia współpracy i koordynacji w zakresie zupełnie nowego produktu; czas reakcji na nieplanowane zmiany popytu
Potencjał	zdolności produkcyjne; możliwości logistyczne; umiejętności zarządcze i organizacyjne
Warunki płatności i kondycja finansowa	możliwość kredytowania; cykl konwersji gotówki; stabilność sytuacji finansowej; rotacja kapitału;
Lokalizacja	odległość odbiorcy od dostawcy; połączenia komunikacyjne; pochodzenie dostawcy; źródło dostaw dla dostawcy
Doświadczenie	liczba klientów; liczba zrealizowanych transakcji; rekomendacja innych klientów; obsługiwane branże
Inne	polityka środowiskowa dostawcy; infrastruktura informatyczna, logistyczna, produkcyjna itp.; opakowania

Źródło: [Biały i Midor 2019, s. 293].

Source: [Biały i Midor 2019, p. 293].

Jednym z kryteriów oceny dostawców jest jakość surowców, oznaczająca zdolność dostawcy do konsekwentnego spełniania specyfikacji jakościowych, które obejmują cechy jakościowe (materiał, wymiary, projekt, trwałość), różnorodność, jakość produkcji (linie produkcyjne, techniki produkcji, maszyny), system jakości i ciągłe doskonalenie. Niezawodność dostaw wiąże się ze zdolnością dostawcy do przestrzegania określonych harmonogramów dostaw, które obejmują punktualny czas realizacji, kompletność oraz brak strat i uszkodzeń. W literaturze podkreśla się również, że niezawodny dostawca powinien być godny zaufania na podstawie referencji (opinie kupujących), stabilności finansowej (kapitał, roczny obrót), byłych i obecnych partnerów biznesowych, właściwej organizacji firmy i zatrudnionego personelu [Taherdoost i Brard 2019].

W celu uniknięcia negatywnych skutków związanych z niewykonaniem przez dostawcę swoich zobowiązań, nabywcy zazwyczaj podejmują aktywne kroki mające na celu sprawdzenie kwalifikacji dostawcy przed przyznaniem mu kontraktu. Głównym celem

weryfikacji dostawcy jest minimalizacja ryzyka niewykonania przez niego umowy, takiego jak opóźnienia w dostawie, brak dostawy lub dostarczenie wadliwych towarów. Dodatkowym celem jest upewnienie się, że dostawca będzie odpowiedzialnym i reaktywnym partnerem w codziennych relacjach biznesowych z nabywcą [Beil 2010].

Podsumowując, w procesach zakupowych istotne jest zrozumienie roli, jaką odgrywają one we współczesnych przedsiębiorstwach produkcyjnych oraz identyfikacja obszarów, które mają kluczowe znaczenie dla nich. Zarządzanie relacjami z dostawcami wymaga odpowiednich umiejętności i wsparcia zaawansowanych technologii, które umożliwiają budowanie strategii zarządzania dostawcami i kategoriami zakupów, monitorowanie ryzyka oraz pomiar efektywności procesów. Ważne jest, aby nie ograniczać wartości generowanej w procesach zakupowych jedynie do redukcji kosztów, ale również uwzględniać inne aspekty, takie jak jakość, środowisko czy innowacyjność [Wszendybyl-Skulska i Apollo 2018].

Metodyka badania

Badanie przeprowadzono metodą sondażu diagnostycznego, korzystając z narzędzia badawczego, którym był kwestionariusz ankiety skierowany do pracowników zajmujących się zaopatrzeniem w przedsiębiorstwach produkcyjnych zlokalizowanych w północno-wschodniej Polsce. Badanie zrealizowano w styczniu 2024 roku przy wykorzystaniu platformy internetowej Google Forms. Kwestionariusz ankiety składał się z dwóch pytań zamkniętych, wykorzystujących pięciostopniową skalę Likerta oraz metryczki. Przy analizie uzyskanych wyników w przypadku skali Likerta dopuszczalne jest również obliczanie współczynnika oddziaływania [Jezior 2013], co zastosowano w niniejszym artykule. Finalnie uzyskano 67 poprawnie uzupełnionych ankiet. Badane podmioty były zróżnicowane pod względem wielkości, branży, okresu istnienia, sytuacji finansowej i zakresu działania.

Biorąc pod uwagę wielkość przedsiębiorstwa, największą grupę stanowiły mikro-przedsiębiorstwa, zatrudniające 1–9 pracowników oraz małe przedsiębiorstwa, zatrudniające od 10 do 49 pracowników. Wspólnie stanowiły one 60% badanych firm. Średnie przedsiębiorstwa (50–249 pracowników) stanowiły 28%, a duże przedsiębiorstwa (250 pracowników i więcej) reprezentowały 12% badanych (tab. 2).

Najwięcej respondentów działało w branży meblarskiej, stanowiąc 34% badanych firm. Branże takie jak drzewna (10%), chemiczna (7%), maszynowa (7%), elektroniczna (4%), metalurgiczna (9%) i inne (27%) stanowiły odpowiednio mniejszy odsetek ankietowanych podmiotów.

Badanie obejmowało zarówno nowopowstałe firmy, działające na rynku od maksymalnie roku, jak i te, które istniały od ponad dwudziestu lat. To zróżnicowanie pozwoliło na analizę różnych etapów rozwoju przedsiębiorstw i ich podejść do kwestii wyboru dostawców. Pod względem sytuacji finansowej, większość respondentów określiła ją jako dobrą lub bardzo dobrą, jednakże część firm doświadczała trudniejszych warunków finansowych, co mogło wpływać na ich strategię zakupowe i wybór dostawców. Co do zakresu działania badane przedsiębiorstwa działały

Tabela 2. Charakterystyka respondentów
Table 2. Characteristics of the respondents

Kryteria	Grupy respondentów	Liczba	Udział [%]
Wielkość przedsiębiorstwa	1–9 pracowników (mikroprzedsiębiorstwo)	20	30
	10–49 pracowników (małe przedsiębiorstwo)	20	30
	50–249 (średnie przedsiębiorstwo)	19	28
	250 pracowników i więcej (duże przedsiębiorstwo)	8	12
Branża firmy	branża meblarska	23	34
	branża drzewna	7	10
	branża chemiczna	5	7
	branża maszynowa	5	7
	branża elektroniczna	3	4
	branża metalurgiczna	6	9
	inna	18	27
Okres istnienia przedsiębiorstwa	do 1 roku (nowopowstałe przedsiębiorstwo)	7	10
	1–5 lat istnienia (młode przedsiębiorstwo)	12	18
	6–10 lat istnienia (średnio dojrzałe przedsiębiorstwo)	16	24
	11–20 lat istnienia (dojrzałe przedsiębiorstwo)	18	27
	powyżej 20 lat istnienia (stare przedsiębiorstwo)	14	21
Sytuacja finansowa przedsiębiorstwa	bardzo dobra	16	24
	dobra	26	39
	średnia	22	33
	trudna	3	4
	bardzo trudna	0	0
Zakres działania	regionalny	20	30
	krajowy	25	37
	międzynarodowy	22	33

Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań.

Source: own study based on conducted research.

na różnych rynkach – niektóre jedynie na poziomie regionalnym, inne na terenie całego kraju, a jeszcze inne operowały na międzynarodowych rynkach. Zbadano, czy istnieją różnice między tymi przedsiębiorstwami w ocenie znaczenia kryteriów wyboru dostawców. Analizę zebranych informacji przeprowadzono przy użyciu programu SPSS Statistics 29.

Wyniki badań

Biorąc pod uwagę uzyskane rezultaty mediany, dominanty oraz współczynnik oddziaływania można wnioskować, że jakość dostarczanych produktów, niezawodność dostaw oraz dostępność produktów są kluczowymi czynnikami wpływającymi na wybór dostawcy. Cena produktów, czas realizacji zleceń, zdolności produkcyjne oraz elastyczność dostaw również są istotne, ale ich znaczenie zostało ocenione jako nieco mniejsze. Lokalizacja dostawcy, zdolności produkcyjne i ekologiczne praktyki dostawcy są mniej istotne w kontekście wyboru dostawcy (tab. 3).

Tabela 3. Miary tendencji centralnej w ocenie znaczenia kryteriów wyboru dostawcy

Table 3. Central tendency measures in assessing the importance of supplier selection criteria

Kryterium	Współczynnik oddziaływania	Mediana	Dominanta
Jakość dostarczanych produktów	4,79	5	5
Niezawodność dostaw	4,58	5	5
Dostępność produktów	4,48	5	5
Czas realizacji zleceń	4,30	4	5
Cena	4,21	4	4
Zdolności produkcyjne	3,88	4	4
Opinia o dostawcy	3,78	4	4
Elastyczność dostaw	3,73	4	4
Lokalizacja dostawcy	2,66	2	2
Ekologiczne praktyki dostawcy	2,19	2	1

Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań.

Source: own study based on conducted research.

Wykazano, że wielkość przedsiębiorstwa nie wpływa na ocenę znaczenia poszczególnych kryteriów podczas wyboru dostawcy. Oznacza to, że wielkość przedsiębiorstwa nie jest statystycznie istotną zmienną wpływającą na ocenę znaczenia poszczególnych kryteriów podczas wyboru dostawcy, za wyjątkiem kryterium dostępności produktów (tab. 4). Jedynie w przypadku tego kryterium stwierdzono różnice ($p < 0,05$). Przedsiębiorstwa zatrudniające najmniejszą liczbę pracowników najsilniej odczuwają znaczenie czynnika wyboru dostawców, jakim jest dostępność produktów, co wydaje się uzasadnione z uwagi na niejednokrotnie mniejszą skalę działania i siłę przetargową tych odbiorców w porównaniu do większych przedsiębiorstw. Uzyskany wynik nie jest jednak dużo niższy od granicy odcięcia $p = 5\%$, zatem istnieje prawdopodobieństwo, że w kolejnym badaniu ta zależność nie zostałaby potwierdzona.

Istotne w badaniu było również uzyskanie odpowiedzi na pytanie, czy branża, w jakiej funkcjonuje przedsiębiorstwo wpływa na ocenę znaczenia poszczególnych kryteriów podczas wyboru dostawcy. Okazuje się, że branża przedsiębiorstwa nie jest statystycznie istotną zmienną wpływającą na ocenę znaczenia poszczególnych kryteriów podczas wyboru dostawcy (tab. 5).

Podobnie okres istnienia przedsiębiorstwa nie jest statystycznie istotną zmienną wpływającą na ocenę znaczenia poszczególnych kryteriów podczas wyboru dostawcy, oprócz kryterium lokalizacji dostawcy, na które może wpływać. (tab. 6). Wielkość

Tabela 4. Wynik testu niezależności Chi-kwadrat dla związku między oceną znaczenia kryteriów podczas wyboru dostawcy a wielkością przedsiębiorstwa

Table 4. The result of the Chi-square test of independence for the relationship between the assessment of the importance of criteria during supplier selection and the size of the enterprise

Kryterium	Istotność asymptotyczna	df	wartość
Jakość dostarczanych produktów	0,324	6	6,970
Niezawodność dostaw	0,105	9	14,516
Dostępność produktów	0,034	9	18,119
Czas realizacji zleceń	0,260	9	11,229
Cena	0,385	9	9,585
Zdolności produkcyjne	0,304	12	13,949
Opinia o dostawcy	0,149	12	17,016
Elastyczność dostaw	0,223	12	15,338
Lokalizacja dostawcy	0,204	12	15,726
Ekologiczne praktyki dostawcy	0,551	12	10,742

Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań.

Source: own study based on conducted research.

Tabela 5. Wynik testu niezależności Chi-kwadrat dla związku między oceną znaczenia kryteriów podczas wyboru dostawcy a branżą firmy

Table 5. Chi-square test of independence result for the relationship between the assessment of the importance of criteria during supplier selection and the company's industry

Kryterium	Istotność asymptotyczna	df	wartość
Jakość dostarczanych produktów	0,537	12	10,909
Niezawodność dostaw	0,150	18	24,152
Dostępność produktów	0,952	18	9,314
Czas realizacji zleceń	0,724	18	14,080
Cena	0,451	18	18,077
Zdolności produkcyjne	0,955	24	13,628
Opinia o dostawcy	0,157	24	30,874
Elastyczność dostaw	0,296	24	27,185
Lokalizacja dostawcy	0,423	24	24,682
Ekologiczne praktyki dostawcy	0,686	24	20,186

Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań.

Source: own study based on conducted research.

$p = 0,036$ (istotność asymptotyczna) nie jest dużo niższa od granicy odcięcia $p = 5\%$, zatem dowód na istnienie takiej zależności nie jest silny i w kolejnym eksperymencie mógłby nie zostać potwierdzony.

Również sytuacja finansowa przedsiębiorstwa nie wpływa na ocenę znaczenia poszczególnych kryteriów podczas wyboru dostawcy. Oznacza to, że sytuacja finansowa przedsiębiorstwa nie jest statystycznie istotną zmienną wpływającą na ocenę

znaczenia poszczególnych kryteriów podczas wyboru dostawcy (dla wszystkich kryteriów $p > 0,05$).

Analogicznie potwierdzono, że zakres działania nie wpływa na ocenę znaczenia poszczególnych kryteriów podczas wyboru dostawcy. Oznacza to, że zakres działania nie jest statystycznie istotną zmienną wpływającą na ocenę znaczenia poszczególnych kryteriów podczas wyboru dostawcy.

Chcąc ocenić, czy istnieje związek między badanymi zmiennymi, odzwierciedlającymi ocenę kryteriów dostawców przeprowadzono analizę korelacji rang Spearmana. Wynika z niej, że pomiędzy następującymi zmiennymi występuje umiarkowana bądź słaba dodatnia zależność:

- jakość dostarczanych produktów a czas realizacji zleceń ($Rho = 0,434$; $p < 0,01$);
- jakość dostarczanych produktów a niezawodność dostaw ($Rho = 0,385$; $p < 0,01$);
- zdolności produkcyjne a niezawodność dostaw ($Rho = 0,427$; $p < 0,01$);
- zdolności produkcyjne a elastyczność dostaw ($Rho = 0,4349$; $p < 0,01$);
- dostępność produktów a niezawodność dostaw ($Rho = 0,346$; $p < 0,01$).

Można więc wnioskować, że przedsiębiorstwa produkcyjne bardziej dbające o jakość dostarczanych produktów, również częściej starają się uzyskać niezawodność dostaw i właściwy czas realizacji zleceń. Nie budzi zdziwienia fakt, że dostawcy charakteryzujący się lepszymi zdolnościami produkcyjnymi, powinni być jednocześnie bardziej elastyczni i niezawodni, co wynika z potrzeb odbiorców. Potwierdzono również dodatnią korelację między oceną dostępności produktów u dostawców a ich niezawodnością.

Nie wykazano natomiast korelacji między ceną a czasem realizacji zleceń ($Rho = 0,00$), ceną a dostępnością produktów ($Rho = 0,04$) oraz ceną a niezawodnością dostawy ($Rho = 0,04$). Uzyskane rezultaty sugerują całkowity brak związku pomiędzy tymi kryteriami wyboru dostawców. Na podstawie zidentyfikowanego brak związku korelacyjnego między oceną znaczenia kryterium, jakim jest cena produktów a oceną znaczenia czasu dostawy, niezawodności dostawców i dostępności produktów można wnioskować, że kryterium ceny jest niezależne od pozostałych badanych kryteriów. Przykładowo, odbiorcy przywiązujący mniejszą wagę do ceny surowców mogą nie przypisywać podobnego znaczenia do kryterium, jakim jest niezawodność bądź czas dostawy.

Podsumowanie i wnioski

W artykule dokonano analizy kryteriów wyboru dostawców w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Za cel badania przyjęto ocenę kryteriów wyboru dostawców w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Przeprowadzone badanie empiryczne i jego analiza pozwoliły ocenić znaczenie poszczególnych kryteriów oceny dostawców. Wykazano, że przedsiębiorstwa produkcyjne kierują się przede wszystkim trzema zasadniczymi kryteriami: jakością dostarczanych produktów, niezawodnością dostaw oraz dostępnością produktów. Pomimo, że kwestie takie jak koszty, czas realizacji zamówień, zdolności produkcyjne dostawców, opinia o dostawcy i ich elastyczność w dostosowywaniu się do zmieniających się potrzeb są ważne, to jednak nie mają one tak dużego wpływu na decyzje zakupowe jak wyżej wymienione czynniki. Badane podmioty produkcyjne zwracają mniejszą uwagę na ekologiczne aspekty działalności dostawców oraz lokalizację dostawcy.

Wskazanie kluczowych kryteriów wyboru dostawców może mieć istotne skutki praktyczne dla zarządzających i doradców w przedsiębiorstwach. Uzyskane rezultaty mogą służyć jako źródło inspiracji dla przyszłych badań oraz praktyki zarządzania, szczególnie w kontekście dynamicznie zmieniającego się otoczenia biznesowego. Zrozumienie znaczenia kryteriów wyboru dostawców oraz konieczność ciągłego monitorowania i dostosowywania strategii w obszarze logistyki zaopatrzenia jest kluczowe dla efektywnego zarządzania w dzisiejszym świecie biznesu.

Istotnym ograniczeniem przeprowadzonych badań była ograniczona liczba podmiotów uczestniczących w badaniu sondażowym. W przyszłości warto byłoby podjąć wysiłki w celu zwiększenia próby badawczej, co umożliwiłoby bardziej reprezentatywne wnioski. Dodatkowo, badanie przedsiębiorstw z zagranicy mogłoby poszerzyć perspektywę i umożliwić porównanie różnych kontekstów organizacyjnych, co zaowocowałoby interesującymi wnioskami.

Bibliografia

- Beil D.R., 2010: Supplier selection, [w:] J.J. Cochran (red.), Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Biały W., Midor K., 2019: Metody oceny dostawców dla przedsiębiorstw, Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji 8, 290–299.
- Cengiza A.E., 2017: A Multi-Criteria Decision Model for Construction Material Supplier Selection, Procedia Engineering 196, 294–301.
- Hadaś Ł., Ragin-Skorecka K., 2017: Organizacja procesów zakupowych a wzrost strategicznej rangi zakupów – wyniki badań, Nauki o Zarządzaniu 31, 40–46.
- Iastremaska O. 2018: Logistics at an enterprise: the peculiarities of procurement activities, Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries 3(5), 141–148.
- Janczewska D., 2017: Zarządzanie logistycznym systemem zaopatrzenia przedsiębiorstwa MŚP– wybrane problemy, Przedsiębiorczość i zarządzanie 3,2, 201–216.
- Jezior J., 2013: Metodologiczne problemy zastosowania skali Likerta w badaniach postaw wobec bezrobocia. Przegląd Socjologiczny 62(1), 117–138.
- Kappauf J., Lauterbach B., Koch M., 2011: Procurement Logistics, [w:] Logistic Core Operations with SAP, Springer, Berlin, Heidelberg, 59–138.
- Marchlewska-Organista A., 2017: Zakupy i ich wpływ na generowanie oszczędności w przedsiębiorstwie produkcyjnym, Współczesna Gospodarka 8(2), 109–122.
- Matusiak M., 2022: Logistyka zaopatrzenia, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Nowakowski T., Werbińska-Wojciechowska S., 2012: Porównanie metod oceny i wyboru dostawców w przedsiębiorstwie – case study, Logistyka, 2, [CD 2], 935–944.
- Taherdoost H., Brard A., 2019: Analyzing the Process of Supplier Selection Criteria and Methods, Procedia Manufacturing 32, 1024–1034.
- Vasina E., 2014: Analyzing the process of supplier selection. The application of AHP Method, in Degree Programme in Industrial Management, Centria University of Applied Sciences, [źródło elektroniczne]<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76540/Vasina%20Ekaterina%20Thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [dostęp: 05.08.2024].
- Wszendybyl-Skulska E., Apollo P. 2018: Kreowanie wartości w wybranych obszarach procesów zakupowych, Studia Ekonomiczne 351, 144–151.
- Zakrzewski B., Zakrzewska D., 2014: Rola zaopatrzenia i metodyka wyboru dostawcy w działalności przedsiębiorstw przemysłowych, Logistyka 3, 6977–6999.

**Ireneusz Żuchowski¹✉, Liudmyla Hanushchak-Efimenko²,
Radovan Savov³, Dariusz Racz⁴**

¹ International Academy of Applied Sciences in Lomza

² Kyiv National University of Technologies and Design

³ Slovak Agricultural University in Nitra, Slovakia

⁴ University of Warmia and Mazury in Olsztyn

Artificial intelligence in human resource management: opportunities and challenges in the area of logistics

Sztuczna inteligencja w zarządzaniu zasobami ludzkimi: szanse i wyzwania w obszarze logistyki

Abstract. The purpose of this article is to identify applications of artificial intelligence in human resource management in the area of logistics. The analysis is based on the current literature on the subject. The article analyzes the possibilities and areas of application of AI in logistics in HR. Issues of recruitment process automation, performance monitoring, retention management, and HR needs forecasting are discussed. The implementation processes of artificial intelligence have resulted in actions by governments and organizations of countries, such as the European Union, to introduce regulations focusing on ensuring the safe use of AI. It is and will continue to be a key challenge posed by the implementation of AI. In addition, future opportunities for developing this technology in the context of human resource management in logistics are discussed. The literature analysis indicates that artificial intelligence will become increasingly applicable in human resource management, supporting and making these processes more efficient. However, it is essential to note that, with the development of this technology, challenges will not disappear. On the contrary, they will arise from several factors, such as organizational and human factors.

Key words: artificial intelligence, human resources management, logistics

✉ **Ireneusz Żuchowski** – International Academy of Applied Sciences in Lomza; e-mail: ireneusz.zuchowski@mans.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0002-3998-1892>.

Liudmyla Hanushchak-Efimenko – Kyiv National University of Technologies and Design; e-mail: glm5@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-4458-2984>

Radovan Savov – Slovak Agricultural University in Nitra; e-mail: radovan.savov@uniag.sk; <https://orcid.org/0000-0002-4882-0978>

Dariusz Racz – University of Warmia and Mazury in Olsztyn, email: dariusz.racz@uwm.edu.pl, <https://orcid.org/0009-0000-0852-2186>

Synopsis. Celem artykułu jest rozpoznanie zastosowań sztucznej inteligencji w zarządzaniu zasobami ludzkimi w branży logistycznej. Analizy dokonano na podstawie aktualnej literatury przedmiotu. W artykule dokonano analizy możliwości i obszarów zastosowania AI w HR w logistyce. Omówiono zagadnienia automatyzacji procesu rekrutacji, monitorowania wydajności, zarządzania retencją oraz prognozowania potrzeb kadrowych. Procesy wdrażania sztucznej inteligencji spowodowały działania rządów i organizacji państw. W państwach Unii Europejskiej działania te zmierzają do wprowadzania uregulowań prawnych skupiających się na zapewnieniu bezpieczeństwa używania AI. Jest to i będzie kluczowym wyzwaniem, które stawia implementacja AI. Ponadto omówiono przyszłe możliwości rozwoju tej technologii w kontekście zarządzania zasobami ludzkimi w logistyce. Dokonana analiza literatury wskazuje, że sztuczna inteligencja w przyszłości będzie miała coraz większe zastosowanie w zarządzaniu zasobami ludzkimi, wspierając te procesy i czyniąc je coraz bardziej efektywnymi. Jednak należy zwrócić uwagę, że wraz z rozwojem tej technologii nie znikną a wręcz przeciwnie będą pojawiać się wyzwania które wyнікаć mogą z wielu czynników takich jak np. organizacyjne czy ludzkie.

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, zarządzanie zasobami ludzkimi, logistyka

JEL codes: D02, D39, F10

Introduction

The modern development of digital technologies, particularly artificial intelligence (AI), is changing many industries, including logistics. As an advanced analytical tool, AI is beginning to play an essential role in human resources (HR) management, opening up new possibilities for automating processes, forecasting HR needs, and optimizing employee performance. In the context of logistics – an industry characterized by high employee turnover, seasonal changes in HR demand, and demanding working conditions – AI is particularly relevant, supporting companies in this industry to adapt their human resources better to dynamic market needs [Baryannis and Dani 2022, Ahmad and Mohamad 2023].

Using advanced algorithms, AI can analyze historical data and current employee information and, based on this, generate predictions about productivity, engagement, or the propensity to quit. In recruitment processes, AI can automate the analysis of CVs, eliminating biases and speeding up the selection of candidates, which is particularly important in logistics, where there is often a need to quickly hire large numbers of employees for operational positions [Dehghani and Ali 2020, Lewis and Reilly 2020]. As a result, these technologies not only increase the efficiency of HR operations but also allow for more precise matching of candidates with job requirements, which is crucial in the logistics industry, which relies on teamwork and high operational efficiency [Tan and Chan 2023].

An equally important aspect of the application of AI in logistics is the ability to monitor employee performance and predict future performance based on the analysis of indicators such as response time, quality of work, or absenteeism levels. By analyzing large data sets from various sources, organizations can identify employees with high development potential and customize training programs and career paths. This kind of personalization of talent management is particularly relevant in the logistics industry, where performance depends on the precise match between employees' skills and operational requirements [Bhardwaj and Pandey 2021, Fountaine et al. 2023].

As the sophistication of AI increases, so do the challenges of implementing it in HR departments. Ethical issues, such as employee data privacy and potential algorithmic biases, are becoming an essential topic of discussion. Organizations implementing AI need to ensure that these technologies comply with data protection regulations, respect employees' rights, and ensure the transparency of processes [Chaturvedi and Sharma 2022, Ivanova and Dimitrov 2022]. Appropriate approaches are crucial to gaining employee trust and avoiding potential legal or reputational problems.

Materials and methods

We employed the VOSviewer software to enhance the visualization of bibliometric networks, allowing us to map and interpret complex relationships within the field of study. Using the Web of Science database, we analyzed the 1,000 most recent academic papers focusing on applications of artificial intelligence (AI) in management, business, and logistics. The analysis utilized density visualizations depicted as a heat map, providing an insightful overview of the most interesting areas within the network of literature sources. This method is particularly effective in identifying clusters, trends, and potential research gaps.

As illustrated in the visualization (Fig. 1), four primary clusters of research papers were identified, each representing a distinct thematic focus within the literature.

The first cluster primarily addresses the relationship between AI and business, exploring how AI influences business processes and the transformative effects it brings to organizational operations and decision-making. The second cluster centers on the interaction between companies and markets, analyzing how AI can enhance a firm's performance and competitiveness. The third cluster focuses on the challenges associated with the application of AI in the business environment. Lastly, the fourth cluster examines the tools and technologies most frequently utilized in business applications, providing a detailed overview of the methods and systems that support AI-driven innovations.

A notable finding from this analysis is the relatively limited exploration of AI's role in human resource management (HRM) within the logistics sector. This indicates a significant research gap, highlighting an area where further investigation is needed. Addressing this gap, our study aims to provide a more comprehensive understanding of AI's implications in HRM in logistics, contributing valuable insights to the academic community and offering practical recommendations for managers seeking to leverage AI in this domain. This research not only bridges the identified gap but also enriches the broader discourse on the integration of AI in business and management practices.

Implementing AI in logistics human resource management opens a new chapter where these technologies can revolutionize how organizations hire, develop and manage their workforce.

Automating the Recruitment and Selection of Candidates

Automating the recruitment and selection of candidates using AI is one of the critical areas in which AI significantly benefits the logistics HR sector. The industry requires a constant flow of new employees, often hired for positions that require rapid training and

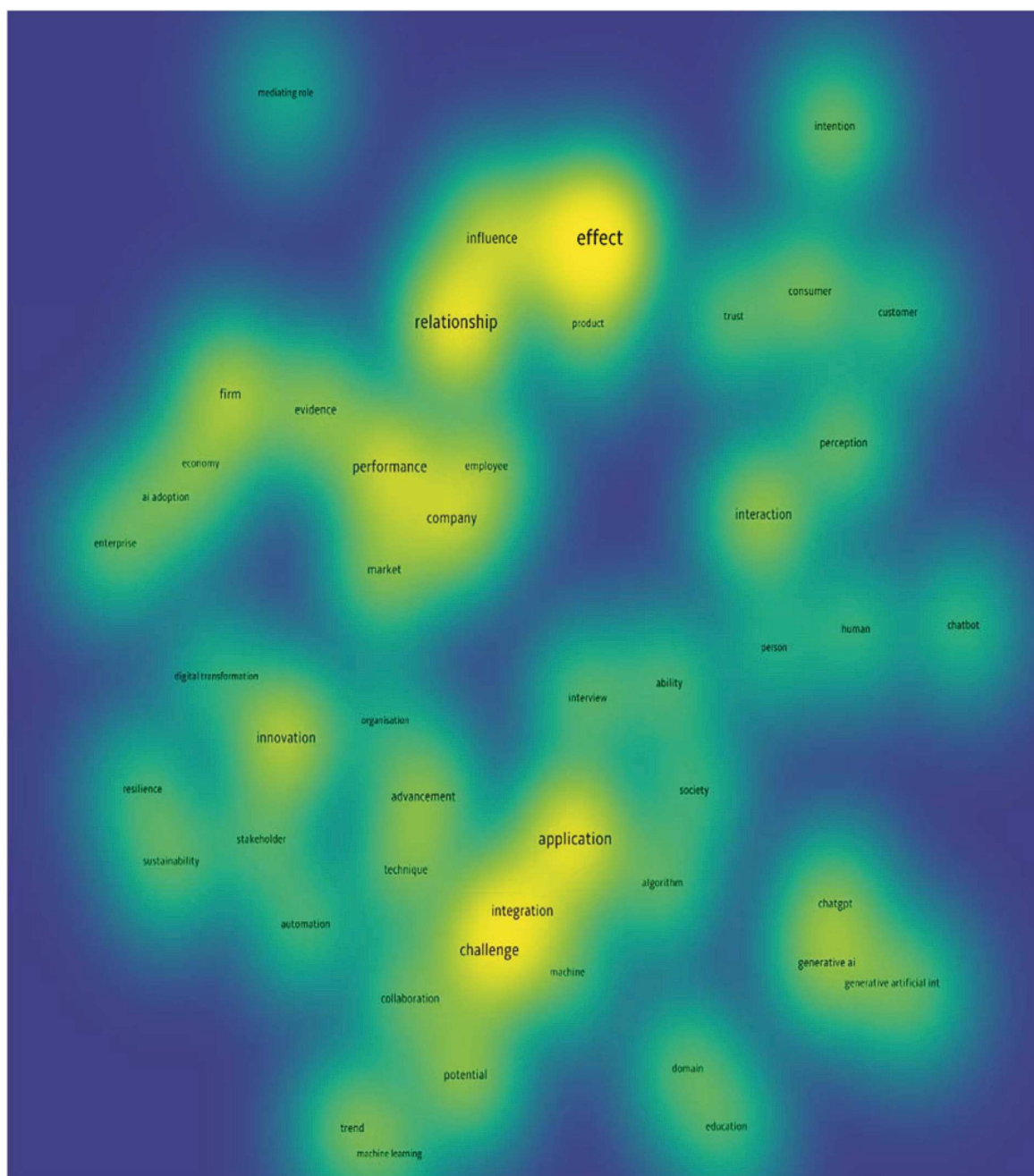


Figure 1: Visualization of bibliometric networks of AI in management and business

Rysunek 1: Wizualizacja sieci bibliometrycznych AI w zarządzaniu i biznesie

Source: own processing using VOSviewer.

Źródło: własne opracowanie przy użyciu VOSviewer.

a high degree of flexibility. Frequent changes in staffing demands and the pressure to hire new employees quickly make traditional recruitment processes insufficient. AI not only streamlines recruitment processes but also reduces errors and the impact of human biases, contributing to more diverse and competent teams [Lewis and Reilly 2020, Ahmad and Mohamad 2023].

One of the main applications of AI in recruitment is the analysis and pre-selection of applications. Traditional application selection takes significant time and involves the risk of errors and subjective assessment. AI algorithms analyze CVs, cover letters, and other application documents, identifying the critical competencies, experience, and skills required for the position. This allows recruiters to focus on reviewing the best-fit candidates, significantly reducing the recruitment time and costs [Dehghani Ali 2020, Tan and Chan 2023].

Cappelli and Tavis [2023] note that AI systems, by analyzing results from previous recruitment processes, can pick up patterns that predict individual performance in logistics positions, helping recruiters accurately match candidates to roles in which they will be effective. Additionally, AI can facilitate the analysis of historical data and compare the profiles of new applicants with the characteristics of high performers, increasing the chances of recruitment success.

Chatbots and candidate pre-screening systems are becoming increasingly popular for automatically conducting initial interviews. Chatbots, equipped with natural language processing (NLP) technology, can conduct initial interviews with candidates, gathering information about their work experience, preferences, and motivation levels. Such a solution benefits logistics [Lewis and Reilly 2020]. Initial interviews conducted by AI also allow the assessment of candidates' soft skills, such as communication skills, responsiveness, and flexibility in response to changing requirements. In turn, based on an analysis of the responses, AI selects candidates who meet the criteria, helping to focus on those with the most significant potential to prove themselves in a demanding work environment [Bhardwaj and Pandey 2021, Fountaine et al. 2023].

AI can also analyze aspects of a candidate's fit with the organizational culture, particularly in logistics, where teamwork and effective communication are essential. By analyzing data from social media, professional profiles, or psychometric test results, AI can assess a candidate's hard skills, working style, and career preferences. This enables a more precise match between the candidate and the organizational culture and increases the likelihood of long-term commitment and job satisfaction [Baryannis and Dani 2022].

As Tan and Chan [2023] point out, AI systems can also identify personality traits conducive to productivity and satisfaction in the logistics work environment and predispositions to work in changing conditions. Through advanced analysis of candidate behaviors and preferences, AI enables the creation of more cohesive teams, resulting in a better working atmosphere and lower turnover.

AI makes it possible to reduce biases that can influence recruiters' choices. Using algorithms makes it possible to objectify the recruitment process by analyzing candidates solely based on their skills, experience, and other criteria. According to Chaturvedi and Sharma [2022], AI eliminates some forms of unconscious biases that can influence the decision-making process, resulting in greater diversity in teams and better organizational performance.

However, there is a potential risk of algorithmic biases. To prevent them, organizations need to regularly monitor and calibrate AI systems to ensure their compliance with ethical standards and a level playing field for all candidates [Ivanova and Dimitrov 2022].

Introducing AI into recruitment makes it possible to automate the administrative tasks of handling applications, monitoring candidate progress, and providing feedback. This approach streamlines the management of large applications, which is essential, especially in large logistics organizations that regularly conduct mass recruitments [Hamdi and Abdallah 2021]. AI can generate personalized feedback messages for candidates and automatically update the status of applications in the system, improving communication and contributing to the candidate experience.

Automation of administrative processes translates into time and resource savings, allowing HR to focus on strategic aspects of recruitment, such as employer branding and creating talent development plans [Gupta and Vashistha 2020]. This approach allows logistics HR departments to operate more flexibly, adapting to changing operational needs and requirements.

Despite the many benefits of recruitment automation, its challenges should also be acknowledged. AI systems can sometimes exclude potentially valuable candidates based on overly strict criteria, leading to the omission of individuals with unusual but valuable work experience [Wright and Snell 2020]. There is a risk that algorithms learning from historical data will replicate errors or reflect biases from previous recruitment processes [Vishwakarma and Singh 2023].

Performance Prediction and Employee Performance Monitoring

Performance prediction and employee performance monitoring are essential application areas for artificial intelligence (AI) in logistics human resource management. In an environment where the operational work is intensive and the demands on time and quality are high, the ability of AI to analyze and predict employee performance is invaluable. AI enables logistics companies to more accurately assess competencies, monitor key performance indicators, and identify employees with high development potential to better align HR activities with operational needs [Baryannis and Dani 2022].

AI algorithms can analyze performance indicators, such as response times, number of tasks completed, error rates, and absenteeism levels. Using this data, AI allows real-time performance levels to be monitored and areas for improvement to be identified. By using AI to monitor performance, logistics companies can not only measure labor performance but also identify trends and patterns in employee behavior, enabling them to make more informed human resource planning decisions [Bhardwaj and Pandey 2021, Fountaine et al. 2023].

Kashyap and Subramanian [2022] highlight that using AI to monitor performance allows companies to personalize career paths and individualize development programs. In logistics, where the pace of work is high and the demands are constantly changing, AI can, for example, identify employees who adapt quickly to new tasks, which helps in optimizing team management. For example, an employee who stands out for high performance during busy times can be identified as someone with the potential to be promoted or take on more responsible positions.

AI can predict employee performance in real-time based on historical and current data, allowing logistics organizations to respond to potential problems even before they affect operational efficiency. Learning algorithms analyze work patterns and, based on this, predict potential drops in productivity, for example, during busy periods such as holidays or seasonal promotions. With this capability, organizations can allocate resources accordingly or implement contingency plans to minimize the risk of downtime [Goldstein and Newman 2022, Wright and Snell 2020].

AI systems can also predict performance in the context of individual employees, assessing their tendencies to maintain high-quality work, punctuality, and adaptability. These analyses are particularly valuable in logistics, where task variability and work intensity affect teams' performance. Ivanov and Dolgui [2021] note that AI can support operations management by predicting which employees need support in completing their tasks and which teams are most optimal for specific projects.

AI provides the opportunity to identify employees with high development potential, which is crucial in succession planning and talent management. AI algorithms analyze employee performance, adaptability, and engagement data and then identify individuals who may be prepared to take on more responsible roles. Such analysis is particularly relevant in logistics, where companies often need leaders capable of managing teams in intense operational environments [Shukla and Patel 2022, Fountaine et al. 2023]. This enables organizations to effectively develop internal talent and promote based on objective data, which promotes increased employee retention and builds loyal teams. Employees who see that their contributions are monitored and evaluated by AI may be more motivated and committed to long-term development within the organization [Ghosh and Ramkumar 2021].

With its ability to detect problems early, AI can pinpoint potential risks associated with low productivity or absenteeism. By analyzing current indicators such as working time, number of sick days, and turnover, AI can predict the risk of burnout and other factors affecting employee performance. As Jatobá, Ferreira, and co-authors [2023] note, AI enables HR departments to take preventive measures, such as implementing support programs or adjusting work schedules, in such a way as to prevent future HR problems. Mishra and Singh (2021) add that monitoring performance metrics makes it possible to predict employee turnover and implement appropriate measures to retain key people. In logistics, where employee turnover can affect operational stability, the ability to anticipate and manage HR risk is an indispensable part of HR strategy.

Based on monitoring performance indicators, AI makes it feasible to personalize training and tailor career paths to individual employees' needs. Learning algorithms can detect which areas individual employees need support in, such as technical skills or teamwork, allowing personalized development programs to be created. Such personalization is beneficial in logistics, where employee demands change dynamically, and flexibility and continuous development are essential to maintain high-quality work [Kashyap and Subramanian 2022]. A personalized approach to training increases employee productivity and fosters long-term commitment and loyalty to the organization, which is a critical element of HR strategy. AI systems help managers better understand employees' strengths and

weaknesses and tailor development programs to their needs, resulting in higher morale and lower turnover [Lewis and Reilly 2020].

Despite its many benefits, the use of AI to monitor and predict employee performance also poses challenges. Real-time monitoring of performance indicators can be perceived as overly intrusive, raising employee privacy concerns [Ivanova and Dimitrov 2022]. Therefore, it is essential to be transparent about how AI is used for performance monitoring and to inform employees about protecting their privacy.

Retention Optimization and Talent Management

Optimizing employee retention and effective talent management are becoming priorities for HR departments in logistics, and artificial intelligence can effectively support these processes. The logistics industry, characterized by an intense work pace, fluctuating staffing needs, and high employee turnover, can particularly benefit from implementing AI. AI-based tools can help HR departments identify retention drivers, predict a propensity to leave, and optimize employee development, contributing to increased engagement, satisfaction, and loyalty to the organization [Ghosh and Ramkumar 2021, Ahmad and Mohamad 2023].

Predicting the Willingness of Employees to Leave

One of the critical applications of AI in retention optimization is analyzing data on employee engagement and their propensity to leave. AI systems monitor various metrics, such as absenteeism, engagement, periodic appraisal results, and satisfaction levels, to predict which employees may be at risk of burnout or job dissatisfaction. Based on such analyses, AI can identify individuals considering leaving, allowing HR to quickly implement actions to retain them [Baryannis and Dani 2022].

This approach benefits logistics, where frequent employee turnover can lead to operational disruption. Logistics organizations can implement personalized support programs and tailored development plans, increasing employee loyalty and reducing the costs of re-hiring and training new people [Mishra and Singh 2021, Shukla and Patel 2022].

Personalization of Development and Training Paths

AI supports personalizing career paths and tailors training to individual employee needs. Based on employee performance, capabilities, and preferences analysis, AI identifies areas where individuals may need support or additional training. It enables logistics organizations to allocate training resources more effectively, focusing on developing core competencies that impact operational efficiency [Fountain et al. 2023].

Kashyap and Subramanian [2022] highlight that AI enables the creation of personalized development programs that consider both organizational requirements and individual employee goals. Employees with a high potential for teamwork can be referred to a leadership development program, which prepares them for a team leadership role. This approach increases employees' commitment, as they see their employer investing in their development, influencing their loyalty and reducing turnover.

Building an Organizational Culture and Improving Employee Satisfaction

AI supports building an organizational culture that fosters long-term employee engagement and satisfaction. Based on data analysis on work preferences and styles, AI can suggest appropriate management strategies that foster integration and better alignment of employees with organizational values. By analyzing such factors, organizations can shape more aligned and engaged teams, which is crucial for success in the logistics sector, where teamwork is paramount [Gupta and Raj 2023, Lewis and Reilly 2020].

Implementing an AI-based talent management strategy influences the work atmosphere and employee bonding, promoting lower turnover and higher satisfaction levels. Ghosh and Ramkumar [2021] point out that AI can monitor factors affecting employee satisfaction, such as development opportunities, work environment, and work-life balance, allowing support and motivation programs to be adjusted accordingly.

Optimizing Succession Plans and Leadership Development

The AI also supports the optimization of succession plans, which is particularly important in logistics, where there is often a need to quickly replace key employees during emergencies or periods of peak demand for services. By analyzing data on job performance, leadership, and adaptability, AI can identify individuals who may be prepared to take on more responsible positions [Shukla and Patel 2022].

With such analytics, organizations can more effectively plan the development of their leaders, which is vital to ensuring operational continuity. AI supports the development of leaders by providing personalized development programs that help prepare employees for leadership roles and support them in developing essential skills such as decision-making, team management, and effective communication [Jatobá et al. 2023].

Reducing Retention Costs and Increasing Efficiency

High employee turnover is one of the critical challenges in logistics, which generates significant costs in recruiting, training, and retaining new employees. With AI, managing talent better and optimizing retention strategies is possible, allowing logistics companies to save significantly. AI identifies employees with high potential for long-term development, allowing companies to focus on retaining them, thereby reducing turnover costs [Fountain et al. 2023].

The automation of retention management supported by AI also allows for more efficient allocation of HR budgets for support and motivation programs, which promotes better utilization of resources and increases the organization's operational efficiency. As a result, companies can achieve higher levels of employee satisfaction and improved business performance [Wright and Snell 2020, Ahmad and Mohamad 2023].

Ethical and Practical Challenges in the Management of Employee Retention by AI

Although AI brings numerous benefits to retention and talent management, its implementation also comes with challenges. AI requires access to detailed employee data, which can raise privacy and data protection concerns. Organizations must ensure that all

data analytics activities comply with privacy regulations such as the GDPR [Chaturvedi and Sharma 2022, Ivanova and Dimitrov 2022].

Another challenge is the risk of algorithmic bias. AI can unknowingly reinforce existing biases based on historical data, leading to unfair treatment of certain employees. To prevent this, organizations should regularly monitor and calibrate their algorithms to ensure that AI supports the equal treatment of all employees and does not reinforce biases [Vishwakarma and Singh 2023].

Capacity Planning and Forecasting of Workforce Needs

Human resource planning and forecasting workforce requirements are crucial elements of logistics management, especially in industries with high seasonal fluctuations and variable operational requirements. AI offers cutting-edge solutions that allow organizations to predict and adapt human resources to meet current and future needs. Through advanced data analysis, machine learning, and predictive models, AI enables logistics organizations to manage their workforce more precisely, increasing operational efficiency and reducing costs [Hamdi and Abdallah 2021, Kovács and Kot 2021].

AI in logistics allows for the analysis of historical employment and workforce utilization data, enabling the creation of accurate forecasting models for workforce demand. AI systems can process data from previous seasons, considering changes in demand patterns and predicting when an organization will need more staff. For the logistics industry, which is particularly susceptible to seasonal fluctuations – for example, increased traffic during the holiday season – such predictions are crucial to prevent staff shortages and overstaffing [Wang and Liu 2022].

Baryannis and Dani [2022] note that, with predictive AI models, organizations can better manage the hiring process of seasonal workers by planning to hire based on actual needs. This approach minimizes the risk of staff surpluses or shortages and ensures the optimal use of available resources, resulting in better operational performance and customer satisfaction.

Machine learning (ML), as part of artificial intelligence, enables the creation of dynamic models that predict and adjust forecasts in real-time, considering changing market and operational conditions. ML algorithms analyze data from various sources – from market demand and current orders to productivity rates and production variability – to fine-tune workforce requirements [Varghese and Patel 2020].

With these technologies, companies can plan their human resources more accurately, predicting what skills will be required in a given period and when additional hiring will be needed. AI allows forecasts to be automatically adjusted according to the current market situation, making it possible for an organization to respond flexibly to changes and minimize the costs associated with the suboptimal use of human resources [Gupta and Vashistha 2020].

AI also supports optimizing work schedules, particularly in logistics, where organizations often must cover multiple tasks at different times and locations. AI algorithms can analyze data on employee availability, productivity, and current operational needs and then generate optimal work schedules. This approach allows for better time management, reducing overtime costs and unscheduled absenteeism [Hamdi and Abdallah 2021].

Shukla and Patel [2022] indicate that optimizing work schedules improves working conditions and employee satisfaction. Employee motivation and engagement increase when schedules are tailored to employees' preferences and availability. With AI, organizations can also better manage employee turnover, creating schedules that minimize downtime and maximize productivity.

AI makes it possible to detect recruitment needs early and plan recruitment processes well in advance. By analyzing patterns in workforce demand growth, organizations can prepare for upcoming changes in team composition and ensure that existing employees are adequately trained and developed to take on new roles. This approach is critical in logistics, where dynamic changes in demand can generate sudden staffing needs [Fountain et al. 2023].

Jatobá et al. [2023] note that AI supports employee development planning by identifying those individuals who may be prepared to take on more responsible positions. In logistics, where rapid adaptation and the ability to manage change are essential, AI enables more effective talent management and succession planning, contributing to more excellent operational stability.

AI in human resource planning allows for a better match between the number of employees and the actual needs of the organization, which helps to reduce costs associated with staff surpluses or shortages. A surplus of staff can lead to unnecessary salary costs, while a shortage can reduce service quality and customer satisfaction [Kovács and Kot 2021]. Using AI, logistics companies can minimize these risks by adjusting staffing according to projected staffing needs.

Automating the HR planning process also allows for better management of HR budgets, which is particularly important in logistics, where operational costs are high. Organizations can allocate resources more efficiently to training, development, or incentive programs rather than incurring costs associated with overstaffing or emergency recruitment [Varghese and Patel 2020].

AI also enables the more efficient management of employees in distributed locations, which is particularly important for large logistics companies that operate across multiple regions. With AI systems, organizations can analyze staffing needs across these regions, aligning resources with local operational requirements and supporting the management of distributed teams. If one division has more significant staffing needs, AI can plan to relocate staff or suggest short-term hires [Lewis and Reilly 2020].

This approach allows them to manage their workload better and respond effectively to changes in demand across locations, which is crucial for logistics, where the work pace and staffing needs can vary from region to region. As a result, organizations can manage their resources more flexibly, minimizing costs and reducing the risk of operational downtime.

Despite its many advantages, implementing AI in workforce planning also brings challenges. One is the need to ensure the quality of the data on which AI forecasts are based. Inaccurate or incomplete data can lead to erroneous forecasts and inappropriate HR planning. Another challenge is monitoring and adapting algorithms to changing market conditions and current organizational requirements [Wright and Snell 2020].

In addition, AI-based resource management also requires HR staff to be adequately trained in using analytical tools and interpreting the results. Organizations must also

adhere to privacy rules and comply with employee data protection regulations, which is a significant challenge in collecting and processing large amounts of personal data [Chaturvedi and Sharma 2022].

Ethical Challenges and Privacy in AI

Artificial intelligence (AI) in human resources management, particularly logistics, brings significant ethical and employee privacy challenges. AI, operating based on sophisticated algorithms, often processes vast amounts of personal data, such as information on employee performance, absenteeism, engagement, and even emotional behavior. While this information can significantly improve human resource management, its collection and analysis can lead to privacy violations and other ethical issues. As AI technology becomes more ubiquitous, organizations face challenges related to transparency, algorithmic biases, and regulatory compliance [Chaturvedi and Sharma 2022, Ivanova and Dimitrov 2022]. The AI deployment processes have prompted governments and organizations of countries, such as the European Union, to introduce regulations to ensure the safety of its use in practice. Key challenges include:

- Employee Privacy: AI requires detailed data on employee performance and behavior, which raises privacy issues.
- Algorithm Transparency: Employees may not understand how the algorithms influence decisions that impact them.
- Algorithmic Bias: Historical data may contain biases that affect decision fairness.

To meet these challenges, organizations must apply rigorous data protection standards and implement privacy policies that clearly define what data is collected, for what purpose, and who has access to it. In the European context, the provisions of the GDPR require that employees have full knowledge of any processing of their data and the ability to correct or delete it if it is no longer needed. Ensuring compliance with these regulations can be challenging for logistics organizations that often collect and process real-time data, such as employee location [Ivanova and Dimitrov 2022].

2. Transparency of Algorithms and Explainability of Decisions Made by AI. AI makes decisions based on complex algorithms that are often difficult to understand, even for systems managers. The lack of transparency in how the algorithms work, the so-called “black box problem,” can lead to employees not trusting AI. If decisions made by AI, such as task assignment, performance evaluation, or turnover risk analysis, are not fully explained, employees may feel uncomfortable and feel that they are not in control of their professional development [Jatobá et al. 2023].

To increase transparency, organizations should implement “Explainable AI” (XAI) models that allow users to understand how an algorithm arrived at a particular decision. Explainable AI also supports HR activities, enabling more informed HR decision-making and allaying potential employee concerns about the fairness and objectivity of appraisals. Logistics organizations can use this approach to build team trust and explain how AI works in HR management [Fountain et al. 2023].

Algorithmic Bias and Workplace Equality. Algorithmic bias is another essential ethical issue related to AI in HR. AI algorithms learn from historical data, which may contain

unconscious biases related to gender, age, race, or nationality, leading to their replication and reinforcement in decisions. For example, if historical data indicates that younger workers or men have historically been preferred for leadership positions, algorithms may automatically prefer such profiles despite the lack of objective justification (Chaturvedi, Sharma, 2022).

To avoid problems with algorithmic bias, organizations should monitor and regularly calibrate their AI models to ensure they do not lead to unfair treatment of employees. Creating more diverse datasets to train algorithms and using methods to test for bias can help reduce this risk. It is also worth conducting regular audits of algorithms to detect potential equity issues in AI decisions, which is particularly important in large logistics organizations where fairness and transparency in employee management are central to organizational culture [Wright and Snell 2020].

4. Employee Consent and Right to Information. The issue of obtaining employee consent for AI to process their data is a critical ethical aspect that must be met for an organization to use monitoring and analytics technologies in compliance with the law. Employees should be allowed to consent to the use of their data and be provided with detailed information on the purpose and scope of the analysis. Organizations must also ensure that employees have the right to access the information that is collected about them and the ability to correct or delete it if it is no longer needed to meet business objectives [Ivanova and Dimitrov 2022, Vishwakarma and Singh 2023].

Employee consent should not be treated as a formality – organizations should ensure that employees understand what data is being collected and how it will be used. In logistics, where data may be collected in real-time (e.g., on location), organizations must be careful to meet the regulatory requirements and ensure transparency in data processing [Kovács and Kot 2021].

Accountability and Anti-Abuse of Technology. The use of AI also brings the challenge of accountability for algorithm decisions. If AI makes a mistake – for example, wrongly categorizing an employee as low-performing or deeming them at risk of burnout – the organization must take responsibility for the consequences of that decision. It is, therefore, crucial that HR operations managers understand the limitations of AI and can effectively review the analytical results generated by algorithms [Gupta and Raj 2023].

These measures may include introducing validation procedures to manually check the results of AI analyses before making decisions that affect employees. It is also essential to counter abuses of the technology, such as excessive monitoring of employees without justification, which can lead to workplace tensions and lower team morale. To avoid such problems, logistics organizations must apply the principles of responsible and ethical AI implementation and regularly train HR staff on accountability for AI results [Lewis and Reilly 2020].

Ethical Frameworks and Standards in AI Governance. Creating ethical frameworks and standards for AI governance is becoming essential for organizations that want to implement AI in a way that is consistent with ethical values. Logistics companies can develop internal policies on AI use, including transparency, privacy, and equality. For example, organizations can create a code of ethics for the HR department that sets out

principles for monitoring employees, protecting their data, and ensuring fairness in decisions [Jatobá et al. 2023].

Implementing these principles helps build trust between employees and management and fosters a positive organizational culture. Organizations can also use international ethical standards and AI guidelines to ensure compliance with best practices and regulations, which is particularly important in global logistics companies.

The Future of AI in Human Resource Management

The development of AI technology is creating new HR opportunities, and its future in logistics looks promising. It is predicted that as this technology develops, AI will provide even more advanced analysis and personalization of talent management processes, allowing development programs to be better tailored to individual employee needs [Hsiao and Chang 2023]. This approach will enable organizations to respond flexibly to market changes and better prepare their human resources for future challenges.

A logistics company can use AI to predict future staffing needs and create talent development programs to better adapt to changing market demands. As the technology evolves, AI will become an indispensable part of HR management strategies, supporting not only the current needs of the organization but also enabling long-term planning (Fiorini and Bardazzi 2021; Son and Kim 2022).

The development of AI in HR management brings the opportunity for fundamental changes that go beyond the automation of current processes. As AI becomes more advanced and integrated into various aspects of HR, the future of HR management in logistics and other industries is gaining new perspectives. Critical areas for future development of AI in HR will be the personalization of the employee experience, dynamic talent management, automated predictive analytics, and the introduction of intelligent decision support systems that can become a support for HR leaders in creating a more flexible, diverse and satisfied team [Hsiao and Chang 2023, Fountaine et al. 2023].

One of the main areas where AI will play a key role is personalizing the employee experience. In the future, AI technologies will allow organizations to understand employees' unique needs and preferences better and tailor their career paths, training, and development programs to meet individual requirements. AI algorithms can analyze data related to employee performance, preferences, and long-term goals, enabling more effective and rewarding talent management [Wright and Snell 2020].

One example of an application is an AI-based development platform that suggests specific courses, training, or development tasks based on analyzing the employee's strengths and areas for improvement. Such a personalized development path contributes to employee motivation and job satisfaction, which is crucial in the logistics industry, where employment is often seasonal and requires flexibility [Jatobá et al. 2023].

AI will enable dynamic talent management in the future, meaning organizations can quickly identify high-potential employees and plan their development to align with current and future organizational needs. As AI becomes more sophisticated, algorithms can forecast staff changes and suggest replacements for critical positions, minimizing operational interruptions when employees leave. These systems will monitor employee performance and competency data, creating transparent and automated succession plans that

allow logistics companies to manage turnover efficiently and better secure key positions [Varadarajan and Srinivasan 2020].

Automated succession planning, supported by AI, also allows organizations to prepare early for changes at the HR level. In logistics, where the effective management of teams is essential, this approach enables precise planning and building human resources more efficiently and flexibly [Gupta and Vashistha 2020].

The future of AI in HR will involve further development of predictive analytics, which enables more accurate forecasting of staff changes and effective workforce planning. AI will use advanced predictive models to predict turnover, burnout, and other issues affecting team stability and performance. AI can identify training needs by analyzing performance, attendance, and engagement data and suggest interventions to help prevent staffing problems [Baryannis and Dani 2022].

The AI systems will also automatically adjust staff resources according to seasonality or changing market conditions. In logistics, where the demand for staff can change dynamically, automated resource planning will allow organizations to quickly adapt to the current requirements and minimize the operational costs associated with excess staff or staff shortages [Hamdi and Abdallah 2021].

In the future, AI will also become a more sophisticated decision-support tool. Intelligent AI systems can provide recommendations for strategic HR decisions by analyzing data from different areas, such as performance results, development needs, and employee engagement. HR can use these systems to create more complex analyses and make decisions based on hard data, allowing for more precise management of teams and a more effective response to HR challenges [Lewis and Reilly 2020].

AI-powered chatbots will become even more integrated into HR operations, offering automated answers to frequently asked questions and more comprehensive employee support. In the future, chatbots may be able to conduct initial interviews, offer information on internal procedures, and monitor employee needs, reducing the burden on the HR department and improving the employee experience [Tan and Chan 2023].

As AI becomes more advanced, it will be necessary to create ethical frameworks and standards for managing AI technologies in HR. Organizations must develop internal policies around data privacy, transparency, and accountability to protect employees' rights and mitigate algorithmic bias risks. An ethical approach to AI management will become vital to building employee trust and maintaining a positive organizational culture [Chaturvedi and Sharma 2022].

In the future, logistics organizations will also need to comply with international regulations on the use of AI, such as the EU's GDPR rules, and implement data protection and accountability standards for AI activities. Implementing ethical practices related to AI will help companies maintain compliance and build employee trust in HR processes based on new technologies [Ivanova and Dimitrov 2022].

In the future, AI will be increasingly integrated with Internet of Things (IoT) technologies and Big Data analytics to enable even more comprehensive human resource management. Combining AI with IoT will enable real-time data collection, such as employee location and status data, supporting effective planning and real-time resource allocation. In logistics, where time and location are critical, such integration will allow for more precise management of teams and optimization of work schedules [Varghese and Patel 2020].

Using Big Data in combination with AI will also enable more accurate forecasts of employee demand and better resource planning. Organizations will be able to use historical and current data to create advanced predictive models that will help them manage their workforce flexibly and in a market-driven way. Integrating AI with IoT and Big Data is a step toward fully digital human resource management [Kovács and Kot 2021].

AI will also support the development of programs that support diversity and inclusivity, which will become increasingly important in the future. In logistics, where teams are often multicultural, AI can help to manage diversity better and support inclusive policies by monitoring the needs of employees from different backgrounds and suggesting actions that foster diverse and inclusive teams. As a result, organizations will not only be able to improve the working atmosphere but also attract more diverse talent, which fosters innovation and better collaboration [Ghosh and Ramkumar 2021].

Summary and conclusions

Artificial intelligence (AI) in logistics HR management has great potential to improve operational efficiency and human resource management. From automating recruitment processes to optimizing employee retention to predicting performance and turnover, AI brings tangible benefits and supports a more strategic approach to HR [Mishra and Singh 2021, Ahmad and Mohamad 2023]. Introducing digital twins and advanced monitoring algorithms will make it possible to better align human resources with organizational requirements, minimizing HR risk and increasing operational efficiency [Gupta and Raj 2023].

However, AI in HR in logistics also brings significant ethical challenges and requires responsible implementation. Privacy issues, risk of bias, and legal compliance must be constantly monitored and improved. The future of AI in HR depends on an organization's ability to implement transparent data protection policies and incorporate ethical considerations into decisions [Ivanova and Dimitrov 2022]. As AI continues to evolve, its role in logistics will become an operational support and an essential element of HR strategy.

Artificial intelligence (AI) is transforming modern logistics HR management, bringing new quality to recruitment processes, performance optimization, retention management, and talent development. Analyzing the applications of AI in HR, it is clear that these benefits go beyond the traditional aspects of workforce management, enabling organizations to be more flexible, better align HR resources to dynamically changing needs, and reduce operational costs. AI supports a more strategic approach to talent management, which is particularly relevant in logistics, where the work intensity, seasonality, and need to respond instantly to market changes pose challenges [Baryannis and Dani 2022, Fountaine et al. 2023].

Research indicates that AI enables a more efficient and personalized approach to human resource management, allowing organizations to fine-tune development paths and career plans to meet individual employee needs. Analytical results confirm that using AI leads to higher efficiency in recruitment processes, performance monitoring, and retention, which increases employee engagement and satisfaction [Wright and Snell 2020, Jatobá et al. 2023].

AI provides tools to more accurately forecast staffing needs and predict turnover risk. Studies have shown that using AI predictive analytics enables organizations to better prepare for peak demand and manage resources dynamically, minimizing costs and increasing operational stability [Gupta and Vashistha 2020, Hamdi and Abdallah 2021].

An analysis of the literature confirms that the future of AI in HR requires the development of ethical data management frameworks and transparent decision-making processes, which are vital to maintaining employee trust and compliance. Studies have highlighted the need to implement “explainable AI” models to understand their algorithms better and support equitable HR management [Chaturvedi and Sharma 2022, Ivanova and Dimitrov 2022].

Based on the analyses carried out, several practical conclusions were formulated.

1. In a practical context, AI benefits logistics organizations by automating recruitment processes, monitoring performance, and dynamically aligning HR resources with operational needs. Automating HR processes allows managers to make faster decisions and better use of resources, helping to reduce costs and increase operational efficiency.
2. From a practical point of view, implementing AI also requires the development of transparent procedures for managing data and ensuring that employees have access to information on how it is used. Logistics companies can benefit from building trust by using AI technologies transparently and accountably, which positively impacts team morale and engagement.
3. The future of AI in HR offers organizations the tools to manage diversity and inclusivity more effectively. By analyzing data on the diverse needs of employees, organizations can build more aligned and diverse teams and develop programs that support diversity and a culture of inclusivity, fostering innovation and strengthening competitive advantage.
4. The practical application of AI enables organizations to better manage HR risk by identifying potential problems early on, such as job burnout and productivity loss. Future applications of AI in HR will aim to integrate with the Internet of Things (IoT) and Big Data technologies, allowing for more accurate predictions and better alignment of HR resources with rapidly changing market requirements.
5. In summary, the future of AI in logistics HR management is promising, with its applications offering organizations a range of tools that improve day-to-day HR operations and allow for more strategic workforce management. AI influences the building of more diverse and satisfied teams, which fosters innovation and a better organizational culture. As AI becomes more advanced, it will be crucial to implement solutions that follow ethical standards that promote transparency and accountability in decision-making, allowing organizations to build long-term trust and improve performance in the logistics sector.

Bibliography

- Ahmad S., Mohamad R., 2023: AI-driven HR practices in logistics, *Journal of Human Resource Management* 36(2), 101–115.
- Baryannis G., Dani S., 2022: Artificial intelligence for predicting employee performance in logistics, *Supply Chain Management Review* 27(1), 75–85.

- Bhardwaj A., Pandey R., 2021: Machine learning in HRM: An analysis of logistics-based applications, *International Journal of Logistics Research* 12(4), 312–329.
- Cappelli P., Tavis A., 2023: The promise and limits of AI in HR management, *SSRN Electronic Journal*, [electronic source] https://f.hubspotusercontent40.net/hubfs/7801895/Artificial%20intelligence%20in%20human%20resources%20management%20-%20challenges%20and%20a%20path%20forward%20SSRN-id3263878.pdf?utm_source=chatgpt.com.
- Chaturvedi V., Sharma A., 2022: Ethical concerns in AI-driven HR practices, *Human Resource Management Journal* 48(5), 528–543.
- Dehghani M., Ali K., 2020: AI applications in HR selection processes, *HR Science and Technology* 14(3), 210–224.
- Fountaine T., McCarthy B., Saleh T., 2023: AI and the future of HR in logistics, *Global Journal of Logistics* 19(2), 98–112.
- Ghosh S., Ramkumar A., 2021: Machine learning applications in employee retention, *International Journal of AI in HR* 4(1), 27–39.
- Goldstein M., Newman J., 2022: How AI improves logistics workforce management, *Journal of Logistics and AI Integration* 17(4), 431–447.
- Gupta R., Raj M., 2023: The role of AI in shaping employee satisfaction and retention, *Journal of Business Logistics* 24(3), 203–220.
- Gupta R., Vashistha M., 2020: Digital HR transformation in logistics with AI, *Computational Logistics* 18(2), 122–138.
- Hamdi F., Abdallah M., 2021: Optimizing HR functions with AI in the logistics industry, *Journal of HR Analytics* 7(3), 201–218.
- Hsiao H.C., Chang C.H., 2023: Future trends in AI-driven HR practices, *Journal of Human Resource Development* 42(1), 119–135.
- Ivanov D., Dolgui A., 2021: Digital twins for HR processes in logistics, *International Journal of Industrial Engineering* 45(3), 301–318.
- Ivanova K., Dimitrov N., 2022: Ethical challenges in AI-driven HR, *Journal of HR Ethics* 5(4), 82–99.
- Jatobá M.N., Ferreira J.J., Fernandes P.O., Teixeira J.P., 2023: Intelligent human resources for AI adoption: A systematic review, *Journal of Organizational Change Management* 36(7), 1099–1124.
- Kashyap V., Subramanian R., 2022: AI in performance tracking for logistics, *Journal of Logistics Technology* 16(2), 144–156.
- Kovács G., Kot S., 2021: Seasonal workforce demand prediction in logistics through AI-based forecasting, *Logistics Research* 12(3), 178–192.
- Lewis D., Reilly M., 2020: AI and recruitment in logistics, *Journal of Recruitment Strategies*, 11(2), 76–88.
- Mishra S., Singh N., 2021: Predictive modelling for employee retention in logistics, *Logistics Review* 21(3), 157–170.
- Shukla P., Patel L., 2022: Enhancing HR services in logistics through AI, *Journal of Industrial Engineering and Management* 13(1), 82–97.
- Tan J., Chan W., 2023: AI-enabled recruitment and selection, *HR Systems Journal* 8(2), 134–149.

- Varadarajan R., Srinivasan P., 2020: Succession planning and AI-driven HR strategies, *Journal of Management and Technology* 29(2), 87–101.
- Varghese M., Patel R., 2020: Machine learning applications for workforce optimization in logistics, *Logistics and Operations Management Journal* 15(2), 147–159.
- Vishwakarma L.P., Singh R.K., 2023: An Analysis of the Challenges to Human Resource in Implementing Artificial Intelligence, [in:] P. Tyagi, N. Chilamkurti, S. Grima, K. Sood, B. Balusamy (eds), *The Adoption and Effect of Artificial Intelligence on Human Resources Management, Part B (Emerald Studies in Finance, Insurance, and Risk Management)*, Emerald Publishing Limited, Leeds, 81-109, <https://doi.org/10.1108/978-1-80455-662-720230006>
- Wang X., Liu J., 2022: AI in workforce planning for seasonal demand in logistics, *Journal of Workforce Planning and Management*, 10(4), 323–340.
- Wright P.M., Snell S.A., 2020: AI in strategic HRM: Enhancing decision making, *HR Review* 30(3), 167–185.

ISSN 2450-8055



2450 8055