

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

7 (3) 2022

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

7 (3) 2022

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); **Aleksandra Górecka** (logistic infrastructure); **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).

Sławomir Stec (editorial secretary)

web page: eiol.wne.sggw.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 20 (-22, -23 – sale),
e-mail: wydawnictwo@sggw.edu.pl
www.wydawnictwo.sggw.edu.pl

Contents

Spis treści

<i>Agnieszka Bekisz, Michał Kruszyński</i> Ekologistyka i ekoprojektowanie na przykładzie branży motoryzacyjnej Ecologistics and eco-design on the example of the automotive industry	5
<i>Agnieszka Borowska, Alicja Stolarska</i> Znaczenie targowisk w systemach dystrybucji produktów lokalnych The importance of marketplaces in distribution systems of local products	23
<i>Paweł Hoster, Luiza Ochnio</i> Komputerowe wspomaganie układania planu zajęć oparte na wybranych metodach heurystycznych University schedule optimisation with the use of a multi-agent system	43
<i>Elżbieta Karaś, Przemysław Misiurski, Katarzyna Łukaniszyn-Domaszewska, Joanna Rut, Julia Giera</i> Rozwiązania w zakresie transportu drogowego w przestrzeni miejskiej w kontekście rewolucji przemysłowej 4.0 Road transport solutions in urban space in the context of the industrial revolution 4.0	59
<i>Barbara Kusto, Marek Wikiński</i> Rynek sprzedaży produktów leczniczych przez Internet w Polsce The market for the sale of medicinal products via the Internet	73
<i>Agnieszka Maciąg</i> Ocena zróżnicowania sytuacji finansowej przedsiębiorstw z branży TSL z wykorzystaniem wielowymiarowej analizy skupień Assessment of the diversification of the financial situation of enterprises in the TSL industry using multidimensional cluster analysis	85
<i>Tomasz Siudek, Aldona Zawojcka</i> Supply chain sustainability under the EU system of carbon pricing and trading	95
<i>Agnieszka Tłuczak</i> Problem wyboru najkrótszej drogi w sieci na przykładzie transportu of agri-food transport	117

Agnieszka Bekisz¹✉, Michał Kruszyński²

¹ Akademia Wojsk Lądowych im. Generała Tadeusza Kościuszki we Wrocławiu

² Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu

Ekologistyka i ekoprojektowanie na przykładzie branży motoryzacyjnej

Ecologistics and eco-design on the example of the automotive industry

Synopsis. Celem opracowania było wskazanie roli procesu ekoprojektowania w realizacji koncepcji ekologistyki na przykładzie branży motoryzacyjnej, która w ostatnich latach wdraża w procesach produkcyjnych rozwiązania o charakterze prośrodowiskowym (ekoinnowacje). Opracowanie definiuje ekoprojektowanie oraz wskazuje dobre praktyki w zakresie innowacji środowiskowych (ekoinnowacji) w branży motoryzacyjnej. Na podstawie kwestionariusza ankiety przeprowadzonej na grupie 120 osób pozyskano wiedzę dotyczącą znajomości zagadnień z obszaru ekoprojektowania i ekoinnowacji w branży motoryzacyjnej. Przeprowadzone badania wskazują, iż 3/4 respondentów zna istotę ekoprojektowania i potrafi je należycie zdefiniować, ale ten zadowalający poziom znajomości zagadnienia nie determinuje postaw prośrodowiskowych badanych, spośród których 70% nie zakupiłoby pojazdu o napędzie elektrycznym, a 40% nie chciałoby użytkować pojazdów stworzonych z materiałów ekologicznych – w tym porecyklingowych.

Słowa kluczowe: ekologistyka, logistyka zwrotna, ekoprojektowanie, branża motoryzacyjna, świadomość ekologiczna, świadomość prośrodowiskowa studentów

Abstract. The study aims to indicate the role of the eco-design process in the implementation of the ecology concept on the example of the automotive industry, which in recent years has been implementing pro-environmental solutions (eco-innovations) in production processes. The study defines eco-design and indicates good practices in the field of environmental innovations (eco-innovations) in the automotive industry. On the basis of a questionnaire survey conducted on a group of 120 people, knowledge on eco-design and eco-innovation issues in the automotive industry was acquired. The research shows that three-quarters of the respondents know what eco-design is all about and can define it correctly. However, this level of knowledge doesn't tell us anything about how environmentally friendly the re-

¹✉ Agnieszka Bekisz – Wydział Zarządzania; Akademia Wojsk Lądowych im. Generała Tadeusza Kościuszki we Wrocławiu; e-mail: agnieszka.bekisz@awl.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0002-6386-6579>

² Michał Kruszyński – Wydział Logistyki i Transportu; Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu; e-mail: mkruszynski@mail.mwsl.eu; <https://orcid.org/0000-0002-7905-1403>

spondents are. Seventy per cent of the respondents wouldn't buy an electric vehicle, and forty per cent don't want to use vehicles made of eco-friendly materials, including post-recycled materials.

Key words: ecologistics, reverse logistics, ecodesign, automotive industry, environmental awareness, pro-environmental awareness of students

Kody JEL: L91, I25

Wstęp

Ekologistyka jest istotnym obszarem zainteresowania logistyki, która określa ją mianem logistyki odpadów, utylizacji, powtórnego zagospodarowania, recyrkulacji, a także posprzedażowego łańcucha dostaw [Starostka-Patyk 2016]. Stanowi ona (ekologistyka) system odznaczający się wysokim stopniem integracji, który dotyczy procesów zarządzania przepływami odpadów, a także informacji, które towarzyszą owym przepływom. Istotą ekologistyki jest wdrażanie przedsięwzięć organizacyjnych, a także technicznych, które zmierzają do ograniczania negatywnego oddziaływania m.in. procesów wytwórczych, dystrybucyjnych i serwisowych względem środowiska przyrodniczego. Pozwala ona na kompleksowe i zgodne z interesem środowiska zagospodarowanie odpadów z wykorzystaniem zasad procesowych i technicznych, które uwzględniają aktualny poziom wiedzy naukowej [Korzeń 2001]. Ekologistyka – postrzegana jako zespół wielokierunkowych i złożonych przedsięwzięć dotyczących organizowania i optymalizowania łańcuchów usuwania odpadów – poszukuje takich schematów postępowania w obszarze gromadzenia – składowania, przemieszczania, odzyskiwania i unieszkodliwiania odpadów, które będą miały charakter próśrodowiskowy [Rybackowska-Błażejowska i Masternak-Janus 2015].

Ekologistyka stanowi płaszczyznę dla tworzenia i wdrażania rozwiązań proekologicznych; w tym ekoinnovacyjnych w odniesieniu do procesów logistycznych podejmowanych w cyklu życia produktu [Baran 2014].

Ekologistyka jako subobszar logistyki zorientowanej na ekologię [Górnica-Bodziańska 2008] w sferze gospodarowania odpadami (selektywna zbiórka, odzysk, recykling) wiąże się bezpośrednio z zagadnieniem gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), postrzeganej jako system przemysłowy, który jest zaplanowany jako odtwarzający i regenerujący. Zajmuje on miejsce koncepcji „wycofania z eksploatacji”, jest nakierowany na wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, ograniczenie wykorzystania niebezpiecznych substancji chemicznych, a przede wszystkim sprowadza się do eliminowania odpadów na drodze lepszego projektowania materiałów (w tym ekoprojektowania), a także systemów i produktów [Kirchherr 2017].

Gospodarka o obiegu zamkniętym w literaturze

Podjęcie rozważań w obszarze ekoprojektowania podyktowane było faktem, iż globalizacja, konsumpcjonizm, a także intensywny rozwój technologii i wytwarzanie zaawansowanych wyrobów wpływa na środowisko – w aspekcie zużywanych zasobów

i emitowanych zanieczyszczeń. Oddziaływanie produktów i procesów na środowisko jest uzależnione od tego, jak zostały one zaprojektowane i wytworzone – dlatego niezwykle istotne staje się opracowywanie ekoinnowacji będących wynikiem ekoprojektowania, które postrzegane jest jako holistyczny proces ograniczania wpływu na środowisko w całym cyklu życia produktu [Baran i Ryszko 2013]. Ekoprojektowanie wyrobów i dostarczanie gospodarce ekoinnowacji jest odpowiedzią na jeden z najważniejszych problemów współczesnego świata, jakim jest wzrost wolumenu generowanych odpadów i wynikające z tego zanieczyszczenie przyrody. Rosnące znaczenie tego zagadnienia dla gospodarki i środowiska wymaga prowadzenia prac naukowych, a także badania postaw społecznych oraz uświadamiania konsumentom, jak ważne są to zagadnienia. W zakresie świadomości prośrodowiskowej społeczeństwa jest jeszcze wiele do zrobienia, gdyż jak wskazują badania naukowe Polacy są pozytywnie nastawieni do ochrony środowiska i wyrażają pogląd, że powinna być ona priorytetowym działaniem człowieka. Przeświadczenie to nie przekłada się jednak w znaczący sposób na zachowania konsumenckie [Kowalczyk i in. 2020].

Koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym (gospodarki cyrkularnej) została przedstawiona jako closed-loop economy w latach 80. XX wieku. Stahel i Reday [1981] wskazywali wówczas na konieczność stosowania recyklingu, a także ponownego wykorzystywania i regeneracji wyrobów – zagadnienia te są elementem zainteresowania i narzędziem ekologistyki. Przywołany recykling, a także odzysk stanowią niewielki wycinek idei gospodarki cyrkularnej, jednakże selektywna zbiórka stoi u jej podstaw. W obszarze zainteresowania gospodarki o obiegu zamkniętym znajdują się także ekoprojektowanie, zmiany w obszarze polityki oraz efektywność energetyczna [Ocena... 2020]. Przywołane elementy wpisują się w rozumienie ekologistyki jako narzędzia w procesie wdrażania gospodarki o obiegu zamkniętym. Wdrożenie gospodarki cyrkularnej realizowane jest na drodze przeniesienia akcentów łańcucha dostaw z relacji surowiec – zaopatrzenie – produkcja na relację: dystrybucja – konsument – gospodarka odpadami (ekologistyka). Istotnego znaczenia w tym obszarze nabiera zaangażowanie użytkowników produktów we wdrażanie modelu logistyki zwrotnej (ekologistyki) [Pikoń 2018]. Stahel zaproponował mechanizmy umożliwiające zastępowanie produktów usługami – pozwalającymi na „zamykanie obiegów” na drodze wydłużenia cyklu ich życia oraz dążenia do eliminowania powstawania odpadów. Traktował on gospodarkę o obiegu zamkniętym jako model ekonomiczny, który ogranicza wykorzystanie materiałów i energii, chroni środowisko, a przy tym nie ogranicza wzrostu i rozwoju gospodarczego oraz postępu technicznego. Nieco później wtórowali mu Turner i Pearce [1990] podejmujący w swych badaniach zagadnienie zależności i korzyści występujących pomiędzy ochroną środowiska i ekonomią, które są uzyskiwane na drodze zamykania obiegów. Hislop i Hill [2011] definiowali GOZ jako strategię rozwoju, która maksymalizuje efektywność zasobów i minimalizuje produkcję odpadów w kontekście zrównoważonego rozwoju gospodarczego i społecznego. Istotnym uzupełnieniem wiedzy na temat gospodarki o obiegu zamkniętym jest opracowanie Kulczyckiej [2019] pt. „Gospodarka o obiegu zamkniętym w polityce i badaniach naukowych”, która wskazuje, iż idea gospodarki o obiegu zamkniętym w literaturze występuje od końca lat 60. XX wieku, jednak jej implementacja nastąpiła z początkiem XXI wieku w Chinach i Japonii, a później w państwach Unii Europejskiej. W Polsce prace nad Mapą drogową transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym oraz wiążącą się z nią Polityką ekologiczną państwa – 2030 zostały ukończone w 2019 roku, co oznacza

istnienie warunków do prowadzenia prac naukowo-badawczych nad założeniami, konsekwencjami i kierunkami prezentowanymi w obszarze gospodarki o obiegu zamkniętym i polityki ekologicznej.

Przekształcenia w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) postępują najszybciej w krajach nordyckich, Polska zaś w tym zakresie plasuje się na średniej pozycji w Unii Europejskiej. Oznacza to konieczność prowadzenia prac badawczych, a także zacieśnianie współpracy między nauką i biznesem w obszarze wdrażania idei GOZ. W opinii badaczy – głównymi barierami dla wdrażania koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym jest ograniczona świadomość uczestników rynku (świadomość ekologiczna), a także brak wiedzy (luki kompetencyjne) w badanym obszarze [2021]. Zauważa się braki w zakresie szerokokorozumianych postaw obejmujących model GOZ oraz promocji wiedzy dotyczącej gospodarki cyrkularnej, nie tylko wśród konsumentów, ale także wśród przedsiębiorców, inwestorów, kadry naukowej i nauczycielskiej [Wdowin 2021]. W niewystarczającym stopniu podejmowane są działania edukacyjne, które muszą zostać zwiększone i uzupełnione o przedsięwzięcia podbudzające świadomość społeczną w obszarze działań środowiskowych. Postuluje się tu m.in. stworzenie oferty finansowania działalności badawczo-rozwojowej na potrzeby wypracowania przełomowych rozwiązań innowacyjnych, a także prowadzenie kształcenia i działań informacyjno-promocyjnych.

Wdrożenie koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym nie będzie możliwe bez podnoszenia poziomu świadomości ekologicznej, prośrodowiskowej społeczeństw. Rozważania nad przywołanym zagadnieniem są podejmowane przez krajowych i zagranicznych naukowców. Raport Climate Change [2020] podaje wyniki badań dotyczących wpływu człowieka na środowisko i świadomości prośrodowiskowej konsumentów. Prezentuje on w ujęciu dziesięcioletnim (2009–2020) zmiany w podejściu Polaków do problemów środowiskowych – w tym do zagadnień związanych z przetwarzaniem odpadów i szeroko rozumianymi obciążeniami środowiskowymi. Wyniki te wskazują, że 55% społeczeństwa Polski wyraża chęć nabycia produktów marek, które priorytetowo traktują kwestie środowiskowe (względem 2009 roku jest to przyrost o 51%) i są oni gotowi do zapłacenia wyższej ceny za te ekoprodukty [Climate Change 2020]. Zaprezentowane na podstawie przywołanego raportu korzystne postawy społeczne konsumentów nie rekompensują faktu, iż tylko 45% odpadów opakowaniowych (odpady generowane przez wszystkich konsumentów – w tym podmioty gospodarcze i instytucje) w Polsce jest poddawane recyklingowi. Środkiem zaradczym dla tego problemu jest premiowanie i rozwijanie poruszanego w niniejszym opracowaniu projektowania środowiskowego (ekoprojektowania) – celowi temu może służyć wprowadzenie rozszerzonej odpowiedzialności producenta – ROP [Bałębowski 2022].

Realizacja koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym wykorzystuje narzędzie w postaci ekoprojektowania, które jest rozumiane jako projektowanie – przyczyniające się do ograniczenia zapotrzebowania na surowiec. Dziobek i Nowaczek [2021] twierdzą, że w koncepcji ekoprojektowania najważniejszą zasadą jest redukcja – rozumiana jako dążenie do wytwarzania tylko niezbędnych produktów cechujących się wydłużonym cyklem życia i zdolnych do recyklingu materiałowego lub organicznego. Tak postrzegane ekoprojektowanie jest uznawane za megatrend, którego realizacja ma przyczynić się do osiągnięcia neutralności klimatycznej Unii Europejskiej do 2050 roku.

Ekoprojektowanie uwzględniania interesy środowiskowe dotyczących produktu i włącza je w proces projektowania – już na bardzo wczesnym etapie danego wyrobu. W odróżnieniu do klasycznego projektowania, w którym podstawową rolę odgrywają takie czynniki jak: funkcjonalność, użytkowość, bezpieczeństwo, jakość i koszty – ekoprojektowanie bierze pod uwagę i akcentuje znaczenie dodatkowego kryterium, którym jest ocena danego dobra ekonomicznego (produktu) według kryterium jego wpływu na środowisko. Klasyczne projektowanie dóbr ekonomicznych (produkty) skupia się na produkcji ostatecznym (finalnym), ekoprojektowanie zaś uwzględnia pełen cykl życia wyrobu tj. od fazy koncepcyjnej, przez produkcję, aż po zdjęcie z rynku (utylicację lub zagospodarowanie), które ma miejsce po tym, gdy nastąpi wyczerpanie właściwości funkcjonalnych i użytkowych danego przedmiotu, wyrobu, urządzenia [Bekisz i Kruszyński 2022].

Początki ekoprojektowania sięgają połowy lat 90. XX wieku. W literaturze tematu istnieje wiele różnorodnych definicji i określeń przywołanego terminu; przybiera on takie nazwy jak design for environment (DfE), ecodesign, ecological design, environmental design, sustainable product design, green design i life cycle design [Lewandowska i Foltynowicz 2006]. Różnorodność określeń wynika ze związków tak postrzeganego projektowania z wieloma różnorodnymi zagadnieniami, spośród których istotne znaczenie ma rozwój zrównoważony, zarządzanie środowiskowe, zarządzaniem w obszarze cyklu życia wyrobów (LCA) oraz integrowana polityka produktowa ZPP (integrated product policy – IPP) [Lewandowska i Foltynowicz 2007]. Ekoprojektowanie niesie ze sobą wiele korzyści dla środowiska przyrodniczego i gospodarki. Zalicza się do nich m.in. [PKN-ISO/TR ... 2004]:

- obniżanie całkowitych kosztów wytwarzania produktów na drodze optymalizacji wolumenu zużywanych materiałów i energii, a także poprzez zwiększanie efektywności procesów i ograniczanie ilości wytwarzanych odpadów
- promowanie innowacyjności (ekoinnowacyjności) i kreatywności
- identyfikowanie nowych wyrobów
- reagowanie na zmieniające się w czasie preferencje i oczekiwania konsumentów
- polepszanie konkurencyjności oraz pozycji rynkowej przedsiębiorstwa, a także tworzenie jego pozytywnego wizerunku i rozpoznawalności marki
- zwiększanie wiedzy o produkcie
- ograniczanie negatywnego oddziaływania podmiotu gospodarczego na środowisko przyrodnicze.

Wymienione korzyści płynące z tytułu wdrażania procesu „projektowania dla środowiska” czyli ekoprojektowania, sprawiają, że zostało ono potraktowane jako składowa zarządzania w ujęciu środowiskowym i opisane w normie ISO serii 14062 Zarządzanie środowiskowe. Przyjmuje się, że ekoprojektowanie w logistyce odgrywa rolę narzędzia ograniczającego wpływ na środowisko różnorodnych procesów logistycznych – realizuje się to poprzez takie projektowanie, które w cyklu życia produktu skutkuje m.in. zmniejszoną ilością odpadów, korzystniejszymi rozwiązaniami transportowymi, proekologicznym doбором surowców i materiałów, doбором rozwiązań technologicznych, które generują mniejszy ładunek odpadów w procesie wytwarzania, zamykaniem obiegu materiałów, wody, a także zmniejszeniem zużycia energii.

Ekoprojektowanie poprzez fakt, iż jego rezultaty odnoszą się do pełnego cyklu życia wyrobu zapewnia ograniczanie ujemnego wpływu na środowisko na etapie przedproduk-

cyjnym, produkcyjnymi i poprodukcyjnym. Świadomość dotycząca ekoprojektowania łączy się z kreatywnością i innowacjami (eko-innowacjami). Sprzyja ona także tworzeniu pozytywnego obrazu marki firmy, widocznego na rynku, zwiększa bezpieczeństwo użytkownika wyrobów i ułatwia oszczędzanie. Podążanie za strategią ekoprojektowania jest związane z rozwijaniem innowacji w celu unowocześniania wyrobu i zwiększania jego efektywności [Schischke].

W raporcie „Ocena zapotrzebowania na wsparcie przedsiębiorstw w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym – circular economy” [2020] ekoprojektowanie traktowane jest jako trend pozwalający na dostarczenie na rynek wyrobów w pełni recyklingowych (zgodnie z koncepcją gospodarki o obiegu zamkniętym). Każdy element produktu powstałego w wyniku ekoprojektowania musi posiadać cechy pozwalające na jego odzysk/naprawę i dalsze użytkowanie.

Istota ekoprojektowania wskazuje na istnienie daleko idącej relacji między ekoprojektowaniem a ekologią – utożsamianą z gospodarką odpadami (obejmującą m.in. recykling i odzysk), która traktowana jest jako wycinek idei gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), chcącej oddziaływać na rynek poprzez lepsze projektowanie produktów (ekoprojektowanie). Takie podejście jest zbieżne z Mapą drogową transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym, która dąży do podejmowania działań na wszystkich etapach cyklu życia produktu – od projektowania (ekoprojektowania), poprzez pozyskanie surowca, produkcję, użytkowanie i logistykę zwrotną tj. ekologię [Mapa drogową... 2019].

Efektom ekoprojektowania jest uzyskanie przywołanych wcześniej innowacji o charakterze ekologicznym określanej mianem – eko-innowacji. Każdorazowo dostarcza ona konsumentom nowych, nieznanych dotąd produktów i rozwiązań, które ograniczają ujemny wpływ procesów produkcyjnych na środowisko przyrodnicze. Wyraża się to przede wszystkim w zakresie ograniczenia emisji substancji szkodliwych do atmosfery i hydrosfery, także zmniejszeniem eksploatacji zasobów naturalnych.

Zagadnienie eko-innowacji (innowacji środowiskowych) uwzględniają w swych opracowaniach Bartoszczuk [2015, 2017, 2018], a także Baran i Ryszko [2013], którzy prezentują modelowe ujęcie struktury procesu eko-innowacyjnego z holistycznym procesem ekoprojektowania. Wśród naukowców zagranicznych temat ten jest eksplorowany przez takich badaczy jak Santolaria, Oliver-Solà, Gasol, Morales-Pinzón, Rieradevall [2011], którzy podkreślają, że ekoprojektowanie polega na trwałym włączaniu perspektywy środowiskowego cyklu życia w proces projektowania procesów, wyrobów i usług.

Kwestie szeroko rozumianej świadomości środowiskowej i edukacji ekologicznej poruszane są przez wielu naukowców, m.in. Nowaczek [2021] w swych badaniach zwraca uwagę na fakt, iż społeczeństwo, przez szkolenia i edukację ekologiczną jest świadome swojego znaczenia w całym łańcuchu zależności i w ten sposób przyczynia się do osiągnięcia założeń zrównoważonego rozwoju. I o ile, nie brakuje wyników badań i publikacji naukowych dotyczących przywołanej świadomości, to już w przypadku branży motoryzacyjnej i ekoprojektowania dla niej – istnieje luka badawcza. Wprawdzie naukowcy podejmują zagadnienie projektowania dla środowiska w branży motoryzacyjnej, tak jak czyni to Balicka [2017] czy Merkisz-Guranowska [2006], a z naukowców zagranicznych Nunes i Bennett [2010] - to jednak brak jest krajowych publikacji podających przykłady ekoprojektowania, a także przykłady eko-innowacji wdrażanych przez kon-

cerny motoryzacyjne. Wiedza w tym obszarze czerpana jest ze źródeł internetowych przywołanych w opracowaniu, a także publikacji zagranicznych takich autorów jak: Oza, Wang, Lu [2011], Pesante, Saavedra, Pincheira [2021]. Jedną z publikacji, która prezentuje przykłady ekoprojektowania w branży motoryzacyjnej jest opracowanie „Application of Recycled Plastics in Automotive Industry: a short review” [Mital’ova 2022]. Konieczne jest zatem prowadzenie badań krajowych w omawianym obszarze, a dodatkowo potrzebne jest rozpoznanie opinii użytkowników samochodów na temat rozwiązań z obszaru ekoprojektowania i ekoinnowacji w przemyśle motoryzacyjnym.

Materiały i metody

Celem opracowania było wskazanie miejsca procesu ekoprojektowania w realizacji koncepcji ekologistyki na przykładzie branży motoryzacyjnej, która w ostatnich latach wdraża w procesach produkcyjnych rozwiązania o charakterze środowiskowym (ekoinnowacje). Artykuł uwzględnia zagadnienia ekologistyki i ekoprojektowania w odniesieniu do koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym, dla której ekologistyka jest narzędziem osiągnięcia celów.

Opracowanie prezentuje istotę ekoprojektowania, wskazuje dobre praktyki w badanym obszarze dla środków transportu, a także obrazuje znajomość zagadnień dotyczących ekoprojektowania (w branży motoryzacyjnej) w grupie 120 respondentów będących słuchaczami studiów podyplomowych realizowanych w Międzynarodowej Wyższej Szkole Logistyki i Transportu we Wrocławiu – na kierunkach z obszaru transportu – spedycji i logistyki.

Badania zostały zrealizowane w latach 2019–2022 przy wykorzystaniu narzędzia badawczego w postaci kwestionariusza ankiety, który został przekazany (podczas zajęć dydaktycznych) słuchaczom studiów podyplomowych realizowanych w Międzynarodowej Wyższej Szkole Logistyki i Transportu we Wrocławiu. Obejmował on pytania dotyczące m.in. znajomości zagadnienia ekoprojektowania, źródeł pozyskiwania informacji w obszarze tego zagadnienia, a także przykładów obecności ekoprojektowania w branży motoryzacyjnej i podejścia badanych do kwestii użytkowania samochodów elektrycznych i hybrydowych. Czas prowadzenia badań obejmował cztery lata, co podyktowane było chęcią pozyskania odpowiedzi z jak największej grupy respondentów, którzy reprezentowali kierunki związane z transportem, a zatem interesowali się branżą motoryzacyjną, której dotyczyły badania.

Rezultaty badań przedstawiono za pomocą techniki opisowej, tabelarycznej oraz graficznej.

Ekoprojektowanie w branży motoryzacyjnej

Branża motoryzacyjna to ogół przedsięwzięć dotyczących produkcji, a także sprzedaży i świadczenia usług realizowanych w obszarze środków transportu wykorzystywanych do przemieszczania osób i rzeczy, a także spełniających inne, specjalistyczne funkcje i zadania [Kuklińska 2020]. Obszary aktywności branży motoryzacyjnej zobrazowano w tabeli 1.

Tabela 1. Obszary działalności branży motoryzacyjnej
Table 1. Areas of activity of the automotive industry

Produkcja	Sprzedaż	Usługi
<ul style="list-style-type: none"> • projektowanie pojazdów • produkcja komponentów, części, podzespołów • montaż pojazdów 	<ul style="list-style-type: none"> • dystrybucja • handel 	<ul style="list-style-type: none"> • serwis, naprawa • renowacja • demontaż • recykling

Źródło: [Danowska-Florczyk 2021, s. 9].

Branża motoryzacyjna pełni kluczową rolę w rozwoju gospodarki państwa. Odpowiada ona za 8% PKB Polski, która zajmuje 10 miejsce na liście największych eksporterów podzespołów na świecie z wartością eksportu na poziomie 12,3 mld dolarów [Polska Izba Motoryzacji 2019, MamSturtup 2023]. Taki stan rzeczy determinowany jest faktem, iż Polska tworząc warunki rozwoju, przyciąga zagraniczne inwestycje koncernów samochodowych, które produkują komponenty pojazdów samochodowych. Gospodarka czerpie korzyści z rozwoju tego sektora przemysłu w postaci generowanej wartości dodanej brutto, a także tworzeniu nowych miejsc pracy i angażowaniu nakładów inwestycyjnych. Przemysł motoryzacyjny stanowi drugi największy sektor w obszarze przemysłu państwa polskiego – wyprzedza go jedynie sektor przetwórstwa spożywczego [PWC 2015, Siemens... 2020, MBF Group 2021, Poland Automotiv... 2022]. Obejmuje on 170 621 podmiotów gospodarczych spośród których 165 757 zajmuje się handlem i naprawą pojazdów samochodowych, a 2669 jednostek gospodarczych ukierunkowuje swą aktywność w obszarze produkcji pojazdów samochodowych, a także naczepe i przyczep [Bekisz i Kruszyński 2022]. Procesem wytwarzania silników, prądnic, aparatury sterowania energią, a także akumulatorów zajmuje się 2195 przedsiębiorstw. Podmioty gospodarcze pracujące na rzecz branży motoryzacyjnej dają zatrudnienie 620 000 pracowników [Kwiecień i in. 2021], a sam krajowy przemysł motoryzacyjny zatrudnia 213 708 osób – daje to trzecie miejsce w Europie – za Niemcami (882 046 osób) i Francją (229 422 zatrudnionych).

Trendy w projektowaniu pojazdów samochodowych przez koncerny motoryzacyjne wskazują na dążenie do tego by współczesny środek transportu zużywał jak najmniejsze ilości paliwa, a także emitował minimalną ilość substancji szkodliwych dla środowiska. Odpowiedzią na te oczekiwania jest produkcja pojazdów o napędzie elektrycznymi i hybrydowym. Przywołanym kierunkom zmian branży w motoryzacyjnej towarzyszy jeszcze jeden trend, który sprowadza się do uwzględnienia przez producentów, w całym cyklu życia pojazdu samochodowego zagadnienia recyklingu. Oznacza to konieczność projektowania środków transportu zgodnie z zasadami pozwalającymi na wtórne (ponowne) zastosowanie części ze zużytego pojazdu. Ekoprojektowanie ukierunkowane na recykling pozwala zwiększyć jego poziom, a także ograniczyć wolumen wykorzystywanych surowców rzadkich. Ponadto ogranicza ono emisje dwutlenku węgla, a także wykorzystanie energii w procesach produkcyjnych. Ekoprojektowanie wpisuje się w oczekiwania społeczeństwa, które w 70% chce by użytkowane przez nie wyroby pochodziły z produkcji o charakterze zrównoważonym [Stena recycling].

Dobre praktyki w obszarze ekoprojektowania środków transportu

Główne marki motoryzacyjne na światowych rynkach w polityce ekoprojektowania pojazdów samochodowych ukierunkowują swe działania na wykorzystanie polimerów, a także wzrost zaangażowania tworzyw sztucznych pochodzenia porecyklingowego. Przykładem realizacji przywołanych trendów jest postępowanie koncernu Forda, który przyjął i wdrożył założenie mówiące o tym, że każdy pojazd samochodowy zawiera w swej strukturze komponenty wytworzone z wykorzystania 250 butelek PET poddanych recyklingowi. Plastikowe butelki mają zastosowanie w budowie pokryw silnika w pojazdach dostarczanych na rynek przez koncern General Motors (np. model Chevrolet Equinox). Producent samochodów Nissan – w modelu Leaf używa 25% surowców pochodzących z recyklingu, które są elementami budulcowymi foteli. W tym samym pojeździe wykorzystuje się także elementy elektroniczne wtórnego pochodzenia. Materiały porecyklingowe są wykorzystywane przez takich producentów samochodów jak: Volkswagen, Chrysler, Renault itp. Szanowana wśród użytkowników szwedzka marka Volvo w strukturze pojazdów uwzględnia 25% tworzyw sztucznych, a w modelu SUV XC60 T8 do produkcji części bagażnika wykorzystuje przetworzone opakowania po keczupie i różnego typu szamponach. Fotele przywołanego pojazdu foteli w swej strukturze zawierają przetworzone butelki PET, a także sieci rybackie poddane recyklingowi. Także koncern BMW w kooperacji z rybakami odzyskuje nylon z sieci rybackich i przetwarza go w element strukturotwórczy mat podłogowych [Bekisz i Kruszyński 2022]. Koncern Toyoty – model Toyota Prius [Mitařová 2022], a także Kia i Jeep Grand Cherokee do produkcji poduszek siedzeń i innych części strukturotwórczych wykorzystują biotworzywa

Marka Hyundai w produkcji kokpitów stosuje elementy budulcowe otrzymane z biomasy, a do bioplastiku dodaje od 10 do 25% naturalnych polimerów. W strukturze bioplastiku pojazdów tej marki, aż 25% elementów składowych tworzone jest z pochodzących z drewna włókien celulozowych. Konkurująca z Hyundaiem na rynku motoryzacyjnym KIA w procesie wytwarzania foteli, podsufitki, tapicerki drzwi czy podłokietników wykorzystuje materiały ekologiczne w postaci przędzy z wełny, przędzy roślinnej (bio-PET) i ekoskóry. Koncern w ramach działań prośrodowiskowych zamierza do 2025 roku ograniczyć emisję gazów cieplarnianych o 15% w porównaniu z 2015 rokiem.

Mnogością rozwiązań prośrodowiskowych w procesie ekoprojektowania środków transportu może poszczycić się koncern Renault, który ukierunkowuje swą aktywność na:

- przedsięwzięcia mające na celu ułatwienie i usprawnienie procesu demontażu samochodów i ich części składowych (np. akumulatorów), a także przystosowanie pojemników na płyny eksploatacyjne do ich sprawnego opróżniania
- promowanie elementów strukturotwórczych pojazdów stworzonych z jednolitych i kompatybilnych materiałów, które są przystosowane do recyklingu
- przygotowanie dla stacji demontażu pojazdów oraz podmiotów wyposażonych w strzępiarki dokumentacji technicznej ułatwiającej proces rozbiórki i osuszania środków transportu
- ustanowienia w zakładach zajmujących się pojazdami wycofanymi z eksploatacji funkcji koordynatorów ds. recyklingu [Gregorczyk 2006].

Istotnym elementem ekoprojektowania środków transportu jest dostosowanie konstrukcji pojazdów do potrzeb i wymogów recyklingu. W tym obszarze dobre przykłady płyną z grupy Volkswagena, która ukierunkowuje swe działania na:

- selekcję części składowych, które mogą być kierowane do odzysku
- ograniczanie wolumenu substancji niebezpiecznych dla środowiska w konstrukcji kolejnych modeli środków transportu
- identyfikację części składowych pojazdów samochodowych poprzez ich właściwe oznaczanie
- rozbudowywanie funkcjonalności systemu IMDS (International Material Data System) o dane zawierające informacje obrazujące skład materiałów zaangażowanych w procesie wytwarzania środków transportu
- usprawnienie procesu demontażu pojazdu i stworzenie możliwości recyklingu środka transportu i jego części strukturalnych [Volkswagen Group Polska 2012].

Pochodzący z Niemiec koncern BMW stworzył środek transportu, który cechuje się neutralnością klimatyczną. Model BMW iX w części jest zbudowany z materiałów porecyklingowych. Jego masa całkowita wynosi 2,5 tony. Zdaniem koncernu z tego wolumenu, nie da się zutilizować tylko jednego kilograma elementów strukturalnych pojazdu. Potencjał dotyczący generowania efektu cieplarnianego przez BMW xDrive40 jest niższy o ok. 45% w odniesieniu do tej kategorii samochodów (SUV) wyposażonych w silniki spalinowe. Szczupła produkcja przywołanego modelu jest efektem zastosowania aluminium pochodzącego z przetworzenia surowców wtórnych i tworzyw sztucznych pochodzenia porecyklingowego. Niemiecki koncern (BMW) wdraża w swej wizji globalnego przedsiębiorstwa korzystne praktyki w obszarze rozwoju zrównoważonego (ekorozwoju). Tworzenie neutralnego modelu biznesowego w praktycznym wymiarze sprowadza się do daleko idącej redukcji emisji CO₂ w zakładach produkcyjnych do 2030 roku. Szacuje się, że ograniczenie to ma osiągnąć poziom 200 mln ton dla pełnego cyklu życia środka transportu. Należy przez to rozumieć cały łańcuch dostaw, wytworzenie pojazdu, jego eksploatację i zdjęcie z rynku – czyli koniec użytkowania. W przeliczeniu na pojedynczy pojazd samochodowy przywołana reedukacja ma wynieść 1/3 stanu obecnego, a w odniesieniu do kilometra osiągnie ona poziom 40% względem 2019 roku. Tożsame założenia w obszarze neutralności klimatycznej deklaruje koncern Mercedes-Benz, który zamierza w najbliższym okresie osiągnąć neutralność w obszarze emisji CO₂ dla segmentu produkcji akumulatorów. Datą graniczną osiągnięcia w strukturze produkcji 50% udziału dla hybrydy plug-in lub/i pojazdów w pełni elektrycznych dla tej marki ma być 2030 rok. Także Mazda do roku 2030 deklaruje osiągnięcie technologicznych możliwości przejścia na produkcję wyłącznie pojazdów zelektryfikowanych. Badania koncernu wykraczają dalej bowiem ogniskują się one w obszarze prac nad wdrożeniem płynnych paliw odnawialnych – w tych pochodzących z mikroalg. Ograniczenie emisji CO₂ stanowi priorytet nie tylko dla koncernów BMW i Mercedesa, gdyż także Opel reprezentujący grupę Stellantis zmierza dostarczać na rynek niskoemisyjne środki transportu, które do 2025 roku zmniejszą emisję CO₂ o 223 megatony. Niemiecki Volkswagen przyjmuje, iż osiągnięcie neutralności węglowej dla koncernu możliwe będzie w 2050 roku. Warto zauważyć, że koncern ma w swej ofercie modele zasilane elektrycznie (rodzina ID.3, ID.4), które wytwarzane są w fabryce w Zwickau. W przypadku Grupy Renault dąży się do osiągnięcia neutralności węglowej [Balicka 2017], co w Europie ma

nastąpić do 2040 roku, a na świecie do 2050 roku. Koncern deklaruje, iż w 2025 roku udział pojazdów elektrycznych wyniesie 65% wolumenu sprzedawanych samochodów tej marki.

Ekoprojektowanie w przypadku popularnego w Polsce koncernu Skody w praktycznym wymiarze sprowadza się do odzyskiwania wolumenu 650 000 m³ wody, co stanowi 45% ilości tego surowca wykorzystywanego przez koncern w okresie roku. W odniesieniu do pojedynczego środka transportu zużycie wody w procesie wytwórczym zostało ograniczone z 2,76 do 1,74 m³ (37%). Fabryki Skody nie kierują odpadów poprodukcyjnych na składowiska, gdyż zostają one poddawane procesowi spalania – jest to praktyczny wymiar przystosowania wyrobów w ramach ekoprojektowania do bezpiecznej utylizacji.

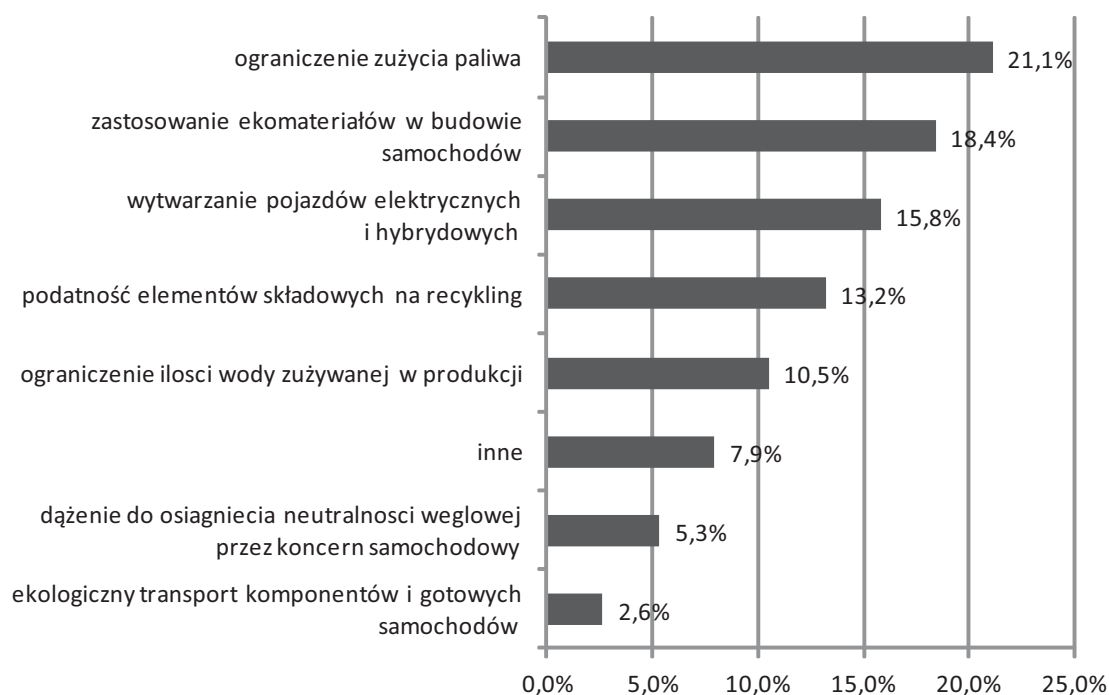
Znajomość zagadnień dotyczących ekoprojektowania wśród respondentów

Badania dotyczące ekoprojektowania w branży motoryzacyjnej miały na celu rozpoznanie poziomu wiedzy respondentów w obszarze zjawiska ekoprojektowania ze szczególnym uwzględnieniem wskazania źródeł pozyskiwania informacji dotyczących przywołanego zjawiska, przykładów przedsięwzięć w obszarze ekoprojektowania i ekoinnovacji w motoryzacji, a także podejścia uczestnik badania do kwestii pojazdów elektrycznych.

Zjawisko ekoprojektowania jest znane 73,3% badanych, którzy posiadli umiejętność jego właściwego zdefiniowania. Taki stan rzeczy może wynikać z faktu, iż publiczna dyskusja nad ekoprojektowaniem toczy się od dawna, ale w ostatnich kilku latach uległa gwałtownemu przyśpieszeniu [Krajowa Izba Gospodarcza 2020]. Aż 18,3% respondentów ma świadomość istnienia przywołanego terminu, ale nie potrafi go scharakteryzować – wyjaśnić, 8,3% udzielających odpowiedzi zaś nie słyszało o tym zjawisku. Głównym źródłem wiedzy badanych w obszarze ekoprojektowania są informacje dostarczone podczas studiów (81,7% wskazań), a także audycje telewizyjne (11,7% wskazań), prasa fachowa (20% wskazań) i internet (90% wskazań); inne źródła zaznaczyło 8,3% badanych (respondent mógł wybrać maksymalnie trzy odpowiedzi). Praktyczne przykłady obecności ekoprojektowania w branży motoryzacyjnej zostały w sposób prawidłowy wskazane przez 63,3% uczestników badania. Wśród najczęściej pojawiających się odpowiedzi (respondent mógł wskazać jeden przykład) dominowały: ograniczenie zużycia paliwa (21,1%), zastosowanie ekomateriałów w budowie samochodów (18,4%) oraz podatność elementów składowych na recykling – 15,8% (rys.1).

Wskazanie przez 21,1% badanych ograniczenia zużycia paliwa, jako przykładu ekoprojektowania, determinowane było przede wszystkim względami ekonomicznymi (74,2%), a w dalszej kolejności troską o ograniczenie emisji CO₂ do środowiska (17,5%) oraz chęcią ograniczania eksploatacji zasobów nieodnawialnych (6,7%). Inne odpowiedzi zostały zaprezentowane przez 1,7% badanych.

Zastosowanie ekomateriałów w budowie pojazdów samochodowych jako przykład ekoprojektowania i ekoinnovacji zostało wskazane przez 18,4% badanych, a bezwarunkowy zakup środka transportu, w którego strukturze występują materiały o charakterze ekologicznym – często porecyklingowym deklaruje 26,7% respondentów. Aż



Rysunek 1. Przykłady przedsięwzięć w obszarze ekoprojektowania w branży motoryzacyjnej wskazane przez respondentów [%]

Figure 1. Examples of projects in the area of eco-design in the automotive industry indicated by the respondents [%]

Źródło: opracowanie własne .

33,3% udzielających odpowiedzi uzależniłoby decyzję zakupową od wskazania udziału i charakteru zastosowanych ekomateriałów w procesie produkcji środka transportu, a 40% badanych deklaruje, że nie nabyłoby świadomie samochodu powstałego na podstawie materiałów ekologicznych, w tym porecyklingowych.

Wytwarzanie pojazdów elektrycznych i hybrydowych było trzecim najczęściej wskazywanym przykładem praktycznego wymiaru ekoprojektowania w branży motoryzacyjnej. W związku z tym, zapytano respondentów o to, czy w przyszłości byliby zainteresowani nabyciem elektrycznego pojazdu samochodowego. Aż 70% badanych deklaruje, iż nie ma zamiaru być właścicielem tego typu środka transportu, 25% udzielających odpowiedzi byłoby zainteresowanych nabyciem i użytkowaniem pojazdu elektrycznego, a 5% nie ma zdania w tym obszarze. Przywołane zainteresowanie 25% respondentów nabyciem pojazdu elektrycznego odpowiada wynikom badań „Nadchodzi czas aut elektrycznych” przeprowadzonych przez IBRiS dla Santander Consumer Multirent, które wskazują, iż zakup samochodu na prąd rozważyłoby zaledwie 24% kierowców [Domagała 2022]. Można doszukiwać się tutaj zależności z danymi mówiącym o tym, że tylko 23% polskich kierowców akceptuje pomysł, by koncerny motoryzacyjne produkowały wyłącznie auta z napędami elektrycznymi [Mm 2002].

Wśród czynników determinujących brak zainteresowania 70% respondentów posiadaniem auta z napędem elektrycznym wskazano wysoki koszt nabycia pojazdu (36,7%), ograniczony zasięg (26,7%) niewystarczającą liczbę stacji ładujących (16,7%), konieczność napraw w autoryzowanych punktach (8,3%), trudności z zagospodarow-

aniem akumulatorów (8,3%) i inne czynniki (3,3%) – respondenci mogli wskazać jedną, główną przyczynę braku zainteresowania użytkowaniem aut elektrycznych. Dostępne źródła informacji potwierdzają prezentowane w niniejszym opracowaniu wyniki badań i wskazują, że polskie społeczeństwo wyraża przekonanie, iż pojazdy zasilane elektrycznie są za drogie, a także nie ma dla nich odpowiedniej infrastruktury – stacje ładujące (w UE mniej punktów ładowania pojazdów elektrycznych od Polski znajdują się tylko w Grecji i na Litwie), punkty naprawcze [Pressroom 2022]. Odsetek osób uważających, że samochody elektryczne są bardziej ekologiczne od aut spalinowych zmniejszył się w 2022 roku o 13% względem roku poprzedniego (2021) w którym wynosił 47% [Miachalak 2022].

Zdaniem badanych ekoprojektowanie w branży motoryzacyjnej powinno zmierzać do optymalizacji kosztowej w zakresie użytkowania (eksploatacji) pojazdów (63,3%), a w dalszej kolejności do tworzenia eko-innowacji poprawiających ich trwałość i żywotność (18,3%), a także ograniczania wolumenu odpadów poprodukcyjnych w przemyśle motoryzacyjnym (6,7%). Wskazania dotyczące oczekiwań w zakresie stosowania ekomateriałów (w tym m. porocyklingowych) w produkcji samochodów, a także ograniczania ilości wody zużywanej w ich wytwarzaniu czy osiągnięcie neutralności klimatycznej przez koncerny motoryzacyjne zgłaszane jest przez 11,7% biorących udział w badaniu.

Podsumowanie i wnioski

Ekologistyka stanowi metodę projektowania i realizacji zarządzania łańcuchem dostaw strumieni odpadów. Ma ona istotne znaczenie w wielu sektorach gospodarki i wpisuje się w koncepcję rozwoju zrównoważonego. Jej istota polega na bezpiecznym dla środowiska zdejmowaniu z rynku strumieni odpadów i kierowaniu ich do racjonalnego zagospodarowania oraz ekoprojektowaniu nowych wyrobów – niejednokrotnie na podstawie wyrobów porocyklingowych.

Przeprowadzono rozważania pozwalające na sformułowanie wniosków podsumowujących niniejsze opracowanie w brzmieniu:

1. Przemysł motoryzacyjny jest drugim pod względem wielkości sektorem gospodarki Polski. Ulega on nieustannym przeobrażeniom wśród których istotne znaczenie ma ekoprojektowanie pojazdów (projektowanie dla środowiska). Współczesne trendy w przywołanym obszarze zmierzają do ograniczania ilości zużywanego paliwa przez środki transportu oraz emitowania minimalnej ilości substancji szkodliwych dla środowiska. Tak postrzegane ekoprojektowanie kładzie nacisk na recykling, który umożliwia wtórne wykorzystanie materiałów w produkcji nowych samochodów.
2. Współczesne ekoprojektowanie w przemyśle motoryzacyjnym sprowadza się do rosnącego zaangażowania polimerów oraz tworzyw sztucznych pochodzenia porocyklingowego – mowa tu o przetworzonych butelkach PET, sieciach rybackich, opakowaniach po środkach spożywczych i różnego typu płynach. Ponadto zauważalnym trendem w badanym obszarze jest wykorzystanie w strukturze pojazdów samochodowych biotworzyw i materiałów ekologicznych (przędza z wełny, przędza roślinna – bioPET, ekoskóra, korek).

3. Główne koncerny motoryzacyjne (BMW, Mercedes, Volkswagen) podejmują w ramach przedsięwzięć prośrodowiskowych i szerokorozumianego ekoprojektowania (którego efektem są ekoinnovazione) działania zmierzające do osiągnięcia neutralności klimatycznej – neutralności węglowej w perspektywie najbliższych kilku lat, a także dążą do zwiększania w strukturze sprzedaży pojazdów o napędzie elektrycznym.
4. Badanie przeprowadzone w grupie 120 respondentów (słuchacze studiów podyplomowych realizowanych w Międzynarodowej Wyższej Szkole Logistyki i Transportu we Wrocławiu) wskazuje, iż 3/4 udzielających odpowiedzi zna istotę ekoprojektowania i potrafi je należycie zdefiniować. Ponad 63% respondentów umie wskazać przykłady ekoinnovazione (efekt ekoprojektowania) wśród których dominują: ograniczanie ilości zużywanego paliwa przez nowoczesne pojazdy, a w dalszej kolejności zastosowanie ekomateriałów i materiałów porcyklingowych w produkcji nowych aut oraz produkcja ukierunkowana na wytwarzanie środków transportu o napędzie elektrycznym.
5. Zadowolający poziom znajomości zagadnienia ekoprojektowania nie determinuje postaw prośrodowiskowych w badanym obszarze – potwierdzeniem tej tezy jest fakt, iż 70% badanych nie zakupiłoby pojazdu o napędzie elektrycznym, a wskazanie optymalizacji w obszarze zużycia paliwa jako przykładu działań w obszarze ekoprojektowania podyktowane było przesłankami ekonomicznymi, a dopiero w dalszej kolejności środowiskowymi. 40% badanych deklaruje, że nie byłoby zainteresowane świadomym nabyciem auta wyprodukowanego z materiałów ekologicznych – w tym porcyklingowych.

Bibliografia

- Balicka A., 2017: Aspekt środowiskowy w strategii przedsiębiorstw branży motoryzacyjnej, *Zarządzanie i Finanse Journal of Management and Finance*, 15(2), 73–79.
- Bałębowski K., 2022: Ponad połowa odpadów opakowaniowych się marnuje – artykuł, *Gazeta Prawna. Samorząd i Administracja*, [źródło elektroniczne] <https://serwisy.gazetaprawna.pl/samorząd/artykuły/8584003,recykling-ponad-polowa-odpadow-opakowaniowych-sie-marnuje.html> [dostęp: 9.11.2022].
- Baran J., 2014: Ilościowe metody oceny wpływu na środowisko wspomagające ekoprojektowanie w ekologicznie. *Logistyka*, 6, 14010.
- Baran J., Ryszko A., 2013: Opracowywanie i wdrażanie ekoinnovazione technicznych a ekoprojektowanie integracja procesów i wskazówki metodyczne ich realizacji, [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 34
- Bekisz A., Kruszyński M., 2022: Przetwarzanie odpadów branży automotive – magazynowanie, recykling i ponowne użycie, *Oficyna Wydawnicza ATUT – Wrocławskie Wydawnictwo Oświatowe*, Wrocław.
- Danowska-Florczyk E., Stęchły W., Ziewiec-Skokowska G., 2021: Megatrendy w motoryzacji a inicjatywy sektorowe na rzecz rozwoju umiejętności w Europie, *Związek Pracodawców Motoryzacji i Artykułów Przemysłowych*, Warszawa.
- Domagała M., 2022: Polacy nie są gotowi na auta elektryczne. Po prostu ich nie chcą, *Interia Motoryzacja*, [źródło elektroniczne] <https://motoryzacja.interia.pl/raport-samocho>

- dy-elektryczne/news-polacy-nie-sa-gotowi-na-auta-elektryczne-po-prostu-ich-nie-cId,6326231 [dostęp: 10.04.2023].
- Dziobek E., Nowaczek A., 2021: Ekoprojektowanie opakowań z tworzyw sztucznych, *Czasopismo Techniczne KTT. Kwartalnik Krakowskiego Towarzystwa Technicznego*, 186, 11–12.
- Elastyczność produkcji jako czynnik wspierający bezpieczeństwo biznesu. Raport na temat branży automotive wykonany przez Instytut badawczy ARC Rynek i Opinia na zlecenie Siemens. Wyd. Siemens, 2020.
- Górniak-Bodziany A., Bodziany M., 2008: Ekologistyka – wyzwanie, czy warunek konieczny funkcjonowania SZRP, *Zeszyty Naukowe WSOWL we Wrocławiu*, 1(147), 242.
- Gregorczyk K. 2006: Od projektu do recyklingu, *Dziennik Motoryzacji Francuskiej*, <https://francuskie.pl/od-projektu-do-recyklingu/> [dostęp: 12.12.2022]
- Hislop H., Hill J., 2011: Circular economy: some definitions, [źródło elektroniczne] <http://www.circular.academy/circular-economy-some-definitions/> [dostęp: 16.04.2023].
- Kirchherr J., Reike D., Hekkert M., 2017: Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions, *Resources, Conservation and Recycling* 127, 221–232.
- Korzeń Z., 2001: Ekologistyka, Biblioteka Logistyka, Poznań.
- Kowalczyk A., Bartniczka B., Jędrzejowski A., Grudzień K., Grabowski J., 2020: Ocena zapotrzebowania na wsparcie przedsiębiorstw w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym (circular economy). PARP.
- Krajowa Izba Gospodarcza, 2020: Środowiskowe aspekty projektowania opakowań, Warszawa.
- Kuklińska K.L., Czajak D., Drzymulska-Derda M., Osowska M. (red.), 2020: Sektorowa Rama Kwalifikacji dla Motoryzacji (SRK Moto), Instytut Badań Edukacyjnych, Warszawa.
- Kulczycka J. 2019: Gospodarka o obiegu zamkniętym w polityce i badaniach naukowych, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- Kulczycka J., 2021: Ewaluacja Gospodarki o obiegu zamkniętym – wyzwania, bariery, korzyści, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- Kwiecień J., Ciemno-Czołowska P., Kornecki J., Rutka M., Rybkowski A., Urbanowicz P., 2021: Raport z I edycji badań. Sektor motoryzacja i elektromobilność. Branżowy Bilans Kapitału Ludzkiego, Gdańsk.
- Lewandowska A., Foltynowicz Z., 2007: Ekoprojektowanie nowoczesnym trendem w opakownictwie, *Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Poznaniu*, 93, 78.
- Lewandowska A., Foltynowicz Z., 2006: Projektowanie dla recyklingu (DfR) jako jeden z elementów ekoprojektowania, *Recykling*, 11(69), 55.
- MamStartup 2023: Przemysł motoryzacyjny odpowiada za 8% PKB Polski. Jak utrzymać i polepszyć ten wynik?, [źródło elektroniczne] <https://mamstartup.pl/przemysl-motoryzacyjny-odpowiada-za-8-pkb-polski-jak-utrzymac-i-polepszyc-ten-wynik/> [dostęp: 15.04.2023].
- MBF Group 2021: Branża automotive w Polsce – analiza i perspektywy, [źródło elektroniczne] <https://mbfgroup.pl/branza-automotive-w-polsce-analiza-i-perspektywy> [dostęp: 26.01.2023].
- Merkisz-Guranowska A., 2006: Ekoprojektowanie a recykling samochodów, *Recykling*, 3, 30–31.
- Miachalak M. 2022: Samochody elektryczne. Czy Polacy uważają auta na prąd za ekologiczne?, *Motofakty*, [źródło elektroniczne] <https://motofakty.pl/samochody-elektryczne-czy-polacy-uwazaja-auta-na-prad-za-ekologiczne/ar/c4-17072393> [dostęp: 26.01.2023].
- Ministerstwo Rozwoju i Technologii, 2019: Rada Ministrów przyjęła projekt Mapy drogowej GOZ Mapa Drogowa Transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym, [źródło elektroniczne] <https://www.gov.pl/web/rozwoj/rada-ministrow-przyjela-projekt-mapy-drogowej-goz> [dostęp: 14.04.2023].

- Mitaľová Z., Dupláková D., Mitaľ D., 2022: Application of Recycled Plastics in Automotive Industry: a short review. SAR Journal, 5, 4, 200–205.
- Mm 2002: Tylko elektryki? Polscy kierowcy mówią „nie”, Business Insider, [źródło elektroniczne] <https://businessinsider.com.pl/gospodarka/elektryki-powinny-zastapic-wszystkie-inne-auta-polacy-sie-wypowiedzieli/cwwstwp> [dostęp: 26.01.2023].
- Nunes B., Bennett D., 2010: Green operations initiatives in the automotive industry: An environmental reports analysis and benchmarking study, Benchmarking: An International Journal, 17(3), 396–420.
- Ocena zapotrzebowania na wsparcie przedsiębiorstw w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym (circular economy) Raport końcowy, PARP, Warszawa.
- Oza S., Wang R., Lu N., 2011: Thermal and mechanical properties of recycled high density polyethylene/hemp fiber composites, International Journal of Applied Science and Technology, 1(5), 31–36.
- Pesante P., Saavedra K., Pincheira G., 2021: Mechanical Properties of a Wood Flour-PET Composite Through Computational Homogenisation, Cmc-Computers Materials & Continua, 67(3), 4061–4079.
- Pikoń K., 2018: Gospodarka obiegu zamkniętego, Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- PKN-ISO/TR 14062 Zarządzanie środowiskowe. Włączanie aspektów środowiskowych do projektowania i rozwoju wyrobu.
- Poland Automotive Sector Report 2022–2023. An EMIS Insights Industry Report, Emerging Markets Group Company, London, United Kingdom.
- Polska Izba Motoryzacji 2019: Przemysł samochodowy generuje coraz większą wartość PKB, [źródło elektroniczne] <https://pim.pl/przemysl-samochodowy-generuje-coraz-wieksza-wartosc-pkb> [dostęp: 15.04.2023].
- Pressroom 2022: Czy Polacy są już gotowi na zmianę zwyczajów transportowych?, Dziennik Internautów, [źródło elektroniczne] <https://di.com.pl/czy-polacy-sa-juz-gotowi-na-zmiane-zwyczajow-transportowych-68118> [dostęp: 26.01.2023].
- Rola PWC, 2015: Rola motoryzacyjnego w gospodarce Polski W kontekście „Priorytetów Polityki Przemysłowej 2015–2020+”, PricewaterhouseCoopers sp. z o.o., Warszawa.
- Rybaczewska-Błazejowska M., Masternak-Janus A., 2015: Ekologistyka surowców wtórnych – analiza LCA, Logistyka 4, 9620 [CD].
- Santolaria M., Oliver-Solà J., Gasol C.M., Morales-Pinzón T., Rieradevall J. 2021: Ecodesign in innovation driver companies: perception, predictions and the main drivers of integration. The Spanish example, Journal of Cleaner Production, 19, 12, 2011.
- Schischke K., Hagelüken M., Steffenhagen G. 2016: Wprowadzenie do strategii ekoprojektowania. Dlaczego, co i jak? Fraunhofer IZM, Berlin, Niemcy.
- Siemens, 2020: Elastyczność produkcji jako czynnik wspierający bezpieczeństwo biznesu. Raport na temat branży automotive wykonany przez Instytut badawczy ARC Rynek i Opinia na zlecenie, [źródło elektroniczne] http://radasektorowa-motoryzacja.pl/wp-content/uploads/2020/07/Siemens_Kondycja-bran%C5%BCy-automotive.pdf [dostęp: 14.04.2023].
- Stahel W., Reday G. 1981: Jobs for Tomorrow, the Potential for Substituting Manpower for Energy, Vantage Press, New York.
- Starostka-Patyk M.: Logistyka zwrotna produktów niepełnowartościowych w zarządzaniu przedsiębiorstwami produkcyjnymi, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.

- Stena recycling, Projektowanie dla recyklingu, [źródło elektroniczne] <https://www.stenarecycling.pl/nasze-uslugi/uslugi-doradcze/projektowanie-dla-recyklingu> [dostęp: 22.11.2022].
- Turner R., Pearce D., 1990: The ethical foundations of sustainable economic development, International Institute for Environment and Development, London.
- Volkswagen Group Polska 2012: Gwarantowana możliwość recyklingu samochodów, Poznań, [źródło elektroniczne] https://www.vw-group.pl/data/strony/10/o/PL_recykling_samochodow_wycofanych_z_eksploatacji.pdf [dostęp: 22.12.2022].
- Wdowin M., Koneczna R., Cader J., Hanc E., Olczak P., Kunecki P., 2021: Koncepcja wsparcia regionalnego w zakresie realizacji gospodarki o obiegu zamkniętym w województwie wielkopolskim, Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego, Poznań.

Agnieszka Borowska¹✉, Alicja Stolarska²
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Znaczenie targowisk w systemach dystrybucji produktów lokalnych

The importance of marketplaces in distribution systems of local products

Synopsis. Celem artykułu było rozpoznanie zmian w liczebności i strukturze targowisk oraz ich znaczenia w łańcuchu dostaw żywności, szczególnie dystrybucji lokalnych produktów. Omówiono przemiany zachodzące w funkcjonowaniu targowisk stałych i sezonowych w Polsce w latach 2015–2021, ze wskazaniem dużego zróżnicowania w tym zakresie. Zwrócono uwagę na funkcję, jaką spełniają targowiska w Polsce, zwłaszcza na poziomie lokalnym, co jest powodem określonego wsparcia ich rozwoju. Dokonano szerokiego przeglądu literatury i wykorzystano wtórne dane statystyki masowej oraz posłużono się współczynnikiem zmienności. Podjęto dyskusję i refleksję na temat możliwości rozwoju sprzedaży bezpośredniej poprzez targowiska stacjonarne.

Słowa kluczowe: targowiska, dystrybucja, handel detaliczny, sprzedaż bezpośrednia, zróżnicowanie

Abstract. The article aims to show changes in the number and structure of marketplaces and their importance in the food supply chain, especially in the distribution of local products. The changes taking place in the functioning of marketplaces in Poland in the years 2015–2021 were discussed, with an indication of large differences in this respect. Marketplaces in Poland noted the role, especially at the local level, which is the reason for specific support for their development. The literature was reviewed, and secondary mass statistics data and a coefficient of variation were used. There was a discussion and reflection on the possibility of developing direct sales through stationary marketplaces.

Key words: marketplaces, distribution, retail, direct sales, diversification

Kody JEL: D49, H71, L81, Q13, R12

¹✉ Agnieszka Borowska – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie; Katedra Ekonomii i Polityki Gospodarczej; e-mail: agnieszka_borowska@sggw.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0003-0354-3281>

² Alicja Stolarska – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie; Katedra Ekonomii Międzynarodowej i Agrobiznesu; e-mail: alicja_stolarska@sggw.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0002-9546-8292>

Wprowadzenie

W maju 2020 roku Komisja Europejska [2020] przyjęła dokument określany w skrócie jako strategia „od pola do stołu”, będący elementem Europejskiego Zielonego Ładu. Wśród strategicznych celów wskazano istotne znaczenie zrównowżenia systemów żywnościowych oraz konieczność redukcji zanieczyszczeń i zagrożeń jakości żywności, zwalczanie fałszowania żywności oraz zwiększenie udziału produktów ekologicznych. Jak wskazują badania, ważnym miejscem zakupu tych ostatnich są różnego rodzaju stragany i targowiska, szczególnie dla ludności mieszkującej na wsi [Obrzut i in. 2021]. Istotnym elementem jest też zwiększenie dochodów rolników, czemu m.in. może służyć skracanie łańcuchów dostaw produktów rolnych do finalnych konsumentów. Jest to również uzasadnione wymogami czasowymi jak najszybszego dostarczenia wielu produktów spożywczych z uwagi na ściśle określony i często krótki termin ich przydatności do spożycia [Szymańska i in. 2021]. Wybór bezpośredniego kanału dystrybucji zależy od wielu determinant, w tym specyfiki produktu, a jego konsekwencją jest „dotarcie” do stosunkowo niewielkiego grona konsumentów na określonym, zwykle niewielkim obszarze [Nowakowska-Grunt i Starostka-Patyk 2017]. Dla gospodarstw o małej skali produkcji, a szczególnie w przypadku produktów wrażliwych na transport (np. maliny, truskawki i inne owoce miękkie), jest uzasadniony. Przynosi on również korzyści dla konsumentów, którzy otrzymują świeży, nieprzetworzony produkt o znanym pochodzeniu, co powoduje „przywiązanie” do konkretnego, lokalnego dostawcy. Konsumentów coraz częściej zresztą wybierają produkty lokalne, dostarczane bezpośrednio od producentów rolnych i uważane za „zdrowsze”, co przynosi korzyści dla obydwu ogniw tak krótkiego łańcucha dostaw żywności [Wojcieszak-Zbierska 2021]. Jest to pewnego rodzaju powrót do tradycyjnych systemów dystrybucji produktów żywnościowych, gdzie na różnego rodzaju targowiskach, bazarach, straganach oraz jarmarkach realizowana jest sprzedaż świeżych, nieprzetworzonych (bądź mało przetworzonych) lokalnych produktów rolnych, a także produktów nieżywnościowych [Kosicka-Gębska i in., 2011, za Rutkowski in., 2005]. Wpisuje się to w zmianę trendów konsumenckich, gdzie większego znaczenia nabiera zrównowżenie konsumpcji i troska o zdrowie oraz odpowiednią jakość środowiska naturalnego, z większym naciskiem na zakup żywności wytwarzanej lokalnie i dostępnej blisko domu [Strzębicki 2020].

Obok zainteresowania konsumentów zakupami produktów bezpośrednio od ich wytwórców następuje również rozwój innych, nowoczesnych form handlu detalicznego, ze złożonymi systemami powiązań o zasięgu globalnym [Burch i Lawrence 2005] oraz z użyciem Internetu i innych narzędzi [Gregor i Kalińska-Kula 2018], chociaż te ostatnie z powodzeniem wykorzystywane są również do prowadzenia targowisk typu on-line (np.: Allegro, OLX i in.) [wFirma 2022]. W efekcie tych procesów powstaje pytanie – jakie znaczenie odgrywa współcześnie stacjonarny handel targowiskowy w Polsce jako forma tradycyjnej dystrybucji i jakich zmian w tym zakresie można oczekiwać w przyszłości?

Materiały i metody

Celem opracowania było przedstawienie zmian zachodzących w liczebności i strukturze targowisk w Polsce w latach 2015–2021 z uwzględnieniem ich sezonowego i stałego charakteru oraz ich znaczenia w dystrybucji lokalnych produktów. Za pomocą literatury,

w tym regulacji prawnych, przedstawiono syntetycznie wybrane uwarunkowania handlu targowiskowego oraz zwrócono uwagę na kwestie ekonomiczne funkcjonowania tej formy handlu detalicznego. Scharakteryzowano również wsparcie finansowe w zakresie budowy infrastruktury i modernizacji targowisk w Programie Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020, odwołując się do poddziałania „Wsparcie inwestycji w tworzenie, ulepszanie i rozwijanie podstawowych usług lokalnych dla ludności wiejskiej, w tym rekreacji, kultury i powiązanej infrastruktury” i zrealizowanych umów na operacje „Inwestycje w targowiska lub obiekty budowlane przeznaczone na cele promocji lokalnych produktów”.

Przy wykorzystaniu danych wtórnych Głównego Urzędu Statystycznego, a także informacji Komisji Europejskiej, Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Ministerstwa Finansów, Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa omówiono ważniejsze aspekty funkcjonowania targowisk w Polsce. Wskazano na regionalne zróżnicowanie tej formy handlu oraz zachodzące w latach 2015–2021 zmiany.

W przeprowadzonych analizach wykorzystano współczynnik zmienności, syntetycznie obrazujący stopień zróżnicowania handlu targowiskowego w Polsce. Posłużono się również metodami: opisową, graficzną i porównawczą.

Wyniki badań i dyskusja

Targowiska w Polsce ogniwem handlu detalicznego

Chociaż sama idea wymiany jest starsza niż pieniądź, to jako początek miejskiego handlu detalicznego wskazuje się VII wiek p.n.e. [Dębek 2014, za Watson 2006]. Wraz z rozwojem miast w przestrzeniach placów odbywały się targi, stanowiące nieodłączny element ich struktury. Greckie agory, rzymskie fora czy średniowieczne rynki były nie tylko miejscami dokonywania transakcji kupna-sprzedaży, ale odgrywały także ważną rolę społeczno-polityczną oraz wymiany informacji [Rakowski 2000, Gonzalez i Waley 2013]

W Polsce na pierwotne zagospodarowanie przestrzeni targowych składały się przede wszystkim jatki i kramy, a na rynkach pojawiły się także kantory kupieckie, sukiennice, nierzadko ratusz [Kulawiak 2020]. W okresie centralnie sterowanej gospodarki targowiska i place targowe odgrywały ważną rolę zaopatrzeniową nie tylko w produkty rolne dla lokalnych mieszkańców, ale również w gospodarce niedoboru, były miejscem formalnego i nieformalnego obrotu niedostępnymi w sklepach artykułami żywnościowymi i nieżywnościowymi, w tym zagranicznymi, co niwelowało w pewien sposób związane z tym napięcia społeczne [Kropiwnicki 2003].

Zniesienie systemu reglamentacji żywności w sierpniu 1989 roku stało się ważnym impulsem rozwoju handlu targowiskowego i sprzedaży ulicznej w Polsce, co zapoczątkowało przemiany urbanistyczne, szczególnie w większych miastach. Dostosowanie mniejszych miast było łatwiejsze z uwagi na wcześniejsze funkcjonowanie tam różnych form handlu targowiskowego [Masztalski 2014]. Intensywny rozwój tej formy sprzedaży miał miejsce szczególnie w początkowym okresie transformacji ustrojowej, ale również później – w latach 2000–2008, chociaż potem tendencje się odwróciły, co wynikało też poniekąd z procesów globalizacji i koncentracji oraz związanego z tym rozwoju sklepów wielkopowierzchniowych [Świetlik 2020].

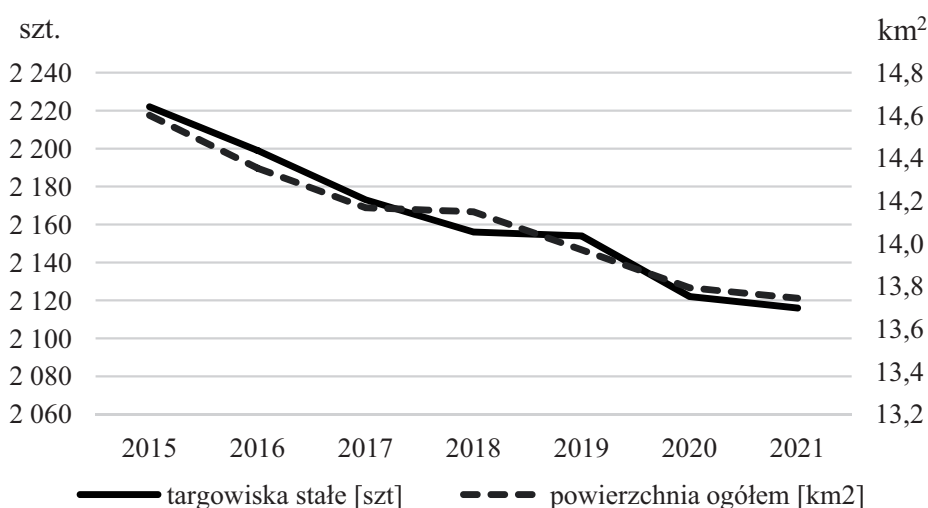
Do połowy lat 90. XX wieku obserwowano rozwój handlu obwoźnego, do którego zalicza się nie tylko sprzedaż z samochodów, ale również handel realizowany na placach targowych z wykorzystaniem kiosków, magazynów, straganów, wiat i innych obiektów. Powstawały legalne i nielegalne miejsca handlowe, gdzie sprzedawano towar na łózkach polowych, stolikach turystycznych, skrzynkach, wznoszono prymitywne budy, tzw. szczęki, następnie stałe stragany i pawilony handlowe. Proces ten był zauważalny zwłaszcza na terenach przygranicznych, głównie zachodnich województw, co wiązało się z rozwojem tzw. turystyki handlowej [Powęska 2002].

Rozwój tego typu handlu był akceleratorem ożywienia gospodarczego regionów oraz umożliwiał uzyskanie dodatkowych dochodów sprzedającym, przy jednocześnie bardziej atrakcyjnej cenowo i asortymentowo ofercie dla konsumentów. Odgrywał i nadal odgrywa ważną rolę zarówno makroekonomiczną, jak i mikroekonomiczną [Sojkin i Michalak 2018], chociaż ciągle wskazywane są jego mankamenty, jak chociażby ograniczone godziny funkcjonowania i formy płatności [Maciejewski 2017].

Współcześnie, targowisko stanowi wyodrębniony teren lub budowlę (plac, ulicę, halę targową) ze stałymi, względnie sezonowymi punktami sprzedaży drobnodetalicznej lub innymi urządzeniami przeznaczonymi do prowadzenia handlu, który może odbywać się codziennie albo w wyznaczone dni tygodnia. Niektóre targowiska funkcjonują okresowo (sezonowe), w związku ze wzmożonym czasowo ruchem nabywców (np. nadmorski ruch urlopowy) [GUS 2021]. W 2015 roku z 1064 targowisk sezonowych na terenach gmin wiejskich, aż 249 odnotowano w gminie Mielno, a kolejnych 100 na terenie Ustronia Morskiego.

W 2021 roku funkcjonowało w Polsce 2116 targowisk stałych o łącznej powierzchni przekraczającej 13,7 km² (rys. 1).

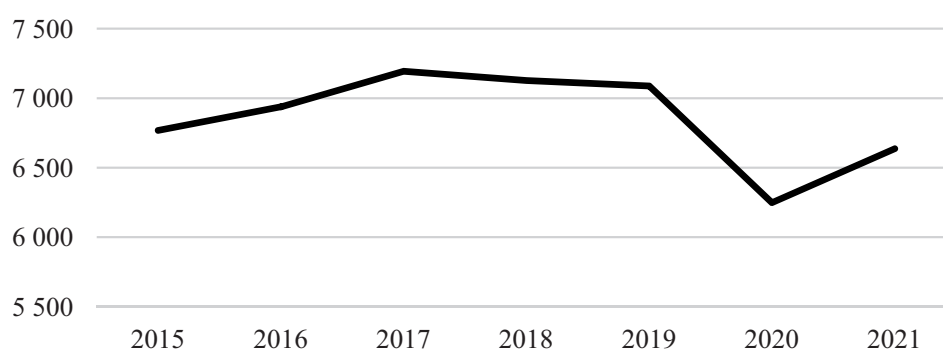
Zlokalizowane były one głównie w gminach wiejskich. Od 2015 roku obserwuje się ubytek zarówno liczby stałych targowisk (o blisko 4,8%), jak i zmniejszenie ich powierzchni (o prawie 5,9%). Stale maleje również liczba stałych punktów sprzedaży detalicznej na targowiskach, które czynne były codziennie – z blisko 57,5 tys. w 2015 roku do nieco ponad 45,1 tys. w 2021 roku, czyli przeciętnie o ponad 2232 punktów rocznie.



Rysunek 1. Liczba targowisk stałych w Polsce i ich powierzchnia w latach 2015–2021
 Figure 1. Number of permanent marketplaces in Poland and their area in 2015–2021

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Bank Danych Lokalnych].

Z uwagi na specyfikę handlu targowiskowego jest on w przeważającej mierze prowadzony na targowiskach i placach funkcjonujących jedynie sezonowo, których odsetek w 2021 roku wynosił 75,8% (75,3% w 2015 r.). Targowiska i punkty sezonowej sprzedaży detalicznej są domeną przede wszystkim gmin miejskich. Liczba takich miejsc zmniejszyła się również w latach 2015–2021, ale tylko o niespełna 2% (rys. 2). Zmiany miały inny charakter niż w przypadku targowisk stałych, z wyraźnym załamaniem w 2020 roku, co wynikało z ograniczeń związanych z pandemią COVID-19³.



Rysunek 2. Liczba targowisk lub miejsc na ulicach i placach do prowadzenia sprzedaży sezonowej w Polsce w latach 2015–2021

Figure 2. Number of markets or places on streets and squares for seasonal sales in Poland in 2015–2021

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Bank Danych Lokalnych].

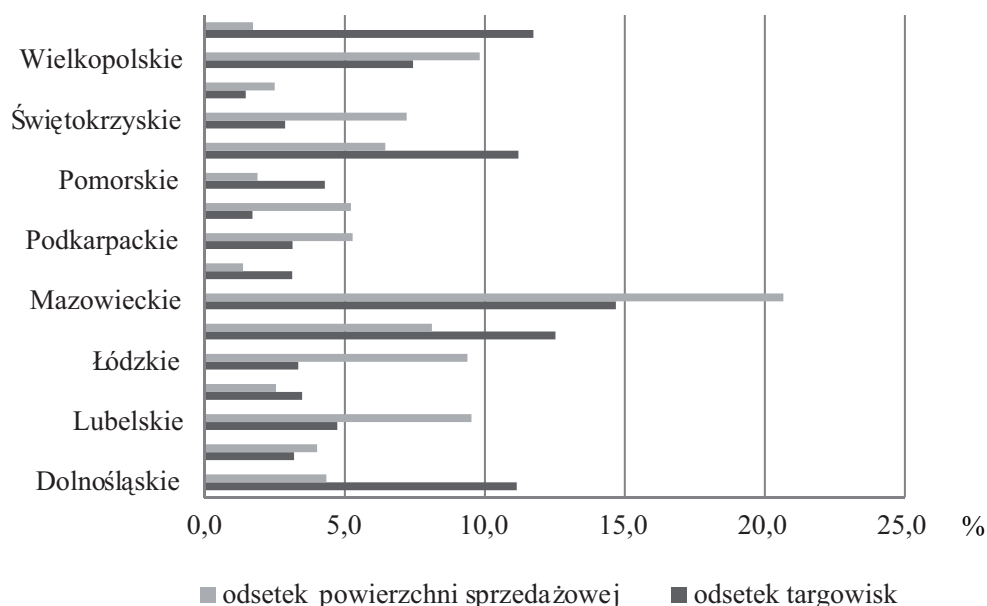
Detaliczny handel targowiskowy jest zróżnicowany regionalnie (rys. 3), co wynika z wielu uwarunkowań, w tym o charakterze obiektywnym, jak powierzchnia poszczególnych województw, liczba ludności i gęstość zaludnienia, a także rodzaj i skala prowadzonej działalności rolniczej, łącznie ze wskaźnikiem towarowości produkcji. Jak wynika bowiem z badań [Hamulczuk 2016], rozwój produkcji rolniczej wpływa negatywnie na handel targowiskowy.

Największym udziałem targowisk w Polsce w ogólnej ich liczbie charakteryzuje się województwo mazowieckie (14,7% w 2021 r.), które jednocześnie jest największe obszarowo i ma największą liczbę ludności. Jeszcze wyraźniejsza przewaga tego regionu dotyczy ogólnej powierzchni sprzedażowej w tego typu obiektach (20,7%).

Kolejnymi co do liczebności funkcjonujących targowisk województwami są zachodniopomorskie i małopolskie. W porównaniu do nich w województwach warmińsko-mazurskim i podlaskim targowiska lub miejsca na ulicach i placach do prowadzenia sprzedaży sezonowej stanowiły niewielki odsetek.

Przy przeciętnym zmniejszeniu ogólnej liczby targowisk w Polsce w latach 2015–2021, zmiany w poszczególnych województwach nie były jednorodne. Nie tylko miały różny charakter w badanym okresie, ale można też wskazać województwa, w których przybyło targowisk: śląskie (wzrost o 72,8%), lubuskie (64,3%), lubelskie (34,9%), mazowieckie (34,1%) i podkarpackie (10,5%).

³ Od 20 marca 2020 roku ogłoszono w Polsce stan epidemii [Dz.U. 2020, poz. 491].



Rysunek 3. Odsetek targowisk ogółem w Polsce (stałych i sezonowych) oraz ich powierzchni sprzedażowej w 2021 roku według województw

Figure 3. The percentage of total marketplaces in Poland (permanent and seasonal) and their sales area in 2021 by voivodeships

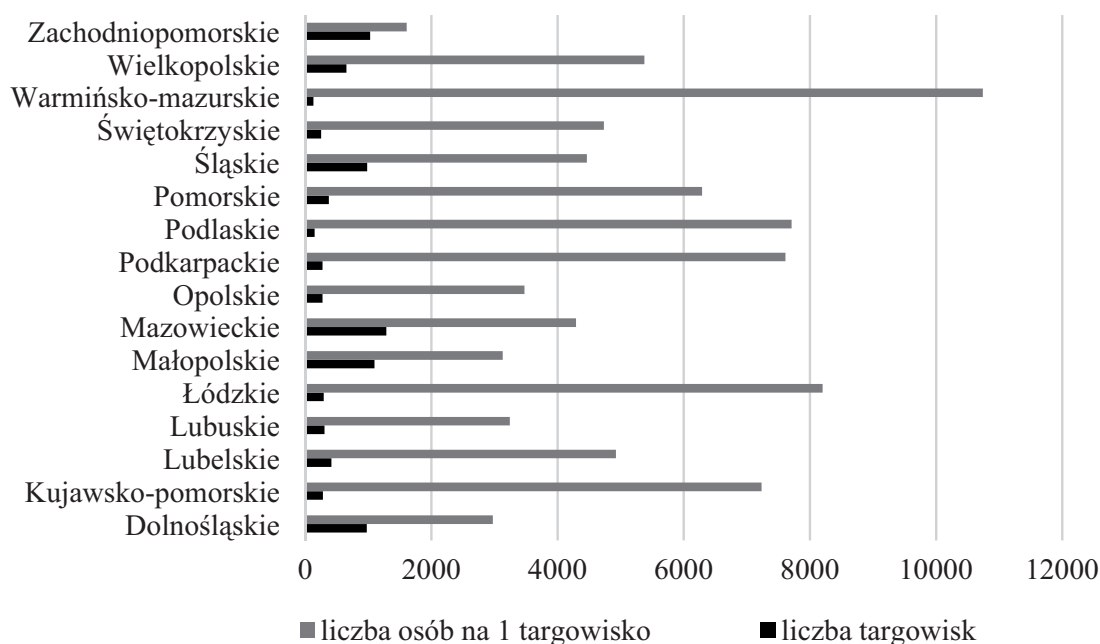
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Bank Danych Lokalnych]

W pozostałych województwach ich liczba uległa zmniejszeniu, w największym stopniu w województwie opolskim – o ponad połowę oraz w świętokrzyskim (o ponad 47%). Przeciętnie, zmniejszenie liczby targowisk dotyczyło gmin wiejskich (o 17,6%), a powierzchni – głównie gmin miejskich (o 12,1%) oraz wiejskich (6,3%). W gminach miejsko-wiejskich odnotowano niewielkie wzrosty zarówno liczby obiektów, jak i ich przeciętnej powierzchni. We wszystkich typach gmin nastąpiło zmniejszenie powierzchni handlowej sezonowej sprzedaży targowiskowej – w największym stopniu w gminach miejskich (o 36,6%).

Korzyści z handlu targowiskowego

Podstawową rolę placówek handlowych jest umożliwienie mieszkańcom zakupu odpowiednich produktów, pozwalających na zaspokojenie różnorodnych potrzeb klientów [Szumilak 2004]. Handel detaliczny charakteryzuje dodatkowo duża liczba klientów, którzy dokonują zwykle niewielkich transakcji połączonych z natychmiastową zapłatą [Kosicka-Gębska i in. 2009]. Jedną z form sprzedaży detalicznej jest szeroko rozumiany handel targowiskowy, którego natężenie zależy od wielu uwarunkowań i jest różne w poszczególnych regionach (rys. 4), co jest przedmiotem rozważań prowadzonych z zakresu geografii i ekonomii handlu [Dzieciuchowicz 2012].

Przy ogólnej liczbie 8753 targowisk w całej Polsce (stałych i sezonowych) w 2021 roku tylko 128 zlokalizowanych było w województwie warmińsko-mazurskim, a kolejnych 149 w podlaskim. Najwięcej, bo aż 1285, funkcjonowało na tere-



Rysunek 4. Liczba targowisk (stałych i sezonowych) oraz liczba osób przypadająca przeciętnie na 1 targowisko w 2021 roku według województw

Figure 4. Number of marketplaces (permanent and seasonal) and the number of people per 1 marketplace on average in 2021 by voivodeships

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Bank Danych Lokalnych].

nie województwa mazowieckiego, a następnie w województwie małopolskim (1097) oraz zachodniopomorskim (1027). Zdecydowanie jednak największą dostępnością tego typu usług, mierzoną przeciętną liczbą osób przypadającą na jedno targowisko, charakteryzowało się województwo zachodniopomorskie (1607 osób), dolnośląskie (2972 osób) i małopolskie (3130 osób). Większa liczba osób na targowisko przypadała w województwach warmińsko-mazurskim (10740 osób) oraz łódzkim (8202 osób), co w przypadku sprzedawców uważa się za pozytywną sytuację przyczyniającą się do korzyści ekonomicznych, dla nabywców natomiast niekoniecznie musiało się to wiązać z komfortem robienia zakupów. Aczkolwiek skala zjawiska wskazuje na większy rozwój tego typu handlu w regionach przygranicznych, turystycznych czy z dostępem do portów morskich, gdzie chociażby na przykładzie województwa zachodniopomorskiego obserwujemy większe nasycenie usług handlu targowiskowego, w którym zdecydowanie przeważają targowiska sezonowe (90,7% w 2021 r.).

Niektóre regiony charakteryzuje tradycyjnie niski poziom rozwoju tej formy sprzedaży, jak ma to miejsce w przypadku województwa warmińsko-mazurskiego [Wojdacki 2016]. W innych, jak województwo łódzkie, zmiany w ujęciu historycznym były zróżnicowane w czasie, co wiązało się m.in. z rozwojem przemysłu (włókienniczego) i w konsekwencji dużymi zmianami liczby ludności w niektórych okresach [Dzieciuchowicz 2013].

Targowiska są wykorzystywane do celów prowadzenia działalności gospodarczej, więc służą nie tylko konsumentom, ale są również elementem czerpania dochodów z dzierżawy przez gminy, co potwierdził w swym wyroku Naczelny Sąd Administracyjny [2014].

Gminy dysponują jednocześnie „władztwem podatkowym” w tym zakresie, co oznacza, że same określają wysokość i sposób pobieranych opłat [Glumińska-Pawlic 2003], które jednak nie mogą przekroczyć stawki maksymalnej, określonej przez ministra finansów (852,75 zł dziennie w 2022 r.) [M.P. 2021, poz.724]. Do ich uiszczenia zobowiązane są osoby fizyczne, osoby prawne oraz jednostki organizacyjne nieposiadające osobowości prawnej, dokonujące sprzedaży na targowiskach. Opłacie targowej nie podlega sprzedaż dokonywana w budynkach lub w ich częściach, dla których pobierany jest podatek od użytkowania nieruchomości. Opłata targowa została wprowadzona w Polsce Ustawą z dnia 26 lutego 1951 roku o podatkach terenowych [Bieszk-Stolorz i Felsztyńska 2018].

Wartość rocznych wpływów z opłaty targowej w Polsce wyniosła według danych GUS ponad 227,9 mln zł w 2015 roku [GUS 2016]. W kolejnych latach opłaty te malały, co potwierdza obserwację Świetlik [2020], że wzrostowi sprzedaży w handlu detalicznym towarzyszył realny spadek sprzedaży na straganach i targowiskach, a to przekładało się na poziom pobieranych opłat. Niemniej, w 2021 roku gminy otrzymały z tego tytułu ponad 160 mln zł, przy czym z uwagi na restrykcje spowodowane pandemią COVID-19, była to rekompensata utraconych wpływów z tytułu niepobierania opłaty targowej, pochodząca ze środków Funduszu Przeciwdziałania COVID-19 [GUS 2022]. Rekompensata została wypłacona gminom do końca marca 2021 roku, ale dotyczyła oczywiście tylko tych, które wcześniej ją wprowadziły. Dla wielu gmin jest to ważne źródło zasilenia budżetu, gdzie w 2020 roku wpływy te przekraczały 10 tys. zł w przypadku 877 gmin (7,5%). Rekompensata nie tylko pomogła samorządom w finansowaniu działań lokalnych, ale odciążała również przedsiębiorców korzystających z targowisk [Milewska i Parlińska 2021]. Największe roczne wpływy (blisko 28 mln zł) odnotowano w województwie mazowieckim, a następnie w śląskim (ponad 19 mln zł) oraz małopolskim (ponad 17 mln zł), co wynika nie tylko z ustalonych stawek, ale jest też związane z liczbą targowisk i wielkością ich powierzchni sprzedażowej.

Zróznicowanie poziomu wpływów z opłaty targowej dotyczyło również poszczególnych gmin. W przypadku targowisk sezonowych wpływy gmin miejskich w 2021 roku kształtowały się na poziomie od 300 zł w Nieszawie i Zabrze do ponad 7,8 mln zł w Krakowie [Bank Danych Lokalnych]. Wyznaczony współczynnik zmienności, będący syntetyczną miarą zróżnicowania, przekraczał tu 220%. Podobne różnice poziomu opłat targowych były również w gminach miejsko-wiejskich, gdzie dla wielu były to tylko kilkusetzłotowe wartości (Nowogrodzic, Krzywiń, Zagórz, Działoszyce, Miłakowo, Bytów, Kamień Pomorski, i in.), ale inne uzyskiwały znacznie większe kwoty, jak: Słubice (blisko 3 mln zł), a następnie Grójec (ponad 2,7 mln zł), Mielno (ponad 1,2 mln zł), Strzelce Opolskie (ponad 1,1 mln zł) oraz Tuszyn (ponad 1 mln zł). W gminach wiejskich sytuacja była bardziej wyrównana, jednak za wyjątkiem zdecydowanie „odstającej” gminy Tarnowo Podgórne, w której wpływy z tytułu opłaty targowej za 2021 rok przekraczały 1,5 mln zł oraz 19 innych, w których było to ponad 116 tys. zł (m.in.: Ustronie Morskie: 559 tys., Jabłonka: 585 tys., Kołobrzeg: 470 tys., Sierakowice: 384 tys., Stegna: 298 tys., Ustka: 245 tys.). W pozostałych gminach wiejskich kwoty te były znacznie mniejsze.

Wysokość opłat jest również zróżnicowana w poszczególnych miesiącach, z uwagi na wyraźną sezonowość handlu na targowiskach, szczególnie prowadzonego na otwartej przestrzeni. Mniejsze natężenie dotyczy okresów zimowych, a zdecydowanie więk-

sze przedsięwzięciach i związanych z rozpoczęciem roku szkolnego oraz obfitujących w świeże owoce i warzywa [Bieszk-Stolorz i Felsztyńska 2018].

Rolnikom sprzedającym produkty rolno-spożywcze i inne wyroby (np. rękodzieła) na targowiskach przysługują określone ułatwienia. Handel prowadzony w piątki i soboty przez rolników i członków ich gospodarstw domowych zwalnia się od opłaty targowej [Dz.U. 2021, poz. 2290]. Rolnicy mają możliwość szybkiej sprzedaży (bez pośredników) produktów nienadających się do długiego lub wielokrotnego transportu. Pozwala to nie tylko uzyskać im określone środki finansowe, a konsumentom lepszą cenę, ale może wpływać nie na linearny a cyrkularny obieg żywności lokalnej, co przyczynia się do zapobiegania jej marnotrawstwu. Dodatkowo, sprzedaż bezpośrednio produktów roślinnych lub zwierzęcych w stanie nieprzetworzonym (naturalnym), pochodzących z własnego gospodarstwa nie podlega opodatkowaniu podatkiem dochodowym. Z kolei w przypadku sprzedaży przetworzonych w sposób inny niż przemysłowy produktów roślinnych i zwierzęcych (z wyjątkiem produktów przetworzonych w ramach działów specjalnych produkcji rolnej oraz opodatkowanych podatkiem akcyzowym) kwota przychodów zwolniona z podatku dochodowego w 2022 roku wynosiła do 100 tys. zł [Dz.U. 2022, poz. 138, Dz.U. 2021, poz. 1128]. Rolniczy handel detaliczny realizowany na targowiskach jest ważny szczególnie w przypadku małych gospodarstw rodzinnych, a z powodów sanitarnych powinien być zarejestrowany u powiatowego inspektora sanitarnego lub/i powiatowego lekarza weterynarii.

Handel targowiskowy stwarza również możliwość pracy i utrzymania rodzin osób samozatrudnionych, co generuje określone przychody. Z danych GUS wynika, że przychody ze sprzedaży na targowiskach w 2020 roku wynosiły 5560,4 mln zł [GUS 2021], a w 2021 roku tylko w obrębie targowisk stałych funkcjonowało 86 922 punktów sprzedaży drobnodetalicznej, w tym 45 154 czynnych codziennie [GUS 2022], co generowało przynajmniej tyle samo miejsc pracy. Nie wszyscy sprzedający sami zajmowali się dostawą towarów do prowadzonych punktów czy księgowością, co generowało kolejne miejsca pracy. Handel sezonowy umożliwiał dodatkowe zatrudnienie.

Poza wymiernymi efektami ekonomicznymi, targowiska stanowią też źródło wielu innych korzyści, zarówno dla samych sprzedających, jak i konsumentów oraz lokalnych społeczności (tab. 1).

Jak wynika z badań CBOS z 2013 roku, 49% Polaków kupowało produkty spożywcze na bazarach (rynkach). Pozostałych 51% robiło to tylko sporadycznie. Niektórzy (3%) kupowali tam większość produktów spożywczych, a kolejnych 14% – co najmniej połowę [CBOS 2013]. Choć wraz z rozwojem nowoczesnych form w handlu detalicznym, znaczenie targowisk zmienia się to, co potwierdzają badania [Sojkin i Michalak 2018], są one ciągle ważnym miejscem dokonywania zakupów również w dużych miastach, jak chociażby w Warszawie czy Poznaniu. Mające natomiast miejsce różnice w częstotliwości zakupów związane są m.in. z lokalizacją targowisk i wygodą kupowania, asortymentem, jakością produktów, cenami czy promocją⁴.

Targowiska tak w miastach, jak i na obszarach wiejskich stają się ważnymi obiektami bezpieczeństwa żywnościowego, gdzie produkt lokalny jest osiągalny i przystępny cenowo

⁴ Badania przeprowadzono w latach 2016–2017 wśród mieszkańców: Warszawy, Wrocławia, Gdańska, Poznania i Białegostoku.

Tabela 1. Znaczenie funkcjonowania targowisk lokalnych w Polsce
 Table 1. The role of the functioning of local markets in Poland

Korzyści	Krótkie łańcuchy dostaw
Gospodarcze i ekonomiczne	Zagospodarowanie lokalnych zasobów (praca, ziemia, kapitał): tworzą miejsca pracy, wspomagają rozwój niskotowarowych gospodarstw rolnych, kształtują rozwój pozarolniczej działalności gospodarczej (MŚP), tworzą wartość dodaną, stanowią źródło dochodów ludności oraz gmin (opłata targowa), stymulują budowę i modernizację infrastruktury i zagospodarowania przestrzeni publicznej; Zdecentralizowane systemy dystrybucji: niższe koszty przechowywania, transportu, zamrażania, magazynowania, przetworzenia i pakowania oraz dystrybucji;
Społeczne	Ochrona dziedzictwa kulturowego: tradycyjna forma handlu, przekazywanie bezpośrednio informacji o produkcie, podtrzymywanie lokalnych zwyczajów dających poczucie przynależności do lokalnych społeczności; integracja międzypokoleniowa i wzmocnienie spójności społecznej oraz przywrócenie/utrzymanie powiązań między wsią a miastem; etnocentryzm konsumencki;
Środowiskowe	Mniejszy ślad węglowy, mniejsza emisja gazów cieplarnianych, zredukowane zużycie paliw i zasobów; utrzymanie dziedzictwa regionu – zachowanie typowych ras i gatunków zwierząt oraz upraw; zachowanie różnorodności biologicznej;
Kulturowe	Materialna i niematerialna, tradycja, zasady, normy; osadnictwo miast, handel wymienny, rozwój rzemiosła, zagospodarowanie przestrzeni.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Borowska 2015, s. 5–14].

dla mieszkańców w krótkich łańcuchach dostaw. Są one przestrzenią, w której sprzedaje się około 6% żywności jaką codziennie kupują Polacy, a w porównaniu do innych krajów UE, Polskę charakteryzuje zarówno większa liczba bazarów, jak i klientów [PPR 2016].

Według badań IPSOS na targowiskach i bazarach najczęściej kupowane są warzywa i owoce (50% klientów), przy 33% dla średniej w UE. Aż 29% Polaków deklaruje kupowanie najczęściej na bazarze mięsa [Praska Giełda Spożywcza 2018], podczas gdy średnia unijna stanowi zaledwie 11%. Regularnie targowiska odwiedza ok. 15% konsumentów [Ciechomski 2014], przy czym zainteresowanie tą formą obrotu towarowego jest zróżnicowane regionalnie. Dla przykładu na Podkarpaciu aż 90% respondentów akceptuje targowiska i bazy jako miejsce codziennych zakupów [Cyran 2013], a w Poznaniu najchętniej kupuje się na nich świeże warzywa i owoce (98,3% nabywców), mięso (36,2%), kwiaty, jaja i inne produkty spożywcze [Ciechomski 2014]. W Krakowie są one przestrzenią zakupów krajowych owoców i warzyw (dla niemal 80% badanych), pieczywa i napojów (41,2%) oraz nabiału i kwiatów [Płaziak i Szymańska 2016].

Według raportu opublikowanego przez spółkę KPMG dotyczącego zmian zwyczajów zakupowych Polaków w związku z pandemią COVID-19, dla 29% badanych ważniejsze podczas robienia zakupów stało się wsparcie lokalnych społeczności, a 22% zadeklarowało większą częstotliwość kupowania produktów spożywczych od lokalnych producentów i sprzedawców, co wpisuje się m.in. w handel targowiskowy.

O znaczeniu targowisk świadczą badania przeprowadzone w październiku 2019 roku przez Kantar Polska S.A. na reprezentatywnej próbie 1 tys. warszawiaków w wieku powyżej 15 lat, z których wynika, że 69% mieszkańców stolicy robi zakupy na bazarze lub targowisku. Najczęściej zakupy takie wykonywane są raz w tygodniu (27%) lub

2–3 razy na miesiąc (24%). Preferowane są soboty (52%) i piątki (37%), co może wynikać nie tylko z większej ilości wolnego czasu w weekend, ale częściowo być związane z funkcjonowaniem targowisk. Warszawiacy kupują na targowiskach głównie warzywa i owoce (96%), a następnie: mięso, wędliny i ryby (27%) oraz nabiał (13%) i pieczywo (12%). Najchętniej wybierane są targowiska zlokalizowane w pobliżu zamieszkania (77%), a wśród najczęściej odwiedzanych wymienić należy: Halę Mirowską i Halę Banacha, plac Szembeka, Wolumen oraz Zieleniak. Chociaż korzystają z nich osoby w każdym wieku, to przeważają powyżej 60 lat (75%). Sytuacja zawodowa i ekonomiczna w pewnym stopniu również wpływa na wybór targowisk, niemniej inne aspekty niż ceny oceniane były najlepiej. Respondenci wskazali tu: jakość produktów, duży wybór asortymentu oraz wysoki poziom bezpieczeństwa zakupów [Urząd m.st. Warszawy 2019].

Targowiska zwiększają możliwości dostępu do świeżej żywności, wyprodukowanej lokalnie przez nieanonimowego rolnika, sadownika, ogrodnika, pszczelarza, przetwórcę. Istnieje możliwość ich weryfikacji, a także wyeliminowania pośredników, przez co sprzedaż i zakup odbywają się po znacznie korzystniejszych cenach [Sławińska 2013]. Nie tylko urozmaicona zostaje oferta towarowa, ale zmniejsza się „ślad węglowy” w skutek skrócenia „mil żywnościowych” [Serafin i Pilis 2020]. Zaoferowanie konsumentom produktów przez ich wytwórców powoduje, że nie tracą one swoich właściwości, jak może to mieć miejsce podczas dłuższego magazynowania, czy transportu w tradycyjnym łańcuchu dostaw żywności.

Targowiska łączą najczęściej stawiane cele w zarządzaniu łańcuchem dostaw – minimalizacji kosztów przepływu produktów i zapewnienia najkrótszego czasu realizacji ich dostawy [Christopher 2000] oraz wpisują się w propagowaną ideę rozwoju zrównoważonego, łączącego efekty ekonomiczne z minimalizacją negatywnego wpływu wszelkiej działalności i konsumpcji na klimat i środowisko naturalne [Kołosowski i Józwiak 2012].

Wsparcie rozwoju handlu targowiskowego

Jak wynika z danych ostatniego spisu rolnego [PSR 2020] powierzchnia ponad 660,3 tys. indywidualnych gospodarstw rolnych w Polsce (11,5%) nie przekracza 5 ha UR. Kolejnych blisko 289 tys. (13,7%) gospodaruje na powierzchni 5–10 ha a przeszło 130,5 tys. (10,6%) stanowią gospodarstwa o powierzchni 10–15 ha UR. Nadal więc polskie gospodarstwa rolne są w znacznej mierze rozdrobnione, pomimo poprawy struktury obszarowej po akcesji Polski do UE. Jest to ważny problem nie tylko z punktu widzenia rozwoju rolnictwa i jego roli w zapewnieniu bezpieczeństwa żywnościowego, ale również w odniesieniu do stworzenia możliwości rozwoju obszarów wiejskich i przeciwdziałania ich marginalizacji. Niewielka skala produkcji nie sprzyja mniejszym gospodarstwom rolnym w konkurowaniu na wolnym rynku z uwagi na ich słabą siłę rynkową. Pewnym rozwiązaniem mogłaby być współpraca z innymi rolnikami, ale jest ona zróżnicowana branżowo [Kozłowska-Burdziak i Przygodzka 2019], a ponadto cieszy się coraz mniejszym zainteresowaniem [Grębowiec 2020]. W konsekwencji, ich pozycja w łańcuchu marketingowym jest słaba, co w większości przypadków nie gwarantuje odpowiedniego poziomu dochodów, pozwalających na utrzymanie rodziny. Jako jedno z rozwiązań wskazuje się rozwój dodatkowej działalności pozarolniczej [Stolarska 2018], w tym

przetwarzanie własnych produktów i ich bezpośrednią sprzedaż konsumentom, realizowaną m.in. na targowiskach. Sprzedaż taka ma długą tradycję, a skracanie łańcuchów dostaw żywności pozwala nie tylko na zwiększanie dochodów producentów i ograniczanie kosztów dystrybucji z korzyścią dla konsumentów, ale umożliwia też większą przejrzystość pochodzenia, a tym samym jakości produktów [Serafin i Pilis 2020]. W związku z powyższym, zagadnienia te znalazły również odzwierciedlenie w zapisach programów rozwoju obszarów wiejskich (PROW), gdzie w PROW 2007–2013 zaproponowano rozwiązania finansowe służące budowie i modernizacji targowisk w miejscowościach liczących do 50 tys. mieszkańców. W ramach PROW 2014–2020 (cel 3A) zagwarantowano wsparcie finansowe w zakresie inwestycji związanych z rozwojem oraz modernizacją targowisk i innych obiektów w Polsce, służących promocji produktów lokalnych [Wieliczko 2018]. Pomoc ta przyznawana jest gminie, związkowi międzygminnemu, powiatowi i związkowi powiatów, a powstałe przestrzenie mają służyć społeczności, w tym stać się dogodnym miejscem zbytu artykułów rolno-spożywczych wytworzonych w ramach działalności gospodarczej – rolniczej lub pozarolniczej. Środki finansowe pochodzą z publicznych środków krajowych i unijnych, tj. Europejskiego Funduszu Rolnego na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich (EFRROW). Pomoc polega na refundacji części kosztów kwalifikowalnych operacji poniesionych i opłaconych przez beneficjenta, w wysokości oraz zgodnie z warunkami określonymi w PROW 2014–2020 oraz w rozporządzeniach Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi [Dz.U. 2018, poz. 468, Dz.U.2018, poz. 468, Dz.U.2019, poz. 1704]. Wsparcie z EFRROW wynosi do 63,63% kosztów kwalifikowalnych projektu i nie może przekroczyć 1 mln zł na beneficjenta, podczas gdy wymagany krajowy wkład środków publicznych stanowi minimum 36,37%. Wymogiem formalnym jest, aby inwestycje w ramach ww. poddziałania były przeprowadzane w miejscowościach liczących do 200 tys. mieszkańców. Nowo powstałe lub przebudowane w wyniku inwestycji targowiska powinny posiadać utwardzone nawierzchnie, oświetlenie, być zadaszone, wyposażone w instalacje sanitarne i miejsca parkingowe, a minimum 30% powierzchni handlowej powinno być przeznaczony na sprzedaż produktów rolno-spożywczych prowadzoną przez rolników.

Z danych Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa wynika, że zainteresowanie tą formą refundacji inwestycji infrastruktury społecznej jest zróżnicowane regionalnie. Według danych na 31 października 2022 roku w łącznej liczbie 348 złożonych wniosków przeważały wnioski z obszaru centralnej Polski – 57 z województwa mazowieckiego (16,4%) i kolejnych 40 (11,5%) z województwa łódzkiego (tab. 2). Najmniejsze zainteresowanie odnotowano w przypadku województwa opolskiego, które jednocześnie charakteryzuje się najmniejszym udziałem targowiskowej powierzchni sprzedażowej w kraju (rys. 3), co potwierdza mniejsze tradycje tego typu handlu w niektórych regionach. Wystąpiono tu jedynie o jedną płatność, którą otrzymano. W niektórych województwach podpisano po kilka umów (lubuskie, śląskie, świętokrzyskie), chociaż złożonych wniosków było więcej. Łączna kwota dofinansowania w całej Polsce przekroczyła 205 mln zł. Największą przeciętnie wartość dofinansowania w przeliczeniu na jednego beneficjenta (blisko 1,5 mln zł) odnotowano dla województwa lubelskiego.

Wprowadzone zmiany infrastrukturalne i architektoniczne wpływają na coraz bardziej nowoczesny wygląd targowisk (rys. 5), które nie tylko są utwardzone, zadaszone i oświetlone, ale również skanalizowane i wyposażone w miejsca sanitarne oraz parkingowe.

Tabela 2. Wsparcie inwestycji w targowiska lub obiekty budowlane przeznaczone na cele promocji lokalnych produktów w Polsce w ramach PROW 2014–2020

Table 2. Support for investments in markets or construction facilities intended for the promotion of local products in Poland under Rural Development Program 2014–2020

Województwo	Liczba złożonych wniosków	Liczba zawartych umów	Płatności zrealizowane	
			Liczba	Kwota [zł]
Dolnośląskie	15	13	13	13 737 722
Kujawsko-pomorskie	29	18	17	15 658 895
Lubelskie	26	17	17	24 870 780
Lubuskie	10	4	4	2 932 446
Łódzkie	40	24	17	19 329 405
Małopolskie	16	9	9	9 167 425
Mazowieckie	57	34	26	34 730 197
Opolskie	1	1	1	1 399 906
Podkarpackie	29	16	14	15 608 507
Podlaskie	25	14	13	12 823 553
Pomorskie	17	12	12	12 270 416
Śląskie	12	4	1	1 035 930
Świętokrzyskie	7	6	6	8 050 829
Warmińsko-mazurskie	18	15	9	11 643 293
Wielkopolskie	19	14	14	14 411 181
Zachodniopomorskie	27	10	7	7 381 256
Łącznie	348	211	180	205 051 740

Źródło: opracowanie własne na podstawie [ARiMR 2010].



Rysunek 5. Przykładowa wizualizacja targowiska Mój Rynek w gminie Wiązowna

Figure 5. An example of visualization of the My Market market in the Wiązowna commune

Źródło: [Urząd Gminy Wiązowna 2019].

W takiej ustrukturyzowanej przestrzeni rolnicy mają zagwarantowane miejsca do sprzedaży bezpośredniej produktów, a nabywcy w przyjaznym otoczeniu mogą realizować potrzeby nabywcze. Nowoczesny anturaż targowisk to tylko jeden z wielu czynników zachęcających konsumentów do tej formy zakupów. Jak wynika z badań Nąc [2021], w przypadku zakupu produktów spożywczych dokonywanych często na targowiskach i jarmarkach, bardzo ważne są również: stosunek jakości do ceny produktów, łatwość zakupu, a także wcześniejsze doświadczenia, zaufanie do marki, bezpieczeństwo (w tym zdrowotne) oraz wsparcie lokalnych społeczności. Wszystkie te cechy spełnia handel targowiskowy, gdzie dodatkowo wytwarzane są specyficzne więzi pomiędzy sprzedającymi i kupującymi.

Zwiększanie liczby podpisanych umów na dofinansowanie inwestycji w targowiska w ramach PROW 2014–2020, które na 31 grudnia 2022 roku przekraczało już 212,5 mln zł, powoduje to, że można spodziewać się dalszego rozwoju tej formy sprzedaży.

Podsumowanie i wnioski

Handel targowiskowy jest jedną z form sprzedaży detalicznej w Polsce, a jego nasilenie, zróżnicowanie i zachodzące zmiany są wynikiem wielu uwarunkowań o różnym charakterze. Poziom, struktura i oferta handlu detalicznego zmienia się dynamicznie, a sytuacja w kraju i na świecie wpływa na tempo oraz kierunek tych zmian także na targowiskach. Utrwalane historyczne determinanty lokalne sprawiają dodatkowo, że w jednych regionach czy gminach zainteresowanie tego typu handlem rośnie, a w innych wręcz przeciwnie. Ważnym m.in. czynnikiem jest przygraniczne położenie oraz większe nasilenie turystyki, jak również zwyczaje konsumentów i specyfika tego handlu wpływająca na przewagę targowisk sezonowych (75,8% w 2021 r.), dominujących głównie w gminach miejskich.

Jak wynika z przeprowadzonych analiz – największym odsetkiem targowisk w 2021 roku charakteryzowało się województwo mazowieckie (14,7%), a 69% warszawiaków deklarowało korzystanie z nich w 2019 roku. Kolejne lokaty zajmowały województwa: małopolskie (12,5%) oraz zachodniopomorskie (11,7%). Z ogólnej liczby 8753 targowisk w całej Polsce w 2021 roku (stałych i sezonowych) tylko 128 (niespełna 1,5%) zlokalizowanych było w województwie warmińsko-mazurskim, a kolejnych 149 w podlaskim. Najmniejszy odsetek powierzchni sprzedażowej odnotowano w województwie opolskim.

W latach 2015–2021 zmniejszyła się liczba targowisk w Polsce, w największym stopniu w województwie opolskim (o ponad połowę) oraz świętokrzyskim (o ponad 47%), co nie wynikało ze znacznie mniejszego wówczas ubytku liczby ludności. W niektórych województwach nastąpił rozwój tej formy sprzedaży – śląskie (wzrost liczby targowisk o 72,8%), lubuskie (64,3%), lubelskie (34,9%), mazowieckie (34,1%) i podkarpackie (10,5%). Przeciętnie w gminach miejsko-wiejskich odnotowano niewielkie wzrosty zarówno liczby obiektów, jak i ich powierzchni. Zaobserwowano 2-procentowe zmniejszenie się liczby targowisk sezonowych, głównie w 2020 roku oraz zmniejszenie powierzchni sprzedażowej – w największym stopniu w gminach miejskich (o 36,6%), co było związane z ograniczeniami z powodu COVID-19.

Pandemia wpłynęła również na okresowe zaprzestanie pobierania opłaty targowej od handlujących, niemniej gminy uzyskały rekompensatę z tego tytułu w ogólnej kwocie ponad 160 mln zł w 2021 roku. Stanowi to ważne źródło dochodów, szczególnie niektórych gmin, gdzie największe kwoty odnotowano m.in. dla: Krakowa (ponad 7,8 mln zł), Słubic (3 mln zł), Grójca (ponad 2,7 mln zł), Tarnowa Podgórnego (ponad 1,5 mln zł), Mielna (ponad 1,2 mln zł), czy Tuszyńska (ponad 1 mln zł).

Handel targowiskowy to również miejsca pracy i dochody dla mieszkańców oraz lokalnych przedsiębiorców, w tym rolników i osób samozatrudnionych, a szczególnie wytwórców lokalnych i regionalnych produktów, którzy działają w mniejszej skali, co skutkuje słabą siecią dystrybucji [Sieczko 2008].

Lokalne zasoby odgrywają ważną rolę w zaspokajaniu potrzeb mieszkańców, którzy w wyniku pandemii w większym stopniu skłonni są z nich korzystać, przy tym istotną jest dbałość o środowisko naturalne, gdzie za 1/4 emisji gazów cieplarnianych odpowiada sektor spożywczy [McKinsey & Company 2021]. Na targowiskach najczęściej kupowane są świeże warzywa i owoce, mięso i wędliny, a także pieczywo i nabiał oraz inne lokalne produkty.

Dodatковым impulsem rozwoju nowoczesnych targowisk może być ich dofinansowanie z programu PROW 2014–2020, w ramach którego beneficjenci uzyskali ponad 212,5 mln zł na 31 grudnia 2022 roku.

Bibliografia

- Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa [ARiMR], 2010: M.7.4 Wsparcie inwestycji w tworzenie, ulepszanie i rozwijanie podstawowych usług lokalnych dla ludności wiejskiej, w tym rekreacji i kultury, i powiązanej infrastruktury. Inwestycje w targowiska lub obiekty budowlane przeznaczona cele promocji lokalnych produktów, Dane na dzień 31.10.2022 r., [źródło elektroniczne] <https://www.gov.pl/web/arimr/m74-wsparcie-inwestycji-w-tworzenie-ulepszanie-i-rozwijanie-podstawowych-uslug-lokalnych-dla-ludnosci-wiejskiej-w-tym-rekreacji-i-kultury-i-powiazanej-infrastruktury> [dostęp: 10.12.2022].
- Bank Danych Lokalnych, [źródło elektroniczne] <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/tablica> [dostęp: 23.11.2022].
- Bieszk-Stolorz B., Felsztyńska I., 2018: Analiza statystyczna wysokości poboru opłat targowych w Szczecinie w latach 2002–2015, *Studia i Prace WNEiZ US*, 54(1), 65–76.
- Borowska A., 2015: Outdoor markets as a regional food distribution channel in Poland between 2004 and 2013, *Annals of Marketing Management & Economics*, 1(2), 5–14.
- Burch D., Lawrence G.A., 2005: Supermarket Own Brands, Supply Chains and the Transformation of the Agri-food System, *International Journal of Sociology of Agriculture and Food*, 13(1), 1–18.
- CBOS, 2013: Jak i gdzie kupujemy żywność? Komunikat z badań, BS/94, [źródło elektroniczne] https://www.cbos.pl/SPISKOM.POL/2013/K_094_13.PDF [dostęp: 25.01.2023].
- Christopher M., 2000: Logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw. Strategie obniżki kosztów i poprawy poziomu usług, Polskie Centrum Doradztwa Logistycznego, Warszawa.

- Ciechomski W., 2014: Handel targowiskowy w Poznaniu – diagnoza stanu rozwoju, preferencje klientów, tendencje zmian, *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Handlu i Usług w Poznaniu*, 28, 25–46.
- Cyran K., 2013: Preferencje konsumentów w zakresie miejsc zakupów żywności jako wyznacznik możliwości rozwoju handlu na targowiskach i bazarach, *Zeszyty Naukowe SGGW Polityki Europejskiej, Finanse i Marketing*, 10(59), 142–155.
- Dębek M., 2014: Handel w przestrzeni zurbanizowanej – zarys form i ich funkcji z perspektywy ludzkich potrzeb, [w:] R. Masztalski (red.), *Współczesne funkcje handlowe wybranych małych miast województwa dolnośląskiego*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 63–82.
- Dzieciuchowicz J., 2012: Nowa geografia handlu, *Acta Universitatis Lodzensis. Folia Geographica Socio-Oeconomica*, 12, 37–53.
- Dzieciuchowicz J., 2013: Handel w przestrzeni wielkomiejskiej – przykład Łodzi, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Glumińska-Pawlic J., 2003: Samodzielność finansowa jednostek samorządu terytorialnego w Polsce, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Główny Urząd Statystyczny [GUS], (2016). Rynek wewnętrzny w 2015 r., Warszawa.
- Główny Urząd Statystyczny [GUS], (2018). Rynek wewnętrzny w 2017 r., Warszawa.
- Główny Urząd Statystyczny [GUS], (2020). Rynek wewnętrzny w 2019 r., Warszawa.
- Główny Urząd Statystyczny [GUS], (2021). Rynek wewnętrzny w 2020 r., Warszawa.
- Główny Urząd Statystyczny [GUS], (2022). Rynek wewnętrzny w 2021 r., Warszawa.
- Gonzalez S., Waley P., 2013: Traditional Retail Markets: The New Gentrification Frontier? *Antipode*, 45(4), 965–983.
- Gregor B., Kalińska-Kula M., 2018: Rozwój handlu internetowego i jego uwarunkowania – perspektywa oferenta i nabywcy, *Handel Wewnętrzny*, 4(375), 110–120.
- Grębowiec M., 2020: Grupy producentów jako współczesny element integracji wsi i poprawy konkurencyjności polskiego rolnictwa, [w:] A. Stolarska (red.), *Wyzwania współczesnego rolnictwa*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 94–112.
- Hamulczuk M., 2016: Czynniki warunkujące kierunki zmian handlu targowiskowego w Polsce, *Roczniki Naukowe Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich*, 2(103), 69–77.
- Kołosowski A., Józwiak A., 2012: Zrównoważony łańcuch dostaw, *Systemy Logistyczne Wojsk*, 38, 129–140..
- Komisja Europejska, 2020: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-społecznego i Komitetu Regionów, Strategia „od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego, [źródło elektroniczne] https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0015.02/DOC_1&format=PDF [dostęp: 10.12.2022].
- Kosicka-Gębska M., Tul-Krzyszczuk A., Gębski J., 2011: Handel detaliczny żywnością w Polsce, wyd. 2, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Kosicka-Gębska M., Tul-Krzyszczuk A., Gębski J., 2009: Handel detaliczny żywnością w Polsce, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Kozłowska-Burdziak M., Przygodzka R., 2019: Grupy producentów rolnych – szanse i bariery rozwoju, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok.
- KPMG, (2020). Nowa rzeczywistość: konsument w dobie COVID-19, Warszawa, [źródło elektroniczne] <https://kpmg.com/pl/pl/home/insights/2020/09/raport-nowa-rzeczywistosc-konsument-w-dobie-covid-19-jak-zmienily-sie-zwyczaje-zakupowe-polakow-w-czasie-koronawirusa.html> [dostęp: 26.01.2023].

- Kropiwnicki J., 2003: Fenomen bazarów, *Acta Universitatis Lodziensis*, 170, 107–120.
- Kulawiak A., 2020: Rola i znaczenie placów targowych w dużym mieście – przykład Łodzi, *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 34(2), 86–101.
- Maciejewski G., 2017: Formy handlu detalicznego w Polsce w ocenie konsumentów, *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, 316, 142.
- Masztalski R., (red.) 2014: Współczesne funkcje handlowe w wybranych małych miastach województwa dolnośląskiego, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*, Wrocław.
- McKinsey & Company, 2021: Disruption and Uncertainty – The State of Grocery Retail 2021: Europe, McKinsey, [źródło elektroniczne] <https://www.eurocommerce.eu/app/uploads/2022/08/Disruption-and-Uncertainty-The-State-of-Grocery-Retail-2021-Europe-final.pdf> [dostęp: 29.12.2022].
- Michalak, S., Sojkin, B., 2018: Targowiska jako miejsca zakupu mieszkańców dużych miast w Polsce, *Handel Wewnętrzny*, 4(375), 237–339.
- Milewska A., Parlińska A., 2021: *Finanse lokalne – dysfunkcje, dylematy, wyzwania*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Naczelny Sąd Administracyjny, 2014: Wyrok z dnia 2 września 2014 r. (sygn. akt I FSK 379/14).
- Nąc U., 2021: Konsument żywności na rynku usług e-commerce w Polsce podczas pandemii COVID-19, Wydział Ekonomiczny, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie [praca licencjacka].
- Nowakowska-Grunt J., Starostka-Patyk M., (red.) 2017: *Logistyka dystrybucji*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Obrzut J., Olech E., Kuboń M., Borusiewicz A., Żuchowski I., 2021: Analysis of customers' preferences in the aspect of modernization or formation of distribution channels of organic products, *Economics and Organization of Logistics*, 6 (2), 33–47.
- Obwieszczenie Ministra Finansów, Funduszy i Polityki Regionalnej z dnia 22 lipca 2021 r. w sprawie górnych granic stawek kwotowych podatków i opłat lokalnych na rok 2022 (M.P. 2021, poz. 724).
- Pierwszy Portal Rolny [PPR], 2016: Polacy lubią bazary, [źródło elektroniczne] <https://www.ppr.pl/wiadomosci/aktualnosci/polacy-lubia-bazary-160943> [dostęp: 26.01.2023].
- Płaziak M., Szymańska A.I., 2016: Czynniki warunkujące atrakcyjność dokonywania zakupów na placach targowych Krakowa, *Przedsiębiorczość – Edukacja*, 12, 217–232.
- Powęska H., 2002: Przestrenny wymiar handlu transgranicznego w Polsce w ostatniej dekadzie XX wieku, *Geopolitical Studies*, 9, 5–118.
- Praska Gielda Spożywcza, 2018: *Renesans handlu na targowiskach*, Warszawa, [źródło elektroniczne] https://www.praskagieldaspozywcza.pl/renesans_handlu_na_targowiskach/ [dostęp: 12.01.2023].
- PSR, 2020: Charakterystyka gospodarstw rolnych w 2020 r. [źródło elektroniczne] <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/psr-2020/powszechny-spis-rolny-2020-charakterystyka-gospodarstw-rolnych-w-2020-r-,6,1.html> [dostęp: 01.12.2022].
- Rakowski J., 2000: Targowiska i bazary jako problem społeczny, *Handel Wewnętrzny*, 6, 23–27.
- Rozporządzenie ministra rolnictwa i rozwoju wsi z dnia 2 marca 2018 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków i trybu przyznawania oraz wypłaty pomocy finansowej na operacje typu „Inwestycje w targowiska lub obiekty budowlane przeznaczone na cele promocji lokalnych produktów” w ramach poddziałania „Wsparcie inwestycji w tworzenie, ulepszanie i rozwijanie podstawowych usług lokalnych dla ludności wiejskiej, w tym rekreacji, kultury i powiązanej infrastruktury” objętych Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020 (Dz.U.2018, poz. 468).

- Rozporządzenie ministra rolnictwa i rozwoju wsi z dnia 20 lipca 2016 r. w sprawie szczegółowych warunków i trybu przyznawania oraz wypłaty pomocy finansowej na operacje typu „Inwestycje w targowiska lub obiekty budowlane przeznaczone na cele promocji lokalnych produktów” w ramach poddziałania „Wsparcie inwestycji w tworzenie, ulepszenie i rozwijanie podstawowych usług lokalnych dla ludności wiejskiej, w tym rekreacji, kultury i powiązanej infrastruktury” objętych Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020 (Dz.U.2016, poz. 1230).
- Rozporządzenie ministra rolnictwa i rozwoju wsi z dnia 23 sierpnia 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków i trybu przyznawania oraz wypłaty pomocy finansowej na operacje typu „Inwestycje w targowiska lub obiekty budowlane przeznaczone na cele promocji lokalnych produktów” w ramach poddziałania „Wsparcie inwestycji w tworzenie, ulepszenie i rozwijanie podstawowych usług lokalnych dla ludności wiejskiej, w tym rekreacji, kultury i powiązanej infrastruktury” objętych Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020 (Dz.U.2019, poz. 1704).
- Rozporządzenie ministra zdrowia z dnia 20 marca 2020 roku w sprawie ogłoszenia na obszarze Rzeczypospolitej Polskiej stanu epidemii (Dz.U. 2020, poz. 491).
- Rutkowski K., Cichosz M., Pluta-Zaremba A., Zaremba M., 2005: Logistyka dystrybucji. Specyfika. Tendencje rozwojowe. Dobre praktyki, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa.
- Serafin R., Pilis D., 2020: Przykłady organizacji krótkich łańcuchów dostaw żywności, Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Krakowie, Kraków.
- Sieczko A., 2008: Tworzenie rynku produktów tradycyjnych i regionalnych, Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie, Problemy Rolnictwa Światowego, 4(19), 397–407.
- Sławińska M., 2013: Przedsiębiorstwo handlowe. Ekonomia – Zarządzanie – Procesy, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań.
- Sojkin B., Michalak Sz., 2018: Targowisko jako miejsce zakupów mieszkańców dużych miast w Polsce, Handel Wewnętrzny, 4(375), 327–339.
- Stolarska A., 2018: Non-agricultural self-employment as a factor of economic inclusion of the rural population, Ekonomia i Środowisko, 64, 181–190.
- Strzębicki D., 2020: Rozwój sprzedaży posiłków przez Internet, Zeszyty Naukowe. Turystyka i Rekreacja, 1, 59–71.
- Szumilak J., (red.) 2004: Handel detaliczny. Funkcjonowanie i kierunki rozwoju, Oficyna Ekonomiczna, Kraków.
- Szymańska E.J., Żuchowski I., Kruszyński M., 2021: Organizacja łańcuchów dostaw na wybranych rynkach produkcji roślinnej w Polsce, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Świetlik K., 2020: Handel targowiskowy w Polsce. Stan w latach 2008–2018 i perspektywy, Zagadnienia Ekonomiki Rolnej, 3(364), 101–124.
- Urząd Gminy Wiązowna, 2019: Targowisko Gminne “Mój Rynek”. Zapraszamy na uroczyste otwarcie, [źródło elektroniczne] <https://tuwiazowna.pl/targowisko-gminne-moj-rynek-zapraszamy-na-uroczyste-otwarcie/> [dostęp: 30.12.2022].
- Urząd m.st. Warszawy, 2019: Targowiska i samodzielne stoiska handlowe – korzystanie i opinie warszawiaków. Raport z badania, 2019, Warszawa, [źródło elektroniczne] <https://biznes.um.warszawa.pl/documents/12024633/23566256/Badanie+2019.pdf/baa59643-3ecf-1f59-c809-f0f3569794a3?t=1621594152068> [dostęp: 27.01.2023].
- Ustawa z dnia 26 lipca 1991 r. o podatku dochodowym od osób fizycznych (Dz.U. 2021, poz. 1128).
- Ustawa z dnia 29 października 2021 r. o ułatwieniach w prowadzeniu handlu w piątki i soboty przez rolników i ich domowników (Dz.U. 2021, poz. 2290).

- Ustawa z dnia 15 grudnia 2021 r. o zmianie niektórych ustaw w celu ułatwienia prowadzenia przez rolników rolniczego handlu detalicznego (Dz.U. 2022, poz. 138). Watson P., 2006: Ideas a history from fire to Freud, Phoenix Yard Books, London.
- wFirma, 2022: Targowiska online a wpływ na rozwój sklepów internetowych, Poradnik Przedsiębiorcy, [źródło elektroniczne: <https://poradnikprzedsiębiorcy.pl/-targowiska-online-a-wplyw-na-rozwoj-sklepow-internetowych>] [dostęp: 21.12.2022].
- Wieliczko B., 2018: System oceny wsparcia programów rozwoju obszarów wiejskich 2014–2020, Problemy Rolnictwa Światowego, 18(1), 309–318.
- Wojcieszak-Zbierska M., 2021: Krótkie łańcuchy dostaw szansą dla lokalnych przedsiębiorców rolnych, Turystyka i Rozwój Regionalny, 15, 139–149.
- Wojdacki K.P., 2016: Terytorialne zróżnicowanie rozwoju handlu targowiskowego w Polsce – analiza statystyczna, Problemy Zarządzania, 14, 1(57), 212–231.

Paweł Hoser¹, Luiza Ochnio²✉

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Wykorzystanie systemu wieloagentowego do optymalizacji planu zajęć na uczelni

University schedule optimisation with the use of a multi-agent system

Synopsis. Jednym z problemów natury logistycznej, z którym zmagają się planiści jest takie zoptymalizowanie planu zajęć akademickich, by spełniał on wszystkie wymagane kryteria i jednocześnie był satysfakcjonujący dla użytkowników. Wielu autorów przy projektowaniu narzędzia do wspomagania wykonania tego zadania próbuje wykorzystywać różnego rodzaju algorytmy i metody z różnym powodzeniem. W pracy zaproponowano własną aplikację, której automatyzacja może być oparta na systemie wieloagentowym, która jest dostosowana do szczególnych warunków pracy na Wydziale Zastosowań Informatyki i Matematyki SGGW. Aplikację tę można będzie rozszerzyć do pracy na całej uczelni, jak i nawet na innych uczelniach i szkołach. Pomysł automatycznego wspomaganie powstał w trakcie praktycznego korzystania z aplikacji podczas układania rzeczywistych planów zajęć. Wyniki obecnych eksperymentów wydają się obiecujące.

Słowa kluczowe: plan zajęć, metody heurystyczne, optymalizacja, systemy wieloagentowe

Abstract. One of the logistical problems faced by planners is optimising the schedule of academic classes to meet all the required criteria and, at the same time, be satisfactory for users. When designing a tool to support this task, many authors try to use various types of algorithms and methods with varying degrees of success. This study proposes its own application whose automation can be based on a multi-agent system, which is adapted to the specific working conditions at the Faculty of Applied Informatics and Mathematics of the Warsaw University of Life Sciences. This application will be able to be extended to work at the entire university, as well as at other universities and schools. The idea of automatic support arose during the practical use of the application while arranging real schedules. The results of the current experiments seem quite promising.

Key words: Scheduling, heuristic methods, optimisation, multi-Gantt systems

Kody JEL: O14, C88

¹Paweł Hoser – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie; Katedra Sztucznej Inteligencji; Instytut Informatyki Technicznej; e-mail: pawel_hoser@sggw.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0003-4409-8989>

²✉ Luiza Ochnio – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie; Katedra Logistyki; Instytut Ekonomii i Finansów; e-mail: luiza_ochnio@sggw.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0001-8875-7945>

Wstęp

Planowanie zajęć uniwersyteckich jest złożonym problemem i nie można go rozwiązać, stosując tylko kilka ogólnych zasad czy kryteriów. Jak zauważa wielu autorów, nie ma jednego idealnego narzędzia i sposobu ułożenia planu, a poziom trudności i poszukiwanie rozwiązań w oparciu o podobne algorytmy zbliżony jest do optymalizacji planowania linii kolejowych [Wagner 2003, Goosuerw 2004, Liebchen 2008, Corman and Meng 2014]. W poszukiwaniu najlepszej metody do zautomatyzowania procesu układania planu na uczelniach, wielu autorów proponuje użycie różnych technik, narzędzi i algorytmów. Chan i inni [2002] opisał zautomatyzowany system planowania programu nauczania oparty na metodologii wyszukiwania stochastycznego, czyli algorytmie koewolucyjnym. Wyniki wykazały, iż system ten jest korzystniejszy w porównaniu z systemem ręcznym, jednak nie do końca zadowalający. Skomplikowane relacje między okresami, przedmiotami i salami wykładowymi utrudniają uzyskanie wykonalnego rozwiązania. Dlatego znalezienie dobrze funkcjonującego narzędzia dla danej uczelni jest ciągle trudnym problemem. W swoim artykule Irene i inni [2009] przedstawili hybrydowy algorytm optymalizacji roju cząstek w celu rozwiązania problemu planowania zajęć na uniwersytecie. Proponowane podejście (optymalizacja hybrydowego roju cząstek z rozumowaniem opartym na ograniczeniach) wykorzystuje optymalizację roju cząstek do znalezienia położenia pomieszczenia i szczeliny czasowej za pomocą odpowiedniej funkcji celu, a do wyszukania najlepszej wartości preferencji pojemności sali na każde zajęcia w rozsądnym czasie obliczeniowym zostało wykorzystane rozwiązanie oparte na ograniczeniach. Ten pomysł rozwiązania także ma swoje wady i wymagał dalszego udoskonalenia. Wiele autorów proponuje podejście heurystyczne w tym algorytmy genetyczne w celu zmniejszenia ilości konfliktów i optymalizacji dopasowania z uwzględnieniem liczby studentów na poszczególnych zajęciach, czasu zajęć, wielkości sal, dostępności czasowej w poszczególnych zajęciach wykładowcy prowadzącego zajęcia [Deris i in. 1999, 2000, Mittal i in. 2015, Ahmad i in. 2018, Prosad i in. 2022]. Nie wszystkim jednak udaje się objąć algorytmem wszystkie kryteria, które należy potem dodawać ręcznie. W Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie także powstał pomysł zautomatyzowania planowania. Jako że, w tym przypadku jesteśmy zarówno planistami (czyli użytkownikami), jak i programistami potrafiliśmy stworzyć bardzo wygodne dla siebie narzędzie komputerowe do układania planów. Narzędzie to szczególnie nadaje się do układania planów na Wydziale Zastosowań Informatyki i Matematyki SGGW. Każda jednostka ma bowiem swoją specyficzną charakterystykę. Sposób układania planów na jednym wydziale różni się od układania planu na innym wydziale, a tym bardziej na innej uczelni. Nie mniej jednak, jesteśmy przekonani, że aplikację można skutecznie rozszerzyć tak, się dobrze nadawała się do układania planów na innych wydziałach naszej uczelni. Już od siedmiu lat, plany zajęć na wspomnianym wydziale są układane w tejże właśnie aplikacji, co spowodowało, że mamy już pewne doświadczenie. Jest więc dość naturalne, że następnym krokiem powinny być próby stworzenia komputerowej automatyzacji układania planu. Celem pracy jest zaproponowanie innego podejścia opartego na systemie wieloagentowym do zautomatyzowania i zoptymalizowania układania planu zajęć.

Metodyka badań

W celu automatyzacji i optymalizacji planu zajęć na uczelni wyższej autorzy zwrócili uwagę na możliwość wykorzystania swoistego rodzaju algorytmów w celu zaimplementowania własnej aplikacji. Aplikacja służąca do wygodnego i efektywnego układania planu zajęć musiałaby spełniać wiele warunków, ograniczeń i powinna posiadać wbudowane mechanizmy unikania kolizji. Podczas poszukiwania inteligentnych metod automatycznego układania planu, z uwag na złożoność problemu, zdecydowano się na zastosowanie systemów wieloagentowych jako metody heurystycznej [Weiss 1999]. Pomysł ten narodził się właśnie podczas układania rzeczywistych planów zajęć. Wykorzystywane w pracy systemy wieloagentowe jako złożone i rozproszone należą do zbioru metod sztucznej inteligencji. W rozpatrywanym przypadku każdy agent byłby względnie uproszczony, logiczny. W procesie optymalizacji zaimplementowano metaheurystykę symulowanego wyżarzania [Rutkowski 2006].

Ograniczenia i preferencje planu zajęć

Wszyscy studenci biorący udział w zajęciach są podzieleni zgodnie z drzewem roczników. Najmniejszą jednostką jest grupa laboratoryjna, a w przypadku fakultetów, to jest grupa fakultetowa. Dwie grupy laboratoryjne składają się na jedną grupę ćwiczeniową. Grupy laboratoryjne są składane parami w strukturze drzewa roczników i w ten sposób powstają grupy ćwiczeniowe. Jeśli liczba grup laboratoryjnych na roczniku jest nieparzysta, to siłą rzeczy, jedna grupa ćwiczeniowa musi się składać tylko z jednej grupy laboratoryjnej. Każdy rocznik jest podzielony na grupy laboratoryjne, a w przypadku starszych roczników, grupy mają jeszcze swoje specjalizacje. Najbardziej fundamentalne ograniczenia w planie, to kolizje sal, kolizje prowadzących i kolizje grup. Takie kolizje nie mogą występować w poprawnie ułożonym planie zajęć. W każdej sali mogą się odbywać tylko jedno zajęcia w tym samym czasie. Każdy prowadzący może prowadzić tylko jedno zajęcia w tym samym czasie. Każda grupa studencka może mieć tylko jedno zajęcia w tym samym czasie.

Dwa zajęcia $z_i = (g_i, pd_i, tzi, pr_i, s_i, t_i, d_i)$ i $z_j = (g_j, pd_j, tz_j, pr_j, s_j, t_j, d_j)$ pokrywają się czasowo, jeśli ich interwały czasowe mają część wspólną, czyli:

$$[t_i, t_i + d_i] \cap [t_j, t_j + d_j] \neq \emptyset \quad (1)$$

co jest tu równoznaczne ze stwierdzeniem, że: $(t_j < t_i + d_i) \wedge (t_j + d_j > t_i)$.

Wówczas, dla $pr_i = pr_j$ kolizja prowadzącego, dla $s_i = s_j$ kolizja sali, a dla $g_i = g_j$ grupy.

Przy czym, przedziały czasu są tu matematycznie traktowane jako przedziały otwarte, co tutaj wiąże się z tym, że może nie być żadnej przerwy między zajęciami. W przypadku nakładania się czasowego zajęć, może dochodzić do kolizji prowadzącego, sali lub grupy.

$$\begin{cases} (t_j, < t_i + d_i) \wedge (t_j + d_j > t_i) \wedge (pr_i = pr_j) \Rightarrow KP \\ (t_j, < t_i + d_i) \wedge (t_j + d_j > t_i) \wedge (s_i = s_j) \Rightarrow KS \\ (t_j, < t_i + d_i) \wedge (t_j + d_j > t_i) \wedge (g_i = g_j) \Rightarrow KG \end{cases} \quad (2)$$

Należy jeszcze zaznaczyć, że kolizje grup mogą dotyczyć kolizji różnych typów zajęć (wykład, ćwiczenia, laboratorium, seminarium, fakultet) i w takich kolizjach może brać udział większa liczba grup. Ważne jest, że każda grupa studentów nie może mieć dwóch różnych zajęć w tym samym czasie. Oczywiście fundamentalnym wymogiem jest także to, żeby wszystkie zajęcia zadeklarowane do ułożenia znalazły się w planie.

Dodatkowo plan zajęć musi spełniać wiele innych wymogów. Zajęcia laboratoryjne muszą się odbywać oddzielnie dla każdej grupy laboratoryjnej. Wyjątkiem jest sytuacja, w której liczba wszystkich studentów nie przekracza 20 osób. Zajęcia ćwiczeniowe muszą się odbywać oddzielnie dla każdej grupy ćwiczeniowej, czyli dla dwóch grup laboratoryjnych. Wyjątkiem jest sytuacja, w której łączna liczba studentów nie przekracza 40 osób. Wykłady dla przedmiotów podstawowych muszą się odbywać łącznie dla całego rocznika w tym samym czasie w odpowiednio dużej sali. Wykłady przedmiotów kierunkowych natomiast muszą odbywać się łącznie dla wszystkich specjalizacji, których dotyczy ten przedmiot. Terminy zajęć muszą być takie, żeby nie pokrywały się z ważnymi zajęciami osób prowadzących, takimi jak spotkania rady wydziału, spotkania komisji senatu, seminaria katedry lub instytutu, a także ustalone zajęcia na innych wydziałach naszej uczelni. Oprócz tego, wszystkie zajęcia mogą się tylko odbywać od godziny 8:00 do godziny 20:00, każdego dnia w tygodniu.

Kolizje, które są ograniczeniami ułożenia planu, możemy podzielić na dwie kategorie. Kolizje twarde, które są absolutnie wykluczone i kolizje miękkie, które ostatecznie mogą być chwilowo zaakceptowane, ale jest to bardzo niekorzystne. Kolizje twarde, to kolizje sal, prowadzących i grup, a kolizje miękkie, to kolizje z zajęciami innych wydziałów i kolizje z ważnymi spotkaniami osób prowadzących. Oprócz tego, bardzo ważną rzeczą są preferencje studentów i osób prowadzących, ponieważ bardzo się staramy, aby plan ten był jak najlepszy dla wszystkich. To głównie pod tym kątem wykonywana jest optymalizacja ułożenia planu.

Preferencje studentów głównie polegają na minimalizacji tak zwanych okienek czasowych. Zakłada się, że przerwy między zajęciami powinny trwać 15 minut, to jest sytuacja optymalna, wyjątkiem są sytuacje, kiedy studenci i prowadzący muszą przechodzić do innego budynku. Im dłuższa przerwa między zajęciami (w ciągu jednego dnia), tym gorzej. Drugą istotną sprawą jest liczba zajęć w ciągu dnia. Zakłada się, że optymalną sytuacją dla studentów jest od 6 do 8 godzin zajęć w ciągu jednego dnia. Akceptowalną sytuacją są też jeszcze 4 godzinny dziennie, ale nie mniej. Studenci nie powinni przyjeżdżać na tylko jedno zajęcia jednego dnia. Podobnie, 10 godzin zajęć jednego dnia jest jeszcze sytuacją dopuszczalną, ale więcej niż 10 już nie. W przypadku tzw. okienek dopuszczalna jest jedna dłuższa przerwa w środku dnia między zajęciami, jeżeli zajęć w danym dniu jest dużo, jest to planowana przerwa na obiad i odpoczynek. W przypadku osób prowadzących, podobnie zakłada się, że optymalne przerwy między zajęciami powinny być 15 minutowe i korzystna może być też dłuższa przerwa obiadowa. Jednak optymalna liczba godzin w ciągu dnia jest mniejsza dla prowadzącego niż dla studentów. Za to dopuszcza się dłuższe okienka dla osób prowadzących. Oprócz tego osoby prowadzące mogą zgłosić swoje preferencje, w naszym przypadku, polegają one na zgłoszeniu jednego dnia w tygodniu (lub dwóch dni, gdy zajęć jest mało) kiedy nie chcą prowadzić zajęć. Wszystkie te dane dotyczące preferencji są brane pod uwagę w procesie optymalizacji planu zajęć na studiach dziennych, na studiach zaocznych plan musi być dosto-

sowane do ilości zjazdów. Planiści przy układaniu planu ręcznie starają się jak najlepiej spełnić wszystkie oczekiwania studentów i prowadzących, z kolei w przypadku automatycznej optymalizacji planu, potrzebna jest ściśle zdefiniowana funkcja celu.

Algorytm optymalizacji planu zajęć

Zadaniem algorytmu optymalizacji planu zajęć jest wspomaganie pracy planisty. W proponowanej metodzie zakłada się, że algorytm wspomagający zaczyna działać w chwili, gdy plan zajęć jest już ułożony bezkolizyjnie. Zadaniem algorytmu jest poprawienie jakości planu względem tego, co ułożył już ręcznie planista. Algorytm optymalizacji jest oparty na idei systemu wieloagentowego. System wieloagentowy przetwarza dane w pewnym ustalonym środowisku i składa się z wielu agentów. Działanie całego systemu polega na działaniach wszystkich agentów [Huhns i Stephens 1999]. Najczęściej agenci są programami komputerowymi lub podprogramami większego programu i posiadają swój stan wewnętrzny definiowany przez ustalony układ parametrów. Działania agentów polegają, przede wszystkim, na zmienianiu środowiska, a także na zmianach swojego własnego stanu, jak i na wysyłaniu informacji do innych agentów [Papadimitriou i Płoski 2012]. Agenci podejmują swoje akcje na podstawie analizy wybranego obszaru środowiska, swojego stanu i informacji od innych agentów. Ogólnie zakłada się, że agenci powinni być jak najbardziej niezależni i autonomiczni [Rutkowski 2012]. Zakłada się też, że żaden poszczególny agent nie ma dostępu do całego systemu. System wieloagentowy powinien być maksymalnie zdecentralizowany i rozproszony [Flasiński 2011]. W przypadku systemu wspomaganie układania planu zajęć agenci są przeznaczeni do wykonywania zmian w planie i reprezentują wybrane grupy ludzi korzystających z planu. Są to agenci reprezentujący roczniki, grupy i osoby prowadzące, a także agent sali i agent główny. Każdy agent ma swoją własną funkcję celu, która reprezentuje interes osób z nim związanych. Cały system działa w sposób cykliczny podczas procesu optymalizacji, w trakcie procesu system wykonuje wiele cykli. Działania agentów polegają, przede wszystkim, na przenoszeniu zajęć w planie, co też wiąże się nieraz z wyborem innej sali i czasem też z wyborem innej osoby prowadzącej. Elementarne działanie agenta, polegające na przesunięciu jednego zajęcia, nazywamy jednym ruchem agenta. Działania agentów dzielimy na różne fazy w trakcie każdego cyklu – jest to faza gorąca, faza chłodzenia, faza zimna oraz porządkowanie sal i próby stosowania gotowych schematów. Cały proces optymalizacji odbywa się cyklicznie, aż do spełnienia warunku stopu.

Każda grupa laboratoryjna ma swojego agenta, który próbuje tylko optymalizować zajęcia laboratoryjne tej jednej grupy. Każdy rocznik ma też swojego agenta, ten agent próbuje optymalizować zajęcia całego rocznika, głównie zajmując się wykładami, które dotyczą wszystkich grup studenckich na jednym roczniku. Agent rocznika ma jeszcze za zadanie optymalizować wykłady przedmiotów kierunkowych, na które uczęszczają tylko studenci wybranych specjalizacji, a więc tylko niektóre grupy studentów. Dodatkowo jeszcze agent rocznika zajmuje się też zajęciami ćwiczeniowymi, gdzie grupy studenckie są łączone parami. Na Wydziale Zastosowań Informatyki i Matematyki SGGW zajęć ćwiczeniowych jest bardzo mało, głównie są one na pierwszym roku studiów. Zdecydowaną większością są zajęcia wykładowe i laboratoryjne. Agenci roczników podejmują jeszcze inne pewne specyficzne akcje pod koniec każdego cyklu. Agenci roczników próbują zastosować gotowe schematy i dotyczy to tylko związanych z nimi roczników. W przypadku rocznika mającego tylko jedną grupę laboratoryjną studenci są

reprezentowani tylko przez agenta grupy, bo w tej sytuacji agent rocznika jest już niepotrzebny. W przypadku, gdy przedmiot kierunkowy dotyczy tylko jednej grupy laboratoryjnej, wykładem zajmuje się agent grupy, a nie agent rocznika.

Lokalna i globalna funkcja celu

W całym procesie optymalizacji zakłada się, że szukamy takiego ułożenia planu, aby funkcja celu była jak największa, co odzwierciedla jak najlepsze zadowolenie wszystkich osób korzystających z planu zajęć. Argumentem funkcji celu jest jakieś ułożenie planu, a wartością funkcji celu jest liczba rzeczywista.

$$f: U \rightarrow R; y = F(x) \quad (3)$$

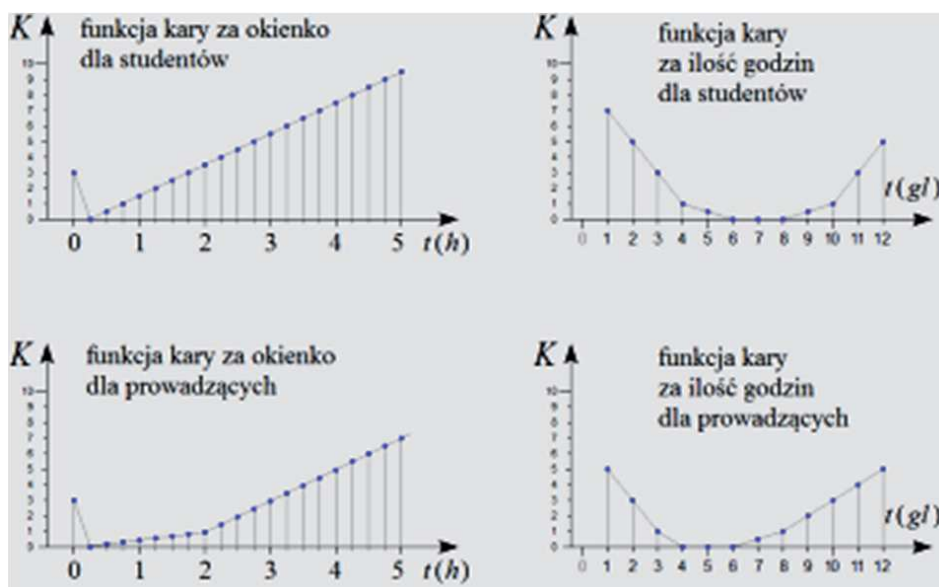
Gdzie U jest tutaj całą przestrzenią wszystkich bezkolizyjnych planów zajęć. W tej sytuacji, y jest liczbą rzeczywistą i jednocześnie wartością funkcji, a argument x jest jakimś konkretnym planem zajęć, czyli matematycznie wektorem parametrów wszystkich zajęć. Naszym zadaniem jest znalezienie takiego x , żeby wartość funkcji celu y była jak największa. W przypadku metod heurystycznych, z założenia, nie mamy żadnej gwarancji, że znajdziemy rzeczywiste maksimum w całej przestrzeni U , sukcesem jest znalezienie względnie dużego y .

W tym przypadku, wygodnie jest założyć, że wartość funkcji celu jest ujemną wartością funkcji kary f . Zatem optymalizacja polega na minimalizowaniu funkcji kary. Przyjmujemy, że plan idealny xI ma zerową wartość funkcji kary $f(xI) = 0$. Plan idealny to taki, gdzie nie występują żadne okienka ani dla studentów, ani dla prowadzących, liczba godzin zajęć dla studentów wynosi od 6 do 8 każdego dnia, a dla prowadzących od 4 do 6, oraz zajęcia są zgodne z preferencjami osób prowadzących, czyli prowadzący nie mają zajęć w niechciane dni. Oprócz tego w planie nie występują żadne kolizje (twarde i miękkie). Planów idealnych może być bardzo wiele. Każde odchylenie od tej sytuacji już idealne nie jest i wartość funkcji kary powinna być wtedy większa od zera. Im gorszy plan, tym wartość funkcji kary powinna być większa.

Warto tu jeszcze zaznaczyć, że taki plan idealny może być w ogóle nieosiągalny. Może być nawet tak, że żadnego planu bezkolizyjnego ułożyć się nie da. Wszystko zależy od danych wejściowych. Wystarczy bowiem, że przy dużej liczbie zajęć odpowiednio zmniejszymy liczbę sal lub liczbę prowadzących albo skrócimy całkowity czas i wtedy ułożenie planu będzie niewykonalne. Złożoność tego zagadnienia jest tak wielka, że możemy nawet nie wiedzieć o tym, czy ułożenie planu idealnego jest możliwe.

Celem jest, aby plan był jak najlepszy dla każdej grupy studentów i dla każdej osoby prowadzącej. Najwygodniej więc najpierw zdefiniować funkcje lokalne kary dla każdej grupy i dla każdego prowadzącego, a następnie je po prostu posumować. Początkowo trzeba ustalić, jak wartość funkcji kary ma zależeć od długości jednego okienka. Wartość funkcji kary dla grupy studentów będzie sumą kar za wszystkie okienka w ciągu tygodnia. Podobnie należy zrobić w przypadku wartości kary dla osoby prowadzącej. Jeszcze prościej jest w przypadku oceny liczby godzin w ciągu dnia. Trzeba ustalić wartości funkcji kary względem liczby godzin w jednym dniu. Wtedy wartość kary dla grupy lub dla prowadzącego jest sumą kar ze wszystkich dni tygodnia. Wartości funkcji kary są liczone w punktach. Wartości kar za okienka i liczby godzin zostały zdefiniowane funkcjami kawałkami

liniowymi. Rozważano użycie funkcji kwadratowych, ponieważ teoretycznie dla funkcji liniowych mogą powstawać rozwiązania bardzo niesprawiedliwe. Równie dobre jest jedno wielkie okienko dla jednej grupy i małe dla innych, jak rozwiązanie zrównoważone. Jednak właśnie równoległe działania agentów rozwiązują ten problem. W przypadku, gdy powstaje bardzo duże okienko dla jednej grupy, to agent tej grupy przerzuca część zajęć na inny dzień. Podobnie jest w przypadku agentów osób prowadzących. Na wykresach (rys. 1) przedstawiono zdefiniowane wartości funkcji kary.



Rysunek 1. Wykresy wartości funkcji kary dla okienek oraz ilości godzin na dzień (grupy i prowadzący)

Figure 1. Graphs of penalty function values for breaks and the number of hours per day (groups and lecturers)

Źródło: opracowanie własne.

Funkcje kary są trochę inne dla grup studenckich i dla osób prowadzących. Zakłada się, że osoba prowadząca powinna mieć optymalnie mniej zajęć dziennie niż student. Zakłada się też, że osoba prowadząca może bardziej tolerować okienka, które można traktować jako czas na konsultacje oraz przerwę na odpoczynek i obiad. W przypadku dodatkowych preferencji osób prowadzących trzeba zdefiniować funkcję kary dla zajęć zaplanowanych w dzień tygodnia niechciany przez prowadzącego. Ustalono, że za ułożenie takich zajęć naliczana jest kara 15 punktów – niezależnie już od ilości godzin.

Na koniec jeszcze należy uwzględnić problem zmiany sali dla osoby prowadzącej. Zakłada się, że prowadzący nie powinni zmieniać sali w ciągu dnia (zwłaszcza w krótkim czasie), jeśli nie zachodzi taka konieczność. Zmiana sali wiąże się oddawaniem i pobieraniem kluczy oraz przenoszeniem wszystkich potrzebnych rzeczy do prowadzenia zajęć przez prowadzącego. Tak więc, osoby prowadzące nie powinny zmieniać sali – tylko studenci. Odwrotnie było podczas pandemii, kiedy to zmiany sal przez studentów były traktowane jako niekorzystne i to było wtedy priorytetowe. Ustalono, że jeśli osoba prowadząca zmienia salę w ciągu krótkiej przerwy (do pół godziny) to naliczana jest kara jednego punktu do wartości kary osoby prowadzącej.

W ten sposób zostały zdefiniowane funkcje kary dla każdej grupy i dla każdego prowadzącego. Każda grupa jest związana z ustalonym podzbiorem zajęć i każdy prowadzący jest tak samo powiązany z ustalonym podzbiorem zajęć. Tak więc, zdefiniowane są wartości kary, dla i -tej grupy $K(G_i)$ oraz wartości kary dla j -tego prowadzącego $K(P_j)$. Są to wartości lokalnych funkcji kary.

Globalna funkcja kary jest sumą wartości kar dla wszystkich grup i prowadzących.

$$f(x) = \sum_{i=1}^{Ng} K(G_i) + \sum_{j=1}^{Np} K(P_j) \quad (4)$$

Globalna funkcja celu jest wartością ujemną funkcji kary $F(x) = -f(x)$.

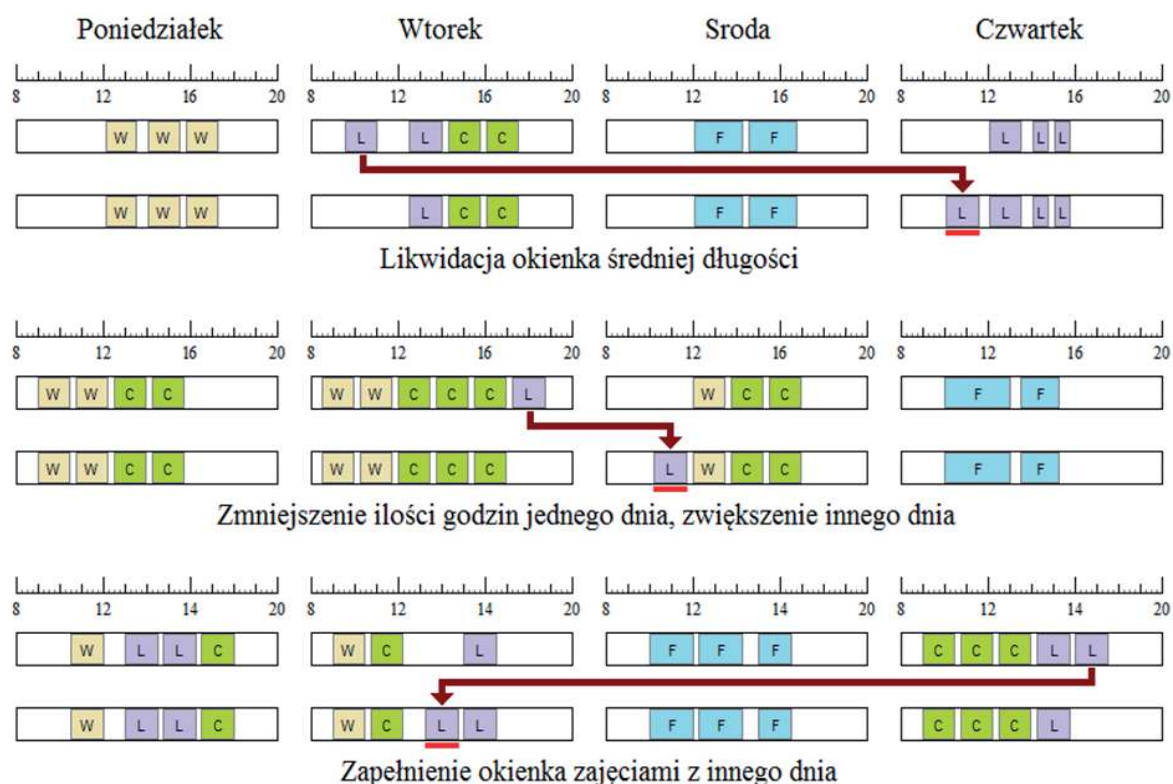
Działania agentów

Z założenia, system wieloagentowy powinien być systemem rozproszonym [Weiss 1999]. Jednak na razie program został napisany sekwencyjnie, więc działania agentów odbywają się po kolei. Harmonogram pojedynczych ruchów agentów musi być jakoś uporządkowany albo działania agentów są uruchamiane losowo. Istotne jest, że działanie systemu równoległego można symulować systemem sekwencyjnym, tylko działanie takie jest znacznie wolniejsze. Obecnie, działania agentów są uruchamiane po kolei w zadanym porządku. Jednak po każdym ruchu jednego agenta, następne posunięcie wykonuje już inny agent, co daje dobrą symulację równoległości. Jeśli w przyszłości program będzie zaprogramowany wielowątkowo, to będzie można naprawdę powiedzieć, że jest to system rozproszony i równoległy. Mimo to, ten system będzie wymagał pewnej koordynacji działań agentów i będzie to należeć do głównego wątku programu. Podczas każdego kroku, każdy agent wykonuje tylko jeden ruch i jest nim przesunięcie zajęć w planie. Tylko w przypadku stosowania gotowych schematów, działanie agenta rocznika będzie się składać z kilku przesunięć różnych zajęć. Podstawowe działania agentów grup, prowadzących i roczników są podzielone w całym cyklu na trzy fazy.

Podstawowe działanie agenta polega na przenoszeniu zajęć, czyli na zmianie dnia i godziny zajęć. Najpierw agent oblicza swoją funkcję kary dla zajęć dotyczących grupy osób, którą reprezentuje. Jeśli wartość kary jest mała, to agent nic nie robi w tym kroku, a więc jego ruch jest pusty. Jeżeli kara jest duża, to agent sprawdza przyczyny wysokiej wartości kary w obrębie swoich zajęć. To nie jest akurat bardzo trudne, wystarczy znaleźć większe okienka i dni, w których liczba godzin jest za mała lub za duża, a w przypadku agenta osoby prowadzącej, także należy znaleźć zajęcia, które są zaplanowane w dni lub pory dnia niechciane przez tego prowadzącego.

Po znalezieniu takiego miejsca w planie, agent próbuje naprawić ten problem poprzez przesunięcie jednego zajęcia na inny dzień lub na inną porę. Ogólnie robi to tak, żeby zlikwidować powód większej wartości funkcji kary. Tu jest wiele różnych możliwych przypadków, ale w każdym z nich łatwo napisać algorytm działania. Do tego typu działań, wystarczy nam nawet agent logiczny. Zakłada się, że po przesunięciu zajęcia, powinno ono być jak najlepiej dołączone do innych zajęć tej grupy, najlepiej z 15 minutową przerwą. Oczywiście, nie może to też powodować żadnej kolizji, czyli musi być dostępna sala

i prowadzący nie może mieć w tym czasie innych zajęć. Nieco inaczej jest w przypadku agenta prowadzącego, gdy zajęcie jest niezgodne z preferencjami, wtedy dla agenta prowadzącego, to ma priorytetowe znaczenie i też takiego ruchu nie wykona.



Rysunek 2. Przykłady działań agenta grupy w trzech różnych sytuacjach

Figure 2. Examples of group agent actions in three different situations

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku agenta osoby prowadzącej akcje dotyczą wszystkich roczników, ale za to tylko tych zajęć, które ten prowadzący prowadzi. Pokazane na rysunku 2 przypadki działania agentów to tylko wybrane przykłady. Ogólnie, takich przypadków jest więcej, głównie różnią się od siebie konfiguracjami ułożonych zajęć dla jednej grupy lub dla jednego prowadzącego. Na przykład, przekładane zajęcie obok okienka może być ostatnie w ciągu dnia, a nie pierwsze (jak w tym przypadku) i tak dalej. Analogicznie, agent całego rocznika przekłada zajęcia, które są wspólne dla wielu grup, czyli wykłady, ćwiczenia, seminaria i fakultety (najczęściej jednak, są to wykłady). Efekt działania zilustrowano na planie zajęć (rys. 3).

W przypadku pierwszych roczników studiów pierwszego stopnia takich zajęć jest sporo, bo dochodzą do tego jeszcze wszystkie zajęcia ćwiczeniowe. Jednak to, że agent ma więcej zajęć do przeniesienia nie jest wcale dużym problemem. Zakładamy, że każda zmiana robiona przez agenta jest tak samo ważna, więc wszystko jedno którego to dotyczy przedmiotu. Obecnie zakładamy, że każdy agent jest tak samo ważny w całym systemie.

Dodatkowo w procesie optymalizacji trzeba uwzględnić problem optymalizacji wykorzystania sal. Do porządkowania sal został zdefiniowany „agent sal” w systemie. Agent ten pod koniec każdego cyklu stara się uporządkować zajętość sal. Najpierw sprawdza



Rysunek 3. Przykład działania agenta rocznika – przeniesienie wykładu pozwoliło uniknąć okienek
 Figure 3. An example of agent actions of agent for the students year of study – moving the lecture avoid unnecessary breaks

Źródło: opracowanie własne.

występowanie niekorzystnych sytuacji, a potem próbuje je naprawić. Jeśli agent sal znajdzie sytuację, że prowadzący zmienia sale w krótkim czasie, to próbuje to naprawić poprzez zamianę sali z innym prowadzącym. W tym celu poszukuje innego prowadzącego, którego zajęcia można przenieść. Przy czym, zakłada się, że te inne zajęcia, które mają podlegać zamianie, muszą być jedynymi zajęciami tego drugiego prowadzącego w ciągu dnia. Oczywiście, warunkiem koniecznym jest ten sam typ obydwu sal, które mają być zamieniane. Inne przypadki nie są rozważane, bo generowało by to zbyt złożone problemy na tym etapie działania. Oprócz tego, staramy się również, żeby studenci nie musieli zmieniać sali w ciągu dnia bez żadnego powodu i to jest częściowo uwzględnione podczas każdego przenoszenia zajęć przez agenta grupy lub przez agenta rocznika.

Ostatnim działaniem agentów są próby zastosowania gotowych schematów. Wykonują to agenci roczników, już na samym końcu każdego cyklu po uporządkowaniu sal przez agenta sal. Gotowe schematy, to gotowe kawałki bardzo dobrze ułożonego planu zajęć, zwykle dotyczą zajęć jednego rocznika w jednym dniu tygodnia. Cechą takich gotowych schematów ma być zerowa wartość funkcji kary w tej części planu.

cztery grupy , cztery przedmioty
 cztery sale , czterech prowadzących



plan idealny, brak okienek
 Zerowa wartość kary

trzy grupy , pięć przedmiotów
 trzy sale , pięciu prowadzących



studenci nie mają okienek, mają po 10 godzin
 prowadzący mają po jednym okienku
 i mogą mieć zajęcia na innych rocznikach

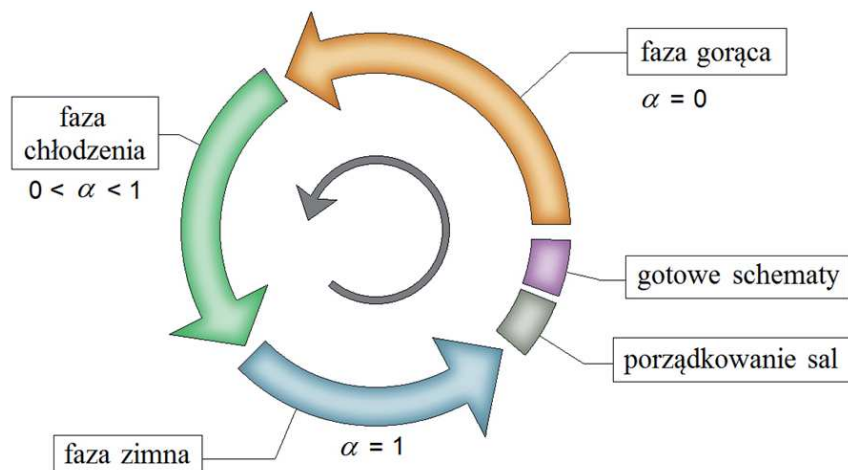
Rysunek 4. Dwa przykłady zastosowania gotowych schematów przez agenta rocznika
 Figure 4. Two examples of the use of ready-made schemes by the agent of the year of study

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 4 przedstawiono dwa przykłady takich gotowych schematów, w tym przypadku dotyczą one laboratoriów, które są planowane dla każdej grupy oddzielnie. Podobnych schematów jest znacznie więcej, dotyczą one także zajęć ćwiczeniowych, wykładów lub seminariów i fakultetów. Warunkiem zastosowania takiego schematu jest odpowiednia dostępność zasobów w planie, a więc wolnych sal, osób prowadzących i wspólnego czasu dla wszystkich grup studenckich biorącym w tym udział. Bardzo istotne jest to, że stosowanie gotowych schematów jest wykonywane w sposób elastyczny. Nie jest wymagane, aby dostępność zasobów była całkowita, jeżeli niektóre zajęcia nie mogą być ułożone w schemacie z powodu kolizji, to schemat może być niepełny. Dopuszcza się, że 10% zajęć może brakować w takiej konfiguracji, nawet kosztem okienek w planie. Stosując permutacje zajęć w schemacie, można często tak zrobić, aby brakujące zajęcia znalazły się na zewnątrz takiego bloku zajęć i tak można pozbyć się okienek. Schematów może być bardzo dużo, można je nawet odpowiednio generować albo zapamiętywać najlepiej ułożone części planu, takie dla których wartość kary jest zerowa. To nasuwa jeszcze inny kierunek rozwoju inteligentnego wspomaganie układania planu. System, podczas każdego procesu układania planu, może stale zapamiętywać najlepsze fragmenty planu zajęć, żeby potem je stosować podczas dalszego działania. Co więcej, po takich udanych próbach, system może też zapamiętywać sytuacje, w których to miało miejsce. Następnie, system będzie rozpoznawał takie i podobne sytuacje w planie i będzie stosował gotowe sprawdzone schematy. Tak więc, w tym obszarze działania można spróbować zaimplementować system uczący się, oparty na różnych metodach sztucznej inteligencji.

Różne fazy działania agentów w jednym cyklu

Wszyscy agenci działają cyklicznie w kilku fazach po kolei. Jest to koordynowane przez głównego agenta całego planu. W fazie gorącej agenci podejmują działania, w ogóle nie biorąc pod uwagę funkcji celu innych agentów, czyli są tylko nastawieni na własny cel. Oczywiście powoduje to, że działanie agenta zmniejsza wartość jego funkcji kary, ale za to może zwiększać wartość kary innego agenta. Na przykład, każde zajęcie grupy ma jednocześnie swojego prowadzącego, przesunięcie zajęcia na korzyść grupy może być niekorzystne dla prowadzącego. Może to, na przykład, polegać na zwiększeniu jego okienka, bardziej niekorzystnym rozkładem godzin w ciągu tygodnia lub ustawieniem zajęcia w niechcianym czasie, czyli niezgodnie z preferencjami. Tak więc, w fazie gorącej każdy agent działa skrajnie egoistycznie. Tym samym agenci mają dużą większą swobodę ruchu, co przekłada się na więcej wykonanych akcji. Odwrotnie jest w fazie zimnej. W fazie zimnej agenci wykonują działania tylko pod warunkiem, że nie zwiększą wartości kary innym agentom. Przy czym, dwa punkty kary są tu wartością dopuszczalną, więc faza zimna nie jest też naprawdę idealnie zimną. W tym okresie, możliwości zmian są bardzo ograniczone. Faza chłodzenia jest formą przejściową, z fazy gorącej do zimnej. W trakcie działania agentów w fazie chłodzenia, wartość kary innych agentów jest brana pod uwagę losowo. Wprowadzony jest parametr $\alpha \in [0,1]$ który decyduje o prawdopodobieństwie brania pod uwagę wartości kar innych agentów. Podczas fazy chłodzenia parametr sterujący α jest stopniowo zmieniany od wartości 0 do 1. W ten sposób przechodzimy płynnie od fazy gorącej do zimnej. Można więc stwierdzić, że po prostu, podczas fazy gorącej $\alpha = 0$, a podczas fazy zimnej $\alpha = 1$.



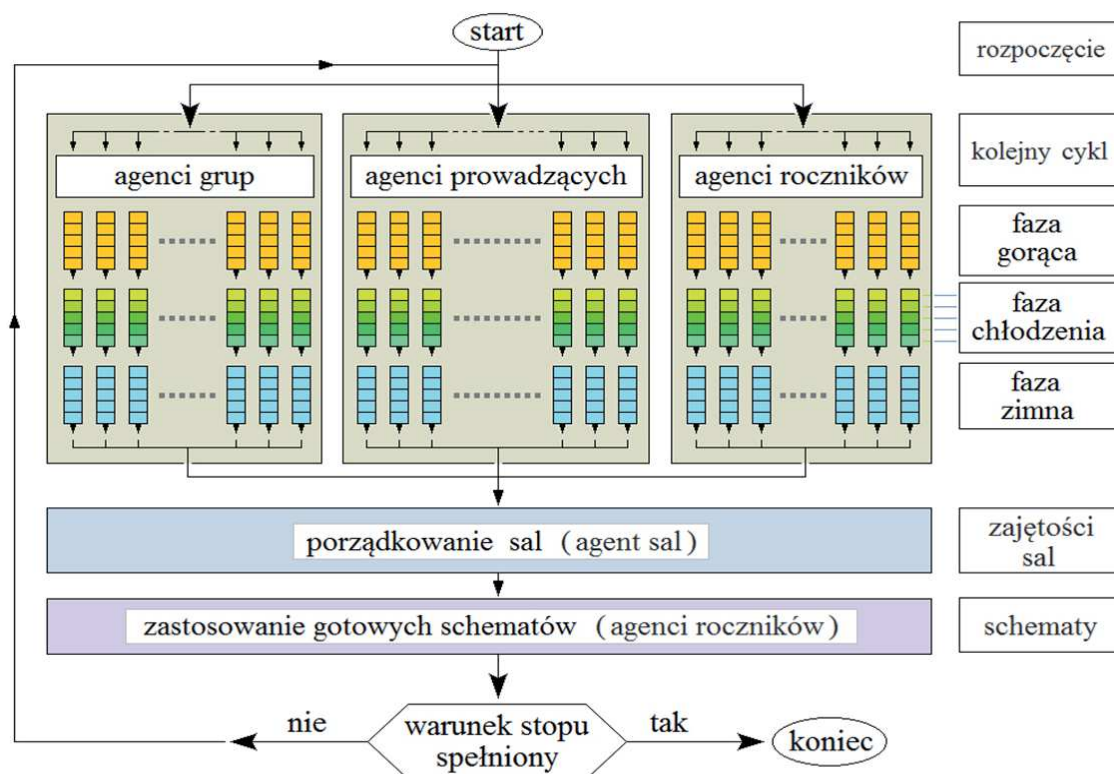
Rysunek 5. Cykl działania wszystkich agentów podczas każdego kroku procesu optymalizacji planu
Figure 5. The lifecycle of all agents activities during each step of the schedule optimization process
Źródło: opracowanie własne.

W ten właśnie sposób zaimplementowana jest metaheurystyka symulowanego wyżarzania, a cykl działania agentów podczas procesu optymalizacji przedstawiono na rysunku 5. Faza gorąca jest potrzebna do tego aby proces wyskakiwał z minimów lokalnych. A podczas fazy chłodzenia sytuacja się coraz bardziej stabilizuje.

Działanie całego procesu

W naszym konkretnym przypadku przyjęto, że na każdą fazę agent grupy, prowadzącego i rocznika, wykonuje pięć ruchów, co oznacza, że w całym cyklu agenci wykonują po 15 ruchów każdy. Ale wyjątkiem są tu agenci roczników, którzy jeszcze po każdym cyklu próbują zastosować jakiś gotowy schemat. Tak więc, agenci roczników wykonują po 16 ruchów na cykl. Do tego jeszcze, w każdym cyklu, agent sal próbuje lepiej uporządkować wykorzystanie sal. Agent centralny koordynuje działania pozostałych agentów. Działanie sekwencyjnego programu wirtualnie symuluje działanie systemu równoległego, dlatego po każdym ruchu agenta, następny ruch wykonuje już inny agent. W przyszłości program wielowątkowy pozwoli rzeczywiście zrównoleglić ten proces, przynajmniej w jakimś stopniu, zależnym od liczby dostępnych niezależnych jednostek obliczeniowych. Ruch agenta może być pusty, jeśli agent nie jest w stanie wykonać ruchu. Na naszym wydziale, obecnie jest 12 roczników, 34 grupy i 76 prowadzących, co po doliczeniu agenta sal i głównego agenta, daje liczbę 124 agentów. W tym przypadku, wszyscy agenci wykonują 1843 ruchy na każdy cykl. Przy czym działania agenta sal zostało tu uwzględnione jako tylko jeden ruch. W tej sytuacji, po wykonaniu stu cykli procesu wszyscy agenci wykonują 184 300 ruchów.

Warunek stopu składa się z trzech warunków, które są razem brane pod uwagę poprzez alternatywę warunków składowych. Pierwszy, to wykonanie pełnych stu cykli procesu optymalizacji, drugi, to brak poprawy wartości globalnej funkcji celu, a trzeci to prośba użytkownika programu o przerwanie procesu. Brak poprawy wartości funkcji celu oznacza dokładnie brak poprawy o 5 punktów podczas ostatnich 10 cykli procesu. Cały proces można przedstawić w postaci schematu blokowego (rys. 6).



Rysunek 6. Schemat blokowy całego procesu optymalizacji opartego na systemie wieloagentowym
 Figure 6. Flowchart of the entire optimization process based on a multi-agent system

Źródło: opracowanie własne

Należy tu jeszcze wyraźnie zaznaczyć, że agenci nie przekładają zajęć innych agentów, tylko własne. Nie mniej jednak, cały plan może dowolnie ewoluować, bo każde przeniesienie zajęć zwalnia jednocześnie salę i czas prowadzącego w tym miejscu planu i w efekcie inne zajęcia można ustalić w tym czasie. Mogą to być zajęcia zupełnie innego rocznika. W efekcie, po wielu zmianach, plan może już wyglądać zupełnie inaczej. Warto zwrócić uwagę na jeszcze inną ważną rzecz. Jeżeli agenci mogą przekładać tylko własne zajęcia, to tak naprawdę bezpośrednio rywalizują tylko agenci grup i roczników z agentami prowadzących. Każde zajęcie jest jednocześnie związane z grupą studentów i z pewnym prowadzącym. Jeżeli preferencje prowadzącego stoją w konflikcie z preferencjami studentów, to w fazie gorącej i w fazie chłodzenia może dochodzić do działań przeciwstawnych. Agenci grup i roczników rywalizują między sobą już tylko pośrednio. Przełożenie zajęć jednej grupy może uniemożliwić przełożenie zajęć innej grupy w to samo miejsce planu, z powodu możliwych kolizji sal i prowadzących. Na tej zasadzie mogą rywalizować ze sobą także agenci dwóch grup, dwóch roczników, a także dwóch prowadzących. Oczywiście najczęściej takich sytuacji jest w fazie gorącej każdego cyklu procesu. Rozważane jest także dodanie czwartej fazy, super gorącej, podczas której agenci będą mogli także przenosić zajęcia innych agentów oraz wykonywać zmiany losowe. Wbrew pozorom, takie rozwiązanie będzie znacznie bardziej złożone algorytmicznie. Przenoszenie losowe zajęć, w fazie super gorącej, mogło by względnie szybko doprowadzić do zupełnie nowych konfiguracji planu zajęć i tym samym bardzo silnie wybijać ułożenia planów z minimów lokalnych.

Podsumowanie i wnioski

Układanie planu zajęć na wyższej uczelni jest bardzo ważnym i trudnym zadaniem. Ogromne znaczenie mają więc próby tworzenia narzędzi do automatycznej optymalizacji planu, jednak ten problem jest niezwykle złożonym zagadnieniem. Obecnie opracowano i stworzono bardzo wygodne narzędzie do układania planu, głównie dedykowane do układania planów na wydziale zastosowań informatyki i matematyki SGGW. Na tę chwilę, plan jest jeszcze tworzony przez planistę, który jest użytkownikiem programu komputerowego. W dalszym ciągu prac planowana jest implementacja heurystycznych algorytmów do automatycznego wspomaganie układania planu, w tym także dla studiów zaocznych. System wspomagający jest już w trakcie tworzenia i przeprowadzono już pierwsze próby jego działania. Proponowany system jest głównie oparty na zastosowaniu systemu wieloagentowego. Wyniki działania są bardzo obiecujące. Jednak, na tę chwilę bardzo trudno jeszcze ściśle ocenić efekty działania, ponieważ wymierna ocena wydajności jest jeszcze nie zdefiniowana. Badane narzędzie ma wspomagać pracę planisty, tak więc, bardzo dużo zależy od tego, jak sprawny jest ten planista układający plany ręcznie. Jeśli planista jest początkujący i bardzo niewprawnie układa plany, to takie narzędzie automatycznego wspomaganie może istotnie poprawić plan przez niego ułożony, ale jeśli planista jest doświadczony i bardzo sprawnie układa plany, to może się nawet zdarzyć, że takie narzędzie popsuje efekty jego pracy. Do tego jeszcze dochodzi jeden ważny aspekt. Proponowane narzędzie jest głównie projektowane pod kątem tworzenia całkowicie nowych planów, jako narzędzie wspomagające proces układania. Jeśli plany zajęć są już od wielu lat ustabilizowane i wszyscy są do tych planów przyzwyczajeni, to bardzo trudno coś rzeczywiście poprawić. Taka sytuacja może mieć miejsce, gdy na przykład struktura zajęć jest bardzo niezmienna, stale są te same przedmioty, podobne liczby grup studenckich i specjalizacje, ci sami prowadzący. Wówczas stosowanie takich narzędzi może być tylko dość ryzykowne. Złożoność obliczeniowa tworzenia i poprawiania planu zajęć jest tak wielka, że naprawdę skuteczne działanie jest niezwykle trudne, więc trudno istotnie poprawić plan, który jest już uznawany za dobry. Drugą istotną rzeczą jest fakt, że działanie tego algorytmu jest silnie uzależnione od liczby stopni swobody podczas procesu układania w istniejącym planie zajęć. Jeśli liczba zajęć do ułożenia jest względnie duża względem dostępnych zasobów (czyli liczba sal, prowadzących i czasu do wykorzystania) to jest bardzo mała swoboda ruchu. W proponowanym algorytmie, każdy agent wykonuje w jednym kroku jeden ruch i ma jednocześnie to być ruch zawsze korzystny. Jednocześnie agent nie przesuwają zajęć innego agenta. Powoduje to, że przy małej swobodzie ruchu, bardzo często nie jest w stanie wykonać jakiegokolwiek ruchu. Stąd efektywność działania algorytmu zależy od stopni swobody. Tak więc, w pewnych warunkach algorytm może być bardzo przydatny, a w innych nie. Na przykład, gdy cały plan ma dużą złożoność, ale jednocześnie i dużo stopni swobody dzięki temu, że dostępne zasoby są odpowiednio duże, wówczas układanie planu będzie bardzo złożone dla planisty, a program komputerowy może z tym sobie całkiem dobrze poradzić. W przypadku dużych ograniczeń swobody ruchu, w wielu sytuacjach, pary agentów lub większe ich grupy powinny wspólnie razem ustalać swoje ruchy. Jednak, wbrew pozorom samo szukanie lepszego rozwiązania nie będzie tu największym problemem. Jeszcze trudniej-

szym zadaniem będzie rozpoznawanie takich sytuacji w planie, oraz ustalanie agentów, którzy powinni brać aktywny udział w tym procesie lokalnej optymalizacji części planu. Do poszukiwania lepszych lokalnych rozwiązań można, na przykład, użyć algorytmów ewolucyjnych [n]. Rozważane są także próby zastosowania algorytmów grawitacyjnych, algorytmu świetlika, inteligencji roju lub automatów komórkowych. To właśnie będzie przedmiotem dalszych badań w tym kierunku. Jeszcze innym kierunkiem rozwoju może być tworzenie systemu wieloagentowego, gdzie rozwiązywanie konfliktów będzie się odbywało na drodze negocjacji między agentami. Niezależnie od tego, autorzy są głęboko przekonani, że zastosowanie systemów wieloagentowych do automatycznego układania planu zajęć jest bardzo trafnym podejściem, ale swoją drogą, taki system powinien być również wzmocniony przez zastosowanie innych technik sztucznej inteligencji.

Bibliografia

- Ahmad I.R., Sufahani S., Ali M., Razali S.N., 2018: A heuristics approach for classroom scheduling using genetic algorithm technique, *Journal of Physics: Conference Series*, 995, 1, 012050.
- Chan C.K., Gooi H.B., Lim M.H., 2002: Co-evolutionary algorithm approach to a university timetable system, *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation, CEC'02 (Cat. No. 02TH8600)*, 2, 195–199.
- Corman F., Meng L., 2014: A review of online dynamic models and algorithms for railway traffic management, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(3), 1274–1284.
- Deris S., Omatu S., Ohta H., Saad P., 1999: Incorporating constraint propagation in genetic algorithm for university timetable planning. *Engineering applications of artificial intelligence*, 12(3), 241–253.
- Deris S., Omatu S., Ohta H., 2000: Timetable planning using the constraint-based reasoning, *Computers & Operations Research*, 27(9), 819–840.
- Flasiński M., 2011: *Wstęp do sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo PWN, Warszawa.
- Goosuerw J.W.H.M., 2004: *Models and algorithms for railway line planning problems*, Universiteit Maastricht, Maastricht.
- Huhns M.N., Stephens L.M., 1999: Multiagent systems and societies of agents. *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*, 1, 79–114.
- Irene H.S.F., Deris S., Hashim S.Z.M., 2009: University course timetable planning using hybrid particle swarm optimization. *Proceedings of the first ACM/SIGEVO Summit on Genetic and Evolutionary Computation*, 239–246.
- Liebchen C., 2008: The first optimized railway timetable in practice, *Transportation Science*, 42(4), 420–435.
- Mittal D., Doshi H., Sunasra M., Nagpure R., 2015: Automatic timetable generation using genetic algorithm, *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 4(2), 245–248.
- Papadimitriou C.H., Płoski Z., 2012: *Złożoność obliczeniowa*, Helion, Gliwice.
- Prosad R., Khan M.A.R., Ahammad I., 2022: Design of Class Routine and Exam Hall Invigilation System based on Genetic Algorithm and Greedy Approach, *Asian Journal of Research in Computer Science*, 13(3), 28–44.

- Rutkowski L., 2006: *Metody i techniki sztucznej inteligencji: inteligencja obliczeniowa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Wagner D., 2003: *Algorithms and models for railway optimization*, Workshop on Algorithms and Data Structures, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Weiss G. (red.), 1999: *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*, MIT press, Cambridge, Massachusetts.

Elżbieta Karaś[✉], Przemysław Misiurski¹,
Katarzyna Łukaniszyn-Domaszewska², Joanna Rut³, Julia Giera⁴
Politechnika Opolska

Rozwiązania w zakresie transportu drogowego w przestrzeni miejskiej w kontekście rewolucji przemysłowej 4.0

Road transport solutions in urban space in the context of the industrial revolution 4.0

Synopsis. Obecna gospodarka rozwija się i zmienia w bardzo szybkim tempie. Przechodzi zmiany, które w dużym stopniu są wynikiem szybkiego rozwoju technologii cyfrowych. Globalizacja i rozwój technologii przyczyniają się do rozwoju innowacyjności, a także konkurencyjności, które rozrastają się na szeroką skalę. Transport w dzisiejszych czasach ma bardzo duże znaczenie dla rozwoju gospodarki. Przemysł 4.0 to pojęcie „zbiornicze”, które obejmuje zaawansowane systemy automatyki, wymianę danych i technologie systemów produkcyjnych. Koncepcja Przemysłu 4.0 nie odnosi się jedynie do jednej technologii i jednorazowego rozwoju, ale do grupy technologii, które wpływają na ciąg rozwoju przedsiębiorstw i ich dynamikę. Obecnie kształtuje się wiele segmentów, które ulepszane są za pomocą nowoczesnych systemów i nowych technologii. Transport nie jest tutaj żadnym wyjątkiem ponieważ podlega ciągłym zmianom, a postępująca cyfryzacja staje się nieodłącznym elementem w transporcie. Nowoczesne technologie Przemysłu 4.0 w transporcie, umożliwiają usprawnienie wiele aspektów, tj. organizacja pracy, oszczędność czasu oraz obniżenie kosztów. Usprawniania procesów w transporcie sprowadza się do ich unowocześniania i polepszenia. Każda zastosowana technologia jest dużym wsparciem dla transportu. Celem opracowania jest określenie rozwiązań w zakresie transportu drogowego, uwzględniając przestrzeń miejską i wykorzystując nowoczesne technologie Przemysłu 4.0.

Słowa kluczowe: transport drogowy, przedsiębiorstwo, koncepcje, zarządzanie, przestrzeń miejska, Przemysł 4.0, telematyka, Smart City, ITS

¹✉ Elżbieta Karaś – Politechnika Opolska; Wydział Ekonomii i Zarządzania; e-mail: p.misiurski@po.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0002-7052-8535>

² Katarzyna Łukaniszyn-Domaszewska – Politechnika Opolska; Wydział Ekonomii i Zarządzania; e-mail: k.lukaniszyn-domaszewska@po.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0002-2165-5095>

³ Joanna Rut – Politechnika Opolska; Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki; e-mail: j.rut@po.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0001-9014-8874>

⁴ Julia Giera – Politechnika Opolska; Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki; e-mail: j.giera@po.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0002-7297-458X>

Abstract. The current economy is developing and changing at a very fast pace. It is undergoing changes, which are largely the result of the rapid development of digital technologies. Globalisation and the development of technology contribute to the development of innovation and competitiveness, which are growing on a large scale. Nowadays, transport is very important for the development of the economy. Industry 4.0 is an umbrella term that includes advanced automation systems, data exchange and production systems technologies. The concept of Industry 4.0 does not refer only to one technology and one-off development, but to a group of technologies that affect the development of enterprises and their dynamics. Currently, many segments are being developed, which are being improved with modern systems and new technologies. Transport is no exception here because it is subject to constant changes, and progressive digitisation is becoming an inseparable element in transport. Modern Industry 4.0 technologies in transport enable the improvement of many aspects (i.e. work organisation, time-saving and cost reduction). Streamlining processes in transport comes down to their modernisation and improvement. Each technology used is a great support for transport. The aim of the study is to define solutions in the field of road transport, taking into account urban space and using modern Industry 4.0 technologies.

Key words: road transport, enterprise, concepts, management, urban space, Industry 4.0, telematics, Smart City, ITS,

Kody JEL: L91, O18, R49

Wstęp

W koniunkturze rozwoju gospodarczego świata nastąpiła kolejna rewolucja w zakresie implementowania radykalnych zmian technologicznych, określana w literaturze przedmiotu jako koncepcja Przemysłu 4.0. W historii przemysł ewoluował bardzo dynamicznie, a jego rozwój przeszedł wiele gruntownych zmian. Wszystkie zmiany odnosiły się do fundamentalnych, przełomowych rozwiązań w historii gospodarczej świata [Prisecaru 2016]. Obecna fala tych zmian oznacza głównie integrację inteligentnych maszyn i systemów sterowanych cyfrowo. Rewolucja przemysłowa 4.0 odnosi się do organizacji inteligentnych sieci maszyn, systemów automatycznych i procesów, zasobów wiedzy, kapitału ludzkiego, które są wykorzystywane w taki sposób, aby systemy gospodarcze i organizacyjne były wydajniejsze i dostosowane do nowych rozwiązań technologicznych i komunikacyjnych, do postępującej cyfryzacji [Min Xu i in. 2018, Müller i in. 2018]. W literaturze przedmiotu najczęściej są wymieniane takie rozwiązania jak:

- Big Data; chmura obliczeniowa,
- Internet Rzeczy (IoT),
- integracja systemów i tworzenie sieci,
- roboty autonomiczne i nowe standardy wytwarzania,
- rzeczywistość rozszerzona,
- wytwarzanie addytywne i pełna konfiguracja zadań,
- symulacje i inteligentne komponenty wyposażone w systemy przetwarzania danych.

Te zmiany zachodzą w sposób bardzo dynamiczny, oznaczają unifikację świata rzeczywistego ze światem wirtualnym i wpływają na pojawienie się inteligentnych technologii związanych z mobilnością w całej przestrzeni społeczno-gospodarczej [Oreg i in. 2018, Wee i in. 2018]. Badacze twierdzą, że rewolucja 4.0 ukształtuje przyszłość całego świata nie tylko w obszarze przemysłowym, ale i w obszarze społecznym, w tym również w zakresie rozwoju infrastruktury miejskiej poprzez wykorzystanie współczesnych technologii informacyjnych i komunikacji cyfrowej [Prisecaru 2016]. Co więcej, ludzie w przestrzeni miejskiej będą w coraz większym stopniu korzystać z tych rozwiązań w sposób realny i wirtualny. Powszechne staną się dla nich nowe systemy oparte na sztucznej inteligencji oraz zaawansowanej technologii w wielu aspektach życia społecznego i gospodarczego. Pod pojęciem technologii informacyjnych i komunikacyjnych (ICT, ang. Information And Communication Technologies, nazywanych zamiennie technologiami informacyjno-telekomunikacyjnymi, teleinformatycznymi lub technikami informacyjnymi) kryje się zespół technologii przetwarzających, gromadzących i przesyłających informacje w formie elektronicznej. Węższym pojęciem są natomiast technologie informatyczne (IT), które odnoszą się do technologii związanych z komputerami i oprogramowaniem, niezwiązanych jednak z technologiami komunikacyjnymi i dotyczącymi sieci. Rozwój tych technologii sprawia, że oba pojęcia stają się coraz bardziej spójne, będąc przy tym motorem rozwoju cywilizacyjnego, społecznego i gospodarczego.

Metodyka badań

Celem opracowania było określenie rozwiązań w zakresie transportu drogowego, przy uwzględnieniu przestrzeni miejskiej i innowacji wynikających z technologii Przemysłu 4.0. W kontekście rewolucji przemysłowej 4.0 obecnie wyznaczone są w przestrzeni miejskiej nowe standardy rozwiązań odnoszące się do technologii informacyjnych i komunikacyjnych, przetwarzających, gromadzących i przesyłających informacje w formie elektronicznej. Na potrzeby analizy ogólnych koncepcji autorzy wykorzystali metodę desk research opartą na przeglądzie informacji publicznie dostępnych. Stwierdzono, że badania będą opierać się głównie na analizie dostępnych opracowań i materiałów umożliwiających przegląd i uporządkowanie informacji o nowoczesnych Inteligentnych Systemach Transportowych (IST). Autorzy przestudowali krajowe i zagraniczne publikacje naukowe, magazyny branżowe dotyczące gospodarek transportowych oraz materiały opublikowane na stronach internetowych, które dotyczyły praktycznego wykorzystania takich systemów. Rezultatem niniejszego opracowania było zilustrowanie założeń wynikających z cyfryzacji i koncepcji budowania smart city na podstawie udokumentowanej literatury (analiza źródeł wtórnych), a nie na aktualnych warunkach (badania pierwotne). Dlatego w niniejszym opracowaniu wskazano aktualne trendy występujące w IST i przyjęto pewne założenia metodologiczne. Przed wszystkim zdecydowano, że w drugim etapie analiza będzie oparta na przeglądzie i badaniu typu case study rozumianym jako pewien układ zdarzeń i wniosków odzwierciedlonych w dostępnych informacjach. Wynikiem tego etapu było zebranie informacji

w zakresie stosowanych zintegrowanych rozwiązań w polskich miastach: Warszawie, Krakowie, Wrocławiu i Tychach. Na podstawie tak zebranych danych, określono wytyczne stosowania IST w polskiej przestrzeni miejskiej i gospodarce transportowej.

Smart city – system innowacji w erze Przemysłu 4.0

Pojęcie smart city czyli inteligentnego miasta pojawiło się na początku XXI wieku i dotyczy rozwoju społecznego miast i lokalnej gospodarki. To idea nastawiona jest na to, by ośrodki miejskie były zarządzane w sposób ekologiczny, nowoczesny, oszczędny i efektywny [Wach-Kloskowskai in. 2018], by tworzyły się nowe społeczności, które korzystają z rewolucji przemysłowej 4.0. Narzędzia tej rewolucji będą implikować szanse dla rozwoju miast w kierunku globalnej cyfryzacji i wirtualizacji [Min Xu i in. 2018], są to:

- aktywniejsza rola sztucznej inteligencji (AI),
- integracja techniki i nauki (fuzja),
- poprawa jakości życia (robotyka),
- integracja życia społeczno-socjalnego w wirtualnej przestrzeni Internetu.

W rezultacie nowe rozwiązania będą wpływać na znaczne podniesienie funkcjonalności i modernizacji miast. Idea inteligentnego miasta będzie miała na celu przede wszystkim poprawę działań w ośmiu kategoriach, są to: obywatele, urząd, energia, budynki, transport, infrastruktura, łączność oraz zdrowie. Przesłanki, które staną się kluczowymi czynnikami dla przyszłej urbanizacji miast – będą dotyczyć takich elementów jak [Giffinger i in. 2007, Wach-Kloskowska i in. 2018]:

- inteligentna gospodarka (smart economy) – konkurencyjność, tj. gospodarka wysoce wydajna i zaawansowana technologicznie, rozwijająca nowe produkty i usługi oraz nowe modele biznesowe, sprzyjająca nawiązywaniu lokalnych i globalnych powiązań oraz międzynarodowej wymianie dóbr, usług i wiedzy [Czupich i in. 2016];
- inteligentna mobilność (smart mobility) – transport i ICT, czyli inteligentne sieci transportowe; zintegrowane systemy transportowe i logistyczne wykorzystujące głównie czystą energię;
- inteligentne środowisko (smart environment) zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych, czyli dążenie do zwiększenia stopnia wykorzystania odnawialnych źródeł energii; steruje się sieciami elektroenergetycznymi, wodociągowymi, oświetleniem ulic, dokonuje się bieżącego pomiaru, kontroli i monitoringu zanieczyszczeń, dokonuje się renowacji budynków w celu zmniejszenia ich energochłonności [Czupich i in. 2016];
- inteligentni ludzie (smart people) – wysokiej jakości kapitał społeczny i ludzki;
- inteligentne warunki życia (smart living) – wysoka jakość życia, która oznacza bezpieczne i zdrowe życie w mieście mającym bogatą ofertę kulturalną i mieszkaniową, zapewniająca szeroki dostęp do infrastruktury ICT umożliwiającej kreowanie stylu życia, zachowania i konsumpcji;
- inteligentne sprawowanie władzy (smart governance) – takie, w którym istotną rolę odgrywa partycypacja społeczna w podejmowaniu decyzji, transparentność działania, jakość i dostępność usług publicznych.

Miasto może być zatem definiowane jako smart, gdy dysponuje kapitałem ludzkim i społecznym, tradycyjną oraz nowoczesną infrastrukturą komunikacyjną. Jego rozwój jest zgodny z teorią zrównoważonego rozwoju, spełnia wymagania w dziedzinie racjonalnego zarządzania energią, wykorzystywania odnawialnych źródeł energii, wprowadza inteligentne rozwiązania w zakresie zagospodarowania przestrzeni miejskiej, a stosowany system sprawowania władzy zapewnią lepszą jakość życia. W Polsce koncepcja smart city dopiero jest w fazie początkowej, a jej wdrażane elementy są ukierunkowane na ekologiczne wykorzystywanie i pozyskiwanie zasobów energii odnawialnej oraz w zakresie transportu miejskiego. W tych obszarach dostrzegalne są zamiany inwestycyjne, które służą ogólnemu rozwojowi miast i podnoszeniu jakości życia mieszkańców. Ogromne znaczenie ma przy tym redukcja emisji spalin, zapewnienie alternatywnych źródeł napędu oraz inteligentne budowanie infrastruktury drogowej i telekomunikacyjnej z wykorzystaniem ITC. Przewiduje się, że w dalszej perspektywie funkcjonowanie takich miast nie będzie przebiegać bez zakłóceń, problemem może być brak kontroli nad technologią oraz jej wielokierunkową ekspansją, zdominowanie rozwiązań urbanistycznych czy transportowych przez sztuczną inteligencję [Rudewicz 2019, Wach-Kloskowska i in. 2018].

Przykładem takich rozwiązań stosowanych w polskich miastach są IST oraz coraz bardziej rozpowszechniona telematyka transportu.

Inteligentne Systemy Transportowe (ITS)

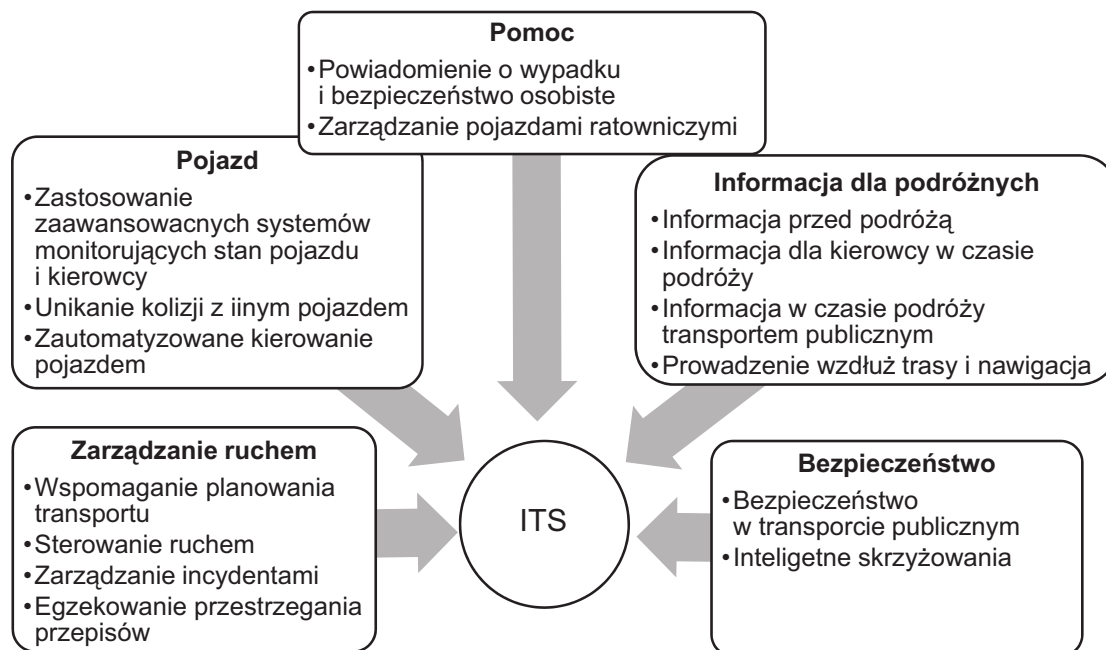
Inteligentne Systemy Transportowe można interpretować jako zbiór różnorodnych narzędzi opierających się na telekomunikacji ITC i elektronice pojazdowej oraz systemie bieżącego monitorowania i przekazywania informacji o przepływie transportowym w przestrzeni miejskiej, umożliwiających optymalne wykorzystanie dróg i podnoszące bezpieczeństwo i efektywność transportu drogowego. W takich systemach funkcjonowanie transportu jest wspierane inteligentnymi zintegrowanymi rozwiązaniami pomiarowymi (czujniki, sensory), telekomunikacyjnymi, informatycznymi, a także automatycznego sterowania.

Pojęcie Inteligentne Systemy Transportowe użyto po raz pierwszy i powszechnie zaakceptowano na I Światowym Kongresie w Paryżu, w 1994 roku [Barwiński i Kotas 2015]. Zgodnie z tą definicją Inteligentne Systemy Transportowe to: „zaawansowane aplikacje, które – choć same w sobie są tylko nośnikami informacji – mają na celu świadczenie innowacyjnych usług związanych z różnymi rodzajami transportu i zarządzaniem ruchem oraz pozwalają na lepsze informowanie różnych użytkowników oraz zapewniają bezpieczniejsze, bardziej skoordynowane i <inteligentniejsze> korzystanie z sieci transportowych” [Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, 2010]. Obszary zastosowań ITS przedstawiono na rysunku 1.

W ramach ITS łączą się: telekomunikacja, elektronika oraz technologie informatyczne z inżynierią transportu, mając na sprawne planowanie, projektowanie, obsługę, utrzymywanie i zarządzanie systemami transportowymi. Cele, jakim służyć mają ITS poprzez zastosowanie zaawansowanych technologii informatycznych i komunikacyjnych w transporcie drogowym i interfejsów z innymi rodzajami transportu, mają znacząco przyczynić się do [Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej 2010]:

- poprawy oddziaływania transportu na środowisko,

- poprawy efektywności energetycznej transportu,
- zwiększenia bezpieczeństwa i ochrony transportu,
- zwiększenia poziomu bezpieczeństwa publicznego,
- poprawy mobilności pasażerów i towarów przy jednoczesnym,
- zapewnieniu funkcjonowania rynku wewnętrznego.



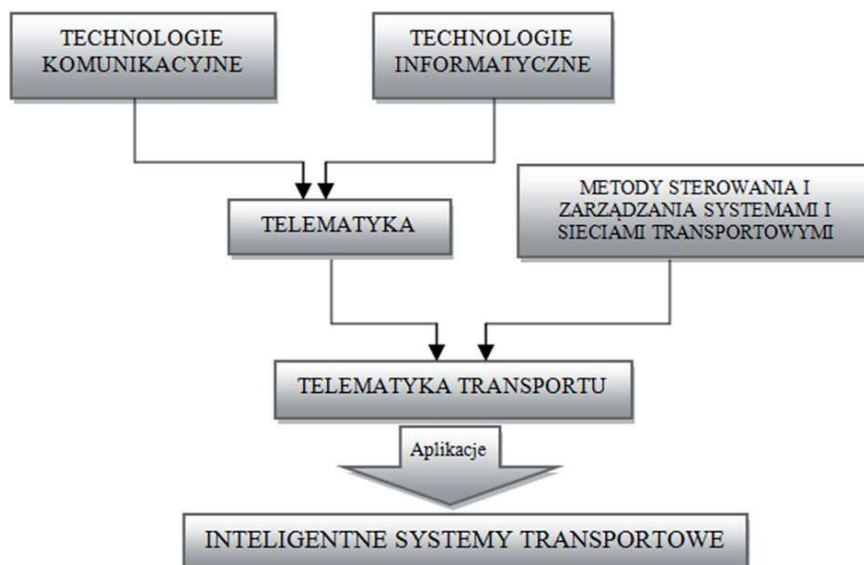
Rysunek 1. Obszary zastosowań ITS

Figure 1. ITS application areas

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Proper i Allen, 2000, Wałek 2016].

„Systemy te mogą usprawniać ruch drogowy, dozować wjazd i wyjazd pojazdów do centrum miasta. System może również wpływać na zmniejszenie maksymalnych prędkości pojazdów i redukować liczbę niezbędnych zatrzymań, w szczególności na odcinkach dróg, na których często dochodzi do incydentów drogowych. Do najważniejszych efektów zastosowania ITS należą: ogólna poprawa efektywności funkcjonowania systemu transportowego (w szczególności skrócenie czasu przejazdu, redukcja liczby zatrzymań i incydentów drogowych), zwiększenie poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz redukcja emisji szkodliwych składników spalin, pyłów i hałasu” [Kamiński 2020]. Rozwiązania tego typu są zintegrowane z fizycznymi systemami transportowymi nazywane telematyką transportu. Elementy składowe ITS przedstawiono na rysunku 2.

Pierwszym miastem, które zdecydowało o wdrożeniu systemu ITS była Warszawa. Od 2003 roku system zarządza tunelem pod Wisłostradą, w kolejnych latach miasto zdecydowało o dołączeniu do systemu ITS zaprojektowanego przez firmę Siemens kolejnych elementów związanych między innymi z budową Zintegrowanego Systemu Zarządzania Ruchem. Pierwszym miastem, które zdecydowało się od początku zintegrować transport prywatny, jak również transport miejski, był Kraków przy uwzględnieniu priorytetu ruchu tramwajowego. Obecnie największy projekt dotyczy miasta Tychy. W ramach jego realizacji mają zostać wdrożone rozwiązania takie jak priorytet dla autobusów



Rysunek 2. Elementy Inteligentnych Systemów Transportowych

Figure 2. Elements of Intelligent Transportation Systems

Źródło: [Barwiński i Kotas 2015].

i trolejbusów, zielone światło, gdy na ulicach nie ma ruchu, czytelne informacje dla kierowców i pasażerów, ważenie ciężarówek czy pomiar prędkości aut. Ruch autobusów i trolejbusów będzie na bieżąco śledzony na e-mapach, by w przypadku opóźnienia system mógł zareagować jak najszybciej i wprowadzić priorytet przejazdu dla tych pojazdów na wybranych skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną. Najważniejszym elementem całego systemu ma być Centrum Sterowania Ruchem (CSR). Pozwoli ono chociażby na zbieranie oraz sprawne udostępnianie informacji instytucjom takim jak pogotowie, straż pożarna, policja czy straż miejska [Simens 2019a, b, Copco 2001].

Inteligentne Systemy Transportowe są kompleksem różnych, programów projektów, którymi trzeba na bieżąco zarządzać, aby stworzyć rozwiązania pozwalające nazwać miasto przyjaznym dla transportu. Miasto, które dzięki technologii ogranicza koszty, a nawet zarabia poprzez wprowadzenie stref płatnych, redukcję kosztów, napraw sieci komunikacyjnych, komunikacji miejskiej oraz wzrost jej zainteresowania dzięki skróceniu czasów przejazdów. Do założeń ITS należą: :

- zoptymalizowane funkcje zarządzania miastem; miejscami parkingowymi, ruchem drogowym, komunikacją zbiorową, reagowaniem na nieoczekiwane zdarzenia,
- bieżące analizowanie danych dotyczących natężenia ruchy drogowego, emisji hałasu oraz substancji szkodliwych,
- automatyka pomiarów prędkości, kontrolowania masy pojazdów, egzekwowania przestrzegania prawa,
- zbierania, gromadzenia oraz analizy danych pozwalając odpowiednio wcześniej i skutecznie reagować,
- udostępnianie informacji podróżnym.

Korzyści płynące z zastosowania systemów ITS coraz częściej zachęcają polskie miasta do podjęcia realizacji inwestycji, których głównym założeniem jest poprawa płynności poruszania się po miastach. Coraz powszechniej wdrażane systemy zarządzania

transportem zbiorowym wykorzystują wiele elementów ITS, które umożliwiają instytucjom zarządzającym przewozami pasażerskimi w miastach przede wszystkim poprawę bezpieczeństwa i efektywności działania. Poprawa warunków bezpieczeństwa pojazdów i pasażerów przejawia się między innymi w monitorowaniu wnętrza. Systemy ITS wspomagają również kwestie utrzymania pojazdu (m.in. poprzez automatyczną diagnostykę uszkodzeń). W ramach ITS wykorzystuje się też systemy automatycznej lokalizacji pojazdu (AVL⁵) oraz komputerowo wspomagane wysyłanie pojazdów na trasę (CAD⁶), które poprawiają punktualność pojazdów oraz pozwalają na automatyczne korygowanie rozkładów jazdy. Automatyczne pobieranie opłat (m.in. biletomaty) oraz systemy informowania pasażerów (aplikacje, urządzenia planujące podróż, informacje na przystankach, informacje głosowe) poprawiają efektywność funkcjonowania transportu zbiorowego [Oskarbskii i in. 2006].

Warto zauważyć, że ITS nie są wolne również od wad. Przede wszystkim nawet stopniowo wdrażane systemy generują ogromne koszty, co często nie wiąże się bezpośrednio ze wzrostem dochodów z użytkowania komunikacji publicznej. Ponadto miejska infrastruktura w większości przypadków nie jest dostosowana do wdrażanego systemu, co nierzadko rodzi chaos na drogach, długotrwałe remonty, bądź awarie systemu [MAL 2018, Kruk 2019].

Inteligentne Systemy Transportowe ITS są systemami stanowiącymi szeroki zbiór technologii oraz technik wykorzystywanych w transporcie w celu ochrony życia uczestników ruchu drogowego, zwiększenia efektywności transportu oraz ochrony środowiska [ITS Polska]. W tym celu konieczne jest zintegrowanie tych systemów z telematyką transportową [Mijalska-Szewczak i Stoma 2012].

Telematyka – sprawne zarządzanie transportem

Telematyka jest dziedziną łączącą termin telekomunikacji, informatyki oraz informacji. Aby telematyka mogła przynosić usprawnienia konieczne jest precyzyjne zgranie wszystkich zmiennych mających wpływ na zarządzanie transportem. Dane i informacje, badające zmienne dotyczące przepływu w ruchu drogowym pochodzą z wielu kierunków, do których zaliczają się [Andrzej 2019]:

- Internet,
- sieci komórkowe,
- systemy łączności radiowej,
- bazy danych geograficznych,
- bazy danych drogowych,
- systemy GPS,
- systemy meteorologiczne,
- systemy monitorujące ruch drogowy,
- radary,
- kamery uliczne,

⁵ AVL (ang. *Automatic Vehicle Location*).

⁶ CAD (ang. *Computer-Aided Dispatch*).

- czujniki i detektory stworzone do obsługi poszczególnych danych montowane w pojazdach, na elementach infrastruktury punktowej oraz elementach infrastruktury liniowej.

Ogromna liczba danych gromadzonych z najróżniejszych źródeł zwiększa się w sposób wykładniczy. Pojawiają się innowacyjne rozwiązania, takie jak big data, które zbierane dane wykorzystują w celu optymalizacji i pozyskania dodatkowych informacji. Informacje zdobyte dzięki kooperacji wszystkich narzędzi stanowią podstawę bardziej dokładnej analizy zdarzeń, efektywnej komunikacji, ograniczenia kosztów paliwa, eksploatacyjnych oraz administracyjnych, a także wprowadzania usprawnień w różnych sektorach [Fedoruk 2017].

Jedną z popularniejszych form jest telematyka transportu. Głównym celem telematyki transportu jest sprawne zarządzanie flotą pojazdów, infrastrukturą punktową oraz infrastrukturą liniową. Może analizować także zachowania kierowców, określając ich styl jazdy, wskazując mocne i słabe strony oraz rekomendując zmianę, wraz z wytycznymi niezbędnymi do poprawy sposobu prowadzenia pojazdów. Dane mogą być wykorzystywane przez:

- przedsiębiorstwa transportowe – gromadząc dane na temat kierowców oraz przyczyn zdarzeń nieoczekiwanych lub często występujących mających niekorzystny wpływ dla organizacji,
- przedsiębiorstwa logistyczne – umożliwiając jednoczesne zarządzanie dużą liczbą obiektów, integrując je za sobą, jednocześnie wplatając innych uczestników procesów będących użytkownikami systemów telematycznych,
- zarządców parkingów – na bieżąco informując kierowców o liczbie dostępnych miejsc, pomagając w znalezieniu miejsc oraz obsługując płatności online,
- towarzystwa ubezpieczeniowe – celem poznania zachowania swoich klientów jako jedną z podstaw określenia wysokości kwot polis ubezpieczeniowych,
- kierowców – na bieżąco informując o stanie pojazdu, sytuacji na drodze, możliwych ograniczeniach udzielając przydatnych wskazówek.

Otrzymane dane mają także służyć do poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, odciążając kierowców, którzy mogą skupić się na drodze. Dodatkowo poddani kontroli czują presję, konieczność odpowiedzialnych zachowań wiedząc, że takie mogą przynieść im korzyści lub straty [Newseria 2018].

Telematyka jest przykładem wykorzystującym najbardziej innowacyjny model zintegrowany z założeniami koncepcji smart city. Złożoność interakcji zachodzących w systemach telematycznych stanowi podstawę, na której mogą opierać się współczesne organizacje. Ciągły rozwój, również zaliczany do czwartej generacji narzędzi stosowanych w obecnej rewolucji przemysłowej sprawia, że systemy telematyczne nie są zamkniętymi programami, stworzonymi raz, stale realizując cele w ten sam wcześniej określony sposób, lecz są otwarte na nowe doświadczenia, inteligentne rozwiązania dostosowują się do zmieniającego się świata, często ostrzegając przed możliwymi, niepożądanymi zdarzeniami. Potrzeba ciągłej innowacyjności stanowi dla programistów wyzwanie oraz szansę do budowy jeszcze bardziej zaawansowanych programów oraz bardziej wydajnej realizacji procesów. Minusem rozwiązań opartych na technologii IT jest zawierzenie funkcjonowania procesów niemal wyłącznie technologii, a także ciągła kontrola użytkowników.

Istotne korzyści wynikające z zastosowania technologii cyfryzacji i idei Przemysłu 4.0 w przestrzeni miejskiej i gospodarce transportowej

Analizując stosowane rozwiązania w przestrzeni miejskiej i gospodarce transportowej wynikające z cyfryzacji i koncepcji Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach (tylko po kilku latach ich stosowania w Polsce), można wskazać kilka kluczowych korzyści, takich jak: dynamiczny rozwój miast, zwiększenie przepustowości dróg miejskich, lepsza obsługa podróżnych, poprawa bezpieczeństwa ruchu drogowego (poprzez np. uniemożliwienie ruchu kolizyjnego), zwiększenie efektywności przepływu ruchu drogowego, kontrola wpływu ruchu na środowisko naturalne, większa kontrola stanu technicznego dróg, mniejsze koszty wykorzystania taboru drogowego i wiele innych. Wykorzystanie zatem Inteligentnych Systemów Transportowych w każdym aspekcie niesie za sobą pozytywne skutki dla wszystkich uczestników sieci transportu. Powinny one być w sposób ciągły doskonalone i uzupełniane o nowe rozwiązania technologii cyfrowej i komunikacyjnej zgodnie z koncepcją smart city.

Podsumowanie i wnioski

Postęp naukowo-techniczny, który przyjął koncepcję rewolucji 4.0 oraz rozwój w sferze informatyki wywarł ogromny wpływ na kształtowanie współczesnej rzeczywistości gospodarczej w różnych jej gałęziach, w tym również w zakresie transportu. Tempo zachodzących zmian, jak również dążenie do zdobycia przewagi konkurencyjnej na rynku usług transportowych wymusza stosowanie coraz bardziej zaawansowanych technologii informatycznych i telekomunikacyjnych.

Rozwój technologii informatycznych wpływa także na rozwój systemów transportowych i sposób ich wykorzystania w przestrzeni miejskiej według koncepcji smart city. Jednym z elementów tej koncepcji są IST, które w ostatnim dziesięcioleciu znacząco się rozwinęły i są wdrażane w wielu miastach i regionach w Polsce i na świecie.

Ich zastosowanie w transporcie miejskim wiąże się również z nowymi wyzwaniami, jakie przed cywilizacją wielkich miast stawia trzecie dziesięciolecie XXI wieku, a mianowicie z walką ze zmianami środowiskowymi, gdyż przyczyniają się również do redukcji emisji spalin, zmniejszenia kongestii, wzrostu poziomu bezpieczeństwa oraz wzrostu korzyści ekonomicznych regionów. Można zatem stwierdzić, że przyszły transport ściśle związana jest z wdrażaniem i rozbudową IST, a ich rozwój wymaga dalszych badań oraz stosowania coraz to nowocześniejszych ulepszeń i rozwiązań.

Bibliografia

- Andrzej, 2019: Telematyka transportu – czym jest i jakie są jej możliwości? Blog Transportowy, [źródło elektroniczne] <https://blogtransportowy.pl/telematyka-transportu-czym-jest-i-jakie-sa-jej-mozliwosci/> [dostęp: 25.11.2022].
- Barwiński S., Kotas P., 2015: Inteligentne Systemy Transportowe w wybranych miastach Polski, *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 10, 26–29.

- Becker B.E., Huselid M.A., Beatty R.W. 2009: *The Differentiated Workforce: Transforming Talent Into Strategic Impact*, Harvard Business Press, Boston, MA.
- Collings D.G., Isichei M. 2018: The shifting boundaries of global staffing: integrating global talent management, alternative forms of international assignments and non-employees into the discussion, *International Journal of Human Resource Management*, 29(1), 165–187.
- Collings D.G., Mellahi K., Cascio W.F., 2019: Global talent management and performance in multinational enterprises: a multilevel perspective, *Journal of Management*, 45, 2, 540–566.
- Copco, 2021: ITS Tychy, [źródło elektroniczne] <https://copco.pl/its-tychy> [dostęp: 27.11.2022].
- De Boeck G., Meyers M.C., Dries N., 2018: Employee reactions to talent management: assumptions versus evidence, *Journal of Organizational Behavior*, 39(2), 199–213.
- Evans P., Pucik V., Björkman I. 2011: *The global challenge: international human resource management*, wyd. 2, McGraw-Hill Irwin, New York.
- Fedoruk A., 2017: Jak wyprzedzić konkurencję i obniżyć koszty paliwa o 20 proc., *Business Insider*, [źródło elektroniczne] <https://businessinsider.com.pl/najnowsze?fromscroll=1> [dostęp: 25.11.2022].
- Gallardo-Gallardo E., Dries N., González-Cruz T.F., 2013: What is the meaning of ‘talent’ in the world of work?, *Human Resource Management Review*, 23, 290–300.
- Gallardo-Gallardo E., Nijs S., Dries N., Gallo P., 2015: Towards an understanding of talent management as a phenomenon-driven field using bibliometric and content analysis, *Human Resource Management Review*, 25, 3, 264–279.
- Huselid M.A., Beatty R.W., Becker B.E., 2005: “A Players” or “A Positions”? The Strategic Logic of Workforce Management, *Harvard Business Review*, [źródło elektroniczne] <https://hbr.org/2005/12/a-players-or-a-positions-the-strategic-logic-of-workforcemanagement> [dostęp: 22.11.2022].
- ITS Polska, [źródło elektroniczne] <http://www.itspolska.pl/?page=11> [dostęp: 25.11.2022].
- Kamiński T., 2020: Kooperacyjne Inteligentne Systemy Transportowe (C-ITS) jako rozwiązania podnoszące bezpieczeństwo i efektywność transportu drogowego, *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, 6, 10–18. [źródło elektroniczne] <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-8d61de27-16c9-438b-80cd-e0ce8ba78cc9> [dostęp: 18.11.2022].
- Kruk M., 2019: Nie będzie sekundników dla aut. We Wrocławiu się nie da, a w Szczecinie można..., *Wrocław Nasze Miasto*, <https://wroclaw.naszemiasto.pl/nie-bedzie-sekundnikow-dla-aut-we-wroclawiu-sie-nie-da-a-w/ar/c1-7308287> [dostęp: 27.10.2022].
- MAL, 2018: ITS, czyli „I teraz stoisz”. To głupie światła tworzą korki, *Wrocław Nasze Miasto* [źródło elektroniczne] <https://wroclaw.naszemiasto.pl/its-czyli-i-teraz-stoisz-to-glupie-swiatla-tworza-korki/ar/c4-4835641> [dostęp: 27.10.2022].
- Manyika, J., Chui M., Miremadi M., Bughin J., George K., Willmott P., Dewhurst M., 2017: *Harnessing Automation for A Future That Works: automation, employment, and productivity. Report by McKinsey Global* [źródło elektroniczne] <http://www.mckinsey.com/global-themes/digital-disruption/harnessing-automation-for-a-future-that-works> [dostęp: 25.11.2022].
- Mijalska-Szewczak I., Stoma M., 2012: *Systemy telematyczne zarządzania flotą pojazdów w przedsiębiorstwie transportowo-spedycyjnym w badaniach własnych*, [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole.
- Miller D., 2016: *Natural Language: The User Interface for the Fourth Industrial Revolution*, Opus Research Report, [źródło elektroniczne] <https://opusresearch.net/wordpress/2016/11/04/>

- opus-research-report-natural-language-the-user-interface-for-the-fourth-industrial-revolution/ [dostęp: 22.11.2022].
- Müller J.M., Kiel D., Voigt K.I. 2018: What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability, *Sustainability*, 10(1), 247–271.
- Newseria, 2018: Systemy telematyczne coraz częściej wykorzystywane w branży ubezpieczeniowej, [źródło elektroniczne] <http://www.twojeinnowacje.pl/systemy-telematyczne-coraz-czesciej-wykorzystywane-w-branzy-ubezpieczeniowej> [dostęp: 25.11.2022].
- Oreg S., Bartunek J., Gayoung L., Boram D., 2018: An affect-based model of recipients' responses to organizational change events, *Academy of Management Review*, 43, 1, 65–86.
- Oskarbski J., Jamroz K., Litwin M., 2006: Inteligentne systemy transportu – zaawansowane systemy zarządzania ruchem, *Materiały konferencyjne z I Polskiego Kongresu Drogowego, Lepsze drogi – lepsze życie*, Warszawa, 4–10.
- Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, 2010: Dyrektywa parlamentu europejskiego i rady unii europejskiej 2010/40/UE z dnia 7 lipca 2010 r. w sprawie ram wdrażania inteligentnych systemów transportowych w obszarze transportu drogowego oraz interfejsów z innymi rodzajami transportu, [źródło elektroniczne] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0040>, 07.07.2010 [dostęp: 16.11.2022].
- Prisecaru P., 2016: Challenges of the Fourth Industrial Revolution. *Knowledge Horizons. Economics*, 8(1), 57–62, [źródło elektroniczne] <https://search-proquestcom.ezproxy.libraries.udmercy.edu:2443/docview/1793552558?accountid=28018> [dostęp: 22.11.2022].
- Proper K., Allen T., 2001: *Intelligent Transportation System Benefits. 2000 Update*, U.S., Department of Transportation, Washington D.C.
- Rudewicz J., 2019: Przemysł i technologie wobec wdrożenia wizji miasta inteligentnego (smart city), *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 33(4), 195–212.
- Sanchez D.G., Parra N.G, Ozden C., Rijkers B., 2020: Which Jobs Are Most Vulnerable to COVID-19? What an Analysis of the European Union Reveals, *Research & Policy Briefs From the World Bank Malaysia Hub*, [źródło elektroniczne] <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33737/Which-Jobs-Are-Most-Vulnerable-to-COVID-19-What-an-Analysis-of-the-European-Union-Reveals.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [dostęp: 17.11.2022].
- Schwab K., 2015: *The Fourth Industrial Revolution: What It Means and How to Respond*, [źródło elektroniczne] <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution> [dostęp: 22.11.2022].
- Siemens, 2019a: Siemens Mobility zbuduje system ITS dla Tychów, [źródło elektroniczne] <https://new.siemens.com/pl/pl/o-firmie/aktualnosci/siemens-mobility-zbuduje-system-its-dla-tychow.html> [dostęp: 25.11.2022].
- Siemens, 2019b: Smart City – Inteligentne Miasto Warszawa – jak będzie wyglądać transport w stolicy w przyszłości? [źródło elektroniczne] <https://new.siemens.com/pl/pl/o-firmie/aktualnosci/inteligentne-miasto-warszawa.html> [dostęp: 25.11.2022].
- Van den Broek J., Boselie P., Paauwe J., 2018: Cooperative innovation through a talent management pool: a qualitative study on cooperation in healthcar, *European Journal of Management*, 36(1), 135–144.

- Wach-Kloskowska J., Rześny-Cieplinska J., 2018: Inteligentny i zrównoważony rozwój transportu jako element realizacji założeń koncepcji Smart City – przykłady polskie i europejskie, *Studia Miejskie*, 30, 99–108.
- Wee E.X.M., Taylor M.S., 2018: Attention to change: a multilevel theory on the process of emergent continuous organizational change, *Journal of Applied Psychology*, 103, 1, 1–13.
- Wolf M., 2015: Same as It Ever Was: Why the Techno-optimists Are Wrong. In *The Fourth Industrial Revolution*, *Foreign Affairs*, [źródło elektroniczne] <https://www.foreignaffairs.com/articles/same-it-ever-was> [dostęp 24.11.2022].
- Xu M., David J.M., Kim S.H., 2018: The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges, *International Journal of Financial Research*, 9, 2, 90–95, [źródło elektroniczne] https://cdn.lgseta.co.za/resources/research_and_reports/4IR%20Resources/The%204IR_Opportunities_and%20Challenges_Min%20Xu,%20Jeanne%20M%20David%20and%20Suk%20Hi%20Kim_2018.pdf [dostęp: 19.11.2022].

Barbara Kusto^{1✉}, Marek Wikiński²

¹Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach

²Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego
w Radomiu

Rynek sprzedaży produktów leczniczych przez Internet w Polsce

The market for the sale of medicinal products via the internet

Synopsis. Obecnie istnieje wiele kanałów dystrybucji detalicznej produktów leczniczych, przy czym obejmują one zarówno tradycyjne miejsca sprzedaży, jak i sieć Internet. Sprzedaż produktów leczniczych w aptekach czy punktach aptecznych nie budzi poważniejszych kontrowersji prawnych. Wiele wątpliwości i problemów od początku towarzyszy natomiast dystrybucji leków w Internecie. W ostatnich latach rynek sprzedaży leków przez Internet charakteryzuje duża dynamika wzrostu. Według prognoz wartość rynku farmaceutycznego w Polsce ma wzrosnąć do 2027 roku do 54 miliardów złotych, czyli o 25%. Celem opracowania było rozpoznanie najważniejszych regulacji prawnych dotyczących wysyłkowej sprzedaży leków w Polsce oraz przedstawienie rynku sprzedaży leków przez Internet z uwzględnieniem jego rozmiarów i specyfiki. Obowiązujące przepisy prawne nie odpowiadają na wszystkie problemy związane ze sprzedażą wysyłkową leków, zwłaszcza przy wysokim trendzie wzrostowym sprzedaży na tym rynku. Jednym z najważniejszych jest między innymi brak regulacji związanych ze sprzedażą leków na receptę, brak dostatecznego zabezpieczenia interesu konsumentów oraz brak ujednoczenia przepisów dotyczących wymogów transportowych w ramach realizacji obrotu hurtowego i detalicznego.

Słowa kluczowe: wysyłkowa sprzedaż leków, Internet, prawo farmaceutyczne, e-apteki

Abstract. Currently, there are many retail distribution channels for medicinal products, including both traditional points of sale and the internet. The sale of drugs in pharmacies or pharmacy outlets does not raise serious legal controversies.

^{1✉} Barbara Kusto – Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach; Katedra Zarządzania; Wydział Prawa i Nauk Społecznych; e-mail: barbara.kusto@ujk.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0001-6848-2569>

² Marek Wikiński – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu; Katedra Nauk o Państwie i Polityce Społecznej; Wydział Prawa i Administracji; e-mail: m.wikinski@uthrad.pl; <https://orcid.org/0000-0002-5569-9205>

However, many concerns and problems accompany the distribution of medicines on the Internet from the beginning. In recent years, the online pharmacy market has been characterised by high growth dynamics. According to forecasts, the value of the pharmaceutical market in Poland is to increase to 54 billion PLN by 2027 (i.e., by 25%). This study aims to discuss the most important legal regulations regarding the mail-order sale of medicines in Poland and to present the online pharmacy market, taking into account its size and specificity. The current legal regulations do not answer all the problems related to mail-order sales of drugs, especially given the high upward trend in sales in this market. One of the most important is the lack of rules about the sale of prescription drugs, the fact that consumer interests aren't well-protected and the fact that there aren't any rules about transport requirements for wholesale and retail trade.

Key words: mail order sale of medicines, internet, pharmaceutical law, e-pharmacies

Kody JEL: K23, O33, H44

Wstęp

Obecnie istnieje wiele kanałów dystrybucji detalicznej produktów leczniczych, przy czym obejmują one zarówno tradycyjne miejsca sprzedaży, jak i Internet. Rynek aptek internetowych wykazuje tendencję wzrostową w większości krajów rozwijających się i rozwiniętych w Europie. Trend z trybu offline do online to przyszłość, a apteki internetowe mają duży potencjał wzrostu w krajach Europy Południowej, takich jak Francja, Niemcy, Włochy i Hiszpania. Najszybciej rozwijającym się rynkiem regionalnym są Niemcy ze względu na rosnącą penetrację Internetu i rosnącą świadomość korzyści płynących z zakupów online. Prognozuje się, że w najbliższych latach liczba zwolenników e-zakupów w aptekach będzie wzrastać. Oczekuje się, że w latach 2022–2027 europejski rynek ePharmacy według przychodów będzie rósł w tempie CAGR przekraczającym 17,59% [Europe E-Pharmacy Market... 2022].

E-apteki to nowoczesny kanał dystrybucji farmaceutyków i informacji o nich oraz nowa forma kształtowania relacji z pacjentami. Ze względu zaś na specyfikę artykułów sprzedawanych w aptekach, duże znaczenie dla funkcjonowania tego typu placówek mają regulacje prawne, które wyznaczają z jednej strony poziom bezpieczeństwa i legalności sprzedaży, z drugiej decydują o dostępności asortymentu i warunkach obrotu. Sprzedaż produktów leczniczych w aptekach, czy punktach aptecznych nie budzi poważniejszych kontrowersji prawnych. Wiele wątpliwości i problemów od początku towarzyszy natomiast dystrybucji leków w Internecie. Kwestia ta została uregulowana po raz pierwszy w Polsce w 2001 roku, później regulacje w tym zakresie ulegały pewnym modyfikacjom.

Celem opracowania było rozpoznanie najważniejszych regulacji prawnych dotyczących wysyłkowej sprzedaży leków w Polsce oraz przedstawienie rynku sprzedaży leków przez Internet z uwzględnieniem jego rozmiarów i specyfiki. Znaczenie tego sektora jest duże, a w najbliższych latach będzie jeszcze wzrastać [Taylor 2016]. Apteki internetowe mogą konkurować ceną i dostępnością produktów, lecz w obszarze jakości obsługi klienta wydaje się, że dominują apteki stacjonarne.

Materiały i metody

Celem opracowania jest omówienie najważniejszych regulacji prawnych dotyczących sprzedaży leków przez Internet w Polsce oraz przedstawienie rynku sprzedaży leków za pomocą tego kanału z uwzględnieniem jego rozmiarów i specyfiki. Aby osiągnąć założony cel badawczy, przeprowadzono analizę obowiązujących aktów prawnych dotyczących sprzedaży leków przez Internet oraz dokonano analizy rynku tej sprzedaży w Polsce, uwzględniając jego wartość, specyfikę i prognozy na przyszłość. Badania obejmują obszar Polski. Zakres czasowy badań dotyczy lat 2019–2021. W badaniach wykorzystano dane statystyczne pozyskane z licznych raportów dotyczących funkcjonowania branży farmaceutycznej, dane GUS, akty prawne oraz literaturę przedmiotu. W opracowaniu zastosowano metodę monograficzną i porównawczą. Do przedstawienia wyników badań wykorzystano metodę opisową i tabelaryczną.

Wyniki badań i dyskusja

Regulacje prawne w zakresie obrotu produktami medycznymi w Polsce

Problematykę dopuszczania do obrotu produktów leczniczych w Polsce określa ustawa z 6.09.2001 r. Prawo farmaceutyczne [Dz.U. z 2022 r. poz. 2301]. Zgodnie z przepisem art. 2 pkt 32 tejże ustawy produktem leczniczym jest substancja lub mieszanina substancji, przedstawiana jako posiadająca właściwości zapobiegania lub leczenia chorób występujących u ludzi, zwierząt lub podawana w celu postawienia diagnozy albo w celu przywrócenia, poprawienia lub modyfikacji fizjologicznych funkcji organizmu poprzez działanie farmakologiczne, immunologiczne lub metaboliczne. Aby produkt leczniczy mógł stanowić legalnie przedmiot sprzedaży na terytorium RP zasadniczo konieczne jest uzyskanie przez tzw. podmiot odpowiedzialny, właściwego pozwolenia na dopuszczenie produktu leczniczego do obrotu. Do maja 2011 roku organem wydającym pozwolenia był minister właściwy do spraw zdrowia, po nowelizacji ustawy Prawo farmaceutyczne zadania te przekazano do kompetencji Prezesa Urzędu Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych.

Według przepisu art. 23a ustawy Prawo farmaceutyczne [Dz.U. z 2022 r. poz. 2301], produkty lecznicze dopuszczone do obrotu, otrzymują jedną z następujących kategorii dostępności: OTC (*over-the-counter* – wydawane bez przepisu lekarza), Rp (wydawane z przepisu lekarza), Rpz (wydawane z przepisu lekarza do zastrzeżonego stosowania), Rpw (wydawane z przepisu lekarza, zawierające środki odurzające lub substancje psychotropowe, określone w odrębnych przepisach) oraz Lz (stosowane wyłącznie w lecznictwie zamkniętym). Obrót produktem leczniczym na rynku związany jest z założonym mechanizmem jego dystrybucji, rozumianym jako proces przemieszczania się tegoż produktu ze sfery wytwarzania do ostatecznych nabywców (pacjentów). Obrót hurtowy realizowany może być niemal wyłącznie przez uprawnione do tego i wyspecjalizowane podmioty (hurtownie farmaceutyczne), a sprzedaż detaliczna produktów leczniczych na receptę, wyłącznie przez apteki. Zgodnie

z wyżej wymienioną ustawą (art. 68–71) uczestnikami obrotu detalicznego produktem leczniczym mogą być jedynie wskazane w tymże akcie normatywnym podmioty. Należą do nich: apteki ogólnodostępne, punkty apteczne oraz placówki obrotu pozaaptecznego (uprawnione do prowadzenia obrotu detalicznego wyłącznie w ograniczonym zakresie). Do tej ostatniej grupy podmiotów zalicza się: sklepy zielarsko-medyczne, sklepy zaopatrzenia medycznego oraz sklepy ogólnodostępne.

Nawet pobieżna analiza stworzonego w prawie farmaceutycznym modelu obrotu produktów leczniczych świadczy o tym, iż obrót ten jest dotknięty głęboko ingerującymi instrumentami reglamentacji [Stankiewicz 2014]. Powyższe instrumenty oddziałują zarówno na podmioty uczestniczące w obrocie, jak i sam model obrotu jako taki. Przewiduje się bowiem, iż w obrocie produktem leczniczym obligatoryjnie powinny uczestniczyć hurtownie farmaceutyczne (na poziomie obrotu hurtowego) oraz apteki (na poziomie obrotu detalicznego). Poddanie powyższym wymogom reglamentacyjnym obrotu produktem leczniczym ma w swoim założeniu realizować jeden z elementów zapewnienia bezpieczeństwa farmaceutycznego, jakim jest dostęp do produktu leczniczego niesfałszowanego i odpowiedniej jakości. W art. 65 ustawy Prawo farmaceutyczne [Dz.U. z 2022 r. poz. 2301.] wskazano, iż obrót produktami leczniczymi może być prowadzony wyłącznie na zasadach określonych w tej ustawie.

Obecnie istnieje wiele kanałów dystrybucji detalicznej produktów leczniczych, przy czym obejmują one zarówno tradycyjne miejsca sprzedaży leków (głównie poprzez ogólnodostępne apteki), jak i – od kilku już lat – Internet. Wiele wątpliwości i problemów od początku towarzyszy dystrybucji produktów leczniczych w Internecie. Mimo że tradycyjne formy sprzedaży leków są nadal najpowszechniejsze i z nich właśnie najczęściej korzystają pacjenci, to od lat zauważalna jest tendencja przenoszenia tego rodzaju działalności do Internetu. Jednakże przepisy Prawa farmaceutycznego do dnia 1 maja 2007 roku nie dopuszczały legalnej sprzedaży internetowej produktów leczniczych. Co więcej, przepis art. 68 ust. 3 Prawo farmaceutyczne [Dz.U. z 2022 r. poz. 2301] w sposób wyraźny zabraniał prowadzenia wysyłkowej sprzedaży produktów leczniczych w ramach obrotu detalicznego [Świerczyński 2008]. Prawo Unii Europejskiej³ oraz zachodzące zmiany na rynku obrotu produktów leczniczych w państwach członkowskich spowodowały, że również w Polsce dostrzeżono możliwość skorzystania z zalet, jakie posiada internetowa forma dokonywania zakupów produktów leczniczych. Polski ustawodawca mając na uwadze powyższe, dokonał w marcu 2007 roku nowelizacji Prawa farmaceutycznego [Dz.U. 2007 r. Nr 75, poz. 492], zmieniając m. in. wspomniany przepis art. 68 ust. 3 Prawo farmaceutyczne i umożliwiając prowadzenie wysyłkowej sprzedaży produktów leczniczych sprzedawanych bez recepty przez apteki ogólnodostępne i punkty apteczne. Podkreślić trzeba jednak, że nowy przepis i tak zakazywał sprzedaży wysyłkowej produktów wydawanych z przepisu lekarza. Kolejne zmiany w obowiązujących przepisach zostały wprowadzone od 4 maja 2015 r. Obecnie internetowa sprzedaż produktów leczniczych jest uregulowana w przepisach Prawo farmaceutyczne [Dz.U. z 2022 r. poz. 2301] oraz Rozporządzeniu Ministra Zdro-

³ Por. [Dz.Urz. UE L Nr 136, s. 85, Dz.Urz. UE L Nr 136, s. 34, Dz.Urz. UE L Nr 136, s. 58].

wia z dnia 26 marca 2015 r. w sprawie wysyłkowej sprzedaży produktów leczniczych [Dz.U. 2015 poz. 481.].

Na podstawie art. 68 ust. 3 ustawy Prawo Farmaceutyczne [Dz.U. z 2022 r. poz. 2301] dopuszcza się prowadzenie przez apteki ogólnodostępne i punkty apteczne wysyłkowej sprzedaży produktów leczniczych. Taką sprzedaż mogą prowadzić także placówki obrotu pozaaptecznego. Sprzedaż wysyłkowa może dotyczyć wyłącznie produktów leczniczych wydawanych bez recepty, czyli bez przepisu lekarza – OTC (*over-the-counter*). Wysyłka produktu leczniczego musi odbywać się w warunkach zapewniających jakość produktu leczniczego oraz bezpieczeństwo jego stosowania. Szczegółowe warunki wysyłkowej sprzedaży produktów leczniczych wydawanych bez przepisu lekarza określają przepisy rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 26 marca 2015 roku w sprawie wysyłkowej sprzedaży produktów leczniczych. Zgodnie z przepisem § 6 ust. 1 pkt 2 tegoż rozporządzenia zamieszcza się wyraźnie widoczne tzw. wspólne logo.

Wspólne logo określają przepisy rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) nr 699/2014 z dnia 24 czerwca 2014 roku [Dz.Urz. UE L 184 z 25.6.2014, s. 5] w sprawie projektu wspólnego logo umożliwiającego identyfikację osób oferujących ludności produkty lecznicze w sprzedaży na odległość oraz w sprawie technicznych, elektronicznych i kryptograficznych wymogów umożliwiających sprawdzenie autentyczności wspólnego logo [Komisja Europejska 2014]. Precyzyjnie opisuje to R. Stankiewicz [2016] „(...) wspólne logo ma na celu zapewnienie pomocy przy ustalaniu stron internetowych, które legalnie oferują produkty lecznicze w sprzedaży na odległość. Takie wspólne logo jest rozpoznawalne w całej Unii Europejskiej. Pod takim wspólnym logo znajduje się flaga państwa członkowskiego, określająca miejsce zamieszkania lub siedzibę podmiotu oferującego produkty lecznicze w sprzedaży na odległość oraz napis w języku danego państwa członkowskiego, który informuje o potrzebie kliknięcia (lewy przycisk myszki) we wspólne logo. Kliknięcie w omawiane wspólne logo będzie automatycznie odsyłało do strony potwierdzającej, że dana apteka ogólnodostępna lub punkt apteczny działa legalnie, czyli jest upoważniona do oferowania ludności produktów leczniczych w sprzedaży na odległość – przez Internet, czyli w drodze usług społeczeństwa informacyjnego”.

Opisane powyżej wspólne logo łączy stronę internetową funkcjonującą legalnie apteki ogólnodostępnej lub punktu aptecznego z właściwym dla tej apteki lub punktu wpisem w Krajowym Rejestrze Zezwoleń na Prowadzenie Aptek Ogólnodostępnych, Punktów Aptecznych oraz Rejestrze Udzielonych Zgód na Prowadzenie Aptek Szpitalnych i Zakładowych, o którym mowa w art. 107 ust. 5 tej ustawy [Stankiewicz 2016]. Jeżeli na stronie internetowej oferującej produkty lecznicze nie ma opisanego powyżej wspólnego logo lub kliknięcie w znaczek przypominający wspólne logo nie odsyła do Rejestru Aptek, nie należy dokonywać zakupu produktu leczniczego. Taki zakup jest bowiem niezwykle ryzykowny, gdyż podmiot działa nielegalnie [Wspólne logo...].

Jednym z występujących problemów prawnych związanych z prowadzeniem internetowej sprzedaży produktów leczniczych w literaturze przedmiotu, jest niepodleganie internetowej sprzedaży produktów leczniczych unormowaniom Ustawy z dnia 30.5.2014 r. o prawach konsumenta [Dz.U. z 2020 r. poz. 287], co powoduje, że pacjentom nie przysługuje prawo odstąpienia od umowy sprzedaży na zasadach określonych

w art. 27 i nast. tej ustawy. Innym problemem są przepisy regulujące warunki transportu w ramach sprzedaży wysyłkowej. Są dużo mniej restrykcyjne od przepisów regulujących te same kwestie w ramach obrotu hurtowego, co powoduje, że interes pacjenta nie jest zabezpieczony w pełni. Innym problemem, często zgłaszanym, zwłaszcza w trakcie pandemii SARS-CoV-2, jest brak możliwości sprzedaży przez Internet leków na receptę. W literaturze wyraźnie dominują dwa stanowiska. Jedno przemawiające za utrzymaniem statusu quo. Takie stanowisko zajmuje m.in. R. Stankiewicz [2016]. Odmienne poglądy prezentują zwolennicy zmiany prawa m.in. Z. Więckowski, który stwierdza, że „zakreślony w polskim porządku prawnym, szeroki zakres środków porozumiewania się na odległość, winien zostać ograniczony do jednego, w przypadku realizacji sprzedaży wysyłkowej produktów leczniczych. W tym momencie, jedynym relatywnie bezpiecznym dla pacjentów, jak i realizującego zamówienie, kanałem sprzedaży winna być sprzedaż leków za pośrednictwem strony internetowej danej placówki i temu sposobowi winny być poświęcone obowiązujące rozwiązania prawne” [Więckowski 2016].

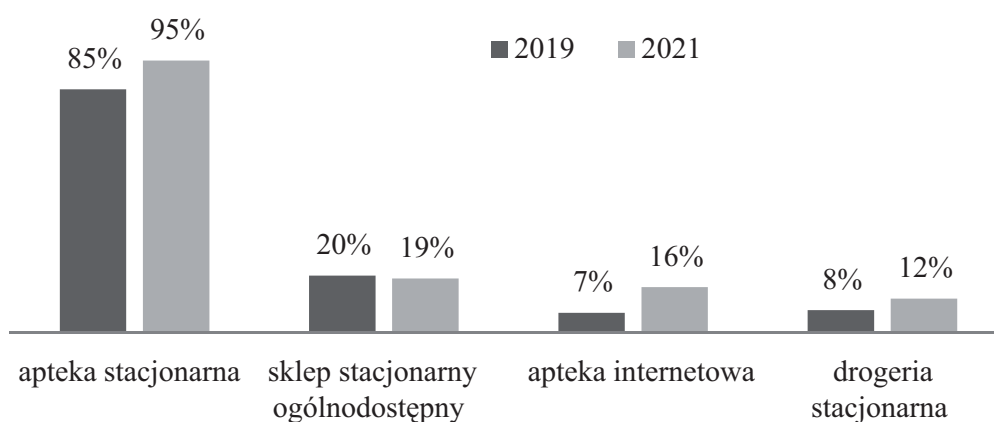
Według danych GUS [2021] w końcu 2021 roku w Polsce działalność prowadziło 11,9 tys. aptek (ogólnodostępnych i zakładowych) oraz 1,1 tys. punktów aptecznych. Liczba aptek ogólnodostępnych zmniejszyła się o 1,6% w porównaniu z rokiem poprzednim, Sprzedaż wysyłkową produktów leczniczych z wykorzystaniem strony internetowej realizowały 164 apteki i 4 punkty apteczne. Apteki wysyłkowe (internetowe) stanowiły w połowie sierpnia 2021 roku zaledwie 1,70% wszystkich aptek w Polsce.

Sprzedaż leków przez Internet w Polsce

Z uwagi na regulacje prawne w aptecznym sektorze e-commerce w Polsce funkcjonuje głównie klasyczny model e-sprzedaży, opierający się na zamówieniu produktów w e-aptece i ich dostawie lub odbiorze osobistym. Rynek ten charakteryzuje duża dynamika wzrostu. Według Polskiego Związku Producentów Leków Bez Recepty (*Polish Association of Self Medication Industry* – PASMI) wartość całego rynku aptecznego w 2021 roku wyniosła 39,8 mld zł – liczona w cenach detalicznych brutto. Na tę kwotę składa się sprzedaż leków na receptę (Rx) oraz produktów dostępnych bez recepty (OTC) w aptekach stacjonarnych oraz w aptekach wysyłkowych (internetowych) w tym: leki OTC, suplementy diety, odżywki dla dzieci i dorosłych, artykuły medyczne oraz kosmetyki. W porównaniu z 2020 roku wartość ta jest wyższa o 6,5%. Jednym z największych zaskoczeń na rynku sprzedaży leków była jednak dynamika rozwoju segmentu e-commerce – wzrosty osiągnęły poziom kilkudziesięciu procent (43%). Według prognoz z Raportu PMR [2022] wartość rynku farmaceutycznego w Polsce ma wzrosnąć do 2027 roku do 54 mld złotych (wzrost o prawie 11 mld złotych, czyli 25%). Pomimo, iż sprzedaż w aptekach stacjonarnych jest znacząco większa niż w segmencie e-commerce, to warto odnotować, że od 2016 roku odsetek osób, które dokonały zakupu w aptece internetowej, wzrósł z 2 do 16%, a prognozy przewidują wciąż rosnącą tendencję. Apteki wysyłkowe (w polskim prawie nie funkcjonuje pojęcie apteki internetowej. Mamy sformułowanie, które dotyczy apteki prowadzącej wysyłkową sprzedaż produktów leczniczych) z dnia na dzień stają się coraz popularniejsze. Co trzeci Polak, który robi zakupy w Internecie (34%) deklaruje, że kupował w sieci produkty farmaceutyczne, a 24 % ankietowanych

planuje takie zakupy w przyszłości [E-commerce... 2019]. Do grona aptek internetowych zaliczają się również platformy działające w modelu *click&collect*, w których większość zamówień jest składana przez Internet, ale odbierana w aptece tradycyjnej.

Dla porównania w 2005 roku udział sprzedaży aptek wysyłkowych w całkowitym obrocie farmaceutykami na rynku polskim był stosunkowo niewielki – wynosił 0,5%, co odpowiadało wartościowo około 90 mln zł [Rudawska i Soboń 2011]. W 2006 roku łączne przychody sieciowych sprzedawców leków sięgnęły już 250 mln. Jak wynika z danych Związku Pracodawców Aptecznych Pharmanet w 2020 roku apteki wysyłkowe odpowiadały za 3–4% rynku leków bez recepty, co pozwala szacować wartość sprzedaży na 550–650 mln zł rocznie [PharmNET]. Dynamika wzrostu sprzedaży w tej formie jest więc bardzo duża. Na rysunku 1 przedstawiono miejsca zakupu leków OTC w Polsce w 2019 i 2021 roku.



Rysunek 1. Miejsca zakupu leków w Polsce

Figure 1. Places to buy medicines in Poland

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Raport PMR... 2022].

Klienci wybierają tę formę sprzedaży głównie dlatego, iż podstawową zaletą kupowania w sieci jest mniejszy koszt. W aptece online można znaleźć te same produkty, co w aptece stacjonarnej, ale w niższych cenach. Nie mniej ważny jest czas i permanentna dostępność apteki internetowej. Asortyment nie ogranicza się jedynie do parafarmaceutyków, ale obejmuje również suplementy diety, sprzęt medyczny, olejki eteryczne, kosmetyki i dermokosmetyki, a także zdrową żywność i zioła. Do przeglądania oferty ze strony apteki wystarczy komputer PC, laptop, a nawet telefon komórkowy – strona internetowa apteki online działa na każdym urządzeniu i jest responsywna, dlatego zakupy są bardzo wygodne i skracają czas potrzebny na poszukiwanie poszczególnych leków. Ceny wielu produktów dostępnych w e-aptkach są nawet o 40% niższe od cen w placówkach tradycyjnych. Powyższe oszczędności wynikają przede wszystkim z ogromnej konkurencji pomiędzy internetowymi aptekami, które dość często obniżają swoje ceny, kusząc tym samym klientów unikatowymi promocjami. Dokonując zakupów w sieci, klient powinien być jednak ostrożny, ponieważ kwota, jaką planuje przeznaczyć na dany produkt, może znacząco różnić się w zależności od wybranej apteki.

W lipcu 2021 roku w Centrum Systemów Informacyjnych Ochrony Zdrowia (CSIOZ) zarejestrowanych jako wysyłkowe było 332 apteki, z czego 153 aktywnie prowadziło sprzedaż wysyłkową (148 aptek wysyłkowych i 5 platform w modelu *click&collect* opartych na hurtowniach; liczba aptek podawana przez GUS różni się od liczby podawanej przez CSIOZ; tabela 1).

Tabela 1. Liczba aptek prowadzących sprzedaż wysyłkową w Polsce w latach 2011–2021
Table 1. Number of pharmacies offering mail delivery in Poland in 2011–2021

Liczba aptek	lata			
	2011	2016	2019	2021
zarejestrowanych w CSIOZ	180	300	326	332
Aktywne apteki internetowe	165	197	157	153

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Centrum Systemów...].

Biorąc pod uwagę przestrzenne rozmieszczenie aktywnych aptek prowadzących sprzedaż wysyłkową, to zdecydowanymi liderami są województwa łódzkie (28 aptek) i mazowieckie (25 aptek). W pozostałych województwach liczba e-aptek jest mniejsza, waha się od kilku do kilkunastu podmiotów (rys. 2).

Liderami wśród aptek prowadzących sprzedaż internetową są takie apteki jak:

Cefarm24.pl, I-apteka.pl, Tanie-leczenie.pl, Wapteka.pl, Aleleki.pl, Apteka-melissa.pl, Aptekagemini.pl, E-zikoapteka.pl, Doz.pl i Feromony [Ranking: najlepsze...]. Najchętniej kupowanymi produktami przez pacjentów przez Internet są przede wszystkim leki bez recepty. Aż 8 na 10 Polaków spośród osób kupujących w Internecie przynajmniej raz dokonało zakupu leku OTC przez Internet. Do najpopularniejszych produktów z tej grupy zalicza się leki przeciwbólowe, leki antyhistaminowe i leki na przeziębienie. Spora grupa leków OTC to również preparaty przeznaczone dla osób chorujących na serce czy schorzenia układu pokarmowego. Dużą popularnością cieszą się również preparaty wzmacniające odporność, a także suplementy diety zawierające witaminy i minerały. Spora grupa konsumentów kupuje także przez Internet dermokosmetyki oraz produkty do pielęgnacji. Szeroką grupę docelową aptek internetowych tworzą młodzi rodzice. Wygoda kupowania przez Internet takich produktów jak pieluszki jednorazowe, emolienty, kosmetyki do pielęgnacji niemowląt i mleko modyfikowane znacząco wpływa na popularność aptek internetowych wśród tych klientów. Jednak nie tylko młode osoby są grupą docelową aptek online. Seniorzy, którzy z roku na rok coraz aktywniej dokonują zakupów w sieci, również zyskują na e-zakupach farmaceutycznych. W dobie pandemii zmniejszają ryzyko infekcji pozostając w domu i dokonując zakupów zdalnie. Ponadto, taka forma zakupu leków ułatwia dbanie o to, aby w domowej apteczce znajdowały się wszystkie niezbędne środki. Z tych względów dokonywanie zamówień w aptekach online jest nie tylko oszczędnością czasu, ale również pieniędzy, których klienci nie wydają na kolejne opakowanie leku czy suplementu, który już znajduje się w domu [Apteki internetowe...].

Z badań ankietowych przeprowadzonych przez pracowników Wydziału Organizacji i Zarządzania Politechniki Łódzkiej we współpracy z firmą Opiniac na grupie 24 800 polskich użytkowników Internetu na przełomie maja i czerwca 2016 roku wynika, że głównymi klientami segmentu aptecznego są kobiety, zarówno formy tradycyjnej,



Rysunek 2. Przestrzenne rozmieszczenie e-aptek w Polsce w 2021 r.

Figure 2. Spatial distribution of e-pharmacies in Poland in 2021

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Głowiak 2021].

jak i sektora e-commerce. Internauci bardzo często dokonują zakupów w e-aptekach (85%), doceniając głównie łatwość złożenia zamówienia oraz zadowolenie z obsługi klienta. We wskazanych badaniach respondenci wyżej ocenili apteki internetowe od tradycyjnej formy sprzedaży, nawet na płaszczyźnie obsługi klienta, gdzie wiedza i doświadczenie farmaceuty stanowi istotną determinantę przewagi klasycznej apteki. Uzyskane wyniki pozwalają na wnioskowanie utrzymania się wzrostowego trendu sprzedaży i popularności aptek internetowych [Szymański 2018]. Dokonywanie farmaceutycznych zakupów online jest zdecydowanie wygodne, a przy zachowaniu podstawowej uważności. Również bezpieczne. Z badań wynika, że kupującymi produkty farmaceutyczne przez Internet są częściej kobiety (41% z nich wskazało na zakup tego typu towarów w porównaniu z 27% wskazań wśród mężczyzn), osoby w wieku powyżej 50 lat (44% w porównaniu z 16% dla grupy wiekowej 15–24 lata) oraz z wyższym wykształceniem (46% w porównaniu z 21% wśród osób z wykształceniem niższym). Do kupowania farmaceutyków na zagranicznych stronach przyznaje się 7% badanych. Markami najczęściej podawanymi przez ankietowanych są: DOZ – Dbam o Zdrowie (wymienia ją 9% osób), Apteka Gemini (4%) oraz Ziko (1%) [E-commerce... 2022].

Wnioski

Segment sprzedaży produktów leczniczych na odległość wpisał się na trwałe w krajowy rynek handlu produktami medycznymi. Co więcej prognozy wskazują, że w najbliższych latach będzie postępował znaczący wzrost sprzedaży w tym kanale. Należy zatem wskazać istotne problemy prawne związane z prowadzeniem internetowej sprzedaży produktów leczniczych. Dodatkowych rozwiązań wymagają kwestie prawne dotyczące ochrony praw konsumentów, czy też brak ujednoczenia przepisów dotyczących wymogów transportowych. Przepisy dotyczące wymogów transportowych powinny być identyczne w ramach realizacji obrotu hurtowego i detalicznego. Najważniejszą kwestią jest jednak dopuszczenie do sprzedaży leków na receptę. Autorzy opracowania postulują zmiany w tym zakresie. Ponadto, zdaniem autorów można rozpocząć rozważania na temat podjęcia konsultacji społecznych mających na celu dyskusję o możliwości dokonania stosownych zmian prawa, umożliwiającego – wszystkim funkcjonującym aptekom (a nie tylko internetowym) – dostarczanie leków „pod drzwi”, zwłaszcza w czasie pandemii. Można sobie wyobrazić dostawę leków z lokalnej apteki „pod drzwi” (przy zachowaniu odpowiednich warunków transportowych), a za jakiś czas nawet dostawę leków dronem, wprost do łóżka pacjenta. Możliwości organizacyjno-techniczne dostaw „pod drzwi” już istnieją, stosowne uregulowania prawne, można uchwalić, jednakże, nie jest to wszystko w stanie zmienić faktu, że najlepszym jest bezpośredni kontakt pacjenta z farmaceutą.

Bibliografia

- Apteki internetowe coraz popularniejsze - jakie leki coraz częściej kupują Polacy?, rynekapteki.pl, [źródło elektroniczne] <https://www.rynekapteki.pl/farmakologia/apteki-internetowe-coraz-popularniejsze-jakie-leki-coraz-czesciej-kupuja-polacy,41811.html> [dostęp: 21.12.2022].
- Centrum Systemów Informacyjnych Ochrony Zdrowia, Ministerstwo Zdrowia, [źródło elektroniczne] <http://www.archiwum.mz.gov.pl/rozwój-i-inwestycje/informatyzacja-w-ochronie-zdrowia/centrum-systemow-informacyjnych-ochrony-zdrowia/> [dostęp: 22.12.2022].
- Dyrektywa 2004/27/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 31 marca 2004 r. zmieniającej dyrektywę 2001/83/WE w sprawie wspólnotowego kodeksu odnoszącego się do produktów leczniczych stosowanych u ludzi (Dz.Urz. UE L Nr 136).
- Dyrektywa 2004/28/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 31 marca 2004 r. zmieniająca dyrektywę 2001/82/WE w sprawie wspólnotowego kodeksu odnoszącego się do weterynaryjnych produktów leczniczych (Dz.Urz. UE L Nr 136).
- E-commerce w Polsce 2019, Gemius dla e-Commerce Polska, [źródło elektroniczne], <https://www.gemius.pl/wszystkie-artykuly-aktualnosci/raport-e-commerce.html> [dostęp: 18.12.2022].
- E-commerce w Polsce 2022, Gemius, [źródło elektroniczne], <https://www.gemius.pl/reklamodawcy-aktualnosci/raport-e-commerce-2022-juz-dostepny.html> [dostęp: 18.12.2022].
- Europe E-Pharmacy Market – Industry Outlook & Forecast 2022–2027, 2022, [źródło elektroniczne], https://www.reportlinker.com/p06244044/Europe-E-Pharmacy-Market-Industry-Outlook-Forecast.html?utm_source=GNW [dostęp: 24.01.2023]
- Głowiak G., 2021: Ile jest aptek internetowych w Polsce?, Eapteki.info, [źródło elektroniczne] <https://eapteki.info/ile-jest-aptek-internetowych-w-polsce> [dostęp: 22.12.2022].

- GUS, 2021: Apteki i punkty apteczne w 2021 r., [źródło elektroniczne], <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/zdrowie/zdrowie/apteki-i-punkty-apteczne-w-2021-roku,15,6.html> [dostęp: 18.12.2022].
- Komisja Europejska, 2014: Kupowanie leków w internecie: Komisja wprowadza logo, które zapewni konsumentom bezpieczeństwo, Bruksela, [źródło elektroniczne] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pl/IP_14_712 [dostęp: 23.01.2023].
- Ranking: najlepsze apteki internetowe, rynekapteki.pl, [źródło elektroniczne] <https://www.rynekapteki.pl/marketing-i-zarzadzanie/ranking-najlepsze-apteki-internetowe,11363.html> 2015 [dostęp: 21.12.2022].
- Raport PMR – Dystrybucja na rynku farmaceutycznym w Polsce 2022. Analiza rynku i prognozy rozwoju na lata 2022–2027, 2022, [źródło elektroniczne], <https://www.pmrmarketexperts.com/pmr-wartosc-dystrybucji-farmaceutycznej-w-polsce-w-2021-r-wyniosla-56-mld-zl/> [dostęp: 18.12.2022].
- Rozporządzenie wykonawcze komisji (UE) NR 699/2014 z dnia 24 czerwca 2014 r. w sprawie projektu wspólnego logo umożliwiającego identyfikację osób oferujących ludności produkty lecznicze w sprzedaży na odległość oraz w sprawie technicznych, elektronicznych i kryptograficznych wymogów umożliwiających sprawdzenie autentyczności wspólnego logo, Dz.Urz. UE L 184 z 25.6.2014.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 26 marca 2015 r. w sprawie wysyłkowej sprzedaży produktów leczniczych (Dz.U. 2015 poz. 481).
- Rudawska I., Soboń M., 2011: E-apteka jako nowa forma handlu na rynku farmaceutycznym. Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Zeszyty Naukowe, 175, 260.
- Stankiewicz R., 2014: Model racjonalizacji dostępu do produktu leczniczego. Zagadnienia publicznoprawne, C.H. Beck, Warszawa.
- Stankiewicz R., 2016: Sprzedaż produktów leczniczych przez Internet, [w:] R Stankiewicz (red.), Instytucje Rynku Farmaceutycznego, Wolters Kluwer, Warszawa.
- Szymański G., 2018: Istota i rozwój aptek internetowych jako trend współczesnej rzeczywistości gospodarczej – implikacje dla procesu zarządzania, Przegląd Organizacji, 9(944), 45.
- Świerczyński M., 2008: Obrót produktami leczniczymi oraz wymagania dotyczące podmiotów prowadzących obrót, [w:] M. Krekora, M. Świerczyński, E. Traple, Prawo farmaceutyczne, Wolter Kluwer, Warszawa, 523–527.
- Taylor D., 2016: The Pharmaceutical Industry and the Future of Drug Development, [w:] R.E. Hester, R.M. Harrison (red.), Pharmaceuticals in the Environment, The Royal Society of Chemistry, Cambridge – London, 23–28.
- Ustawa z dnia 6 września 2001 r. Prawo farmaceutyczne (Dz.U. z 2022 r. poz. 2301).
- Ustawa z dnia 30 marca 2007 r. o zmianie ustawy – Prawo farmaceutyczne oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz.U. z 2007 r. nr 75, poz. 492).
- Ustawa z dnia 30 maja 2014 r. o prawach konsumenta (Dz.U. z 2020 r. poz. 287).
- Więckowski Z., 2016: Sprzedaż leków na odległość – regulacje krajowe, Internetowy Kwartalnik Antymonopolowy i Regulacyjny 8(5), 72.
- Wspólne logo – czyli jak rozpoznać internetową aptekę istniejącą w rzeczywistości?, Główny Inspektorat Farmaceutyczny, [źródło elektroniczne] <https://archiwum.gif.gov.pl/pl/aktualnosci/1330,Wspolne-logo-czyli-jak-rozpoznać-internetowa-apteke-istniejaca-w-rzeczywistosci.html> [dostęp: 15.12.2022].
- Związek Pracodawców Aptecznych [PharmaNET], [źródło elektroniczne] <https://pharmanet.org.pl/> [dostęp: 20.12.2022].

Agnieszka Maciąg 


Ocena zróżnicowania sytuacji finansowej przedsiębiorstw z branży TSL z wykorzystaniem wielowymiarowej analizy skupień

Assessment of the diversification of the financial situation of enterprises in the TSL industry using multidimensional cluster analysis

Synopsis. Głównym celem artykułu było ustalenie podobieństw pomiędzy poszczególnymi segmentami branży TSL z wykorzystaniem wyników finansowych przedsiębiorstw przy uwzględnieniu specyfiki ich działalności, a także wpływu pierwszego roku pandemii COVID-19 na kondycję majątkowo-finansową podmiotów prowadzących działalność w obszarze szeroko rozumianej logistyki. Do przeprowadzenia analiz wykorzystano reprezentatywne dane finansowe obejmujące sektorowe wskaźniki finansowe zgodnie z Polską Klasyfikacją działalności dla przedsiębiorstw działających w następujących branżach: transport lądowy oraz transport rurociągowy (PKD 49), transport wodny (PKD 50), transport lotniczy (PKD 51), magazynowanie i działalność usługowa wspomagająca transport (PKD 52), działalność pocztowa i kurierska (PKD 53). Do eksploracyjnej analizy danych przeprowadzono analizę skupień z grupowaniem metodą k -średnich. Przeprowadzone badania pozwoliły pogrupować przedsiębiorstwa w trzech grupach. Łącznie zidentyfikowano cztery klastry. Podobieństwa pomiędzy grupami odnosiły się do wskaźników płynności, zadłużenia oraz rentowności sprzedaży. Niejednorodne grupy dotyczyły bezpieczeństwa finansowego jednostek w zakresie trwałości struktury finansowania i rentowności posiadanego majątku.

Słowa kluczowe: wskaźniki finansowe, płynność, rentowność, analiza skupień, transport – spedycja –logistyka

Abstract. The main aim of the article was to determine the similarities between individual segments of the TSL industry using the financial results of the enterprises, taking into account the specificity of their operations as well as the impact of the first year of the COVID-19 pandemic on their property and financial condition. The analysis was conducted using representative financial data, including sectorial

 Agnieszka Maciąg – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego; Wydział Ekonomiczny, Instytut Ekonomii i Finansów; Katedra Logistyki; e-mail: agnieszka_maciag@sggw.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0002-8082-3765>

financial indicators following the Polish Classification of Activities for enterprises operating in the following industries: land transport and pipeline transport (PKD 49), water transport (PKD 50), air transport (PKD 51), storage and services supporting transport (PKD 52), postal and courier activities (PKD 53). Cluster analysis with k-means clustering was used for exploratory data analysis. The conducted research allowed the enterprises to be organised into three groups. Overall, four clusters were identified. Similarities between the groups were related to liquidity, debt and return on sales ratios. Heterogeneous groups concerned with the financial security of entities in terms of the durability of the financing structure and profitability of owned assets.

Key words: financial ratios, liquidity, profitability, cluster analysis, transport-forwarding-logistics

Kody JEL: B41, C15, C58

Wstęp

W praktyce oceny dynamiki zmian w sytuacji finansowej przedsiębiorstw powszechnie wykorzystuje się następujące metody: analizę pionową i poziomą struktury bilansu oraz rachunku zysków i strat, analizę wskaźnikową, a także niejednokrotnie analizę dyskryminacyjną. „Analiza finansowa ułatwia podejmowanie decyzji w firmie i sprzyja racjonalizacji procesów gospodarczych. Ma ona na celu wykrywanie struktury zjawisk i procesów występujących w działalności gospodarczej przedsiębiorstwa, ustalanie ich wewnętrznych i zewnętrznych powiązań, ustalanie wielkości i przyczyn odchylenia stanów rzeczywistych od postulowanych” [Korol 2013, s. 13].

Punkt wyjścia stanowią dane zaprezentowane w sprawozdaniach finansowych podmiotów gospodarczych za minimum pięć ostatnich lat, umożliwiające ocenę stabilności osiągniętych przychodów oraz odzwierciedlające sytuację finansową przedsiębiorstwa. „Analiza wskaźnikowa kondycji finansowej przedsiębiorstwa stanowi uzupełnienie wstępnej analizy podstawowych dokumentów finansowych i jest oparta na badaniach wzajemnych relacji zachodzących między poszczególnymi elementami sprawozdań finansowych” [Pomykańska i Pomykański 2007, s. 66]. Dobór wskaźników finansowych uwarunkowany jest specyfiką branży, w której działalność prowadzi przedsiębiorstwo. W nauce i praktyce finansów upowszechniły się jednak grupy wskaźników stosowanych na potrzeby oceny sytuacji finansowej jednostki, dynamiki zmian w niej zachodzących, a także wpływu czynników otoczenia zewnętrznego na wyniki finansowe organizacji. Do najpowszechniej stosowanych możemy zaliczyć: wskaźniki płynności, rentowności, zadłużenia oraz trwałości struktury finansowania.

Uzyskane wyniki z przeprowadzonej analizy wskaźnikowej umożliwiają ustalenie tempa i struktury zmian, nie dają jednak możliwości oceny przyczyn zaistniałej sytuacji. „Analiza stanowi użyteczne narzędzie analizy finansowej wtedy, gdy analityk będzie świadomy jej ograniczeń. Obliczony wskaźnik jest użyteczny, kiedy zostanie porównany z określonym standardem” [Skoczylas i Dudycz 2012-2021, s. 39]. W literaturze zwraca się uwagę, iż wyniki powinny być interpretowane z dużą uwagą i ostrożnością. Szczególnie jest to istotne w sytuacji prognozowania trendów rozwoju przedsiębiorstwa [Panfil 2011].

W przypadku przedsiębiorstw z branży TSL zauważa się duże zróżnicowanie w obrębie nie tylko wyników finansowych całego podmiotu, ale również poszczególnych segmentów usług, co uwarunkowane jest przede wszystkim podatnością tej branży na wpływ czynników technologicznych oraz ścisłego powiązania z innymi sektorami gospodarki. Wyniki badań odnoszące się do nowych technologii w branży logistycznej wskazują na prognozowany wzrost silnej automatyzacji, robotyzacji i digitalizacji. Wprowadzeniu wielu zróżnicowanych nowych rozwiązań przyczyni się w przyszłości do przeobrażenia w branży [Kwiatkowska-Ciotucha i in. 2021]

Jak wynika z przeprowadzonych i opublikowanych badań, analizując poszczególne segmenty, deklarowana ocena sytuacji ekonomicznej była niższa w odniesieniu do firm transportowych, znacznie lepiej zaś oceniona w odniesieniu do branży spedycyjnej i kurierskiej. Utrzymanie dobrej kondycji finansowej było najprawdopodobniej uwarunkowane długością cyklu rotacji należności i zobowiązań [Rokicki 2021]. Jak wskazuje się zarówno w ogólnie przyjętej interpretacji, jak i literaturze problemy z płynnością finansową prowadzą do wydłużania okresu regulowania zobowiązań wobec dostawców i często wobec pracowników [Szopa 2012].

Materiały i metody

Celem niniejszego opracowania było ustalenie podobieństw pomiędzy poszczególnymi segmentami branży TSL w zakresie kluczowych wskaźników finansowych, do których zakwalifikowano: rentowność operacyjną aktywów, wskaźnik rentowności kapitału własnego, wskaźnik rentowności sprzedaży, wskaźnik płynności finansowej I stopnia, okres spływu należności, okres spłaty zobowiązań, wskaźnik trwałości struktury finansowania oraz wskaźnik zadłużenia ogólnego. Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem wskaźników branżowych opracowanych przez Komisję ds. Analizy Finansowej Rady Naukowej Stowarzyszenia Księgowych w Polsce publikowanych systematycznie od 2012 do 2020 roku². Badaniem objęto następujące branże:

- transport lądowy oraz transport rurociągowy (transport kolejowy, transport towarowy oraz pasażerski, działalność taksówek osobowych, transport rurociągowy paliw gazowych i pozostałych towarów),
- magazynowanie i działalność usługową wspomagającą transport (magazynowanie, przechowywanie towarów, paliw gazowych, działalność wspomagającą transport lądowy, wodny, morski, śródlądowy i lotniczy, przeładunek towarów, działalność morskich i śródlądowych agencji transportowych),
- działalność pocztową i kurierską (zbieranie, sortowanie, przewóz i doręczanie przesyłek listowych, paczek pocztowych niezależnie od miejsca przeznaczenia, świadczone przez operatora publicznego, objęte obowiązkiem usług powszechnych, z wykorzystaniem jednego lub więcej środków transportu prywatnego lub publicznego),
- transport wodny (transport przybrzeżny towarów, śródlądowy pasażerski),
- transport lotniczy (lotniczy, pasażerski oraz kosmiczny).

² Przy uwzględnieniu dostępności reprezentatywnych danych statystycznych.

Analizy przeprowadzono odrębnie dla każdego wskaźnika z wykorzystaniem analiz skupień. Celem badania było ustalenie największych różnic oraz podobieństw w zakresie zarówno poszczególnych wskaźników, jak i wyników finansowych w odniesieniu do struktury branży TSL. Jak wskazuje się z literaturze, analiza skupień odnosi się do segmentacji lub klastrowania danych i stanowi jedną z najczęściej wykorzystywanych metod eksploracji danych. Polega ona na wielowymiarowym dzieleniu zbioru danych na skupienia tak, aby elementy w obrębie tej samej grupy były do siebie jak najbardziej podobne, a zarazem najbardziej odmienne od elementów pozostałych skupień [Prędko 2016]. Do grupowania poszczególnych segmentów prowadzonej działalności wykorzystano metodę *k*-średnich. „Metodę *k*-średnich wykorzystuje się do analizy dużych ilości danych, a jej istota polega na zredukowaniu dużej ilości nagromadzonych informacji do kilku podstawowych kategorii, co pozwala na łatwe zorientowanie się w danym zjawisku, wyciągnięcie wniosków uogólniających” [Pietrzykowski i Kobus 2006, s. 302]. Uzyskane wyniki zestawiono w macierzy i dokonano oceny pod kątem ustalenia istotności statystycznej (dla $p < 0,05$) oraz zależności dla $r (-1;0;+1)$, wyznaczonej współczynnikiem korelacji Pearsona. Do analizy danych wykorzystano program Statistica 13.

Wyniki badań i dyskusja

Przeprowadzone analizy wykazały, że największe podobieństwa dla analizowanych segmentów występują w przypadku wyników finansowych w obszarze płynności finansowej oraz zadłużenia (klaster I), (tab. 6). Nie stwierdzono natomiast istotnych zależności pomiędzy poszczególnymi grupami. Okres spływu należności i spłaty zobowiązań był zbliżony w grupie przedsiębiorstw prowadzących działalność w zakresie transportu lądowego, magazynowania oraz kurierskiej. Przedsiębiorstwa te utrzymywały również rentowność sprzedaży na zbliżonym poziomie. Najdłuższy okres spływu należności i najwyższe zróżnicowanie w tym zakresie w badanych latach odnotowano w grupie 1. Pozostałe grupy cechowały się względną stabilnością w obszarze rotacji należności. Nie stwierdzono również istotnych zmian w pierwszym roku pojawienia się pandemii COVID-19 ($M = 52,75$ dla grupy I oraz $M = 36,61$ dla grupy II). Podobne tendencje utrzymywały się w przypadku okresów spłaty zobowiązań, przy czym stwierdzono zależności w analizowanych latach pomiędzy wynikami w grupach I i III ($r = 0,68, p = 0,04$) oraz w grupach II i III ($r = 0,69, p = 0,03$). Najwyższy poziom płynności finansowej utrzymywały przedsiębiorstwa specjalizujące się w transporcie lotniczym ($M = 5,88$), w relacji do podmiotów z grupy I poziom ten był blisko dwukrotnie wyższy. Nie stwierdzono istotnych zależności pomiędzy grupami w zakresie poziomu płynności finansowej. Kolejny wskaźnik dla klastru I stanowił poziom zadłużenia ogólnego stanowiący relację zobowiązań i rezerw na zobowiązania do stanu pasywów. Najwyższy poziom zadłużenia cechował przedsiębiorstwa z grupy I, które najniższe zadłużenie odnotowały w 2020 roku ($M = 38,19$). Z perspektywy możliwości zapotrzebowania na usługi analizowanych podmiotów gospodarczych istotne okazały się wyniki w zakresie rentowności sprzedaży. „Wskaźnik ten jest również określany zwrotem ze sprzedaży. Większa wartość wskaźnika określa korzystniejszą kondycję finansową firmy. Wskaźnik ten należy porównywać zarówno w czasie, jak i w branży, w której prowadzi działalność przedsiębiorstwo” [Kowalak 2022, s. 34]. Najwyższe wskaźniki rentowności odnotowano w transporcie lotniczym, a najniższe w pozostałych przedsię-

biorstwach z grupy I. W roku pandemii COVID-19 zaobserwowano spadek rentowności sprzedaży w grupie 3. Wskaźniki rentowności w 2020 roku przyjmowały nieprawidłowe wartości ujemne. W pozostałych grupach odnotowano blisko dwukrotny wzrost rentowności w relacji do 2019 roku. W zakresie wyników rentowności sprzedaży pomiędzy grupami I i II występowały istotne zależności statystyczne ($r = 0,71$, $p = 0,03$).

Kolejny klaster II został wyodrębniony pod kątem kształtowania się wskaźników trwałości struktury finansowania (tab. 3). „Utrzymanie wielkości kapitałów własnych na odpowiednim poziomie, a także ich jakość, często decyduje o stabilnym i długotrwałym rozwoju przedsiębiorstwa” [Barburski 2018, s. 25].

Najwyższy poziom stabilności i bezpieczeństwa finansowego cechował przedsiębiorstwa z grupy II, które prowadziły działalność w obszarze transportu wodnego oraz lotniczego. Stwierdzono istotne zależności pomiędzy wynikami z grup I i III ($r = 0,78$, $p = 0,01$). Klaster III odnosił się do wskaźnika rentowności operacyjnej aktywów (tab. 4). „Jej wielkość informuje, jaka jest rentowność posiadanego majątku na tle działalności operacyjnej i jaka część aktywów została <odzyskana> w badanym roku” [Rybicki 2009, s. 123]. Najbardziej zróżnicowaną grupę stanowiły podmioty specjalizujące się w transporcie lotniczym. Średni poziom rentowności operacyjnej aktywów był blisko

Tabela 1. Wyodrębnione klastry w strukturze segmentów branży TSL z uwzględnieniem wyników analizy wskaźnikowej

Table 1. Clusters separated from the structure of the TSL industry segments, taking into account the results of the ratio analysis.

Klaster I	
Grupa I – transport lądowy oraz transport rurociągowy, magazynowanie i działalność usługowa wspomagająca transport, działalność pocztowa i kurierska	okres spływu należności, okres spłaty zobowiązań, wskaźnik płynności finansowej I stopnia, wskaźnik zadłużenia ogólnego, rentowność sprzedaży
Grupa II – transport wodny	
Grupa III – transport lotniczy	
Klaster II	
Grupa I – transport lądowy oraz rurociągowy, magazynowanie i działalność usługowa wspomagająca transport	trwałość struktury finansowania
Grupa II – transport wodny oraz lotniczy	
Grupa III – działalność pocztowa i kurierska	
Klaster III	
Grupa I – transport drogowy i rurociągowy, magazynowanie i działalność usługowa wspomagająca transport	rentowność operacyjna aktywów
Grupa II – transport wodny, działalność pocztowa i kurierska	
Grupa III – transport lotniczy	
Klaster IV	
Grupa I – działalność pocztowa i kurierska	rentowność kapitału własnego
Grupa II – transport lądowy i rurociągowy, transport wodny, magazynowanie i działalność usługowa wspomagająca transport	
Grupa III – transport lotniczy	

Źródło: opracowanie własne.

trzykrotnie wyższy w segmencie lotniczym w relacji do przedsiębiorstw z grupy I. Istotne zależności stwierdzono pomiędzy wynikami dla grup I oraz II ($r = 0,78$, $p = 0,01$). W okresie objętym pandemią spadek rentowności operacyjnej majątku zaobserwowano w grupie III (z 31,54 do 21,95%). W pozostałych grupach nastąpił wzrost dwukrotny wzrost rentowności w relacji do 2019 roku.

Wyniki analizy wskaźnikowej (tab. 2) w zakresie rentowności kapitału własnego doprowadziły do pogrupowania przedsiębiorstw w klastrze IV (tab. 5). Podobnie jak w przypadku pozostałych klastrów odrębną grupę stanowiły podmioty prowadzące działalność na rynku usług lotniczych. Średni poziom rentowności kapitału własnego dla tej grupy był blisko dwukrotnie wyższy niż w przypadku grupy I oraz II. Nie stwierdzono istotnych zależności pomiędzy wynikami dla poszczególnych grup. Najwyższy wzrost rentowności kapitału własnego (ponad dwukrotny w stosunku do 2019 roku) zaobserwowano dla przedsiębiorstw prowadzących działalność pocztową i kurierską (grupa I).

Tabela 2. Grupy wskaźników finansowych dla przedsiębiorstw zgrupowanych w klastrze I
Table. Groups of financial ratios for enterprises grouped in cluster I

Klaster I	Grupa I	Grupa II	Grupa III
Okres sływu należności	$M = 113,26$	$M = 52,94$	$M = 36,24$
	$SD = 51,71$	$SD = 3,92$	$SD = 5,34$
	$V = 45,65$	$V = 7,41$	$V = 14,74$
Okres spłaty zobowiązań	$M = 49,38$	$M = 38,33$	$M = 38,63$
	$SD = 5,01$	$SD = 5,50$	$SD = 5,50$
	$V = 10,17$	$V = 14,35$	$V = 28,15$
Wskaźnik płynności finansowej I stopnia	$M = 2,01$	$M = 3,23$	$M = 5,88$
	$SD = 0,37$	$SD = 1,21$	$SD = 5,29$
	$V = 18,53$	$V = 37,34$	$V = 89,93$
Wskaźnik zadłużenia ogólnego	$M = 49,38$	$M = 38,33$	$M = 38,63$
	$SD = 5,02$	$SD = 5,50$	$SD = 10,88$
	$V = 10,17$	$V = 14,36$	$V = 28,15$
Rentowność sprzedaży	$M = 4,05$	$M = 7,68$	$M = 19,61$
	$SD = 1,74$	$SD = 2,82$	$SD = 2,82$
	$V = 42,92$	$V = 36,68$	$V = 70,19$

M – średnia, SD – odchylenie standardowe, V – współczynnik zmienności

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Grupy wskaźników finansowych dla przedsiębiorstw zgrupowanych w klastrze II
Table 3. Groups of financial ratios for enterprises grouped in cluster II

Klaster II	Grupa I	Grupa II	Grupa III
Trwałość struktury finansowania	$M = 0,59$	$M = 0,70$	$M = 0,57$
	$SD = 0,02$	$SD = 0,06$	$SD = 0,09$
	$V = 3,84$	$V = 8,12$	$V = 15,03$

M – średnia, SD – odchylenie standardowe, V – współczynnik zmienności

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Grupy wskaźników finansowych dla przedsiębiorstw zgrupowanych w klastrze III
 Table 4. Groups of financial ratios for enterprises grouped in cluster III

Klaster III	Grupa I	Grupa II	Grupa III
	$M = 9,81$	$M = 11,54$	$M = 27,12$
Rentowność operacyjna aktywów	$SD = 2,02$	$SD = 5,03$	$SD = 11,05$
	$V = 20,55$	$V = 43,60$	$V = 40,76$

M – średnia, SD – odchylenie standardowe, V – współczynnik zmienności

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 5. Grupy wskaźników finansowych dla przedsiębiorstw zgrupowanych w klastrze IV
 Table 5. Groups of financial ratios for enterprises grouped in cluster IV

Klaster IV	Grupa I	Grupa II	Grupa III
	$M = 19,46$	$M = 20,00$	$M = 32,42$
Rentowność kapitału własnego	$SD = 12,29$	$SD = 5,18$	$SD = 14,32$
	$V = 63,14$	$V = 25,88$	$V = 44,17$

M – średnia, SD – odchylenie standardowe, V – współczynnik zmienności

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6. Średnie wartości wskaźników finansowych dla poszczególnych segmentów działalności
 Table 6. Average values of financial ratios for particular segments of activity

Okres spływu należności	Grupa I	Grupa II	Grupa III
2012	148,54	51,22	28,87
2013	122,4	51,6	28,69
2014	37,8	48,18	34,92
2015	128,66	48,78	42,36
2016	174,37	52,42	35,82
2017	55,71	53,89	44,43
2018	151,36	60,86	35,19
2019	151,74	56,75	39,32
2020	48,79	52,75	36,61

Płynność finansowa I stopnia	Grupa I	Grupa II	Grupa III
2012	1,63	2,26	6,93
2013	2,90	2,64	2,78
2014	1,88	3,27	11,43
2015	1,80	3,53	3,36
2016	1,79	4,96	17,11
2017	1,80	2	1,64
2018	2,13	1,82	5,82
2019	2,05	5,16	2,16
2020	2,11	3,44	1,67

Okresy spłaty zobowiązań	Grupa I	Grupa II	Grupa III
2012	54,43	40,35	36,12
2013	48,39	42,48	42,93
2014	50,63	37,73	32,95
2015	52,30	33,99	44,11
2016	51,52	35,37	33,44
2017	53,93	41,12	57,44
2018	49,46	45,53	42,38
2019	45,58	41,26	41,05
2020	38,19	27,16	17,22

Zadłużenie ogólne	Grupa I	Grupa II	Grupa III
2012	54,43	40,35	36,12
2013	48,39	42,48	42,93
2014	50,63	37,73	32,95
2015	52,30	33,99	44,11
2016	51,52	35,37	33,44
2017	53,93	41,12	57,44
2018	49,46	45,53	42,38
2019	45,58	41,26	41,05
2020	38,19	27,16	17,22

cd. tabeli 6

Trwałość struktury finansowania	Grupa I	Grupa II	Grupa III
2012	0,58	0,72	0,47
2013	0,59	0,68	0,62
2014	0,59	0,74	0,53
2015	0,59	0,72	0,5
2016	0,58	0,75	0,53
2017	0,56	0,60	0,49
2018	0,59	0,65	0,6
2019	0,60	0,69	0,66
2020	0,64	0,79	0,72

Rentowność operacyjna aktywów	Grupa I	Grupa II	Grupa III
2012	8,38	8,345	25,59
2013	8,54	7,75	31,6
2014	9,52	14,075	12,13
2015	10,55	5,875	41,63
2016	9,92	10,685	38,59
2017	9,74	11,58	9,24
2018	8,93	12,685	31,81
2019	7,99	9,735	31,54
2020	14,72	23,115	21,95

Rentowność kapitału własnego	Grupa I	Grupa II	Grupa III
2012	25,64	12,81	27,89
2013	5,48	15,80	38,85
2014	12,50	18,66	7,03
2015	7,11	18,98	43,77
2016	10,90	20,78	41,89
2017	40,03	16,82	18,66
2018	21,54	25,27	50,29
2019	16,28	20,70	41,88
2020	35,66	30,16	21,56

Rentowność sprzedaży	Grupa I	Grupa II	Grupa III
2012	3,50	3,65	23,58
2013	3,15	8,78	12,20
2014	3,00	9,71	13,62
2015	3,39	6,89	34,11
2016	2,61	4,85	38,44
2017	3,35	5,78	2,94
2018	5,29	8,07	27,15
2019	3,98	8,36	26,42
2020	8,23	13,08	-1,93

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona analiza potwierdziła istotę zależności pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami oraz podobieństwa w uzyskanych wynikach finansowych w wybranych branżach TSL. Wykazano, iż wskaźniki rentowności mają bezpośredni wpływ na zróżnicowanie wyników finansowych w poszczególnych segmentach działalności w branży TSL. Podobieństwa pomiędzy przedsiębiorstwami występują w relacjach pomiędzy płynnością, zadłużeniem i rentownością sprzedaży.

Podmioty prowadzące działalność w szeroko rozumianej branży logistycznej nie są jednorodnie w zakresie utrzymywania poziomu bezpieczeństwa finansowego. Najbardziej niejednorodną grupę stanowi transport lotniczy. Cechuje go najwyższe zróżnicowanie w zakresie wyników rentowności majątku w relacji do pozostałych segmentów działalności. W 2020 roku charakteryzował się największą podatnością wpływu czynników zewnętrznych na poziom utrzymywanej stabilności finansowej. W odniesieniu do 2019 roku podmioty prowadzące działalność w segmencie transportu lotniczego jako jedyne odnotowały spadek rentowności majątku. Pozostałe przedsiębiorstwa utrzymywały wskaźniki finansowe na poziomie zbliżonym do lat wcześniejszych sprzed okresu pandemii COVID-19.

Jak wynika z innych analiz rynkowych wzrost zadłużenia w branży TSL był najbardziej widoczny w kolejnych latach pandemii. Do grudnia 2021 roku zadłużenie firm transportowych wzrosło o 27%. Większość zadłużenia należało do przewoźników świadczących usługi transportu drogowego towarów oraz działalność usługową związaną z przeprowadzkami. Drugie pod względem łącznego zadłużenia były firmy prowadzące działalność usługową wspomagającą transport. Najmniej liczną grupę stanowiły podmioty specjalizujące się w magazynowaniu i przechowywaniu towarów [KRD 2021]. Branża TSL jest jednym z najistotniejszych czynników determinujących rozwój gospodarki. Reasumując, wyniki analiz finansowych pokazują, iż nie jest jednak jednorodna pod względem kondycji finansowej, na co wpływ ma przede wszystkim specyfika przebiegu operacji logistycznych i rozmiar ponoszonych kosztów.

Bibliografia

- Barburski J., 2018: Struktura finansowania a wielkość przedsiębiorstw sektora produkcyjnego w Polsce w latach 2011–2016, *Finanse, Rynki finansowe, Ubezpieczenia*, 92(2), 23–35.
- Korol T., 2013: Nowe podejście do analizy wskaźnikowej w przedsiębiorstwie, Wolters Kluwer Business, Warszawa.
- Kowalak R., 2022: Analiza finansowa. Przewidywanie bankructwa i analiza trudności finansowych. Teoria, przykłady i zadania, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
- KRD, 2021: Ogólnopolski Raport Krajowego Rejestru Długów Biura Informacji Gospodarczej SA, Obciążenie ponad normę – czyli sytuacja finansowa w branży TSL, III Edycja, [źródło elektroniczne] <https://krd.pl/getattachment/00f8d5c4-9649-4e7b-9439-a6732f5e9e-15?stamp=637829537857200000> [dostęp: 05.01.2023].
- Kwiatkowska-Ciotucha D., Załuska U., Grześkowiak A., Jakubiak M., 2021: Kompetencje w logistyce w świetle aktualnych wyzwań, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
- Panfil M. (red.) 2011: Finansowanie rozwoju przedsiębiorstwa. Studia przypadków, Difin, Warszawa.
- Pietrzykowski R., Kobus P., 2006: Zastosowanie modyfikacji metody k-średnich w analizie portfelowej, *Ekonomika i Organizacji Gospodarki Żywnościowej*, 60, 301–308,
- Pomykańska B., Pomykański P., 2007: Analiza finansowa przedsiębiorstwa, PWN, Warszawa.
- Prędko A. (red.), 2016: Metody analityczne w naukach ekonomicznych – wybrane zastosowania, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Kraków.
- Rokicki T. (red.), 2021: Wyzwania logistyki we współczesnym świecie – COVID-19, transport, magazynowanie, opakowania, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Rybicki P., 2009: Sprawozdanie finansowe. Co mówi o firmie, Poltext, Warszawa,
- Skoczylas W., Dudycz T., 2012-2021, Sektorowe wskaźniki finansowe, Sytuacja finansowa przedsiębiorstw według działów (branż) w latach 2012–2020, *Rachunkowość*, 59–80.
- Szopa A., 2012: Podstawy inżynierii finansowej, Wolters Kluwer Business, Warszawa.

Tomasz Siudek^{1✉}, Aldona Zawojska²
Warsaw University of Life Sciences – SGGW

Supply-chain sustainability under the EU system of carbon pricing and trading

Abstract. As global climate change continues, policymakers at various levels of government have taken up the great challenge of decarbonisation and adopted tools to help reduce greenhouse gas emissions. Environmental policy, including climate policy, is explicitly aimed at promoting environmental protection and conservation, but it also carries economic and social effects. Academic interest in sustainable supply chains has grown significantly in recent years. Social aspects, as well as the integration of the three dimensions of sustainability, are still rare. The purpose of this study is: (1) to review the most recent literature on greenhouse gas emissions policies, particularly pollution taxes and pollution rights trading schemes; (2) to investigate the European Union Emissions Trading System (EU ETS) with a focus on market and price development; (3) to identify possible effects of this system on supply-chain sustainability; (4) to offer inspiration for further research into the links between the EU ETS and sustainable development of the supply chain. The article concentrates on the impact of the cap-and-trade scheme on the three pillars of sustainable development: the environmental, economic and social dimensions. The findings of this study prove that this scheme has significantly affected not only upstream regulated sectors, but also downstream companies in the supply chain as well as households. In addition, our investigation suggests the presence of trade-offs between the environmental (climate) and socio-economic goals of sustainable development as a result of applying the EU ETS.

Key words: emission allowance pricing, carbon tax, emissions trading system, Europe, Poland

Synopsis. Wraz z postępującymi zmianami globalnego klimatu decydenci na różnych szczeblach władzy podjęli ogromne wyzwanie dekarbonizacji i przyjęli narzędzia pomagające ograniczyć emisję gazów cieplarnianych. Polityka środowiskowa, w tym klimatyczna, ma jednoznacznie na celu promowanie ochrony i zachowania środowiska naturalnego, ale niesie ze sobą również skutki gospodarcze i społeczne.

^{1✉} Tomasz Siudek – Warsaw University of Life Sciences – SGGW; Institute of Economics and Finance; Department of Finance; e-mail: tomasz_siudek@sggw.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0001-8400-5631>

² Aldona Zawojska – Warsaw University of Life Sciences – SGGW; Institute of Economics and Finance; Department of Economics and Economic Policy; e-mail: aldona_zawojska@sggw.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0003-3668-0127>

Zainteresowanie badaczy zrównoważonymi łańcuchami dostaw znacznie wzrosło w ostatnich latach. Aspekty społeczne, jak również integracja trzech wymiarów zrównoważonego rozwoju, są jednak nadal rzadkością. Celem niniejszego opracowania jest: (1) dokonanie przeglądu najnowszej literatury na temat polityki w zakresie emisji gazów cieplarnianych, w szczególności podatków od zanieczyszczeń i systemów handlu prawami do zanieczyszczeń; (2) przedstawienie unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS) z uwzględnieniem rozwoju rynku i cen uprawnień; (3) określenie potencjalnego wpływu EU ETS na zrównoważony rozwój łańcucha dostaw oraz (4) zaoferowanie inspiracji do dalszych badań powiązań między EU ETS a zrównoważeniem łańcucha dostaw. Artykuł koncentruje się na kwestiach środowiskowych, ekonomicznych i społecznych związanych z systemem ograniczenia emisji i handlu uprawnieniami w kontekście łańcucha dostaw. Wyniki naszego badania wskazują, że system ten znacząco wpłynął nie tylko na regulowane sektory wyższego szczebla, ale także na przedsiębiorstwa niższego szczebla w łańcuchu dostaw, a także na gospodarstwa domowe. Ponadto sugerują one, że realizacja EU ETS powoduje powstawanie konfliktów (*trade-offs*) pomiędzy celami środowiskowymi (klimatycznymi) a społeczno-ekonomicznymi zrównoważonego rozwoju.

Słowa kluczowe: ceny uprawnień do emisji, podatek węglowy, system handlu emisjami, Europa, Polska.

JEL codes: Q52, Q58, D23, F18, H23

Introduction

Since pollutant emissions are believed to be a significant driver of global climate change, they are at the forefront of ongoing academic and political debates on sustainable development, especially concerning its ecological dimension. One of the main concerns today is carbon emissions from supply chain operations, which is why many governments have introduced measures to promote fuel and energy conservation and emissions reduction. Much of the economic output is organised around a complex system of interdependent supply chains. As extreme weather events caused by climate change become more frequent or severe, they upgrade the risk of events more intensive than production assets can withstand, thus increasing the likelihood of supply chain disruptions. At the same time, supply chains are sensitive to both environmental regulatory constraints and the evolving carbon markets. In this context, the impact of the European Union system of carbon-cutting, carbon-pricing and carbon trade on the supply chain is becoming a hot topic. There are also relevant questions about how Russia's ongoing aggression against Ukraine has affected the European carbon market and whether this conflict justifies rethinking the European Union's primary climate policy tool – the Emissions Trading System (EU ETS).

The link between emission trading schemes and supply-chain sustainability based on environmental considerations has been well covered in the literature. There are, however, relatively few studies that address all three dimensions of sustainable supply chain development. The main contribution of our research [to the literature] is to explain the impact of the EU ETS on environmental, economic and social dimensions of sustainable development of supply chain entities.

A typical supply chain is understood here as an arrangement of raw materials suppliers, manufacturers (producers), distributors (retailers and wholesalers) and consumers linked by the downstream flow of transformed goods and services and the upstream flow of money, as well as the associated flow of information in both directions of the supply chain. While there are various sustainability concepts, the main one is the triple-bottom-line approach, in which minimum environmental, economic and social outcomes must be achieved.

Review of the literature

The economic and social rationale for imposing prices on carbon emissions

Carbon pricing is widely recognised as an essential tool for meeting the 2015 Paris Agreement's climate change mitigation goals by preventing or reducing the emission of greenhouse gases (GHG) into the atmosphere. Economists consider environmental pollution as a classic example of a negative externality (i.e., an unintended consequence of production or consumption that reduces another agent's profits or utility – injures, harm or costs being thrown upon people not directly concerned with production or consumption) [Pigou 1932]. Because the market price of carbon-intensive goods and services does not account for the social costs of climate change impacts, greenhouse gas emissions are viewed as a negative externality [Nordhaus 2015]. Examples of such external costs include decreased quality of life of communities around the supply chain, cost of stress and public health damages associated with exposure to air pollution, heatwaves and droughts, material losses from floods and rising sea levels, as well as inequalities between the poor and wealthy persons or regions when coping with those damages. Carbon pricing is, therefore, an instrument that captures the negative externalities of greenhouse gas emissions (i.e., indirect costs borne by those harmed by the pollution and climate change). This tool binds negative externalities to sources through a price, usually in the form of the price of emitted carbon dioxide (CO₂).

Ronald Coase represents another stream of literature that views environmental contamination as primarily a problem of uncompleted or ill-defined property rights to the relevant economic resources. According to Coase, "if the factors of production are thought of as rights, it is easier to understand that the right to do something that has a harmful effect (such as producing smoke) is also a factor of production". This means that one may use a right to deny someone unpolluted air. "The cost of exercising a right (using a factor of production) is always the loss which is suffered elsewhere in consequence of the exercise of that right – the inability to (...) breathe clean air" [Coase 1960, p. 44]. In the case of air-related environmental problems, it is difficult to imagine how property rights could be effectively defined and enforced. Market mechanisms alone are unlikely to prevent the depletion of the Earth's ozone layer. In such cases, economists accept the likely need for government regulatory interventions.

Carbon pricing strategies are conceptually rooted in neoclassical economics. Climate change is seen as a problem of market failure or imperfections; the price of carbon is to correct market signals [Rosenbloom et al. 2020]. This policy instrument's high cost-

effectiveness potential is one of its primary drivers because it integrates climate change into company and household decision-making processes, influencing those entities' production, investment and purchasing decisions.

Carbon pricing has several economic justifications [Stavins 2019, Teixidó et al. 2019, Hepburn et al. 2020, Bourgeois et al. 2021, Khan and Johansson 2022, Parry et al. 2022]. Among others, these include:

- Reduction of CO₂ emissions cost-effectively: pricing promotes the full range of behavioural responses for reducing energy use and shifting to low-carbon fuels;
- Clean energy investment: the expectation of rising fuel prices incentivises innovation and adoption of new low-carbon technologies – i.e., induces low-carbon technological change (e.g., solar, wind, and other low-carbon technologies);
- Fiscal: carbon pricing mobilises a valuable source of public revenue that can be used to achieve various economic, social and ecological goals;
- Co-benefits for the national environment (improved human health through reduced local air pollution).

The typical economic approach to designing a carbon pricing focuses primarily on problems of efficiency, effectiveness and equity (fairness), taking into account how it will affect economic growth and how the costs and benefits will be distributed, which will determine who benefits and who bears the consequences of such a policy. As for the distributional effects, carbon pricing ultimately burdens consumers and poor households more than affluent households, as the former generally devote a larger share of their income to cover their energy needs [Grainger and Kolstad 2010, Farrell 2017, Stede et al. 2021].

On the other hand, behavioural economics and political economy focus on political acceptability imperatives (i.e., how to recycle revenues originating from carbon pricing to secure policy acceptance by citizens) [Klenert et al., 2018, Frondel and Schubert 2021]. Carbon pricing tends to have diffuse benefits and concentrated costs; thus, in the political process, the scattered beneficiaries are less likely to support it than carbon-intensive companies are likely to oppose it [Klenert et al. 2018]. In 2021, the global revenues from this source were considerable, at around 84 billion USD, 60% higher than in 2020 [World Bank 2022b], and are expected to increase. Therefore, how they have been used plays a crucial role in the public perception of climate policy and its instruments.

Countries face many choices in designing ways to put a price on carbon emissions, but a critical choice is between carbon taxes and emissions trading schemes (ETSs). Both operate on the “polluter pays” principle, which effectively encourages switching to more sustainable energy sources and reducing emissions-intensive activities [Black et al. 2022].

Types of main explicit carbon pricing instruments

The two different perspectives (Pigou's and Coase's positions) have led to two economic responses or policy prescriptions for climate change: carbon taxes versus tradable carbon rights. On the one hand, following the lead of Arthur Cecil Pigou, who saw pollution as a cost imposed on the rest of society, regulators could ensure that emitters would internalise (compensate) the damages they caused by charging a tax on each unit of pollution, equal to the marginal social damages at the efficient level of pollution control [Pigou 1932]. On the other hand, they could solve the problem of pollution by clarifying poorly defined rights of property [Coase 1960].

Table 1 compares the two major approaches to carbon pricing: carbon taxes and a cap-and-trade system.

Table 1. Main forms of carbon pricing

	Carbon taxes	Emissions trading systems (cap-and-trade)
Nature	Puts an explicit price on each tonne of GHG emitted. The tax rate is set directly by the regulatory authority.	The regulatory body stipulates the overall allowable quantity of GHG emissions allotted to participating emitters; covered entities can buy additional allowances or sell excess allowances; market auctioning is a principal allocation method.
Advantages	Administratively simple and relatively straightforward to implement; can rely on the existing tax infrastructure; stable price signal; relatively efficient revenue source that enables policymakers to reduce more distortive taxes.	More temporal price flexibility for regulated entities; certainty on emission levels (provided the penalty for overage is high enough to deter companies from opting to pay); a counter-cyclical policy instrument (when an economy goes into recession, the demand for, and price of, allowances falls).
Drawbacks	Limited flexibility for companies to manage compliance costs in the short-term; less certainty of emission levels; difficulty in setting the correct tax rate.	Administratively complex; less certainty on price levels as the carbon price is set by the market – risk of high price volatility; too high carbon caps can hinder economic development.

Source: own compilation based on [Stavins 2019, Waltho et al. 2019, Gadde 2022, Khan and Johansson 2022].

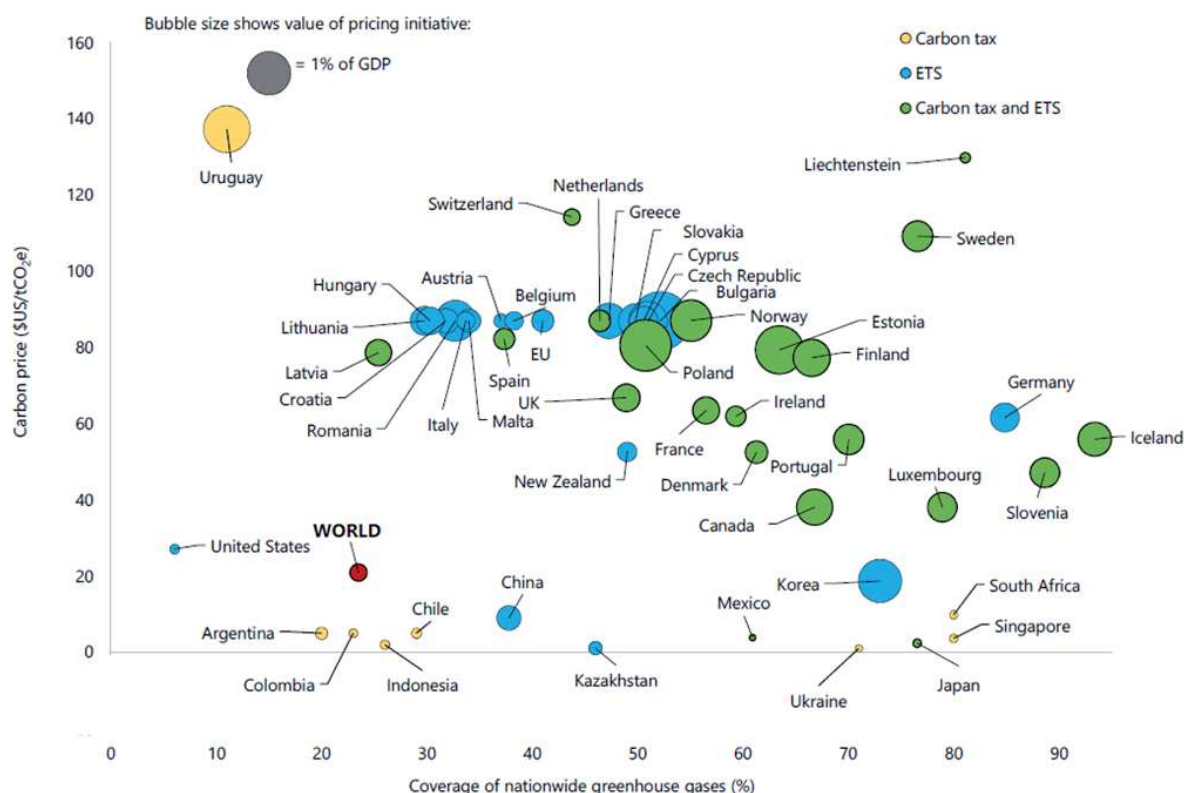


Figure 1. Regional, national and subnational carbon pricing schemes by country, 2022

Rysunek 1. Ponadnarodowe, narodowe i subnarodowe systemy opłat za emisję gazów cieplarnianych według krajów, 2022

Source: [Parry et al. 2022, p. 2]

In 2022, globally, 70 carbon pricing initiatives were in operation. By 2022, as many as 47 national and 36 sub-national jurisdictions had implemented or planned carbon pricing instruments, including ETS and taxes. These mechanisms could have covered 11.86 GtCO₂e, representing about 23.2% of global GHG emissions. Since January 2021³, the EU ETS (regional initiative) has operated in 30 national jurisdictions: all 27 EU member states and Iceland, Liechtenstein and Norway. In 2022, around 3.18% of global GHG emissions were included in the EU ETS [World Bank 2022a]. Figure 1 provides up-to-date information on existing carbon pricing initiatives around the world.

The European Union Emissions Trading System

The EU ETS was launched in 2005 and has since been “the cornerstone” of the EU’s strategy to decarbonise the economy and a flagship element of EU climate policy, covering about 45% of the EU’s greenhouse gas emissions. This cap-and-trade mechanism is in line with the “polluter pays principle”. The overall volume of greenhouse gases (GHGs) that compliance power plants, industrial factories and the aviation sector can emit is restricted by a cap on the number of emission allowances. This quota gradually decreases each year to ensure a reduction in total emissions. Regulated emitters engage in activities such as receiving, purchasing, selling and exchanging emission allowances. Each allowance grants the holder the right to emit either one tonne of carbon dioxide (CO₂) or an equivalent amount of nitrous oxide (N₂O) and perfluorocarbons (PFCs).

Since 2013, an emission limit has been set for the entire EU. As of 2021, around 57% of the EU-wide cap for stationary installations is auctioned, with the rest available for free. Free allowances account for 82% of the aviation cap, while 15% of these are auctioned [European Commission 2021c]. The European Commission believes that auctions are the most transparent method of allocating emission allowances and that their sufficiently high price in the emissions market motivates polluters to invest in clean, low-emission technologies.

To meet their legal obligations, supply chain actors must reduce their emissions through environmentally sustainable actions, such as implementing energy efficiency measures, deploying carbon capture and storage systems, or investing in other emissions-reducing technologies. Bearing additional financial costs of allowance purchasing and operation restructuring, they may lose market share to rival companies outside the EU ETS. By exploiting cross-country regulatory differences, they may also consider relocating production and distribution facilities (investment leakage) to unregulated or less-stringent regions based on various criteria, including environmental and economic dimensions [Koch and Basse Mama, 2019, Schoubben 2020].

A vital element of the EU ETS is the Market Stability Reserve (MSR) implemented in 2015 to address the structural oversupply of allowances, which amounted to a whole year’s worth of pollution by the covered sectors (Decision (EU) 2015/1814, 2015). In 2019, the MSR started its operation, actively sucking surplus pollution permits out of the market. From 2023 onwards, it will also delete or cancel emission allowances held in reserve. The European Commission has proposed to reform the MSR to sell some of the

³ On 1 January 2021, a UK ETS replaced the UK’s participation in the EU ETS.

allowances it contains⁴ to finance the REPowerEU plan proposed in May 2022 – a solution to rapidly reduce the EU's dependence on Russian fossil fuels in response to Russia's invasion of Ukraine and accelerate the green transformation [European Commission 2022e]. Some believe that a larger supply of allowances could increase the amount of climate pollution that is permitted under the system, lower carbon prices, reduce the proceeds from auctions that are collected by member states or used to fund climate-friendly innovation, and weaken incentives for businesses to decarbonise [Stoefs and Ruggiero 2022]. A key role in REPowerEU is to be played by the EU ETS Innovation Fund programme launched by the European Commission to support the deployment of innovative clean tech manufacturing and innovative electrification and hydrogen applications. The estimated maximum budgetary envelope for the implementation of the Innovation Fund for 2022 has been set at 3.12 billion EUR and will be financed (among other sources) by revenues from the auctioning of the allowances destined for the Innovation Fund (European Commission, 2022f).

The political conflict around EU climate policy, clearly visible between the ambitious Western and Northern member states and the less wealthy, more sceptical Eastern member states, including Poland [von Homeyer et al. 2022, International Energy Agency 2022] exemplifies differences in national and sub-regional economic and political interests. Given the ongoing global changes and problems within and around the EU, some investigators [Filipović et al. 2022, Radovanović et al. 2022] claim that there is a lack of adequate understanding and monitoring of the effects of each Green Deal action and quantitative indicators for environmental, economic and social pillars pose a potential threat to sustainable development and the EU unity. According to them, the Green Deal focuses inadequately on social aspects directly related to the decarbonisation process.

Research aims and methods

The research aims: (1) to survey the literature developed over past years on GHG emission policies, particularly those concerning pollution taxes and pollution-rights trading schemes; (2) to examine the European Union's Emissions Trading Scheme (EU ETS) with focus on market and price developments; (3) to identify possible effects of the EU ETS on the sustainability of the supply chain; (4) to propose areas and issues for further research into the links between the EU ETS and sustainable development of the supply chain.

Theoretically, carbon pricing is considered from the perspective of property rights, public goods, political economy and sustainable development concepts. In line with those aims, the research methods include a content review of the selected scientific articles and documents, as well as an analysis of the time series on European Union allowances (EUA). The study used simple econometric tools, namely the coefficient of variation (CV), to check the variability of carbon emission prices and a Pearson's correlation to check the relationship between selected variables.

⁴ The European Commission proposed to increase the Recovery and Resilience Facility's (RRF) financial envelope with 20 billion EUR in grants from the sale of EU ETS allowances held in the MSR to be auctioned in a way that does not disrupt the market [European Commission 2022d].

The data was derived from publicly available sources: the World Bank, the European Commission – the European Union Emission Trading Scheme, the European Energy Exchange and the European Environmental Agency.

Results and discussion

The EU ETS' allowances in circulation on the European carbon market

By 15 May each year (starting in 2017), the European Commission shall publish the total number of carbon emission allowances in circulation. This figure determines whether some of the allowances intended to be auctioned should be placed into or released from the MSR. On May 2022, the European Commission published the total number of allowances in circulation in 2021, amounting to around 1.45 billion (in 2020, around 1.58 billion). As long as this amount exceeds the threshold of 833 million allowances, a particular share of the total number of allowances in circulation is placed in the MSR each year. In opposite, allowances are released from the MSR if the total number of allowances in circulation is lower than 400 million units. For 2019–2023, this deduction percentage is set at 24% of the total number of allowances in circulation. A corresponding amount will be deducted from the auction volumes of the member states, the three EEA-EFTA countries and of the United Kingdom (in respect of the generation of electricity in Northern Ireland). Auction volumes from September 2022 to August 2023 were to be reduced by about 347.8 million allowances [European Commission 2022b]. In 2021, the MSR holdings accounted for about 14% of the allowances supply (Table 2).

Table 2. The total number of EU ETS' allowances in circulation in 2021

Tabela 2. Całkowita liczba uprawnień EU ETS znajdujących się w obiegu w 2021 roku

Supply	Number of allowances
a) Banking from the period 2008–2012 (allowances issued during 2008–2012 of the EU ETS, which were not surrendered to cover verified emissions or cancelled)	1,749,540,826
b) Allowances allocated for free for the period 1/01/2013–31/12/2021, including from the new entrants' reserve	7,141,195,439
c) Unallocated allowances pursuant to Articles 10a(7), 10a(19) and 10a(20) of Directive 2003/87/EC	886,806,455
d) Allowances deducted from c) in order to be auctioned in 2020 for the Innovation Fund	–50,000,000
e) Allowances deducted from c) and placed in the new entrants' reserve in 2021	–200,000,000
f) Total number of allowances auctioned between 1/01/2013 and 3/12/2021, including early auctions	6,598,419,287
g) Allowances used for flexibility under Regulation (EU) 2018/842 (included in f)	7,213,787
h) Allowances deducted from auctioning volumes during the period 2014–2016	900,000,000
i) Allowances deducted from auctioning volumes in 2019–2021 pursuant to the previous Commission Communications	1,095,875,607
j) The number of allowances monetised by the European Investment Bank for the purposes of the NER300 programme	300,000,000

Table 2. cont.

k) International credit entitlements exercised by installations in respect of emissions up to 31/12/2020	497,248,017
Sum (supply)	18,919,085,631
Demand	
(a) Tonnes of verified emissions from installations under the EU ETS between 1/01/2013 and 31/12/2021	14,836,567,505
(b) Allowances cancelled in accordance with Article 12(4) of Directive 2003/87/EC by 31/12/2021	621,882
Sum (demand)	14,837,189,387
Number of allowances in the Market Stability Reserve	2,632,682,071
Total number of allowances in circulation	1,449,214,173

* The total number of allowances in circulation: $TNAC = \text{Supply} - (\text{Demand} + \text{allowances in the MSR})$

Source: [European Commission 2022b].

The EU ETS has been put under probe by three large shocks affecting the demand for and supply of emission allowances: (1) a temporary negative allowance demand shock due to COVID-19 lockdowns reducing energy demand; (2) a positive or negative allowance demand change because of overlapping policies from the NextGenerationEU recovery stimulus package; (3) a permanent negative allowance supply adjustment because of more ambitious emissions reduction target of 61% by 2030 compared to 2005 levels, as part of the proposed ‘Fit for 55’ package, which implements the goals of the European Green Deal [Bruninx and Ovaere 2022].

The EU emission allowances auctions and prices

Auctioning is the default method of allocating allowances within the EU ETS. Most countries participating in this mechanism auction their emission allowances on the European Energy Exchange – EEX in Leipzig [EEX 2022]. It has been awarded the role of the Common Auction Platform (CAP) to auction EU general allowances (EUAs) and EU aviation allowances (EUAAAs) on its spot market on behalf of 25 EU member states and three EEA/EFTA states (Iceland, Liechtenstein and Norway), as well as for the Innovation Fund and the Modernisation Fund. Germany and Poland have opted out of this platform. Germany has nominated EEX as its opt-out platform, while Poland will use it until further notice. In December 2020, Poland concluded an agreement with the EEX to use the CAP3 to auction its portion of allowances. This exchange also conducts emissions auctions for the UK regarding electricity generation in Northern Ireland. The EEX is now the auction platform which covers the entire auction volume under the EU ETS. Table 3 provides an overview of the results of auctions by the CAP for the participating member states and Poland. The total auction volume (Column 2 in the table) represents the supply of allowances, while the total bid volume (Column 3) represents the demand for them.

The total revenues from the auctions of general allowances from 2013 to September 2022 reached about 112 billion EUR. Considering (exclusively) the fourth trading period (January 2021–September 2022), these total revenues amounted to about 63.7 billion EUR.

Table 3. The results of the auctions of general allowances (EUAs) at EEX
 Tabela 3. Wyniki aukcji uprawnień do emisji ogólnych (EUA) na giełdzie EEX

Pe- riod	Total auc- tion volume of EUAs ¹	Total bid volume of EUAs	Total revenue (EUR)	Average			
				Cover ratio ²	Number of bidders	Number of successful bidders	Auction clearing price (EUR) ³
1	2	3	4	5	6	7	8
09/22	37 259 000	71 870 500	2 583 969 930	1.9	18.6	13.8	69.35
08/22	20 192 500	63 544 000	1 759 853 265	3.1	16.4	9.4	87.15
07/22	32 862 000	73 215 500	2 674 980 145	2.2	20.8	14.8	81.4
06/22	30 567 500	69 774 000	2 530 757 385	2.3	20.4	14.3	82.79
05/22	37 900 500	87 512 000	3 220 253 025	2.3	21.6	16.2	84.97
04/22	34 216 500	74 920 000	2 736 312 345	2.2	23.0	15.7	79.97
03/22	41 277 000	92 255 000	3 076 655 035	2.2	21.7	16.0	74.54
02/22	35 812 500	48 004 000	3 229 534 010	1.3	22.4	19.2	90.18
01/22	27 148 000	39 669 000	2 248 786 940	1.5	24.1	19.9	82.83
12/21	26 358 000	37 589 000	2 127 412 425	1.4	19.5	16.8	80.71
11/21	43 483 000	63 439 500	2 843 456 625	1.5	20.7	17.4	65.39
10/21	38 452 000	62 101 000	2 284 052 960	1.6	21.9	17.5	59.40
09/21	40 527 000	64 777 000	2 489 433 875	1.6	21.3	16.8	61.43
08/21	26 656 500	58 272 500	1 502 176 915	2.2	22.0	15.9	56.35
07/21	53 050 500	78 671 000	2 834 823 470	1.5	24.9	20.0	53.44
2021	482 490 000	775 121 500	25 581 263 350	1.6	23.4	17.9	53.02
EU ETS Phase IV (2021–2030)							
2020	560 046 500	951 992 500	13 723 091 055	1.7	24.3	18.2	24.50
2019	460 978 500	906 546 500	11 357 236 835	2.0	24.1	17.2	24.64
2018	642 477 000	1 662 693 000	9 917 590 730	2.6	25.6	18.0	15.44
2017	648 415 500	1 761 212 000	3 744 838 845	2.7	21.2	14.6	5.78
2016	474 261 000	1 092 400 000	2 496 870 295	2.3	19.0	13.4	5.26
2015	413 874 000	1 337 010 500	3 154 940 925	3.2	18.3	13.3	7.62
2014	335 052 000	1 796 711 000	1 977 712 120	5.4	17.6	11.9	5.90
2013	530 488 000	1 761 639 500	2 349 853 340	3.3	18.4	13.2	4.43
EU ETS Phase III (2013–2020)							

Aviation allowances are not included; ¹volumes are planned to be auctioned for the whole year; ²cover ratio: the ratio between the total bid volume and the auction volume; ³the average auction clearing price: price determined upon closure of the bidding window, it is weighted by the volumes of the respective auctions.

Source: [European Commission 2022a].

Looking at Poland alone, from 12 November 2012 (start of Phase III) to the end of Q3 2022, the country collected approximately 17.38 billion EUR in auction revenues from general allowances and about 25.43 million EUR from aviation allowances (European Commission, 2022a). In 2019, Poland issued 166 million ETS allowances (12.6% of the EU total), of which 62.8% were auctioned – thereby generating revenues for the country. In total, Poland received about 8 billion EUR of auctioning revenues between 2013 and 2020 [Haase et al. 2022].

The auction coverage ratio provides information about the actual auction demand for the allowances in relation to their supply on the primary market by comparing the total number of bids in the auction to the total number of available EUAs. The lower this ratio, the lower the relative demand for EUAs – which is a negative market signal and may contribute to a drop in EUA prices, and vice versa. In 2020 and 2021, the cover ratio continued to decline, with average ratios of 1.7 and 1.6, respectively, down from 2 and above in previous years (Figure 2). This may have enabled some market participants to exercise market power or game auctions in the subsequent period.

In the period 2013–2017, the annual average prices of general allowances remained low at 4 to 7 EUR per metric tonne of carbon. In the following years, they soared to double-digit levels from below 16 EUR in 2018 to over 90 EUR in February 2022 (Figure 2). The primary driver of the large EUA price increase in 2018 was likely anticipation of the MSR debut in January.

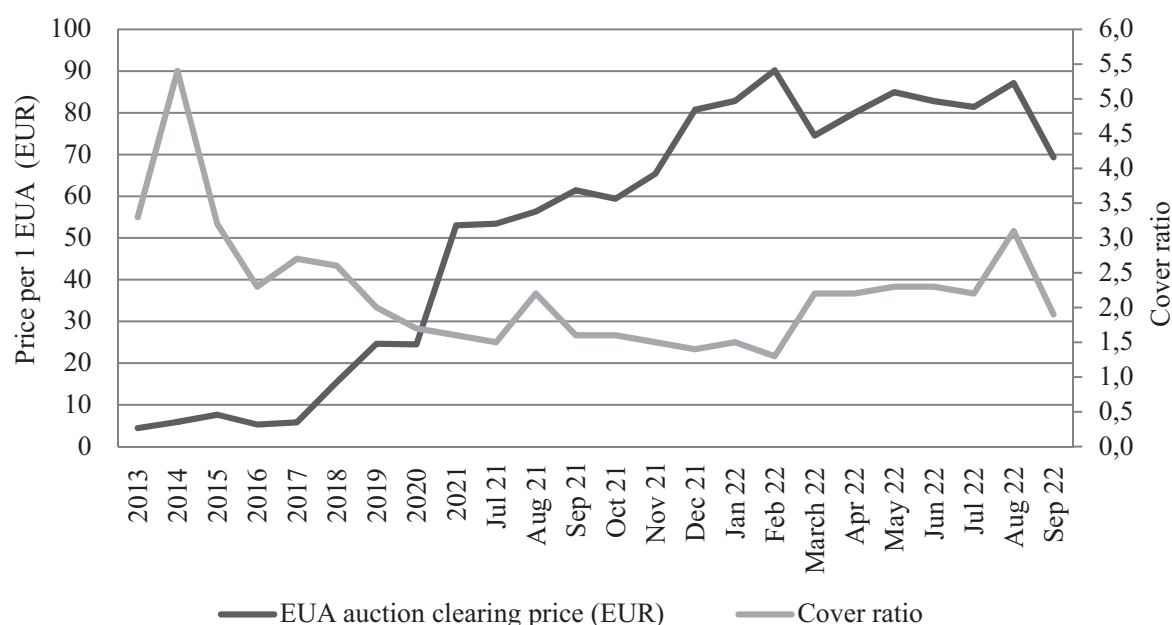


Figure 2. The clearing prices of emissions general allowances and coverage rate at EEX, 2013–2022

Rysunek 2. Ceny rozliczenia i wskaźnik popytu do podaży uprawnień do emisji ogólnych na EEX, 2013–2022

Source: own compilation based on [European Commission 2022a].

The acceleration of the EUA price increase has occurred since early 2021. This trend reflects several factors, including the start of the EU ETS Phase IV (the period from 2021 to 2030), which entails a shrinking amount of EUAs over time and updated

parameters for the MSR [Simões 2022]. As a result of economic sanctions on Russia, gas prices have increased significantly in recent years, pushing electricity producers to switch from gas to coal-fired power generation, which emits more CO₂, which has increased demand for carbon permits. An ongoing military conflict poses potential risks to further carbon emission market volatility. The obtained coefficient of variation (CV) for prices of general allowances, calculated using monthly data from July 2021 to September 2022, was about 15.8%. Results reveal that for the period from 2013 to 2021, the CV equalled 92.5%, indicating high volatility of EUA price. High price variation threatens the financial sustainability of regulated entities.

Regarding the relationship between coverage ratio and EUA auctioning price, our study found a positive Pearson's correlation ($r = 0.31$) for the period from July 2021 to September 2022, suggesting the existing forces of the law of demand.

Several researchers and experts [Friedrich et al. 2020, Jeszke and Lizak 2021] believe that the 2020–2022 price increase of EUA could have been caused not only by fundamental factors and various policies, but by market speculation. According to the European Commission, increased interest in the ETS from non-compliance entities, such as investment funds, may have supported the price rally. Market intelligence, similarly, claims that exchange-traded funds (ETF) and other investment funds may play an increasingly important role in the ETS market [Ampudia et al. 2022]. The results of Friedrich and co-authors, who found evidence of a long period of explosive behaviour in allowance prices – starting from March 2018, when the reform was adopted – suggest that this reform has sparked activity by market speculators resulting in the steep upward trend in prices [Friedrich et al. 2020]. An example of market actors that buy EUAs, treating them as a possibility to take profit, is KraneShares Global Carbon Strategy ETF (KRBN). In 2022, its Carbon Allowance Futures portfolio contained about 60% of EUA 2023 and 2024 futures worth about 400 million USD [KRBN 2022].

EU ETS and supply-chain sustainability

The implication of the Sustainable Development Goals for companies, and consequently for supply chains, is a set of criteria they must meet, referred to as the triple bottom line approach [Elkington 1999]. As mentioned earlier in this paper, the sustainable development conceptual framework recognises the interdependence of at least three dimensions: economic, environmental and social, focusing on the “balancing” between profit, people and the planet. Interventions in one area can affect adversely or positively outcomes in other areas (trade-offs versus reinforcing effects). We believe that improving performance within an individual dimension at the expense of another dimension goes against the idea of sustainability.

Therefore, one can wonder if carbon pricing, like that examined in the current study, is a potential method for enabling significant environmental improvement without jeopardising economic performance and social advancements, at least in some participating member states. This is especially true for Poland, which has the most emission-intensive energy sector in the EU when considering CO₂ emissions per unit of the produced energy because the country relies on coal. In Poland, there is also a large share of energy-intensive or carbon-intensive industries and much lower energy efficiency than in Western

European countries, where much less energy is consumed to produce a given unit of Gross Domestic Product [Krzemiński, 2020].

Carbon pricing is generally seen as one way to support Sustainable Development Goal 13 ('Climate action') by incorporating the costs of climate change into the price of fuels and other energy-intensive goods and services. It sends a price signal to sectors, industries and households, encouraging them to change their behaviour.

Regarding the environmental issue, namely carbon dioxide emissions, the empirical evidence available in the literature proves that the EU ETS has impacted them extremely negatively. Martin and co-authors, who reviewed the scientific literature on the ex-post evaluation of this system, point out that emissions in regulated energy and industrial sectors decreased by about 3% in Phase I (2005–2007) and during the first two years of Phase II (2008–2012) compared to estimated emissions from normal operations [Martin et al. 2016]. Similarly, Bayer and Aklin found that the emission cut in sectors covered under the EU ETS was higher compared to non-compliant sectors, despite low carbon prices. According to them, between 2008–2016, the system saved about 1.2 billion tonnes of CO₂ (3.8% of total EU-wide emissions) relative to a world without carbon markets or almost half of what EU governments promised to reduce under their Kyoto Protocol commitments [Bayer and Aklin 2020]. In addition to the environmental aspect, the EU's increasing climate aspirations could interfere with the economic and social aspects of sustainability.

Summing up, carbon restrictions and pricing on GHG emissions offer a financial incentive that permeates across the supply chain and maybe the entire economy, resulting in emission reductions or improving removals. As the EU ETS cap is reduced over time, the total emissions are expected to fall. It is, however, apparent that the 2022 invasion of Ukraine has put Europe in a serious gas crisis, which has led to the reactivation of coal units and an increase in coal imports.

Considering the second dimension, one cannot forget that in a market economy, the economic goal of the supply chain is to maximise its long-term economic performance; to be cost-efficient and profitable throughout the system, which covers the integration of suppliers, manufacturers, logistic operators, distributors, retailers, and finally consumers. Addressing the complex links between ETS and sustainable supply chains, it should be noted that the system covers the upstream sectors⁵ listed below [European Commission, 2022c]:

- the power generation sector – electricity and heat generation (CO₂);
- energy-intensive industries: oil refineries, steel works, production of iron, aluminium, metals, cement, lime, glass, ceramics, pulp, paper, cardboard, acids and bulk organic chemicals (CO₂);
- commercial aviation within the European Economic Area (CO₂);
- production of nitric, adipic and glyoxylic acids and glyoxal (nitrous oxide N₂O);
- production of aluminium (perfluorocarbons PFCs).

The sharp rise in overall production costs, faced by both European-regulated industries and unregulated ones that use raw materials and products further down the supply chain, is one of the negative direct economic consequences of the EU ETS. This cost

⁵ The participation in the EU ETS is generally mandatory for companies in these sectors. The European Commission is considering including transport and buildings (residential and commercial) in the ETS to accelerate emission reductions in these sectors.

effect could make their products either less competitive or uncompetitive within the internal market and for export. Researchers point out that the EU ETS-based carbon price raises the costs of energy-intensive production at the member states, thus risking industrial activity relocation outside the EU and EEA. Several authors [Wagner and Timmins 2009, Mulatu 2017, De Beule et al. 2022] report that the cross-country institutional (regulatory) heterogeneity opens the door for opportunistic behaviour by multinational enterprises or foreign direct investment, including escaping to “pollution havens”, as compliance with stringent environmental regulation is often costly. Responding to the threat of carbon leakage⁶, the European Commission is introducing the Carbon Border Adjustment Mechanism in October 2023, on which a political agreement was reached in 2022 between the European Parliament and the Council [European Commission 2021a].

As for positive economic effects, one of them is derived from the possibility of selling unused emission allowances. In addition to providing an incentive to cut emissions to save allowances, the revenues collected can be invested in green technologies. Another example is the development of green finance or financing tools supporting mitigation actions that address climate change. The adoption of new, environmentally friendly technologies and equipment by supply chain entities, forced by the EU ETS, requires them to use additional external financing. Just as important as greening the supply process is the demand side of the supply chain. Its operation is only justified when the products or services are finally accepted by customers and financially affordable.

Empirical literature shows mixed results concerning the EU ETS effects on firm economic and financial performance. Marin and co-authors studied the economic situation of regulated enterprises (employment, labour productivity, wages, turnover, added value, investment, total factor productivity and return on investment) in the first (2005–2007) and second (2008–2012) phases of the scheme implementation and did not prove its negative consequences. Their findings, based on a large panel of European companies operating in the manufacturing sector, suggest that they have responded to the EU ETS by passing the costs on to their customers on the one hand and improving labour productivity on the other [Marin et al. 2018]. The assessments made by Chang and co-authors show that green finance enhances green technology innovation in eight out of ten selected European countries [Chang et al. 2022].

However, the recent high volatility of allowance prices and the risk of their sudden escalation can threaten the economic and financial sustainability of the supply chain as a whole, its sectors and individual entities (producers and consumers). Short-term, sharp price increases may indicate that businesses along the supply chain are dealing with rapidly growing prices without having enough time to adapt their production capacities. With higher prices of allowances, companies may also decide to reduce production in order to sell unused allowances to make a profit. As we noted earlier, the increase in these prices is detrimental to the Polish economy, as it is mainly based on coal – the combustion of which contributes to high CO₂ emissions.

⁶ Carbon leakage – moving EU-based companies with carbon-intensive production to countries with less stringent climate policies than the EU, or replacing EU goods and precursors by more carbon-intensive imports.

The dynamic EUA price increase is reflected in increased energy bills for enterprises and final consumers (households), as the EU ETS has an impact on power costs in the long run. The prices of electro-fuels produced using electricity similarly depend very much on the electricity prices. The European Commission's proposal to extend emissions trading (not covered by the existing EU ETS) to the transport (road and maritime) and building sectors [European Commission 2021b] would push up the average spending on gas-fired household heating as well as impose higher costs on both fossil fuel vehicles [Stenning et al. 2020] and ships that use energy with high GHG emissions [Lindstad et al. 2021]. The volatility in EUA prices can have negative effects, such as inefficient operations and investments (if reductions are made in response to temporary high prices), uncertainty in both investments and prices for energy and energy-intensive goods or services, as well as financial risks and losses for companies with a shortage of allowances [Schatzki and Stavins 2018]. Regarding additional financial effects, when stationary and aircraft operators governed by regulations do not surrender enough allowances to cover all their emissions in the previous year, they will risk heavy penalties [EUR-Lex 2021]. They will be fined 100 EUR for each missing allowance, equal to a tonne of CO₂ emitted.

In other words, regulations that raise the price of carbon allowances effectively boost the cost of capital for businesses that use a lot of carbon, as well as the production costs for other businesses in the supply chain. This raises the cost of living for families.

From the societal perspective, the implementation of the EU ETS, on the one hand, results in a social burden at various stages of production; on the other hand, it generates social benefits. The high energy costs induced by the system, combined with the very low incomes of some households, generate a problem of energy poverty that affects almost every aspect of a decent life. This is against SDG 1 – “No poverty”, and SDG 7 – “Affordable and clean energy”. In the medium to long term, carbon taxes are believed to have regressive distributional effects, disproportionately harming low-income households who are most financially strapped and vulnerable populations.

As it concerns individual companies, especially carbon emitters, they could face boycotts of their products by customers or non-governmental organisations if environmental or social problems (such as attempts to bypass the system) are reported in their supply chain. Additionally, these companies' reputations would suffer as a result.

We should highlight the issue of political and citizen acceptability of tightening and widening ETS. If the adverse social effects are not dealt with in time and efficiently or if funds from carbon pricing are not spent on compensation measures, it will be risks of the lack of public acceptance and backlash. There are already forewarnings [Messad 2022, Rosario 2022] that rising energy costs driving inflation as well as a proposal by EU lawmakers to include homes in the carbon market will cause social dissatisfaction and instability throughout Europe.

The positive social-side effect is connected with the beneficial effects of less emission on the health and well-being of the population. The reduction of emissions, if successful, could decrease the number of deaths and illnesses from air pollution and contamination (Goal 3 – “Good health and well-being”). It will improve human capital in the supply chain.

Conclusions

Concerns regarding global climate change, considered a serious market failure, have led to international consensus and cooperation to decline greenhouse gas emissions from the energy, industrial, transport, and other sectors. Governments have introduced various policy tools, including carbon pricing (carbon taxes and emissions trading), to address the emission problem and, thus, achieve related sustainable development goals.

This paper looks at the EU ETS – a multinational cap-and-trade scheme introduced in 2005, which is seen as the cornerstone of the EU's transition to climate neutrality by 2050 and a 50–55% reduction in emissions in 2030 compared to 1990. Within this system, certain entities have to act with compliance to environmental requirements, eventually causing positive or desired and negative or undesired effects along the supply chain. Considering this background, this study tries to identify the consequences of the EU ETS for supply-chain sustainability, bearing in mind its three main dimensions. According to our results, the system in question has significantly impacted not merely the upstream sectors covered by regulations, but also downstream entities in the supply chain as well as consumers.

It is clear that environmental sustainability considerations under the carbon market-based mechanism have imposed GHG emission constraints on supply chains. As far as the economic aspect is concerned, the EU ETS directly affects the performance of compliance companies and sectors (power plants, large industrial emitters, and domestic aviation) in two main ways. Firstly, it imposes extra costs on operators emitting above the established threshold as well as financial risk related to the high volatility of allowance prices. Secondly, the pressure exerted by regulations, emission allowances prices and fines for non-compliance may spur investments in cleaner technologies and technological innovation not yet exploited – potential sources of their competitive advantage. Referring to the ongoing debate about the actual ultimate payers of the price of carbon allowances, our findings suggest that it is consumers. The increase in energy commodity prices caused by the system affects downstream entities, most notably low-income households. Responsibility for mitigating GHG emissions lies with the producer, but costs are passed on to consumers through the supply chain.

We note that sustainability requires a nexus between the environment (energy transition) and social justice. The latter aspect is explicitly connected with energy poverty due to rising electricity and heating or cooling costs and mobility poverty due to higher transportation costs. Social justice, however, extends beyond poverty and concerns socio-economic inequality more generally. National governments can compensate impacted entities for their losses through targeted transfers using the proceeds from auctioning allowances, addressing the wealth-distribution consequences of the system. Revenue recycling is, however, restrained by regulations according to which half of the auctioning proceeds from stationary installations and all from the aviation sector must go to climate action. The Social Climate Fund, linked to the proposed new ETS for buildings and transportation sectors, would use a substantial portion of its revenues to mitigate social impacts on vulnerable populations through direct income support.

In our opinion, as the EU's climate ambitions grow, the associated economic and financial impacts – as well as cross-country inequalities and social injustices – do not

seem to be easily reconciled with the sustainability environmental dimension. A tougher climate policy could erode the competitive advantage of trade-exposed and energy-intensive industries that face intense competition in global markets. In response to a cutback in the volume of EU emission allowances and the apparent increase in their price, producers might choose to reduce GHG emissions not by expected decarbonisation practices (low-carbon technologies) but by shrinking or eliminating industrial activity. Europe is not the only one in the world, so companies based in EU ETS member states are linked to and dependent on their counterparts abroad through international supply chains. Despite taking part in the EU ETS, each member state has established national environmental policy measures and regulatory instruments, just like other nations throughout the world. Some financial investors and market speculators could affect carbon allowance prices too. All of these and other factors can affect national supply chain participants and their three-dimensional sustainability. Finally, the economic and social impacts of higher carbon and energy prices due to Russia's aggression against Ukraine may make EU climate action more complex and costlier.

This article does not address or investigate in more depth several issues that deserve attention. To better understand the relationship of the cap-and-trade system with supply-chain sustainability, advanced research is needed, including using econometric modelling. We propose a further, more detailed exploration of this system in such areas as: (1) sectoral and geographical actor behaviour within the system, including emission allowance markets, to explain how specific compliance entities and allowance market intermediaries affect GHG emissions and investment in their abatement; (2) interactions between energy markets, inflation and the EU ETS; (3) justice considerations surrounding the system to help understand trade-offs between climate and non-climate goals of sustainable development as well as distributional effects between participating countries and individual entities in the supply chain; (4) the impact of the Russia-Ukraine war on EU climate policy.

Acknowledgements

The authors sincerely thank the two anonymous reviewers for their constructive comments and suggestions that helped improve this article.

References

- Ampudia M., Bua G., Kapp D., Salakhova D., 2022: The role of speculation during the recent increase in EU emissions allowance prices, *ECB Economic Bulletin*, 3, 58–63.
- Bayer P., Aklın M., 2020: The European Union Emissions Trading System reduced CO₂ emissions despite low prices, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(16), 8804–8812. <https://doi.org/10.1073/pnas.1918128117>
- Black S., Parry I., Zhunussova K., 2022: More countries are pricing carbon, but emissions are still too cheap, IMF, [electronic source] <https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2022/07/21/blog-more-countries-are-pricing-carbon-but-emissions-are-still-too-cheap> [access: 04.05.2022].
- Bourgeois C., Giraudet L.-G., Quirion P., 2021: Lump-sum vs. energy-efficiency subsidy recycling of carbon tax revenue in the residential sector: A French assessment, *Ecological Economics*, 184, 107006. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107006>

- Bruninx K., Ovaere M., 2022: COVID-19, Green Deal and recovery plan permanently change emissions and prices in EU ETS Phase IV. *Nature Communications*, 13(1), 1165. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28398-2>
- Chang L., Taghizadeh-Hesary F., Chen H., Mohsin M., 2022: Do green bonds have environmental benefits? *Energy Economics*, 115, 106356. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106356>
- Coase R.H., 1960: The problem of social cost, *The Journal of Law & Economics*, 3, 1–44.
- De Beule F., Dewaelheyns N., Schoubben F., Struyfs K., Van Hulle C., 2022: The influence of environmental regulation on the FDI location choice of EU ETS-covered MNEs, *Journal of Environmental Management*, 321, 115839. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115839>
- EEX, 2022: EU ETS Auctions, [electronic source] <https://www.eex.com/en/markets/environmental-markets/eu-ets-auctions> [access: 04.10.2022].
- Elkington J., 1999: *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*, Wiley, Oxford.
- EUR-Lex, 2021: EU registry of emissions trading system allowances (2013–2020), [electronic source] <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/eu-registry-of-emissions-trading-system-allowances-2013-2020.html> [access: 24.09.2022].
- European Commission, 2021a: Carbon Border Adjustment Mechanism [Taxation and Customs Union], [electronic source] https://taxation-customs.ec.europa.eu/green-taxation-0/carbon-border-adjustment-mechanism_en [access: 22.08.2022].
- European Commission, 2021b: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions “Fit for 55”: Delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality, [electronic source] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550> [access: 22.08.2022].
- European Commission, 2021c: Emissions cap and allowances, Climate Action, [electronic source] https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/emissions-cap-and-allowances_en [access: 22.08.2022].
- European Commission, 2022a: Auctions by the Common Auction Platform, [electronic source] https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-12/cap_report_202209_en.pdf [access: 04.09.2022].
- European Commission, 2022b: Communication from the Commission. Publication of the total number of allowances in circulation in 2021 for the purposes of the Market Stability Reserve under the EU Emissions Trading System established by Directive 2003/87/EC and of the number of unallocated allowances during the period 2013-2020 2022/C 195/02, OJ 2022/C 195/02, [electronic source] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOC_2022_195_R_0002 [access: 04.09.2022].
- European Commission, 2022c: EU Emissions Trading System (EU ETS), [electronic source] https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en [access: 22.08.2022].
- European Commission, 2022d: REPowerEU, [electronic source] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_3131 [access: 20.08.2022].
- European Commission, 2022e: Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, REPowerEU Plan, [electronic source] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483> [access: 22.08.2022].

- European Commission, 2022f: Commission decision of 26.10.2022 on the financing of the activities by the Innovation Fund, serving as the financing decision for 2022 and as a decision launching the third calls for proposals, [electronic source] https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-10/c_2022_7547_en.pdf [access: 28.10.2022].
- Decision (EU) 2015/1814 of the European Parliament and of the Council of 6 October 2015 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and amending Directive 2003/87/EC, 264 OJ L (2015), [electronic source] <http://data.europa.eu/eli/dec/2015/1814/oj/eng> [access: 12.08.2022].
- Farrell N., 2017: What factors drive inequalities in carbon tax incidence? Decomposing socioeconomic inequalities in carbon tax incidence in Ireland. *Ecological Economics*, 142, 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.04.004>
- Filipović S., Lior N., Radovanović M., 2022: The green deal – just transition and sustainable development goals nexus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112759. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112759>
- Friedrich M., Fries S., Pahle M., Edenhofer O., 2020: Understanding the explosive trend in EU ETS prices: Fundamentals or speculation?, arXiv:1906.10572. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.10572>
- Frondel M., Schubert S.A., 2021: Carbon pricing in Germany's road transport and housing sector: Options for reimbursing carbon revenues. *Energy Policy*, 157, 112471. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112471>
- Gadde H., 2022: APEC Workshop on carbon pricing policies and carbon markets, World Bank Group, [electronic source] <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/37455> [access: 02.10.2022].
- Grainger C.A., Kolstad C.D., 2010: Who pays a price on carbon? *Environmental and Resource Economics*, 46(3), 359–376. <https://doi.org/10.1007/s10640-010-9345-x>
- Haase I., Velten E.K., Branner H., Reyneri A., 2022: The use of auctioning revenues from the EU ETS for climate action. Ecologic Institute, Berlin, [electronic source] <https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2022/EcologicInstitute-2022-UseAucRevClimate-FullReport.pdf> [access: 04.07.2022].
- Hepburn C., Stern N., Stiglitz J.E., 2020: “Carbon Pricing” Special Issue in the *European Economic Review*. *European Economic Review*, 127, 103440. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2020.103440>
- Homeyer I. von, Oberthür S., Dupont C., 2022: Implementing the European Green Deal during the evolving energy crisis, *Journal of Common Market Studies*, 60(S1), 125–136. <https://doi.org/10.1111/jcms.13397>
- International Energy Agency, 2022: Poland 2022 Energy policy review. OECD. <https://doi.org/10.1787/2075436d-en>
- Jeszke R., Lizak S., 2021: Reflections on the mechanisms to protect against formation of price bubble in the EU ETS market, *Environmental Protection and Natural Resources*, 32(2), 8–17. <https://doi.org/10.2478/oszn-2021-0005>
- Khan J., Johansson B., 2022: Adoption, implementation and design of carbon pricing policy instruments, *Energy Strategy Reviews*, 40, 100801. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100801>
- Klenert D., Mattauch L., Combet E., Edenhofer O., Hepburn C., Rafaty R., Stern N., 2018: Making carbon pricing work for citizens. *Nature Climate Change*, 8(8), 669–677. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0201-2>

- Koch N., Basse Mama H., 2019: Does the EU Emissions Trading System induce investment leakage? Evidence from German multinational firms. *Energy Economics*, 81, 479–492. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.04.018>
- KRBN, 2022: Overview. Carbon Allowance Futures. KraneShares, [electronic source] <https://kraneshares.com/krbn/> [access: 04.09.2022].
- Krzemiński J., 2020: Tańszy klimat, Obserwator Finansowy: ekonomia, debata, Polska, świat, [electronic source] <https://www.obserwatorfinansowy.pl/bez-kategorii/rotator/tanszy-klimat/> [access: 04.06.2022].
- Lindstad E., Lagemann B., Riialand A., Gamlem G.M., Valland A., 2021: Reduction of maritime GHG emissions and the potential role of E-fuels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 101, 103075. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103075>
- Marin G., Marino M., Pellegrin C., 2018: The impact of the European Emission Trading Scheme on multiple measures of economic performance. *Environmental and Resource Economics*, 71(2), 551–582. <https://doi.org/10.1007/s10640-017-0173-0>
- Martin R., Muûls M., Wagner U.J., 2016: The impact of the European Union Emissions Trading Scheme on regulated firms: What is the evidence after ten years? *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(1), 129–148. <https://doi.org/10.1093/reep/rev016>
- Messad P., 2022: EU lawmakers fear unrest after Council dashes “social” Fit for 55 hopes, [electronic source] <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/eu-lawmakers-fear-unrest-after-council-dashes-social-fit-for-55-hopes/> [access: 04.08.2022].
- Mulatu A., 2017: The structure of UK outbound FDI and environmental regulation. *Environmental and Resource Economics*, 68(1), 65–96. <https://doi.org/10.1007/s10640-017-0145-4>
- Nordhaus W.D., 2015: *The climate casino: Risk, uncertainty, and economics for a warming world*, Yale University Press, Yale.
- Parry I., Black S., Zhunussova K., 2022: Carbon taxes or emissions trading systems? Instrument choice and design, International Monetary Fund, Washington, DC.
- Pigou A.C., 1932: *The economics of welfare*, Macmillan, London.
- Radovanović M., Filipović S., Vukadinović S., Trbojević M., Podbregar I., 2022: Decarbonisation of eastern European economies: Monitoring, economic, social and security concerns. *Energy, Sustainability and Society*, 12(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s13705-022-00342-8>
- Rosario J.D., 2022: Rising energy prices could fuel social unrest across Europe this winter, Reuters, [electronic source] <https://www.usnews.com/news/world/articles/2022-09-01/rising-energy-prices-could-fuel-social-unrest-across-europe-this-winter> [access: 04.09.2022].
- Rosenbloom D., Markard J., Geels F.W., Fuenfschilling L., 2020: Why carbon pricing is not sufficient to mitigate climate change - and how “sustainability transition policy” can help, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(16), 8664–8668. <https://doi.org/10.1073/pnas.2004093117>
- Schatzki T., Stavins R.N., 2018: Key issues facing California’s GHG Cap-and-Trade system for 2021–2030, SSRN Scholarly, 3216131. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3216131>
- Schoubben F., 2020: Environmental regulatory arbitrage by business groups in the context of the European Union’s Emission Trading System (EU-ETS), [in:] A. Dorsman, Ö. Arslan-Ayaydin, J. Thewissen (eds), *Regulations in the Energy Industry: Financial, Economic and Legal Implications*, Springer International Publishing, 7–31. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32296-0_2
- Simão H.M., 2022: Revision of the market stability reserve for the EU emissions trading system. European Parliamentary Research Service, [electronic source] [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729339/EPRS_ATA\(2022\)729339_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729339/EPRS_ATA(2022)729339_EN.pdf) [access: 04.06.2022].
- Stavins R.N., 2019: Carbon taxes vs. cap and trade: Theory and practice. Harvard Kennedy School Discussion Paper, 19–9, [electronic source] https://projects.iq.harvard.edu/files/enel-workshop/files/es-09_stavins_vers2.pdf [access: 06.06.2022].

- Stede J., Pauliuk S., Hardadi G., Neuhoff K., 2021: Carbon pricing of basic materials: Incentives and risks for the value chain and consumers, *Ecological Economics*, 189, 107168. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107168>
- Stenning J., Bui H., Pavelka A., 2020: Decarbonising European transport and heating fuels: Is the EU ETS the right tool? Cambridge Econometrics Limited, [electronic source] https://euagenda.eu/upload/publications/2020_06_decarbonising_european_transport_and_heating_fuels_report.pdf.pdf [access: 06.06.2022].
- Stoefs W., Ruggiero A., 2022: Don't pillage the Market Stability Reserve. LIFE ETX, [electronic source] <https://etxtra.org/wp-content/uploads/2022/09/DONT-PILLAGE-The-Market-Stability-Reserve-3.pdf> [access: 30.09.2022].
- Teixidó J., Verde S.F., Nicolli F., 2019: The impact of the EU Emissions Trading System on low-carbon technological change: The empirical evidence, *Ecological Economics*, 164, 106347. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.06.002>
- Wagner U.J., Timmins C.D., 2009: Agglomeration effects in foreign direct investment and the pollution haven hypothesis. *Environmental and Resource Economics*, 43(2), 231–256. <https://doi.org/10.1007/s10640-008-9236-6>
- Waltho C., Elhedhli, S., Gzara, F., 2019: Green supply chain network design: A review focused on policy adoption and emission quantification. *International Journal of Production Economics*, 208, 305–318. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.12.003>
- World Bank, 2022a: Carbon Pricing Dashboard | Up-to-date overview of carbon pricing initiatives, Carbon Pricing Dashboard, [electronic source] <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/> [access: 02.10.2022].
- World Bank, 2022b: State and trends of carbon pricing 2022, Climate Focus, [electronic source] <https://climate-focus.com/publications/state-and-trends-carbon-pricing-2022/> [access: 02.10.2022].

Agnieszka Tłuczak✉

¹ Uniwersytet Opolski

Problem wyboru najkrótszej drogi w sieci transportu rolno-spożywczego

The problem of choosing the shortest route in the network of agri-food transport

Synopsis. Wiele problemów zarządzania związanych z optymalizacją systemów transportowych, projektowaniem systemów informatycznych czy pewnymi zagadnieniami logistycznymi można przedstawić jako zagadnienia sieciowe i rozwiązać je przy użyciu odpowiednich algorytmów matematycznych. Skala planowania przewozów uzależniona jest od ilości ładunków i liczby odbiorców. Zarządzanie logistyczne w transporcie produktami rolno-spożywczymi polega na organizacji działań transportowych przez połączenie wielu funkcji spedycyjno-transportowych i ma na celu doskonalenie przemieszczania zasobów zarówno w sferze zaopatrzenia, jak i produkcji oraz dystrybucji. Głównym celem artykułu jest przedstawienie zadania komiwojażera oraz możliwości jego zastosowanie w optymalizacji transportu produktów rolno-spożywczych.

Słowa kluczowe: transport, najkrótsza trasa, produkty rolne i rolno-spożywcze

Abstract. Many management problems related to the optimisation of transport systems, designing information systems or certain logistics issues can be presented as network problems and solved using appropriate mathematical algorithms. The scale of transport planning depends on the number of loads and the number of recipients. Logistics management in the transport of agri-food products consists of the organisation of transport activities by combining many forwarding and transport functions and is aimed at improving the movement of resources both in the sphere of supply, production and distribution. The article's main purpose is to present the task of a travelling salesman and the possibilities of its use in optimising the transport of agri-food products.

Key words: transport, shortest route, agricultural and agri-food products

Kody JEL: R4, R42

✉ Agnieszka Tłuczak – Uniwersytet Opolski; Wydział Ekonomiczny; Instytut Ekonomii i Finansów; e-mail: atluczak@uni.opole.pl; <https://orcid.org/0000-0001-6217-8822>

Wstęp

Transport produktów rolnych, żywności oraz artykułów spożywczych od producentów (rolnych), zakładów przetwórczych do punktów sprzedaży detalicznej wymaga specyficznego podejścia, wynika to z wymogów dotyczących warunków przechowywania oraz częstokroć krótkiego terminu do spożycia żywności oraz produktów spożywczych. Odpowiednia organizacja procesu transportu produktów rolno-spożywczych jest coraz większym wyzwaniem, ze względu na wymagania prawno-administracyjne i higieniczne dotyczące wykorzystania infrastruktury, sprzętu oraz procedur działania. Środki transportu, które są odpowiedzialne za przewóz produktów rolno-spożywczych powinny być sprawne, czyste oraz nie posiadać uszkodzeń powodujących zanieczyszczenie artykułów. Wymagania sanitarne określają również sposób przygotowania tego rodzaju produktów do przewozu. Należy je załadowywać, transportować i rozładowywać w takich warunkach i czasie, aby nie nastąpiło pogorszenie ich jakości. Dodatkowo produkty żywnościowe trzeba transportować w określonej, stale monitorowanej temperaturze (różnej w zależności od rodzaju przewożonych artykułów).

Z tych i wielu innych względów do transportu żywności najczęściej wykorzystuje się transport drogowy. Jest to rozwiązanie niezwykle elastyczne, funkcjonalne oraz najmniej wymagające pod względem organizacyjnym [Kozłowicz i in. 2003, Szubert 2018].

Rozwój transportu zbliża do siebie rynki, umożliwia zwiększenie produkcji, a więc poprzedza wzrost gospodarczy. Dobrze rozwinięta infrastruktura transportowa jest motorem do powstawiania nowych przedsiębiorstw oraz zakładów przemysłowych. Jest więc czynnikiem determinującym wzrost gospodarczy. Rozwój transportu jest możliwy dzięki inwestycjom, a więc zarówno dzięki modernizacji istniejącej już infrastruktury, jak i budowie nowych obiektów infrastrukturalnych [Salmonowicz 2011].

Transport produktów rolnych i rolno-spożywczych

Rolnictwo jest działem gospodarki, w którym duże znaczenie mają procesy transportowe i magazynowe występujące powszechnie w gospodarstwach rolnych [Klepacki i in. 2013]. Specyfika logistyki w branży rolno-spożywczej wynika przede wszystkim z nietrwałości rozważanych produktów. Łatwość ich uszkodzenia, ryzyko ubytku, wrażliwość, niska podatność transportowa czy trudności w przechowywaniu sprawiają, iż do właściwego przebiegu procesów przetwórczych tych produktów, a także operacji logistycznych należy zaprojektować specjalny łańcuch dostaw [Baran 2014]. Wszystkie procedury związane z transportem żywności, jej bezpieczeństwem, sposobem przechowywania są ściśle określone w normach i rozporządzeniach. Przestrzeganie ich gwarantuje, że przewożona żywność będzie miała wysoką jakość i nie będzie w żaden sposób zagrożeniem dla potencjalnych konsumentów [Baryła-Paśnik i in. 2013]. Zaplanowanie transportu produktów rolno-spożywczych z wyprzedzeniem jest działaniem zazwyczaj trudnym, a wynika to z powodu okresów szczytowej produkcji, zmian w pogodzie i okresów zbiorów. Niewłaściwy transport produktów rolniczych i wyrobów gotowych może przyczynić się do obniżenia ich jakości, ale też stanowić istotne zagrożenie dla zdrowia konsumentów. Lepsza organizacja procesów związanych z transportem, magazynowaniem, zapasami, czy zarządzaniem informacją w przedsiębiorstwach przetwórstwa

rolno-spożywczego może prowadzić do podniesienia poziomu obsługi klientów. Wydaje się, iż rola logistyki jest pomijana w codziennej działalności przedsiębiorstw oraz gospodarstw z branży rolno-spożywczej, gdyż skupiają się one (a w szczególności małe gospodarstwa rolne) na działalności produkcyjnej.

Na sposób organizacji transportu produktów rolnych i rolno-spożywczych wpływa m.in. zasięg geograficzny rynków zaopatrzenia i zbytu. Położenie tychże rynków jest ściśle związane z wielkością tych gospodarstw i przedsiębiorstw rolnych będących producentem rozważanych produktów. Małe przedsiębiorstwa i gospodarstwa rolne zaopatrują lokalne podmioty, z kolei przedsiębiorstwa średnie sprzedają swoje produkty głównie odbiorcom regionalnym, a w dalszej kolejności odbiorcom z innych regionów kraju, a także z innych krajów, przeważnie europejskich. W swych badaniach Klepacki i Wicki stwierdzają, że racjonalizacja transportu dokonywana jest głównie poprzez odpowiedni dobór tras przejazdu oraz odpowiednie wykorzystanie ładowności środka transportu. Im większe przedsiębiorstwo, tym częściej dokonywana jest racjonalizacja tras przejazdu. Ładowność jest racjonalizowana w mniejszych jednostkach produkcyjnych. Kwestia wyboru najkrótszej i najbardziej optymalnej trasy jest punktem rozważań przedsiębiorstw przede wszystkim mleczarskich, w mniejszym stopniu natomiast zbożowych i piekarniczych (Klepacki i Wicki 2014).

Ze względów praktycznych do transportu żywności najczęściej wykorzystywany jest transport drogowy, ponieważ jest on rozwiązaniem niezwykle elastycznym, funkcjonalnym oraz najmniej wymagającym pod względem organizacyjnym. Pomimo tych ułatwień znalezienie najkrótszej i najbezpieczniejszej drogi dostawy produktów nie jest łatwe [Szubert 2022].

Wybór najkrótszej drogi w sieci połączeń

Klasyczny problem wyboru najkrótszej drogi polega na wyznaczeniu optymalnej trasy, na której odbywa się zaopatrzenie kilku odbiorców przez jednego dostawcę. Zakłada się jednakową ładowność pojazdów, znajomość wielkości zapotrzebowania oraz lokalizacji odbiorców. Wybór najlepszego rozwiązania odbywa się na podstawie funkcji kryterialnej, która w wyniku przeprowadzenia procesu optymalizacji przyjmuje wartość optymalną. Wyróżnia się funkcje optymalizacyjne, które są minimalizowane lub maksymalizowane [Kauf i Tłuczak 2016].

Przy planowaniu najkrótszej trasy przejazdu należy wziąć pod rozwagę na takie elementy jak [Płaczek i Szołtysek 2008]:

- częstotliwość obsługi składowiska odpadów,
- zatłoczenie tras,
- ograniczeń możliwości pojemności i wjazdu pojazdów ciężarowych,
- minimalizację negatywnego oddziaływania na środowisko,
- sprawną obsługę miasta przy minimalnych kosztach obsługi miasta.

Celem rozwiązania zadania marszrutyzacji jest zoptymalizowanie łącznej długości wszystkich tras dostaw do odbiorców. Problem marszrutyzacji jest rozwinięciem problemu komiwojażera (*traveling salesman problem*) – zagadnienia optymalizacyjnego polegającego na znalezieniu minimalnego cyklu Hamiltona w pełnym grafie ważonym. Nazwa pochodzi od typowej ilustracji problemu przedstawiającej go z punktu widzenia

wędrownego sprzedawcy (komiwojażera), który chce dotrzeć do n miast. Komiwojażer każdorazowo będzie dążył do znalezienia najkrótszej (najtańszej lub najszybszej) drogi łączącej wszystkie miasta, a zaczynającej i kończącej się w określonym punkcie.

Rozważając problem komiwojażera w grafie, identyfikuje się węzły przedstawiające klientów oraz krawędzie odzwierciedlające powiązania między miejscowościami, po których przemieszcza się komiwojażer. Każda krawędź ma przyporządkowaną liczbę określającą uogólnioną odległość pomiędzy miejscowościami (węzłami grafów), tak że dla trzech dowolnych węzłów i, j, k zachodzi nierówność trójkąta wyrażona formułą [Michłowicz 2009, Kauf i Tłuczak 2016]:

$$d_{ik} \leq d_{ij} + d_{jk} \quad (1)$$

W rozpatrywanym grafie jeden z węzłów jest wyróżniony jako punkt startu komiwojażera i jednocześnie punkt końcowy, przy czym powrót następuje dopiero po odwiedzeniu przez komiwojażera wszystkich miejscowości (węzłów). Rozwiązanie problemu polega na wskazaniu ciągu krawędzi, z których pierwsza zaczyna się w węźle startowym i tworzy łańcuch połączeń zawierający wszystkie węzły grafu. Ostatnia krawędź kończy się w punkcie startowym. Wykreślona w ten sposób trasa nosi miano trasy okrężnej i jest optymalną, ponieważ łączna długość krawędzi jest minimalna. W rozwiązaniu problemu komiwojażera znajduje zastosowanie teoria grafów, a w szczególności poszukiwanie w grafie cyklu Hamiltona, czyli takiego połączenia pomiędzy węzłami, aby każdy węzeł znalazł się na trasie i wystąpił w nim dokładnie jeden raz (poza węzłem startowym, który jest jednocześnie węzłem końcowym). Matematyczny zapis poszukiwań tras w cyklu Hamiltona przyjmuje postać [Hanczar 2010]:

$$x_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{gdy krawędź } [i, j] \text{ należy do cyklu Hamiltona (H)} \\ 1, & \text{w przeciwnym wypadku} \end{cases} \quad (2)$$

Z powyższego wynika, że zmienna x_{ij} jest zmienną binarną, a jej wartość uzależniona jest od tego, czy krawędź grafu należy, czy nie należy do cyklu Hamiltona, tzn. czy spełniony jest warunek jednokrotnego wystąpienia miejscowości na trasie. Dany węzeł tylko jeden raz może być węzłem początkowym krawędzi i wówczas przyjmuje postać [Michłowicz 2009a, b, Dutkiewicz i Kucharska 2010, Kauf i Tłuczak 2016]:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

jednocześnie węzły mogą być jedynie raz węzłem końcowym krawędzi:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Funkcja kryterium mówiąca o minimalizacji długości trasy przedstawia się następująco:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ij}^k \rightarrow \min$$

W przypadku, gdy lokalizacja dwóch miejscowości nie pozwala na wyznaczenie bezpośredniego połączenia przyjmuje się, że $d_{ij} = \infty$. W celu wykluczenia „dreptania w miejscu” zakłada się również, że $d_{ii} = \infty$.

Aby uzyskane w grafach cykle były cyklami Hamiltona należy rozpatrzyć wszystkie k -elementowe permutacje węzłów $[i_1, i_2, \dots, i_k]$, przy czym jeśli liczba węzłów jest parzysta wówczas $k = 2, 3, \dots, (n-1)/2$, gdy zaś nieparzysta $k = 2, 3, \dots, n/2$. Dodatkowo należy mieć na uwadze układ ograniczeń dla każdego k :

$$x_{i_1 i_2} + x_{i_2 i_3} + \dots + x_{i_k i_1} \leq k - 1 \quad (6)$$

Z powyższego wynika, iż liczba ograniczeń wynosi: $\binom{n}{k} (k-1)!$.

Do rozwiązania problemu komiwojażera można wykorzystać jeden z dwóch algorytmów:

- droga do najbliższego sąsiada,
- sukcesywnie dołączanych węzłów.

W pierwszej metodzie węzeł startowy oznaczyć należy przez a , a długość drogi okrężnej – przez z , tak że $k_1 = a$, $z = 0$. Następnie należy wskazać kolejny węzeł k_j taki, że:

$$d_{k_{j-1}, k_j} = \min \left\{ d_{k_{j-1}, i} \right\} \quad (7)$$

co pozwala na stworzenie ciągu węzłów $[k_1, \dots, k_{j-1}, k_j]$. Na tej podstawie przyjmuje się:

$$z = z + d_{k_{j-1}, k_j} \quad (8)$$

po n powtórzeniach do ciągu $[k_1, \dots, k_{n-1}, k_n]$ dołączany jest węzeł startowy k_1 , co skutkuje utworzeniem drogi okrężnej $H = [k_1, \dots, k_{n-1}, k_n, k_1]$, której długość wynosi:

$$z = z + d_{k_n, k_1}$$

Należy zaznaczyć, że w metodzie tej każdorazowo kolejny węzeł jest wybierany na podstawie najmniejszej odległości od węzła poprzedniego.

Problem komiwojażera można rozwiązać również za pomocą algorytm sukcesywnego dołączania węzłów. W tej metodzie należy arbitralnie od razu na początku ustalić węzeł startowy oraz węzeł najbardziej oddalony od startowego, tworzy się w ten sposób trasę początkową. W trakcie poszukiwania optymalnego rozwiązania trasa ta jest modyfikowana poprzez dołączanie nowych węzłów. Oznaczmy zatem, przez:

- a – węzeł startowy,
- b – węzeł najbardziej oddalony od a ,

- z – określaną długość drogi okrężnej,
 - H – cykl węzłów tworzących drogę okrężną.
- Na starcie postępowania przyjmujemy, że:

$$Z = d_{k_1 k_2} + d_{k_2 k_1} \quad (9)$$

Postępowanie iteracyjne rozpoczyna się dopiero od $j = 3, \dots, n$, gdyż dla $j = 1, 2$ arbitralnie przyjęto jako początek trasy. Ponadto zakłada się, że w iteracji $j-1$ otrzymano częściową drogę okrężną:

$$H = [k_1, k_2, \dots, k_{j-1}, k_j] \quad (10)$$

Długość drogi wynosi z . Ze względu na stosowane w dalszej części algorytmu wzory, ostatni z węzłów oznaczony został przez k_j , choć w rzeczywistości jest nim węzeł k_1 , zatem $k_j = k_1$.

W każdej iteracji należy wskazać kolejny nieuwzględniony dotychczas węzeł i rozstrzygnąć pomiędzy które węzły już istniejącej trasy go włączyć. Przy wyborze węzła należy kierować się zasadą wyboru tego węzła, którego najmniejsza odległość od węzłów k_1, k_2, \dots, k_{j-1} jest największa. Opisane pokrótce postępowanie sprowadza się do następujących kroków:

- dla każdego węzła $p \neq k_1, k_2, \dots, k_{j-1}$ obliczamy $d_p = \min(d_{k_1 p}, d_{k_2 p}, \dots, d_{k_{j-1} p})$,
- określamy $d_i = \max_p d_p$,

gdzie i -ty węzeł jest wówczas dołączony do drogi,

- rozstrzygamy pomiędzy które węzły znajdujące się już w drodze umieścić i -ty węzeł. Wstawienie węzła zmienia drogę, pojawiają się nowe krawędzie, a znikają niepotrzebne. Dołączenie nowego węzła zmienia długość drogi, którą można obliczyć według formuły:

$$s_t = d_{k_i} + d_{i k_{t+1}} - d_{k_i k_{t+1}} \quad (11),$$

- dołączanie kolejnych węzłów sprowadza się do wyznaczenia $\min s_t$ i tylko taki węzeł, dla którego spełniony jest powyższy warunek może być dołączony do drogi.
- tworzymy nową drogę okrężną $H = [k_1, k_2, \dots, i, k_{t+1}, \dots, k_j]$ i obliczamy $z = z + s_t$,
- sprawdzamy, czy wszystkie węzły zostały uwzględnione; jeśli nie przechodzimy do kroku 1 i rozpoczynamy iterację od początku. Jeśli tak wyznaczona trasa jest ostateczną, wówczas tworzy cykl Hamiltona.

Problem badawczy

Chcąc przedstawić możliwość stosowania obu metod, rozważmy przykład producenta rolnego, którego zadaniem jest rozwiązanie produktów rolnych do pięciu odbiorców. Punktem startowym jest miejsce oznaczone jako węzeł nr 1 (siedziba producenta rolnego), a odbiorcy zlokalizowani są odpowiednio w węzłach z numerem od 2 do 6. Zakładamy, że uwzględniono tylko czas przejazdu między węzłami, do których istnieje bez-

pośredni dojazd. Wynika z tego, że odległość między węzłem nr 1 a węzłem nr 5 będzie wynosić ∞ , ponieważ do węzła nr 5 można dotrzeć zarówno poprzez węzeł nr 4, jak i nr 6. Tabela 1 zawiera odległości między punktami².

Tabela 1. Czas przejazdu w rejonie dystrybucji produktów rolnych.

Table 1. Travel time in the area of distribution of agricultural products.

	1	2	3	4	5	6
1	∞	52	65	25	∞	45
2	35	∞	48	75	77	64
3	55	40	∞	77	75	66
4	40	85	77	∞	31	20
5	∞	80	60	31	∞	25
6	45	74	68	25	30	∞

Źródło: opracowanie własne

Postępując zgodnie z opisanymi zasadami należy rozpocząć poszukiwanie najbliższego sąsiada od wiersza pierwszego:

- w wierszu pierwszym wybrano najkrótszą drogę, jaką ma do pokonania producent rolny z punktu startowego nr 1 → droga do punktu nr 4 (25 min.);
- w wierszu czwartym (węzeł nr 4) należy wyszukać najkrótszą drogę → do węzła nr 6 (20 min);
- w wierszu szóstym najkrótsza droga to droga do węzła nr 5 (30 min.); tak samo długa jest droga do węzła nr 4, ale to połączenie zostało już wykorzystane;
- w wierszu piątym najkrótszą drogą jest droga do węzła nr 3 (60 min);
- w wierszu trzecim najkrótsze połączenie jest z węzłem nr 2 (40 min)
- ostatecznie w wierszu drugim najkrótsza droga, jaką udaje się zidentyfikować to droga łącząca węzeł nr 2 z węzłem nr 1 (35 min), tym samym producent wrócił do punktu startowego czyli do węzła nr 1.

Sumując czas przejazdu między miejscowościami, otrzymujemy łączny czas przejazdu 210 minut. Przejazd odbywa się w kolejności węzeł nr 1 – węzeł nr 4 – węzeł nr 6 – węzeł nr 5 – węzeł nr 3 – węzeł nr 2 – węzeł nr 1.

Przy zastosowaniu drugiej opisaney metody przyjmujemy dodatkowo, że wartość ∞ z tabeli 1, która oznacza, że pomiędzy danymi miastami nie ma połączeń bezpośrednich, odpowiada liczbie 10 000.

Jak już zaznaczono punkt startowy to węzeł nr 1, węzeł nr 3 to miejscowość, która jako pierwsza będzie dołączona do punktu startowego. Wybrano tą miejscowość, ponieważ odległość od punktu startowego jest największa. Niemniej ta sama odległość (65 min) jest pomiędzy punktem startowym a węzłem nr 5 nie ma znaczenia, którą jako pierwszą włączymy do drogi.

Mamy zatem:

$$A = 1; b = 3; H_1 = [1, 3, 1]; z = d_{13} + d_{31} = 65 + 65 = 130$$

² Odległość może być wyrażona na różne sposoby, w przykładzie przyjęto jako miarę odległości czas podróży pomiędzy punktami.

Należy teraz wskazać węzeł, który zostanie dołączony do drogi okrężnej H_1 . Wykorzystany zostanie symbol r_{pj} , gdzie p oznacza numer rozpatrywanego węzła, niebędącego jeszcze częścią składową drogi okrężnej H , j odpowiada numerowi drogi okrężnej. Zatem mamy:

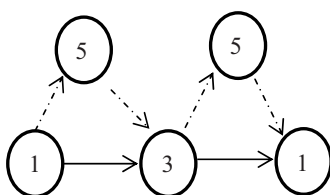
$$r_{21} = \min(d_{21}, d_{23}) = \min(35, 48) = 35$$

$$r_{41} = \min(d_{41}, d_{43}) = \min(40, 77) = 40$$

$$r_{51} = \min(d_{51}, d_{53}) = \min(65, 60) = 60$$

$$r_{61} = \min(d_{61}, d_{63}) = \min(45, 68) = 45$$

Z uzyskanych wartości wybieramy największą $r_{51} = 60$ i na tej podstawie węzeł nr 5 będzie włączony do drogi okrężnej. Ponieważ nie jest jeszcze znane dokładne jego położenie, należy rozpatrzyć wszystkie możliwości, które przedstawione są na rysunku 1.



Rys. 1 Alternatywne możliwości dołączenia węzła 5

Fig. 1 Alternative options for connecting node 5

Źródło: opracowanie własne.

Należy obliczyć przyrost czasu jaki wynika z przyłączenia węzła nr 5. W oznaczeniach s_t , t oznacza numer węzła poprzedzającego dodawany węzeł. Zatem:

$$s_1 = d_{15} + d_{53} - d_{13} = 65 + 60 - 65 = 60$$

$$s_3 = d_{35} + d_{51} - d_{31} = 75 + 65 - 55 = 85$$

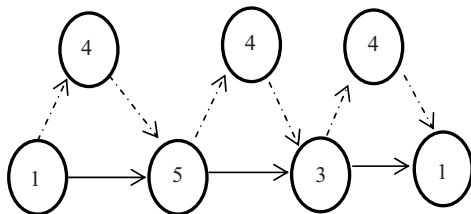
Z dwóch wartości należałoby wybrać tą, która jest najmniejsza. W tym przypadku uzyskano jednak pozorną alternatywę, gdyż wyróżnione miejsce dołączenia węzła nr 5 nie ma znaczenia. Wybrano s_1 , co oznacza, że utworzono drogę okrężną $H_2 = [1, 5, 3, 1]$. Dla drogi H_2 należy teraz sprawdzić możliwość dołączenia kolejnych węzłów:

$$r_{22} = \min(d_{21}, d_{25}, d_{23}) = \min(35, 77, 48) = 35$$

$$r_{42} = \min(d_{41}, d_{45}, d_{43}) = \min(40, 65, 77) = 40$$

$$r_{62} = \min(d_{61}, d_{65}, d_{63}) = \min(45, 30, 68) = 30$$

Do drogi H_2 dołączyć należy węzeł nr 4. Rysunek 2 przedstawia możliwości dołączenia węzła do drogi.



Rys. 2 Alternatywne możliwości dołączenia węzła 4

Fig. 2 Alternative options for connecting node 4

Źródło: opracowanie własne.

Ponownie dla uzyskanych połączeń obliczyć należy wielkości przyrostów będących następstwem dołączenia węzła nr 4:

$$s_1 = d_{14} + d_{45} - d_{15} = 25 + 65 - 65 = 25$$

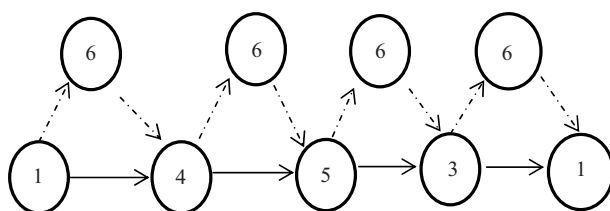
$$s_5 = d_{54} + d_{43} - d_{53} = 31 + 77 - 60 = 48$$

$$s_3 = d_{34} + d_{41} - d_{31} = 77 + 40 - 55 = 62$$

Węzeł nr 4 wstawić należy pomiędzy węzły nr 3 i nr 1, otrzymując w ten sposób drogę

$H_3 = [1, 4, 5, 3, 1]$, dla której czas przejazdu wynosi $z = 25 + 31 + 60 + 55 = 171$.

Należy zastanowić się, w którym miejscu dołączyć węzeł nr 6 do drogi H_3 . Możliwości dołączenia przedstawia rysunek 3.



Rys. 3 Alternatywne możliwości dołączenia węzła 6

Fig. 3 Alternative options for connecting node 6

Źródło: opracowanie własne.

Następnie obliczyć należy przyrosty będące konsekwencją przyłączenia węzła nr 6:

$$s_1 = d_{16} + d_{64} - d_{14} = 45 + 25 - 25 = 45$$

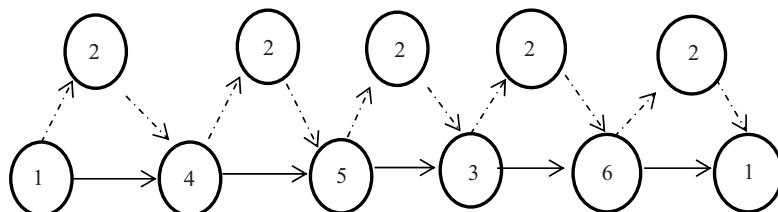
$$s_5 = d_{46} + d_{65} - d_{54} = 25 + 66 - 77 = 14$$

$$s_3 = d_{56} + d_{63} - d_{53} = 20 + 68 - 60 = 28$$

$$s_2 = d_{36} + d_{61} - d_{13} = 66 + 45 - 65 = 46$$

Węzeł 6 wstawić należy pomiędzy 3 i 1, otrzymując tym samym drogę okrężną $H_4 = [1, 4, 5, 3, 6, 1]$ dla której czas przejazdu wynosi $z = 25 + 31 + 60 + 66 + 45 = 227$.

Ponieważ został już tylko jeden węzeł do dołączenia, jest to węzeł nr 2, nie trzeba wyliczać wartości wskaźników r_{ps} , należy jedynie zastanowić się gdzie dołączyć ów węzeł. Możliwości przyłączenia go prezentuje rysunek 4.



Rys.4 Alternatywne możliwości dołączenia węzła 2

Fig. 4 Alternative options for connecting node 2

Źródło: opracowanie własne.

Przyrosty będące następstwem dołączenia węzła nr 4 wynoszą odpowiednio:

$$s_1 = d_{12} + d_{24} - d_{41} = 52 + 75 - 40 = 87$$

$$s_5 = d_{42} + d_{25} - d_{54} = 85 + 77 - 31 = 54$$

$$s_6 = d_{52} + d_{23} - d_{35} = 80 + 48 - 75 = 53$$

$$s_3 = d_{32} + d_{26} - d_{63} = 40 + 64 - 68 = 69$$

$$s_2 = d_{62} + d_{21} - d_{16} = 74 + 35 - 45 = 64$$

Węzeł nr 2 wstawić należy między węzły 1 i 4, co sprawia, że droga okrężna ma postać $H_5 = [1, 2, 4, 5, 3, 6, 1]$, dla tej trasy czas przejazdu wynosi $z = 52 + 75 + 31 + 60 + 66 + 45 = 329$.

Wnioski

W dobie coraz bardziej rozbudowanych i skomplikowanych łańcuchów dostaw w sektorze rolno-spożywczym optymalnie zaprojektowane sieci dystrybucji/zaopatrzenia pozwalają na pełną kontrolę kosztów prowadzenia działalności rolniczej. Tylko pełna kontrola kosztów w prowadzeniu takiej działalności pozwala na skuteczne konkutowanie na rynku. Aby uzyskać efektywnie zaplanowaną sieć dystrybucji, producent rolny musi poświęcić wiele czasu, często podejmując próby, które nie zawsze kończą się sukcesem. Identyfikacja błędów popełnianych na etapie planowania pozwoli na uniknięcie zbędnych kosztów. Podejmując kolejne próby planowania takowej sieci, dążyć powinno się do optymalizacji na podstawie jednej z wielu prezentowanych w literaturze przedmiotu metod. W opracowaniu przedstawiono zadanie marszrutyzacji, które jest rozwinięciem problemu komiwojażera. Rozwiązanie tego zadania polega na znalezieniu minimalnego cyklu Hamiltona w pełnym grafie ważonym. Być może metoda ta nie jest najbardziej efektywną spośród wszystkich dostępnych, ale jest na tyle prosta, że nie powinna sprawiać większych trudności.

Bibliografia

- Baran J., Sint A., 2014: Organizacja transportu w sektorze przetwórstwa owoców i warzyw, *Logistyka*, 4, 3479–3486.
- Baryła-Paśnik M., Piekarski W., Dudziak A., 2013: Systemy funkcjonowania transportu żywności w aspekcie regulacji prawnych, *Logistyka*, 5, 71–74.
- Dutkiewicz L., Kucharska E., 2010: Algorytm planowania tras dostaw dla wielu komiwojażerów, *Automatyka*, 14.3/2, 853–865.
- Hanczar P., 2010: Wspomaganie decyzji w obszarze wyznaczania tras pojazdów, *Decyzje*, 13, 55–83.
- Kauf S., Tłuczak A., 2016: Optymalizacja decyzji logistycznych, Difin, Warszawa.
- Klepacki B., Wicki L. (red.), 2014: Systemy logistyczne w funkcjonowaniu przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Klepacki B., Wysokiński M., Jarzębowski S., 2013: Transport w gospodarstwie rolnym jako źródło kosztów logistycznych, *Logistyka*, 2, 25–27.
- Kozłowicz K., Wołak S., Kluza F., 2003: Transport żywności i jej jakość na tle uwarunkowań technologicznych i logistycznych, *Chłodnictwo: organ Naczelnej Organizacji Technicznej*, 38, 38–43.

- Michlowicz E., 2009a: Optymalizacja zadań operatora logistycznego, *Logistyka*, 3.
- Michlowicz E., 2009b: Problem komiwożera dla kilku centrów dystrybucji, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej*, 70, 113–125.
- Płaczek E., Szoltysek J., 2008: Wybrane metody optymalizacji systemu transportu odpadów komunalnych w Katowicach, *Logforum*, 4(1), 2.
- Salmonowicz K., 2011: Źródła finansowania rozwoju infrastruktury transportu wodnego śródlądowego w Polsce, *Logistyka*, 6, 4977–4992.
- Szubert A., 2018: Przewóz ładunków spożywczych – Znaczenie i specyfika transportu w branży spożywczej, Trans.eu Group S.A., [źródło elektroniczne] <http://www.trans.eu/pl/aktualnosci/znaczenie-i-specyfika-transportu-w-branzy-spozywczej> [dostęp: 12.12.2022].

ISSN 2450-8055



2450 8055