



Monografia naukowa

VII Konferencja naukowa z cyklu
„Logistyka dziś i jutro”

**TECHNIKA I EKONOMIA
W PROCESACH
TRANSPORTOWYCH**

Przemyśl 2024

Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu
Instytut Nauk Technicznych

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej

TECHNIKA I EKONOMIA W PROCESACH TRANSPORTOWYCH

MONOGRAFIA

pod redakcją
Grzegorza Dzieniszewskiego
Macieja Kubonia

Przemysł, 2024

Materiały z VII Konferencji Naukowej z cyklu „Logistyka dziś i jutro”
Przemysł 2024

Opracowanie redakcyjne:
Prof. dr hab. inż. Maciej Kuboń

Recenzenci:
Dr hab. inż. Katarzyna Szwedziak – ANS Angelusa Silesiusa w Wałbrzychu
Dr hab. inż. Andrzej Borusiewicz, prof. Uczelni – MANS w Łomży

Korekta i łamanie:
Zbigniew Szpila

Projekt graficzny okładki i stron tytułowych:
Zbigniew Szpila

Wszelkie prawa zastrzeżone.
Rozpowszechnianie i kopiowanie całości lub części publikacji zabronione bez pisemnej
zgody autorów

Druk i oprawa:
NOVA SANDEC
ul. Lwowska 143, 33-300 Nowy Sącz
tel. +48 (18) 547 45 45
e-mail: biuro@novasandec.pl; <http://www.novasandec.pl>
Ark. wyd. 31,50; ark. Druk. 28,5
Nakład: 100 egz.

© Copyright by Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków 2024
Wydanie I

ISBN 978-83-64377-66-2

WIR
WYDAWNICTWO

Wydawnictwo „INŻYNIERIA ROLNICZA”
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków
<http://agriceng.ptir.org>; e-mail: redakcja@ptir.org

Spis treści

Belcar J., Gorzelany J.: Logistyka obrotu ziarnem pszenicy w zależności od jej jakości na przykładzie magazynu zbożowego	5
Dzieniszewski G., Kokoszka K.: Analiza procesów tribologicznych w zespołach napędowych motocykli	15
Dzieniszewski G., Sasiela W.: Modelowanie i optymalizacja dynamiki i bezpieczeństwa ruchu pojazdu z wykorzystaniem programu PC-Crash.....	35
Dzieniszewski G., Sasiela W.: Wykorzystanie technik CAD w projektowaniu konstrukcji pojazdów	47
Dzieniszewski G., Waszkowski K.: Ocena możliwości zasilania gazem LPG silników o obiegu Sabathe i obiegu Diesla	59
Jadwisieńczyk K., Choszcz D., Majkowska-Gadomska J., Krupiński K.: Logistyczne rozwiązania w obróbce pozbiorczej warzyw na przykładzie kalafiora i brokołu włoskiego.....	75
Juściński S.: Elektryczne ciągniki siodłowe jako strategia mająca na celu dekarbonizację procesów transportowych	84
Juściński S.: Roboty współpracujące (coboty) jako innowacyjna technologia wspierająca procesy transportowe	113
Juściński S., Piekarski W., Piekarski D., Mozola N.: Analiza i ocena efektywności przewozów towarów transportem drogowym na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa	139
Juściński S., Piekarski W., Piekarski D., Rybak P.: Rozwój eko-transportu w aspekcie logistyki dystrybucji rowerów przez sklepy internetowe	169
Kaczmar I., Radochońska-Wasiewicz E., Garbalski M.: Wielokryterialna ocena ryzyka pracy kierowcy zawodowego	199
Kielbasa P., Baran D., Kupiec S.: Analiza stopnia koncentracji uwagi kierowcy i pasażera w czasie jazdy miejskiej	213
Kuranc A., Golubiewski P.: Wybrane aspekty zastosowania wodoru jako źródła energii w pojazdach komunikacji miejskiej.....	227
Kuźniar P., Folta M., Gajdek G., Gorzelany J., Zardzewiały M.: Wybrane aspekty zarządzania łańcuchem dostaw w przedsiębiorstwach przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie małopolskim.....	243
Kuźniar P., Zema H., Gajdek G., Gorzelany J., Zardzewiały M.: Wybrane aspekty zarządzania transportem w przedsiębiorstwach przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie małopolskim.....	257
Kwaśniewska K., Olech E., Kwaśniewski D., Kornas R., Kuboń M.: Efektywność procesów przewozowych na przykładzie wybranych kanałów transportowych	277

Lorencowicz E., Kocira S., Ostęp A.: Zagrożenia drogowe spowodowane ruchem wolnobieżnych pojazdów budowlanych.....	291
Olkowski T., Choszcz D.: Urządzenie do jednoczesnego podawania różnych paliw stałych do kotła jako narzędzie wspomagające procesy logistyczne	309
Pajda M., Topczewska J., Ormian M.: Optymalizacja tras w łańcuchu dostaw świeżych owoców i warzyw w wybranej firmie transportowej	317
Piekarski W., Dzieniszewski G., Piekarski D., Spodar G., Oźga J.: Funkcjonowanie centrum logistycznego na przykładzie praktycznych rozwiązań w gospodarce.....	329
Piekarski W., Dzieniszewski G., Piekarski D., Spodar G., Pasławska J.: Gospodarka odpadami komunalnymi z wykorzystaniem innowacyjnych technologii	343
Skibko Z., Holdyński G., Borusiewicz A., Pisarek Ł.: Wykorzystanie systemów ładowania aut elektrycznych w budynkach zagrodowych	355
Stoma M., Osmólska E., Klekot N.: Teoretyczne i praktyczne aspekty ekonomii współdzielenia w logistyce	367
Szczyglak P., Markowski P., Choszcz D.: Modelowanie zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej	381
Szwedziak K., Florczak-Strama M., Krycia-Chomińska A., Pieczyński M., Busławski A.: Proces logistyczny w magazynie zbożowym z wykorzystaniem technik wizyjnych	407
Szynol A., Kwaśniewski D., Kuboń M., Malaga-Toboła U., Olech E.: Ocena procesów transportowych i pracy kierowców w wybranej firmie	421
Zajac G., Maj G., Szyszlak-Bargłowicz J., Słowik T.: Transport towarów łatwo psujących – wybrane aspekty transportu owoców	441

LOGISTYKA OBROTU ZIARNEM PSZENICY W ZALEŻNOŚCI OD JEJ JAKOŚCI NA PRZYKŁADZIE MAGAZYNU ZBOŻOWEGO

Justyna Belcar^{1,2}, Józef Gorzelany¹

¹ Zakład Inżynierii Produkcji Rolno-Spożywczej, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Rzeszowski

² Szkoła Doktorska Uniwersytetu Rzeszowskiego

Wstęp

Pszenica zwyczajna (*Triticum aestivum* L.) jest podstawowym zbożem uprawianym w Polsce. W 2022 roku powierzchnia zasiewów pszenicy wynosiła 2518 tys. ha, w tym 2315 tys. ha stanowiły zasiewy pszenicy ozimej i 203 tys. ha pszenicy jarej. Największe zbiory w Polsce w 2022 roku odnotowano w województwach wielkopolskim, mazowieckim i lubelskim, które wynosiły odpowiednio: 5078,6 tys. t., 3431,4 tys. t. oraz 3481,1 tys. t. Jednocześnie charakteryzowały się one największym arealem upraw¹. Rolnicy w Polsce tradycyjnie uprawiają pszenicę ze względu na jej stosunkowo wysokie plonowanie i skład chemiczny ziarna w zależności od intensywności uprawy².

Wyróżniki fizyko-chemiczne i fizjologiczne ziarna pszenicy określane w laboratoriach skupowych i zakładowych pozwalają na określenie jego jakości i tym samym możliwość wykorzystania w produkcji pasz lub w różnych gałęziach przemysłu spożywczego, w tym jako surowiec do produkcji mąki, a następnie do wyrobu makaronów, ciastek i pieczywa, ale także w innych segmentach produktów spożywczych (m.in. różnego rodzaju kasze czy produkcja słodu pszenicznego)³. Pszenica przeznaczona na cele konsumpcyjne powinna charakteryzować się wysoką jakością technologiczną ocenianą poprzez pomiar liczby opadania, zawartości białka, glutenu czy określenie ciężaru właściwego. Jakość ziarna pszenicy zależy

¹ GUS: Rocznik Statystyczny Rolnictwa. 148, 285. 2023.

² Sułek A.: Ocena ekonomiczna produkcji pszenicy ozimej z różnych grup użytkowych w zależności od intensywności technologii. Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu. XIX, 2, 226-231, 2017.

³ Jaskulska I., Jaskulski D., Gałęziewski L., Knapowski T., Kozera W., Waclawowicz R.: Mineral Composition and Baking Value of the Winter Wheat Grain under Varied Environmental and Agronomic Conditions. Journal of Chemistry (Hindawi). ID 5013825, 1-7, 2018.

od zastosowanego nawożenia i ochrony roślin, warunków agronomicznych w czasie wegetacji, zastosowania odpowiednich przedplonów oraz doboru odpowiedniej odmiany^{4,5,6,7}.

Magazyn zbożowy to pewnego rodzaju przedsiębiorstwo rolnicze, w którym występuje złożoność systemu logistycznego składającego się najczęściej z czterech podsystemów (logistyka zaopatrzenia, produkcji, dystrybucji i utylizacji odpadów poprodukcyjnych), które współpracują ze sobą i wzajemnie się przenikają^{8,9}. Złożoność ta wynika z sezonowości produkcji rolniczej, wielkości obrotów (sprzedaż zbóż prowadzona partiami) czy okresu przechowywania^{10,11,12}. W magazynach zbożowych łańcuch logistyczny powinien obejmować nie tylko działalność stricte produkcyjną ale także współpracujących z nim rolników (klientów), przewoźników czy poszczególne jednostki obsługujące działalność magazynu¹³. W systemie zarządzania logistycznego musi znaleźć się optymalizacja dostaw surowcowych, sterowanie zapasami ale także organizacja sprzedaży czy zarządzanie flotą transportową. Poszczególne operacje logistyczne powinny być powiązane z odpowiednią infrastrukturą logistyczną, którą wykorzystuje się m.in. do sterowania procesami i operacjami logistycznymi takimi jak gromadzenie zapasów, kontrola oraz manipulowanie czasowo-przestrzenne^{14,15,16}. Obrót zbożem następuje najczęściej transportem kołowym lub kolejowym. W transporcie kołowym wyróżnić należy dwa rodzaje obrotu surowcem, albo bezpośrednio do swojego gospodarstwa albo do punktu skupu (rolnicy – producenci) lub z punktu skupu do przetwórców (podmioty

⁴ Cacak-Pietrzak G., Ceglińska A., Jończyk K.: Wartość wypiekowa mąki z ziarna odmian pszenicy uprawianych w ekologicznym systemie produkcji. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 576, 23-32, 2014.

⁵ Buczek J., Bobrecka-Jamro D.: Wpływ przedplonów i dawek herbicydów na wartość użytkową ziarna pszenicy ozimej. *Acta Agrophysica*. 20(3), 365-374, 2013.

⁶ Sekutowski T.: Ocena wybranych cech jakościowych ziarna pszenicy ozimej w zależności od terminu stosowania herbicydu i formy aplikacji azotu. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*. 253, 135-146, 2009.

⁷ Wyatt E.C., Bushong J.T., Macnack N.E., Mullock J.L., Taylor R., Raun W.R.: Influence of Drop-let Size of Foliar-Applied Nitrogen on Grain Protein Content of Hard Red Winter Wheat. *Crop, Forage & Turfgrass Management*. 3, 1-10, 2017.

⁸ Kuziemska B., Pieniak-Lendzion K., Klej P.: Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań logistycznych w rolnictwie. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie*. 109, 173-181, 2016.

⁹ Kuboń M.: Poziom i wykorzystanie infrastruktury logistycznej w przedsiębiorstwach o różnym typie produkcji rolniczej. *Logistyka*. 3, 30-33, 2011.

¹⁰ Kuziemska B., Pieniak-Lendzion K., Klej P.: Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań logistycznych w rolnictwie. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie*. 109, 173-181, 2016.

¹¹ Rokicki T., Wicki L.: Transport i magazynowanie w rolnictwie jako element logistyki. *Więś Jutra*. 01, 41-42, 2010.

¹² Rut J., Kulińska E.: Zarządzanie łańcuchem logistycznym w systemach magazynowania zbóż. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*. LXXIII, 12, 15-26, 2021.

¹³ Kulińska E., Rut J.: Magazyn zbożowy w łańcuchu logistycznym. *Logistyka*. 2. 2010.

¹⁴ Kuziemska B., Pieniak-Lendzion K., Klej P.: Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań logistycznych w rolnictwie. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie*. 109, 173-181, 2016.

¹⁵ Kulińska E., Rut J.: Magazyn zbożowy w łańcuchu logistycznym. *Logistyka*. 2, 2010.

¹⁶ Kuboń M.: Miejsce i rola infrastruktury logistycznej w funkcjonowaniu przedsiębiorstw rolniczych. *Inżynieria Rolnicza*. 9(97), 87-93, 2007.

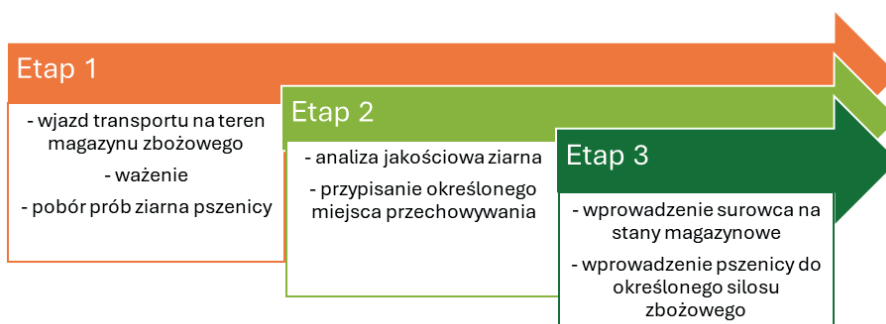
skupowe). Planowanie procesów logistycznych w tej gałęzi przemysłu jest niezwykle trudne ze względu na magazynowanie i przeładunek, a także zależy od warunków pogodowych¹⁷. Ostatnie kryzysy (pandemia Covid – 19, wojna w Ukrainie) istotnie wpłynęły na szlaki logistyczne, ze względu na skoki cen surowców (w tym paliwa i kosztów pracy)¹⁸.

Charakterystyka magazynu zbożowego

Omawiany magazyn zbożowy należy do spółdzielni rolniczej znajdującej się na terenie województwa podkarpackiego. Wyposażony jest w 3 silosy lejowe oraz 6 silosów płaskodennych o łącznej powierzchni 11 tysięcy ton, czyszczalnię i suszarnię daszkową wraz z całą infrastrukturą oraz własne laboratorium. Podstawowym zadaniem magazynu jest skup zboża, jego magazynowanie, konserwowanie oraz redystrybucja, które realizuje się na podstawie przypisanych w zależności od rodzaju zbóż procesów technologicznych.

Logistyka dostaw ziarna pszenicy

Logistyka przyjęcia ziarna pszenicy obejmuje odbiór surowca poprzez poszczególne etapy tj. ważenie, pobór próby, przeprowadzenie oceny jakościowej, wyładunek i transport wewnętrzny (przyjęcia ziarna pszenicy do magazynu są prowadzone przez cały rok; rys. 1).



Rysunek 1. Schemat logistyki dostaw surowca do magazynu zbożowego

Prowadzi to do optymalizacji współpracy pomiędzy podmiotem skupowym a poszczególnymi rolnikami, gdzie obie strony łańcucha logistycznego współdziałają ze sobą¹⁹. Logistyka dostaw w łańcuchu logistycznym wiąże się także z zarządzaniem ryzykiem, które należy oszacować i zminimalizować. Do tego celu wykorzystuje się wiedzę o rynku rolniczym i właściwości jego funkcjonowania²⁰. Łańcuch dostaw pozwala na sprawny przepływ

¹⁷ Zagórda M., Juliszewski T., Kielbasa P., Dróżdż T.: Planowanie transportu drogowego w przedsiębiorstwie rolnym. *Autobusy*. 6, 977-980, 2018.

¹⁸ Cudziło M.: Logistyka w czasie kryzysu. *Logistyka*. 2, 28-32, 2022.

¹⁹ Świerczek A.: Od łańcuchów dostaw do sieci dostaw. *Logistyka*. 1, 74-77, 2007.

²⁰ Kulińska E.: Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw. *Logistyka*. 1, 18-21, 2007.

strumienia materiałowego w obrębie kooperujących ze sobą podmiotów, celem zapewnienia ciągłości produkcyjnej²¹.

Magazyn zbożowy posiada własne laboratorium, w którym następuje ocena jakościowa dostarczonego surowca. Na podstawie analizy laboratoryjnej (ciężar właściwy, zawartość białka ogółem, zawartość glutenu, wartości liczby opadania i udziału zanieczyszczeń ogółem) przyjęty surowiec jest kierowany do jednego z dwóch zbiorników płaskodennych o pojemności 2000 ton każdy. Ziarno niespełniające kryteriów przeznaczających go jako surowiec konsumpcyjny (ciężar właściwy $\geq 76 \text{ kg}\cdot\text{hl}^{-1}$; zawartość białka ogółem $\geq 12,5\%$ s. m., zawartość glutenu $\geq 26,0\%$, wartości liczby opadania $\geq 220 \text{ s}$ i udziału zanieczyszczeń ogółem $\leq 6\%$) trafia do osobnego silosu i jest przeznaczone jako materiał paszowy. Pozostałe ziarno trafia do drugiego silosu, który stanowi surowiec o właściwościach konsumpcyjnych. Ponadto, w zależności od potrzeb, spośród surowca konsumpcyjnego można jeszcze wyróżnić tzw. ziarno pszenicy wysokoglutenujnej z przeznaczeniem do produkcji makaronu (zawartość glutenu w zależności od umów handlowych powyżej 30% lub powyżej 35%) jest umieszczane w jednym z silosów lejowych o powierzchni 300 ton (rys. 2.). Optymalne działanie poszczególnych etapów procesu logistycznego (przyjęcie, rozdział surowców w zależności od ich jakości, przechowywanie i konserwacja) pozwala na przepływ materiałów do zaopatrzenia i produkcji przy jednoczesnym maksymalnym obniżeniu kosztów bezpośrednich i pośrednich²².



Rysunek 2. Miejsce składowania ziarna pszenicy w zależności od jakości surowca

(schemat silosu: www.michal-silosy.pl)

²¹ Waściński T.: Procesy logistyczne w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie. 103, 25-38, 2014.

²² Kuziemska B., Pieniak-Lendzion K., Klej P.: Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań logistycznych w rolnictwie. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie. 109, 173-181, 2016.

W latach badań (2020-2023) do magazynu zbożowego dostarczono ogółem 6542,36 ton ziarna pszenicy charakteryzującego się zróżnicowaną jakością. W roku 2023 przyjęto 1290,31 ton ziarna pszenicy, w tym 25,56% stanowił surowiec konsumpcyjny, natomiast 12,40% stanowiła pszenica wysokoglutenu (tab. 1). W roku 2022 dostarczona do magazynu zbożowego partia ziarna pszenicy (ponad 1300 ton) cechowała się nieco obniżoną wartością parametru gęstości usypowej (ciężar właściwy $<76 \text{ kg}\cdot\text{hl}^{-1}$), natomiast 36,99% stanowił surowiec przeznaczony dla przemysłu spożywczego (tab. 1). Rok 2021 oraz 2020 był niekorzystnym sezonem wegetacyjnym dla uprawy pszenicy wpływając niekorzystnie na parametr gęstości usypowej. Cała dostarczona w roku 2021 (1540,61 ton) oraz w roku 2020 (2366,48 ton) partia pszenicy dostarczona do magazynu spółdzielni rolniczej została zakwalifikowana jako materiał paszowy (tab. 1).

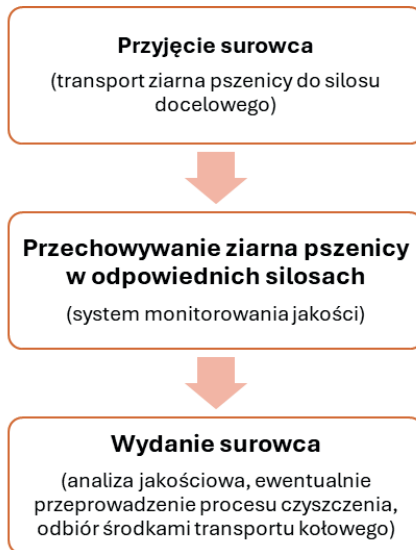
Tabela 1. Ilość oraz średnie parametry jakościowe dostarczonego ziarna pszenicy w latach 2020-2023 (lipiec – sierpień – okres żniw) do magazynu zbożowego

Rok	Ilość (t)	Wilgotność (%)	Ciężar właściwy ($\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$)	Zawartość białka ogółem (% s. m.)	Zawartość glutenu (% s. m.)
2023	800,43	14,05	72,96	11,74	25,68
	329,86	13,17	76,49	12,56	28,00
	160,02	13,13	76,65	13,39	31,67
Ogółem	1290,31	13,45	75,37	12,56	28,45
2022	847,52	13,61	75,39	10,77	21,54
	397,80	13,15	75,88	12,21	27,85
	99,64	13,48	74,76	13,92	32,03
Ogółem	1344,96	13,41	75,34	12,30	27,14
2021	181,78	14,25	71,18	11,65	22,91
	513,95	13,99	71,22	12,86	28,35
	844,88	13,57	70,01	14,26	33,27
Ogółem	1540,61	13,94	70,80	12,92	28,17
2020	67,08	14,33	72,17	11,31	24,31
	350,12	13,75	72,83	12,55	28,34
	1949,28	13,22	70,79	14,38	34,29
Ogółem	2366,48	13,77	71,93	12,75	28,98

Źródło: opracowanie własne

Logistyka procesu przechowywania i odbioru ziarna pszenicy

Logistyczny schemat procesu przechowywania ziarna pszenicy w magazynie zbożowym przedstawiono na rys. 3. Proces zarządzania jakością na magazynie zbożowym, jest jednym z etapów zapewniających ciągłość logistycznego systemu. Zapewnienie jakości powinno odbywać się w łańcuchu logistycznym nie tylko w procesach wewnątrz zakładowych (przyjęcia, magazynowania i wydania określonej partii zboża) ale także pomiędzy producentami rolnymi, przewoźnikami i firmami odbiorczymi. Przepływ towarów w strumieniu logistycznym magazynu wymaga aby procesy technologiczne na każdym etapie przepływu surowca posiadały ciągły nadzór. Zastosowanie nowoczesnego systemu logistycznego w obrocie zbożem zapewnia utrzymanie wysokiej jakości przechowywanego surowca oraz opłacalność działalności gospodarczej²³. Jakość przechowywanego surowca w silosie jest codziennie kontrolowana poprzez monitorowanie temperatury i wilgotności w silosie tak, aby na wczesnym etapie wykryć ewentualne nieprawidłowości (np. wystąpienie szkodników magazynowych czy zagrzenie zboża). System zarządzania jakością na magazynie zbożowym jest opracowany na podstawie systemu HACCP oraz wewnętrznych norm przyjęcia i monitorowania przechowywanego zboża.



Rysunek 3. Schemat logistyki procesu przechowywania i odbioru ziarna pszenicy

Do magazynowania płodów rolnych najczęściej wykorzystuje się silosy i hale magazynowe, przed którymi stawia się wymagania dotyczące ich stosunkowo prostej i jednocześnie niezawodnej obsługi oraz wyposażenia w urządzenia pozwalające na pomiar temperatury, wentylację, chłodzenie, oczyszczanie czy osuszanie materiału, aby zachować składowany

²³ Żuk J.: Koncepcja logistyki nowoczesnej technologii magazynowania i przetwórstwa zbóż. Przemysł Zbożowo-Młynarski. 9, 72-74, 2008.

surowiec w jak najwyższej jakości przez określony czas²⁴. Do przechowywania kieruje się surowiec, którego wilgotność nie przekracza 14,0-14,5%. Taka wilgotność ziarna w połączeniu z utrzymaniem stosunkowo niskiej temperatury wewnątrz silosu (ok. 8°C) pozwala na przechowywanie surowca przez dłuższy czas bez obaw o straty jakościowe. Przechowywanie płodów rolnych przez określony czas wiąże się oczekiwaniem na lepszą koniunkturę cenową, przetrzymywanie surowca do określonych procesów produkcyjnych czy też zapewnienie ciągłości sprzedaży jest zasadniczym elementem działalności gospodarczej magazynów zbożowych.

Spółdzielnia rolnicza kooperuje z wiodącymi firmami zajmującymi się przetwórstwem ziarna pszenicy (przemysł młynarsko – piekarniczy czy paszowy). Surowiec sprzedawany jest partiami. Po podpisaniu umów sprzedaży następuje ustalenie zasad odbioru surowca tj. określeniu tygodniowego harmonogramu odbiorów. Logistyk pracujący na magazynie zbożowym wpisuje ustalony harmonogram wraz z otrzymanymi dziennymi awizacjami (danymi kierowców oraz numerami rejestracyjnymi samochodów, które przyjadą odebrać pszenicę) do komputerowego programu magazynowego. Proces załadunku pszenicy jest w pełni zautomatyzowany i obsługiwany z pulpitu sterowniczego przez operatora. Każdy środek transportu przed opuszczeniem magazynu jest dokładnie sprawdzany pod kątem jakości wydawanego surowca (analiza laboratoryjna). Po zwolnieniu danego samochodu przez laboratorium kierowca otrzymuje dokument wydaniowy z którym udaje się do miejsca docelowego.

Tabela 2. Miesięczny (wrzesień) harmonogram odbiorów pszenicy w latach 2020–2023

Rok	Masa (t)	
	Pszenica paszowa	Pszenica konsumpcyjna
2023	744,62	832,56
2022	177,76	-
2021	238,30	-
2020	1455,10	153,28
Ogółem	2615,78	985,84

Źródło: opracowanie własne

W latach badań (2020-2023) wydano ogółem 2615,78 ton ziarna pszenicy z przeznaczeniem na cele paszowe oraz 985,84 tony pszenicy z przeznaczeniem na cele spożywcze. Najwięcej ziarna pszenicy wydano we wrześniu 2020 oraz 2023 roku. Średnio tygodniowo, w analizowanych latach badań, wydawano w roku 2023, 7 – 8 samochodów pszenicy paszowej; w roku 2022, 1 – 2 samochody; w roku 2021, 2 – 3 samochody oraz w roku 2020 średnio 14 – 15 samochodów. We wrześniu 2023 oraz 2020 wydawano także pszenicę konsumpcyjną; średnio tygodniowo było to odpowiednio 8 – 9 samochodów i 1 – 2 samochody. Sprawny transport płodów rolnych z miejsca załadunku do miejsca docelowego jest jednym

²⁴ Żuk J.: Koncepcja logistyki nowoczesnej technologii magazynowania i przetwórstwa zbóż. Przemysł Zbożowo-Młynarski. 9, 72-74, 2008.

z najważniejszych kosztów i procesów logistycznych związany jednocześnie z utrzymaniem wysokiej jakości przewożonego ładunku²⁵. Koszty zewnętrznego przepływu surowcowo-towarowego zależą od terminu odbioru, wyboru przewoźnika, miejsca docelowego czy wyboru środka transportu²⁶.

Podsumowanie

Magazyn zbożowy znajduje się w centrum pewnego rodzaju sieci logistycznej obejmującej kooperujących z nim rolników (dostawców surowca) oraz zewnętrzne firmy przetwórcze (odbiorcy produktu finalnego). Automatyzacja procesów logistycznych oraz z odpowiednio dobrana infrastruktura logistyczna pozwala na zoptymalizowanie pracy magazynu zbożowego. Należy pamiętać, że tylko przy prawidłowym działaniu poszczególnych elementów ciągu logistycznego możliwe jest ograniczanie kosztów pracy przy jednoczesnym utrzymaniu jakości magazynowanego ziarna.

Bibliografia

- Buczek J., Bobrecka-Jamro D.: Wpływ przedplonów i dawek herbicydów na wartość użytkową ziarna pszenicy ozimej. *Acta Agrophysica*, 20(3), 365-374, 2013.
- Cacak – Pietrzak G., Ceglińska A., Jończyk K.: Wartość wypiekowa mąki z ziarna odmian pszenicy uprawianych w ekologicznym systemie produkcji. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 576, 23-32, 2014.
- Cudziło M.: Logistyka w czasie kryzysu. *Logistyka*. 2, 28-32, 2022.
- GUS: Rocznik Statystyczny Rolnictwa. str. 148, 285. 2023.
- Jaskulska I., Jaskulski D., Gałęziewski L., Knapowski T., Kozera W., Waclawowicz R.: Mineral Composition and Baking Value of the Winter Wheat Grain under Varied Environmental and Agronomic Conditions. *Journal of Chemistry (Hindawi)*. ID 5013825; 1-7, 2018.
- Kuboń M.: Poziom i wykorzystanie infrastruktury logistycznej w przedsiębiorstwach o różnym typie produkcji rolniczej. *Logistyka*. 3, 30-33, 2011.
- Kuboń M.: Miejsce i rola infrastruktury logistycznej w funkcjonowaniu przedsiębiorstw rolniczych. *Inżynieria Rolnicza*. 9(97): 87-93. 2007.
- Kulińska E., Rut J.: Magazyn zbożowy w łańcuchu logistycznym. *Logistyka*. 2, 2010.
- Kulińska E.: Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw. *Logistyka*. 1, 18-21, 2007.
- Kuziemska B., Pieniak-Lendzion K., Klej P.: Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań logistycznych w rolnictwie. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie*. 109,173-181. 2016a.
- Kuziemska B., Trębicka J., Pieniak-Lendzion K.: Logistyka transportu w rolnictwie. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie*. 109, 161-171, 2016b.
- Rokicki T., Wicki L.: Transport i magazynowanie w rolnictwie jako element logistyki. *Więś Jutra*. 01, 41-42, 2010.

²⁵ Kuziemska B., Trębicka J., Pieniak-Lendzion K.: Logistyka transportu w rolnictwie. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie*. 109, 161-171, 2016.

²⁶ Kuboń M.: Poziom i wykorzystanie infrastruktury logistycznej w przedsiębiorstwach o różnym typie produkcji rolniczej. *Logistyka*. 3, 30-33, 2011.

- Rut J., Kulińska E.: Zarządzanie łańcuchem logistycznym w systemach magazynowania zbóż. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*. LXXIII, 12, 15-26, 2021.
- Sekutowski T.: Ocena wybranych cech jakościowych ziarna pszenicy ozimej w zależności od terminu stosowania herbicydu i formy aplikacji azotu. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*. 253, 135-146, 2009.
- Sulek A.: Ocena ekonomiczna produkcji pszenicy ozimej z różnych grup użytkowych w zależności od intensywności technologii. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*. XIX, 2, 226-231, 2017.
- Świerczek A.: Od łańcuchów dostaw do sieci dostaw. *Logistyka*. 1, 74-77, 2007.
- Waściński T.: Procesy logistyczne w zarządzaniu łańcuchem dostaw. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie*. 103, 25-38, 2014.
- Wyatt E.C., Bushong J.T., Macnack N.E., Mullock J.L., Taylor R., Raun W.R.: Influence of Droplet Size of Foliar-Applied Nitrogen on Grain Protein Content of Hard Red Winter Wheat. *Crop, Forage & Turfgrass Management*. 3, 1-10, 2017.
- Zagórda M., Juliszewski T., Kiełbasa P., Drózd T.: Planowanie transportu drogowego w przedsiębiorstwie rolnym. *Autobusy*. 6, 977-980, 2018.
- Żuk J.: Koncepcja logistyki nowoczesnej technologii magazynowania i przetwórstwa zbóż. *Przemysł Zbożowo-Młynarski*. 9, 72-74, 2008.

Adres do korespondencji: e-mail: justyna.belcar@op.pl
ORCID: Józef Gorzelany 0000-0002-1028-097X
ORCID: Justyna Belcar 0000-0002-2306-8716

ANALIZA PROCESÓW TRIBOLOGICZNYCH W ZESPOŁACH NAPEŁDOWYCH MOTOCYKLI

Grzegorz Dzieniszewski^{1,2}, Konrad Kokoszka¹

¹ Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

Wstęp

Procesy tribologiczne, obejmujące tarcie, zużycie i smarowanie, stanowią fundamentalny obszar badań w dziedzinie inżynierii mechanicznej. Tribologia, jako nauka o tarceniu, zużyciu i smarowaniu, ma istotne znaczenie dla zapewnienia trwałości i efektywności maszyn, a także dla rozwoju nowoczesnych technologii.

Tarcie jest zjawiskiem fizycznym, w którym dwie powierzchnie ciał stałych oddziałują ze sobą, generując siłę przeciwdziałającą ruchowi. Mechanizm tarcia jest złożony, obejmuje interakcje na poziomie mikro- i makrostruktury. Zrozumienie rodzajów tarcia, takich jak tarcie suche i mokre, jest kluczowe dla minimalizacji strat energii i zużycia materiałów.

Wpływ na siłę tarcia mają różnorodne czynniki, takie jak rodzaj materiałów, obciążenie, prędkość ruchu oraz warunki środowiskowe. Badania nad nanotarciami dostarczają nowych spojrzeń na mechanizmy tarcia na poziomie atomowym, co otwiera nowe możliwości optymalizacji materiałów i konstrukcji.¹

Zużycie, to proces stopniowej degradacji materiałów na skutek interakcji powierzchni ciał stałych. Rozróżnia się kilka głównych rodzajów zużycia, takich jak zużycie ścierne, adhezyjne, zmęczeniowe i korozja tribologiczna. Zrozumienie tych procesów jest kluczowe dla przewidywania trwałości elementów maszynowych.

Skutki zużycia są wieloaspektowe i obejmują utratę tolerancji wymiarowej, zmiany właściwości mechanicznych, a także potencjalne awarie maszyn. Innowacyjne technologie, takie jak nanomateriały i powłoki tribologiczne, stanowią obiecujące kierunki w dziedzinie minimalizacji zużycia.²

Smarowanie pełni kluczową rolę w procesach tribologicznych, redukując tarcie i minimalizując zużycie. Substancje smarne tworzą warstwę ochronną na powierzchniach ciał stałych, zmniejszając opór ruchu i minimalizując negatywne skutki tarcia. Rozwój nowoczesnych technologii smarowania, takich jak smary inteligentne reagujące na zmienne warunki

¹ Baje J.: Tribologia i trybotechnika, red. nauk. Szczerek M., Wiśniewski M., Warszawa, 1999.

² Bowden F., Tabor D.: Wprowadzenie do trybologii, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1980.

pracy, przyczynia się do poprawy efektywności i trwałości maszyn. Wybór odpowiedniego smaru zależy od warunków środowiskowych i specyfiki zastosowania.

Monitorowanie procesów tribologicznych jest kluczowe dla utrzymania wydajności maszyn. Zaawansowane techniki, takie jak termografia, analiza wibracji i mikroskopia elektronowa, pozwalają na śledzenie zmian w strukturze powierzchni i identyfikację potencjalnych problemów.

Cel i zakres pracy

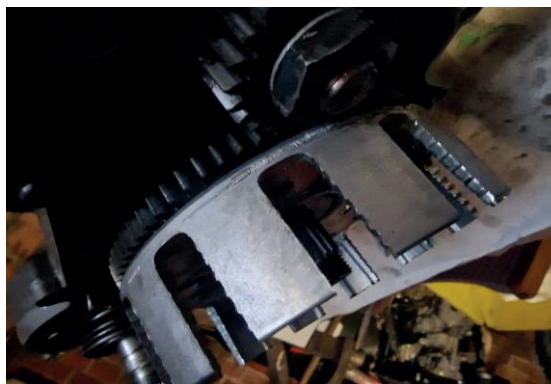
Celem pracy jest analiza procesów tribologicznych w zespołach napędowych motocykli z uwzględnieniem warunków pracy zespołów oraz zastosowanych materiałów i środków smarnych. W pracy zawarto rozważania nad wymaganiami stawianymi zespołom napędowym motocykli. Badawczym elementem pracy jest analiza procesów tribologicznych w zespołach napędowych motocykli ze wskazaniem kierunków rozwoju techniki motocyklowej.

Metodyka pracy

Metodyka pracy obejmuje badania empiryczne zużycia i uszkodzeń części i zespołów motocykli w aspekcie warunków eksploatacji oraz z uwzględnieniem procedur obsługi. Mechanizmy motocyklowe, ze względu na optymalizację konstrukcji pod względem minimalizacji masy motocykla, pracują zawsze w warunkach dużego wyężenia materiału oraz w trudniejszych warunkach termicznych. Istotnym problemem objętym metodyką pracy jest wskazanie głównych rodzajów procesów tribologicznych w zespołach napędowych motocykli.

Analiza zużycia i uszkodzeń silników i zespołów przeniesienia napędu

Analizie poddano uszkodzony kosz sprzęgłowy motocykla KTM SX 50. Widok uszkodzonej części przedstawia rysunek 1.



Rysunek 1. Uszkodzony kosz sprzęgłowy motocykla KTM SX

Źródło: opracowanie własne

Powodem uszkodzenia było zużycie cierne pomiędzy mocowaniem płytek sprzęgłowych a obudową kosza. Na skutek intensywnego zużycia mechanizmu doszło do powiększenia luzów, które spowodowały powstanie sił dynamicznych, które uszkodziły kosz sprzęgłowy. Podczas diagnostyki ujawniono, że materiał, z którego wykonano kosz sprzęgłowy nie miał odpowiedniego zapasu wytrzymałości w stosunku do współpracujących elementów. Wykonany pomiar twardości materiału kosza wykazał, że twardość ta wynosiła 15 HRC, natomiast twardość współpracujących płytek 50 HRC. Wynika stąd wniosek, że niewłaściwe zestawienie materiałów, połączone z brutalną eksploatacją motocykla krosowego było przyczyną trybologicznego zużycia kosza sprzęgłowego, co widać na rysunku 2.³



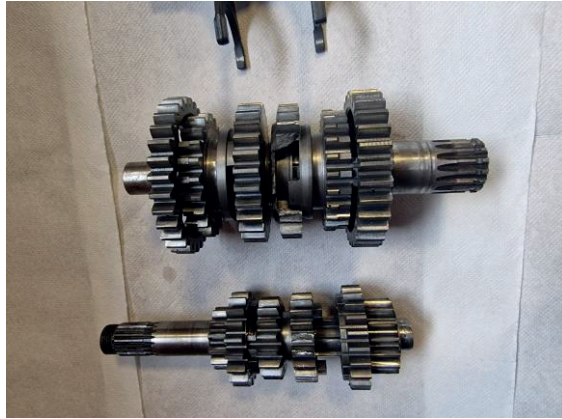
Rysunek 2. Zużycie ściernie powierzchni kosza sprzęgłowego

Źródło: opracowanie własne

Analizie poddano także skrzynię biegów motocykla KTM SX 150, która ma uszkodzone koła zębate.

Widok wałków uszkodzonej skrzyni biegów przedstawia rysunek 3.

³ Burakowski T., Wierzchoń T.: Inżynieria powierzchni metali, WNT, Warszawa, 1995.



Rysunek 3. Wałki uszkodzonej skrzyni biegów

Źródło: opracowanie własne

Genezowanie przyczyn powstania uszkodzenia nie potwierdziło typowego mechanizmu zużycia. Pozostałe koła zębate są w nienagannym stanie, co potwierdza, że warunki smarowania były prawidłowe.

Uszkodzone koło zębate zostało poddane badaniom metalograficznym, podczas których ujawniono przy powiększeniu 500x na zglądzie trawionym 3% nitałem, gruboiglasty martenzyt z austenitem szczątkowym – rysunek 4.

Dokonano także pomiaru twardości, która wyniosła 62 HRC.

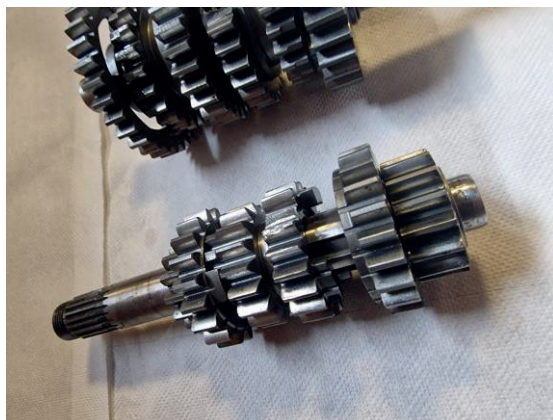


Rysunek 4. Struktura metalograficzna materiału uszkodzonego koła

Źródło: opracowanie własne

Materiał koła zębatego został przehartowany na wskroś do bardzo dużej twardości. Co prawda uzyskano dużą twardość i odporność na ścieranie powierzchni zębów jednak zostało to obarczone dużą kruchością, która spowodowała wykruszenie zębów koła.⁴

Rysunek 5 przedstawia uszkodzone koło współpracujące z kołem, którego zęby uległy wykruszeniu.

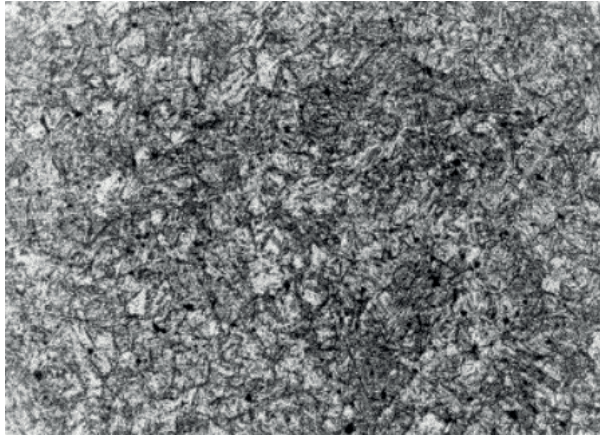


Rysunek 5. Uszkodzone zęby koła współpracującego

Źródło: opracowanie własne

Jak widać na rysunku 5 drugie koło było, wykonane prawidłowo, z prawidłowo dobraną obróbką cieplną, wykazało wystarczającą twardość, która jednak nie była okupiona nadmierną kruchością. Z materiału tego koła wykonano zgląd metalograficzny, który poddano badaniom metalograficznym, podczas których ujawniono przy powiększeniu 500x na zglądzie trawionym 3% nitałem, drobnoiglasty martenzyt czyli strukturę o dobrej twardości, ale o umiarkowanej kruchości – rysunek 6. Twardość wynosiła 56 HRC.

⁴Dobrzański L.A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, WNT, Warszawa, 2002.



Rysunek 6. Struktura drobnoiglastego martenzytu we współpracującym kole zębatym

Źródło: opracowanie własne

Innym rodzajem zużycia odznacza się cylinder motocykla KTM SFX 250, który został przedstawiony na rysunku 7.



Rysunek 7. Cylinder motocykla KTM SFX 250

Źródło: opracowanie własne

W tym przypadku doszło do zatarcia tłoka w cylindrze. Przyczyną było nieprawidłowe smarowanie, gdyż ślady zatarcia są widoczne na całym obwodzie cylindra. W końcowym okresie pracy silnika doszło też do nadmiernego wzrostu temperatury spowodowanego dużymi oporami tarcia wynikającego ze słabego smarowania. Mechanizm zużycia przez szczypanie II rodzaju spowodował osadzenie się materiału tłoka na powierzchni cylindra oraz mikroskrawanie szczególnie widoczne w jednej z płaszczyzn cylindra.⁵ O tym, że wzrost

⁵ Kozaczewski W.: Konstrukcja grupy tłokowo-cylindrowej silników spalinowych, WKŁ, Warszawa, 2020.

temperatury tulei cylindrowej był indukowany procesami trybologicznymi a nie przegrzaniem silnika świadczy stan głowicy przedstawionej na rysunku 8.

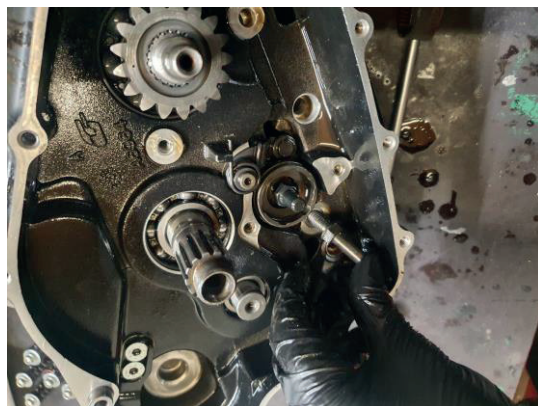


Rysunek 8. Głowica silnika motocykla KTM SFX 250

Źródło: Opracowanie własne

Podczas badania głowicy nie ujawniono pęknięć lub deformacji wskazujących na nadmierny wzrost temperatury. Ujawniono natomiast nadmierne zużycie przyłgni gniazd zaworowych, co spowodowało konieczność regeneracji głowicy.

Kolejnym badanym obiektem był silnik motocykla crossowego Husqvarna FC 250 – przedstawiony na rysunku 9.

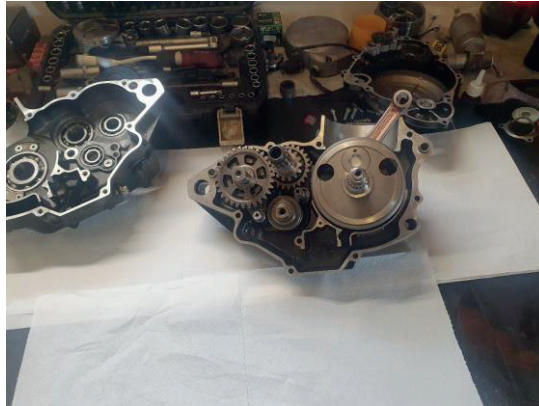


Rysunek 9. Silnik motocykla crossowego Husqvarna FC 250 przed naprawą

Źródło: opracowanie własne

W przypadku tego silnika uszkodzeniu uległy łożyska wału korbowego. W tym przypadku konstrukcja silnika i zastosowane łożyska są odpowiedniej jakości, natomiast zużycie miało charakter typowy i wynikało z długiego użytkowania motocykla. Co ciekawe, na powierzchniach łożysk nie ujawniono śladów pittingu ani spallingu, a powodem dokonania naprawy była głośna praca silnika.

Wygląd silnika w trakcie naprawy przedstawia rysunek 10.

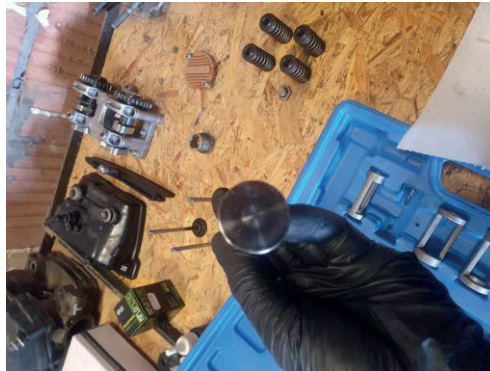


Rysunek 10. Silnik motocykla crossowego Husqvarna FC 250 w trakcie naprawy

Źródło: opracowanie własne

Zastosowanie nowych łożysk pozwoliło odzyskać silnikowi pierwotny rezerw miarodajności, gdyż pozostałe elementy silnika, zwłaszcza układ tłokowo – korbowy były w bardzo dobrym, wręcz nominalnym stanie. Potwierdza to wysoką jakość konstrukcji.⁶

Kolejnym ciekawym przypadkiem zużycia była naprawa głowicy silnika KTM SXF 350. W silniku tym wystąpił spadek kompresji spowodowany uszkodzeniem przylgni zawodów, co widać na rysunku 11.



Rysunek 11. Zawory silnika KTM SXF 350

Źródło: opracowanie własne

⁶ Dmowski R.: Obsługa i naprawa motocykli, WKŁ, Warszawa, 2022.

Jak widać na rysunku 11 zawory są zużyte nieprawidłowo. Zużyta powierzchnia walcowa zaworu wskazuje na nadmierne osiadanie zaworu w gnieździe. Przyczyną może być długi okres eksploatacji silnika lub zbyt słabej jakości materiał zaworu – rysunek 12.⁷



Rysunek 12. Zawór z uszkodzoną przylgnią

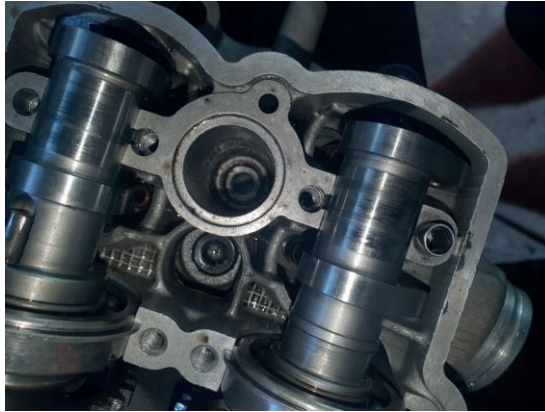
Źródło: opracowanie własne

Celem weryfikacji przeprowadzono pomiar twardości grzybka zaworu i uzyskano wynik 45 HRC. Taka twardość jest zbyt mała, chociaż dokładny skład zastosowanej stali zaworowej nie został ustalony. Przyjmując popularną stal 10HNAP, z której można wykonywać zawory silników tłokowych twardość ta powinna wynosić około 55 HRC. Potwierdzeniem przyjętych przypuszczeń jest wyraźne zużycie trzonka zaworu, co wskazuje na niskie parametry wytrzymałościowe materiału zaworu.⁸

Typowym zużyciem w mechanizmie szczypania II rodzaju są zużyte wałki rozrządu silnika KTM SFX 250 przedstawione na rysunku 13.

⁷ Hebda M.: Wachal A., Trybologia, WNT, Warszawa, 1980.

⁸ Kula T.: Inżynieria warstwy wierzchniej, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2000.



Rysunek 13. Szcepienie II rodzaju jako mechanizm zużycia wałków rozrządu silnika KTM SFX 250

Źródło: opracowanie własne

Zużycie wałków rozrządu powstało na skutek zerwania filmu smarnego na czopach wałków rozrządu. W trakcie diagnostyki ustalono, że pompa olejowa i układ smarowania silnika przed awarią były sprawne, zatem przyczyną zatarcia wałków rozrządu był niewłaściwy stan oleju silnikowego. Podczas badania przyczyn uszkodzeń silnika ustalono, że w silniku znajdował się zbyt gęsty olej. Przymuszczałnie był niewłaściwej jakości, a wymiany oleju były przez długi czas pomijane. W efekcie nałożenia się tych zjawisk olej nie był dostarczany do panewek wałka rozrządu i tym sposobem doszło do zużycia, a wzrost temperatury spowodował procesy zatarcia ze szcepieniem II rodzaju.

Rysunek 14 przedstawia uszkodzone sprzęgło jednokierunkowe KTM SXF 250.

Do uszkodzenia sprzęgła jednokierunkowego doszło na skutek nadmiernego obciążenia i zużycia ciernego jego elementów. W warunkach niedostatecznego smarowania oraz znacznych obciążeń występujących pomiędzy elementami sprzęgła zużyciu uległy walce blokujące. Analiza zużytej powierzchni wskazuje na pitting jako mechanizm zużycia. Na powierzchniach wyraźne są wżery i złuszczenie wskazujące na bardzo duże naciski przekraczające wytrzymałość materiału. Jest to o tyle zdumiewające, że zmierzona twardość powierzchni walców przekracza 63 HRC. Prawdopodobnym mechanizmem uszkodzenia sprzęgła jednokierunkowego było pierwotne zużycie ściernie, które doprowadziło do powiększenia się luzów pomiędzy elementami, a następnie praca w warunkach udarowych w ramach powstałych luzów powodująca przekraczanie dopuszczalnej wytrzymałości i zużycie typowe dla pittingu.⁹

⁹ Micknass W.: Sprzęgła, skrzynki biegów, wały i pólisie napędowe, WKŁ, Warszawa, 2018.



Rysunek 14. Uszkodzone sprzęgło jednokierunkowe KTM SXF 250

Źródło: opracowanie własne

Pod mikroskopem powierzchnia zużytych walców wyglądała tak jak na rysunku 15.



Rysunek 15. Widok pod mikroskopem zużytej powierzchni walców

Źródło: opracowanie własne

Na zużytej powierzchni widoczne są mikrokratery powstałe na skutek wykruszania się mikroskopijnych cząstek materiału (Kula, 2000).¹⁰

Rysunek 16 przedstawia zużyty czop wału korbowego silnika KTM SX 85.

¹⁰ Kula T.: Inżynieria warstwy wierzchniej, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2000.



Rysunek 16. Wał korbowy KTM SX 85

Źródło: opracowanie własne

Jak widać na rysunku 16 czop wału nosi ślady zatarcia oraz miejscami ma fioletowe odbarwienie wskazujące na znaczny wzrost temperatury. Mechanizm powstania tego uszkodzenia polegał na zatarciu się łożyska, w którym był łożyskowany uszkodzony czop, następnie czop wału obracał się względem pierścienia wewnętrznego łożyska i ze względu na znaczny wzrost tarcia i temperatury uległ zużyciu. Temperatura była na tyle wysoka, że czop wału uległ odpuszczeniu, a zmierzona twardość jego powierzchni wyniosła zaledwie 32 HRC (dla innych czopów tego wału było to 55 HRC). W analizowanym przypadku można przypuszczać, że pomimo właściwego smarowania łożyska uległo ono zużyciu, a jego zużycie spowodowało uszkodzenie czopa wału.¹¹

Rysunek 17 przedstawia natomiast tłok silnika czterosurowowego zatarty w cylindrze.

Widoczne ślady na płaszczu tłoka wskazują na mechanizm powstania tego zużycia. Podczas pracy silnika doszło do przerwania filmu olejowego pomiędzy tłokiem a cylindrem, w efekcie czego płaszcz tłoka zaczął pracować w warunkach tarcia granicznego (zamiast płynnego) i doznał intensywnego zużycia. Jak się okazało podczas dalszej diagnostyki badanego silnika przyczyną powstania tego uszkodzenia był niewłaściwy (bardzo rzadki) olej w silniku. Nie ustalono jednoznacznie czy był to taki specyficzny gatunek oleju, czy też uległ on rozrzedzeniu paliwem, które nie uległo spaleni w cylindrze. Mechanizm zużycia tłoka był w tym przypadku intensywnym zużyciem ściernym, gdyż nie doszło do osadzenia się warstwy materiału tłoka na powierzchni cylindra, co byłoby typowe dla zużycia przez szczerpanie temperaturowe.¹²

¹¹ Lawrowski Z.: Tarcie, zużycie, smarowanie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1993.

¹² Kuzmienko A. G.: Makowski R., Tribologiczne problemy modyfikacji środków smarowych cząstkami metali, UTH, Radom, 2018.



Rysunek 17. Tłok silnik czterosuwowego zatarty w cylindrze

Źródło: opracowanie własne

Natomiast w przypadku silnika motocykla Kawasaki KXF 250 przedstawionego na rysunku 18 doszło do zatarcia tłoka w mechanizmie Szepiania II rodzaju, czyli zgrzewania tarcowego.



Rysunek 18. Zatarty tłok silnika motocykla Kawasaki KXF 250

Źródło: opracowanie własne

Widoczne na rysunku 18 szepianie cieplne spowodowało zgrzewanie się materiału tłoka z materiałem, w efekcie czego powstawały warunki do gwałtownego narastania sił tarcia dalszego wykładniczego potęgowania zjawiska. Jest to przykład przekształcania się charakteru zużycia wraz z postępującym procesem uszkodzeń.¹³

¹³ Pytko S.: Podstawy trybologii i techniki smarowniczej, AGH, Kraków, 1999.

Zużycie erozyjne zostało przedstawione na rysunku 19. Jest to przypadek zużycia erozyjnego wtryskiwacza wtrysku pośredniego.



Rysunek 19. Wtryskiwacz paliwa zużyty erozyjnie

Źródło: opracowanie własne

Wtryskiwacz podczas pracy nie jest narażony na działanie wysokich temperatur, jednak intensywny przepływ paliwa i ewentualne zanieczyszczenia znajdujące się w paliwie powodują jego zużycie. Warto wspomnieć także o korozyjnym działaniu paliwa, które jest potęgowane przez dodatki alkoholi (od roku 2024 jest to już 10%).

Mechanizm zużycia erozyjnego jest połączeniem działania korozyjnego paliwa z usuwaniem produktów korozji przez intensywnie przepływające paliwo. Przy nawet niewielkim powiększeniu za pomocą lupy otworów we wtryskiwaczu zauważono niejednostajnie zużyte powierzchnie otworów, na których występują wżery i swoiste kraterki po zużyciu erozyjnym.¹⁴

Do zużycia dochodzi także w obszarze współpracy uszczelnień gumowych z chromowanymi powierzchniami amortyzatorów zawieszenia, co pokazuje rysunek 20.

¹⁴ Mazurkiewicz A., Szczerek M.: Efektywność badań naukowych w tribologii. Zagadnienia eksploatacji maszyn, Problemy eksploatacji, 2, 1998.



Rysunek 20. Zawieszenie Hondy CRF 250

Źródło: opracowanie własne

Pomimo, że powierzchnie są pokryte warstwą chromu o dużej twardości i odporności na zużycie, to jednak ściernie działanie drobnych ziaren piasku połączonych z olejem amortyzatora tworzy swoistą pastę ścierną o bardzo dużej intensywności zużycia. Pierwotną przyczyną powstawania tego zużycia jest uszkodzenie gumowych uszczelnień tłoczyska amortyzatora, które powoduje przenikanie kurzu i piasku w obręb tarcia oraz intensywne zużycie. Mechanizm zużycia potęguje się w ten sposób, że zwiększone zużycie tłoczyska i uszczelnień powoduje zwiększone zanieczyszczenie powierzchni piaskiem, które z kolei powoduje zwiększone wydostawanie się oleju, do którego przywiera większa ilość piasku i w ten sposób mechanizm zużycia ulega wzmocnieniu. Najczęściej wystarczająca naprawa polega na wymianie uszczelnienia – jednak w przypadku przedstawionym na rysunku 20 doszło już do zużycia chromowanej powierzchni tłoczyska oraz rozpoczął się proces intensywnego zużycia rdzenia, co spowodowało konieczność wymiany.¹⁵

Na rysunku 21 przedstawiono głowicę silnika Gilera Runner 125, w której doszło do uszkodzenia termicznego głowicy.

¹⁵ Mazurkiewicz A., Szczerek M.: System badań tribologicznych (SBT), Cz. 1. Urządzenia do badania cienkich powłok przeciwzużyciowych. Problemy eksploatacji, 3, 2003.



Rysunek 21. Głowica silnika Gilera Runner 125

Źródło: opracowanie własne

Uszkodzenia termiczne głowic silników tłokowych powstają najczęściej w warunkach przegrzania silnika. Pęknięcie głowicy silnika może być spowodowane różnymi czynnikami, zwykle związanymi z przeciążeniem, przegrzaniem lub uszkodzeniem komponentów. Nadmierne przegrzewanie silnika może prowadzić do pęknięcia głowicy. To może być wynikiem niewłaściwej ilości płynu chłodniczego, uszkodzenia termostatu, awarii wentylatora chłodzenia lub nieszczelności w układzie chłodzenia. Niewłaściwa ilość oleju lub problemy z układem smarowania mogą prowadzić do nadmiernego tarcia między elementami silnika, co z kolei może spowodować przegrzanie i pęknięcie głowicy. Awaria termostatu lub pompy wodnej może prowadzić do wzrostu ciśnienia w układzie chłodzenia, a to może doprowadzić do pęknięcia głowicy. Brak odpowiedniego smarowania między głowicą a blokiem silnika może prowadzić do nadmiernego tarcia i przegrzewania, a w konsekwencji może spowodować pęknięcie. Długotrwałe narażenie silnika na silne wibracje i drgania, na przykład podczas jazdy po nierównych drogach, może przyczynić się do uszkodzenia strukturalnego, w tym pęknięcia głowicy. W rzadkich przypadkach, wadliwe materiały lub błędy w procesie produkcji mogą spowodować, że głowica silnika będzie bardziej podatna na pękanie. Przeciążenie silnika, na przykład poprzez ciągłą jazdę z przeciążonym pojazdem lub używanie silnika w warunkach, dla których nie został on zaprojektowany, może przyczynić się do pęknięcia głowicy.¹⁶

W analizowanym przypadku na skutek przegrzania silnika doszło do spękania głowicy w obrębie tzw. mostku czyli przestrzeni między gniazdami zaworów. Mechanizm tego uszkodzenia jakkolwiek indukowany termicznie ma charakter zniszczenia zmęczeniowego, gdyż na skutek rozszerzalności cieplnej dochodzi do koncentracji naprężenia w materiale głowicy, które powodują jej uszkodzenie.

¹⁶ Zajac P.: Silniki pojazdów samochodowych, WKŁ, Warszawa, 2017.

Następstwem zatarcia wałka rozrządu w jednej z panewek tego wałka było pęknięcie pokrywy panewki – przedstawia to rysunek 22.



Rysunek 22. Pęknięta panewka głowicy silnika KTM SXF 250

Źródło: opracowanie własne

Mechanizm uszkodzenia polegał na powstaniu zużycia poprzez szczepianie II rodzaju, które spowodowało, że czop wałka doznał miejscowego zgrzewania z panewką. Wskutek tego gwałtownie wzrosły siły tarcia pomiędzy czopem a panewką, które w konsekwencji spowodowały pęknięcie obudowy. Pierwotną przyczyną tego uszkodzenia było przerwanie klina smarnego pomiędzy czopem a panewką spowodowane niewłaściwym stanem układu smarowania.¹⁷

Na rysunku 23 widać, że na skutek zgrzewania zatarciowego cząsteczki materiału panewki były wyrywane z jej powierzchni oraz „nalutowywane” na powierzchnię czopa. Powodowało to dalszą deformację zarysu czopa i jeszcze bardziej nasilało zjawisko szczepiania II rodzaju.

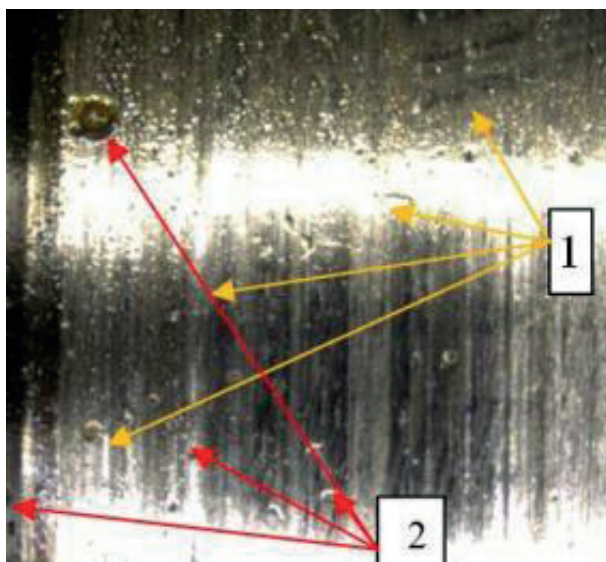
¹⁷ Szczerek, M., Wiśniewski, M.: Tribologia i tribotechnika, Instytut Techniki i Eksploatacji, Radom, 2000.



Rysunek 23. Szepianie II rodzaju pomiędzy czopem wałka rozrządu a panewką

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 24 przedstawia wygląd zatartego czopa. Na rysunku: 1 – mikro- i makro rysy, 2 – wykruszenia powierzchniowe materiału warstwy wierzchniej powstałe na skutek szepiania temperaturowego czopa z panewką.



Rysunek 24. Wygląd zatartego czopa

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w pracy analizy przypadków, poparte określonymi badaniami metalograficznymi i badaniami wytrzymałości materiałów, pozwoliły na wytypowanie najczęstszych problemów trybologicznych w motocyklach oraz metod zapobiegania tym problemom.

Stanowią one wnioski do niniejszej pracy:

1. Warunki pracy zespołów napędowych motocykli są znacznie trudniejsze niż te występujące w pojazdach samochodowych, stąd wymagane są znacznie lepsze materiały w budowie motocykli, wymagane są środki smarne o najwyższych parametrach i niezbędna jest terminowa i właściwa obsługa.
2. Znaczna część ujawnionych uszkodzeń miała swoją genezę w zastosowanych niewłaściwych materiałach lub w wadach materiałowych, które ujawniły się w trakcie eksploatacji.
3. Kluczowe dla uszkodzeń zespołów motocykli są czynniki antropotechniczne, gdyż bardzo wiele uszkodzeń powstaje na skutek „brutalnej” eksploatacji.
4. Ze względu na dominujące kryterium minimalizacji masy motocykla niemożliwe jest osiąganie bezawaryjnych przebiegów motocykli porównywalnych z pojazdami samochodowymi, gdyż zespoły motocykli mają znacznie mniejszy zapas współczynnika bezpieczeństwa konstrukcji.
5. Przyszłość rozwoju konstrukcji motocykli jest ściśle związana z nowoczesnymi materiałami.

Podsumowując, analiza procesów trybologicznych w zespołach napędowych motocykli jest niezbędna dla dalszego rozwoju tej branży. Zapewnia ona nie tylko lepszą wydajność i bezpieczeństwo pojazdów, ale również przyczynia się do tworzenia innowacyjnych rozwiązań, które odpowiadają na współczesne wyzwania związane z ekologią, bezpieczeństwem i komfortem jazdy. Dalsze badania w tej dziedzinie przyczynią się do ewolucji motocykli, sprawiając, że będą one bardziej efektywne, trwałe i zgodne z wymaganiami współczesnych kierowców.

Bibliografia

- Baje J.: Tribologia i trybotechnika. red. nauk. Szczerek M., Wiśniewski M., Warszawa, 1999.
- Bowden F., Tabor D.: Wprowadzenie do trybologii, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1980.
- Burakowski T., Wierzczoń T.: Inżynieria powierzchni metali, WNT, Warszawa, 1995.
- Dmowski R.: Obsługa i naprawa motocykli, WKŁ, Warszawa, 2022.
- Dobrzański L.A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, WNT, Warszawa, 2002.
- Hebda M., Wachal, A.: Trybologia, WNT, Warszawa, 1980.
- Kozaczewski W.: Konstrukcja grupy tłokowo-cylindrowej silników spalinowych, WKŁ, Warszawa, 2020.
- Kula T.: Inżynieria warstwy wierzchniej, Łódź, 2000.
- Kuzmienko A. G., Makowski R.: Tribologiczne problemy modyfikacji środków smarowych cząstkami metali, UTH, Radom, 2018.
- Lawrowski Z.: Tarcie, zużycie, smarowanie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1993.
- Mazurkiewicz A., Szczerek M.: Efektywność badań naukowych w trybologii. Zagadnienia eksploatacji maszyn, Problemy eksploatacji, 2, 1998.

- Mazurkiewicz A., Szczerek M.: System badań tribologicznych (SBT). Cz. 1. Urządzenia do badania cienkich powłok przeciwwzyciowych, Problemy eksploatacji, 3, 2003.
- Micknass W.: Sprzęgła, skrzynki biegów, wały i pólósie napędowe, WKŁ, Warszawa, 2018.
- Pytko S.: Podstawy trybologii i techniki smarowniczej, AGH, Kraków, 1999.
- Szczerek M., Wiśniewski M.: Tribologia i tribotechnika, Instytut Techniki i Eksploatacji, Radom, 2000.
- Zajac P.: Silniki pojazdów samochodowych, WKŁ, Warszawa, 2017.

Adres do korespondencji: g.dzieniszewski@pansp.pl
ORCID: Grzegorz Dzieniszewski 0000-0002-2712-1131

MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA DYNAMIKI I BEZPIECZEŃSTWA RUCHU POJAZDU Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU PC-CRASH

Grzegorz Dzieniszewski^{1,2}, Wiktoria Sasiela¹

¹ Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

Wstęp

Rozwijające się gałęzie branży IT z zakresu komputerowego wspomaganie procesów rekonstrukcji coraz częściej prowadzą do korzystania z profesjonalnego oprogramowania.¹

Analizując przebieg zdarzeń drogowych ważnym aspektem jest badanie znaczenia ludzi jako uczestników oraz sprawców, a także wpływu tych zdarzeń na zdrowie i życie uczestników ruchu drogowego.²

Przykładowym programem pomagającym określić istotne parametry wypadku, czy kolizji, których nie można określić w inny sposób jest program PC-Crash. Pozwala on m.in. na określenie prędkości podczas zderzenia, kiedy znane jest nam położenie powypadkowe pojazdów oraz miejsce kolizji. Program przeprowadza setki optymalizacji i oblicza parametry kolizji w celu określenia prędkości.

Program oferowany jest w 22 wersjach językowych, stanowiąc światowy standard w obszarze rekonstrukcji wypadków drogowych. Przeznaczony został przede wszystkim dla specjalistów z tej dziedziny. Wykorzystywany jest również przez ośrodki naukowo - badawcze i przemysł samochodowy.

PC-Crash działa w systemie Windows. Pozwala przeprowadzić symulacje ruchu i zderzenia pojazdów oraz układów wielobryłowych opisujących ciało człowieka.³

¹ Jagielowicz-Ryznar C.: Przegląd możliwości komputerowego wspomaganie rekonstrukcji wypadków drogowych, Logistyka, 2015.

² Bułka D.: Wdowicz D., Putanowicz R.: Wykorzystanie i wsparcie rozwoju platforma symulacyjnych wyposażonych w modele biomechaniczne ciała człowieka w celu poprawy bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego, Przegląd Policyjny, 2023.

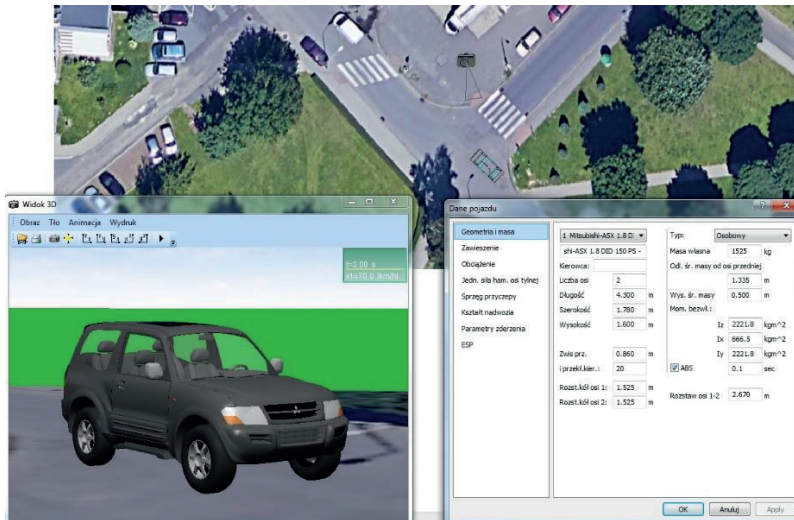
³ Wach W.: Symulacja wypadków drogowych w programie PC-Crash, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków, 2009.

Symulacja ruchu krzywoliniowego z wykorzystaniem programu PC-Crash

Symulacje w programie PC-Crash przeprowadzane były na samochodzie Mitsubishi ASX.⁴ Zadebiutował on na rynku w 2010 roku podczas targów motoryzacyjnych w Genewie. Samochód wyposażony jest w silnik z zapłonem samoczynnym o mocy 150 KM i był produkowany do 2013 roku. 20 września 2022 roku zaprezentowany został po raz pierwszy MITSUBISHI ASX II (drugiej generacji).⁵

Pojazd ten został skierowany do szerokiego grona odbiorców. Producenci zaproponowali nowe rozwiązania transportowe, pamiętając o ekologicznej eksploatacji pojazdu.⁶

Na rysunkach 1-5 przedstawione zostaną dane pojazdu Mitsubishi ASX takie jak: geometria i masa, nastawy zawieszenia, zadane obciążenia, jednostkowa siła hamowania osi tylnej, czy kształt i wymiary nadwozia.



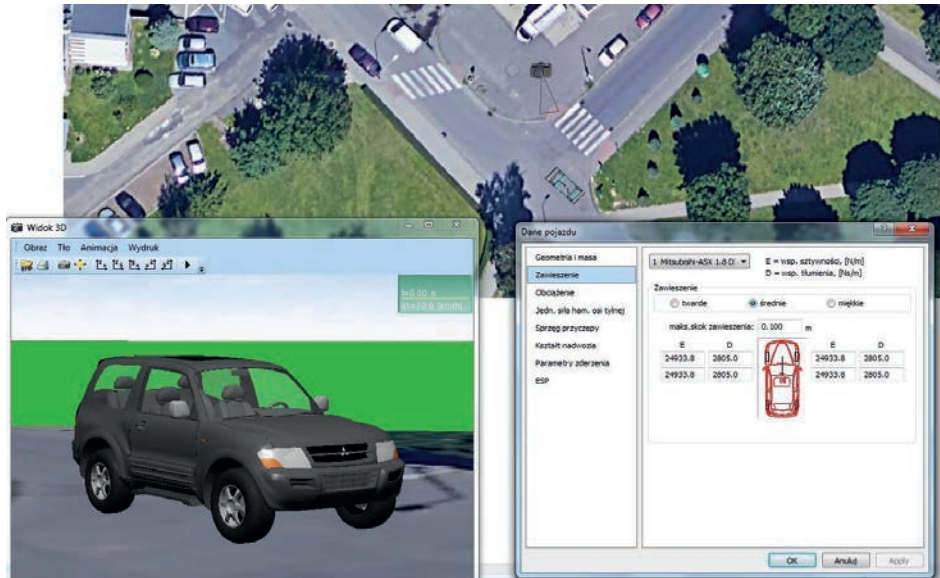
Rysunek 1. Dane pojazdu – geometria i masa Mitsubishi ASX

Źródło: opracowanie własne

⁴ Jurczak M.: Wszechstronny ASX, Logistyka a Jakość, 2010.

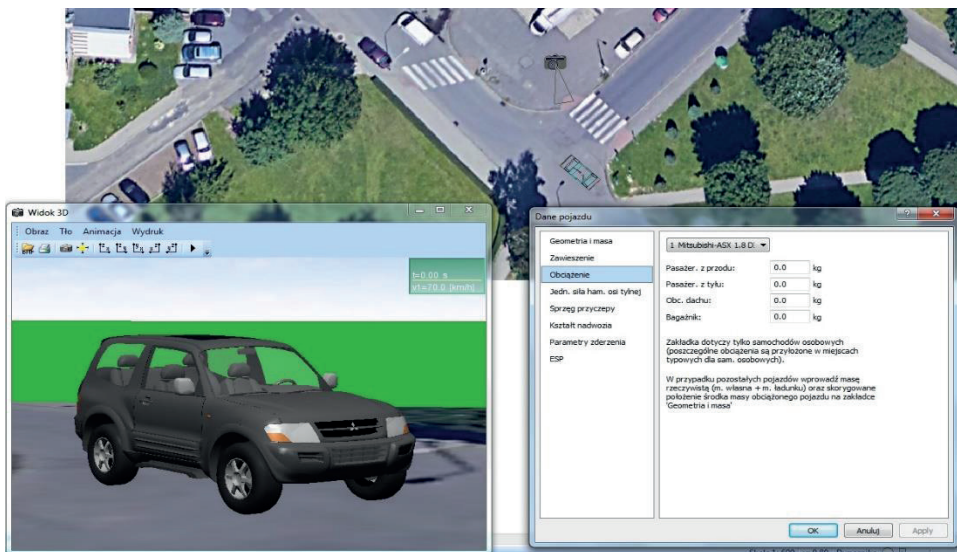
⁵ Dziwulski J., Piątek R.: Zarządzanie portfelem marek w koncernie motoryzacyjnym na przykładzie Stellantis N.V., Politechnika Lubelska, Lublin, 2021.

⁶ Gąsior W.: Evolucja strategii liderów przemysłu samochodowego w obliczu trwających zmian proekologicznych, Uniwersytet Ekonomiczny, Kraków, 2018.



Rysunek 2. Dane pojazdu – zawieszenie Mitsubishi ASX

Źródło: opracowanie własne



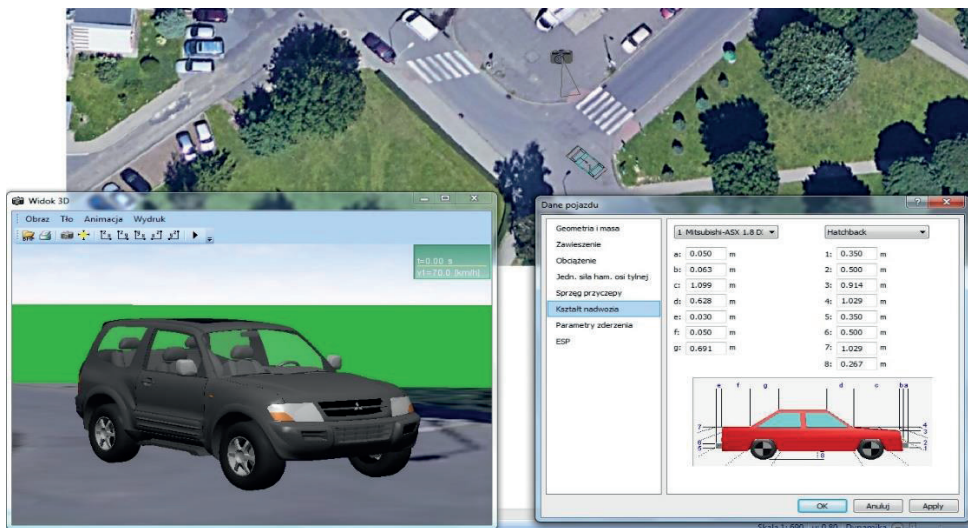
Rysunek 3. Dane pojazdu – zadane obciążenie Mitsubishi ASX

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4. Dane pojazdu – jednostkowa siła hamowania osi tylnej Mitsubishi ASX

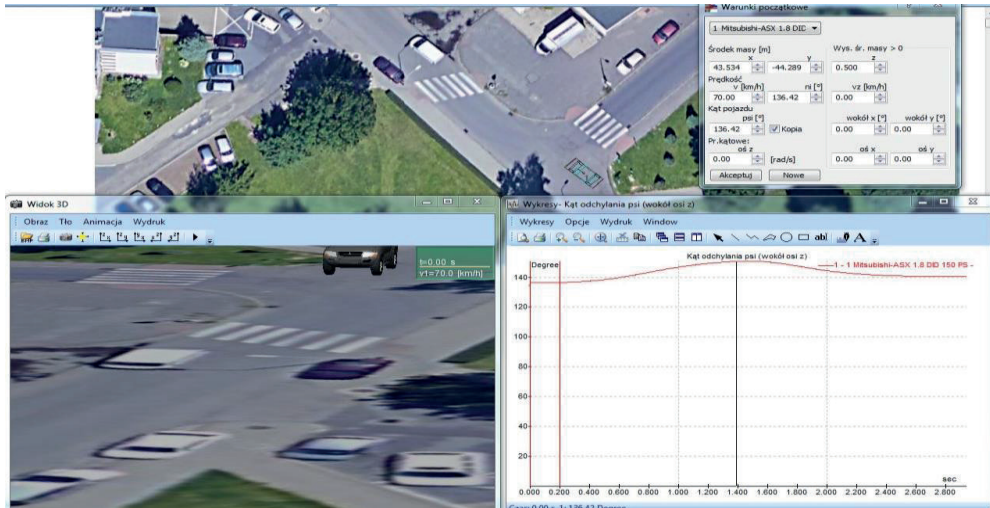
Źródło: opracowanie własne



Rysunek 5. Dane pojazdu – kształt nadwozia Mitsubishi ASX

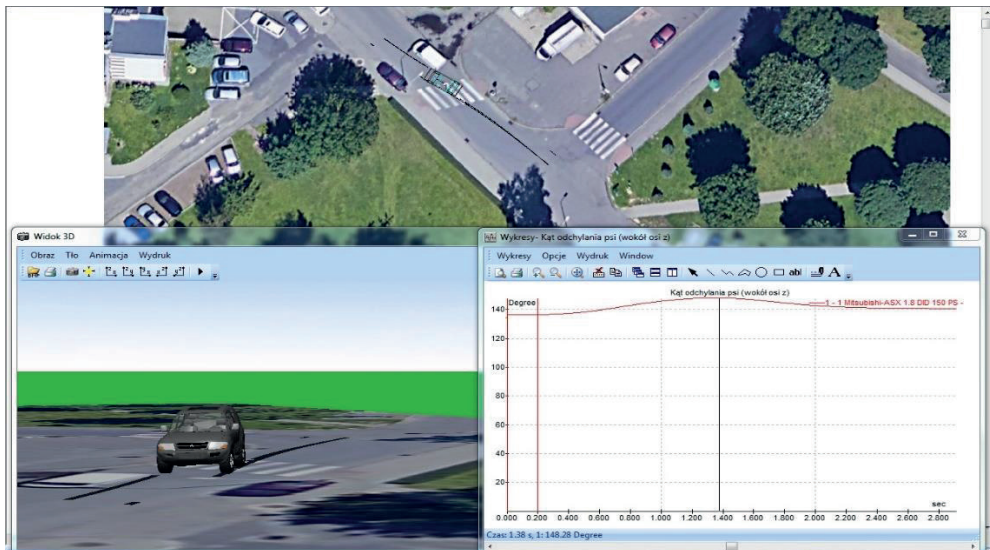
Źródło: opracowanie własne

Rysunek 6. prezentuje warunki początkowe – ustawiony środek masy pojazdu, prędkość początkowa zadana – $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Założona reakcja kierownicy: normalna, zawieszenie: średnie.



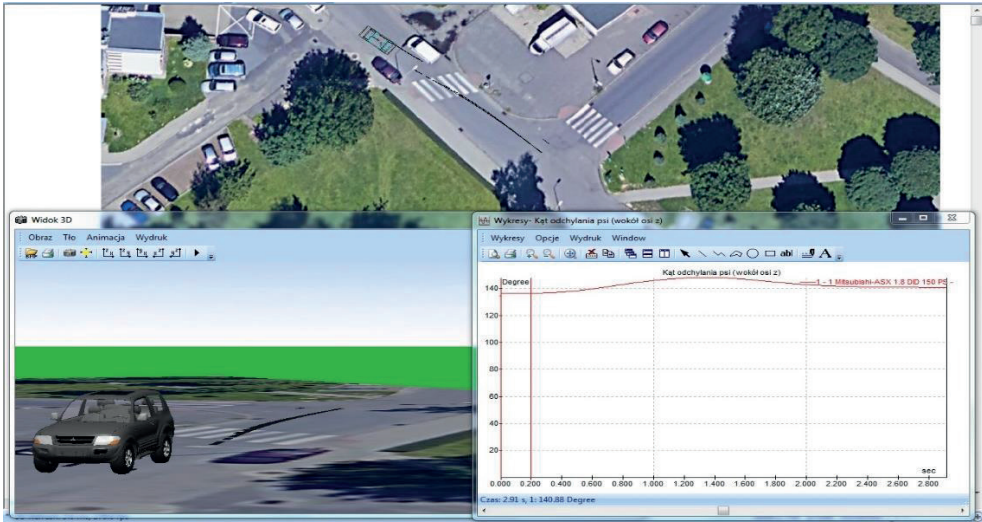
Rysunek 6. Warunki początkowe dla symulacji

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 7. Kąt odchylenia pojazdu psi (wokół osi Z) $\psi = 148,28^\circ$ dla $t = 1,38$ (s)

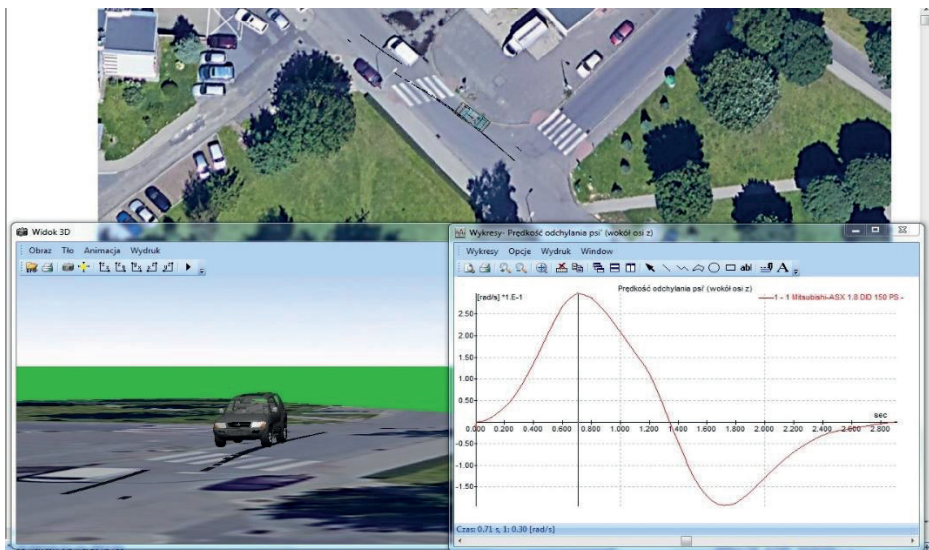
Źródło: opracowanie własne



Rysunek 8. Kąt odchylenia pojazdu psi (wokół osi Z) $\psi = 140,88$ ($^{\circ}$) dla $t = 2,91$ (s)

Źródło: opracowanie własne

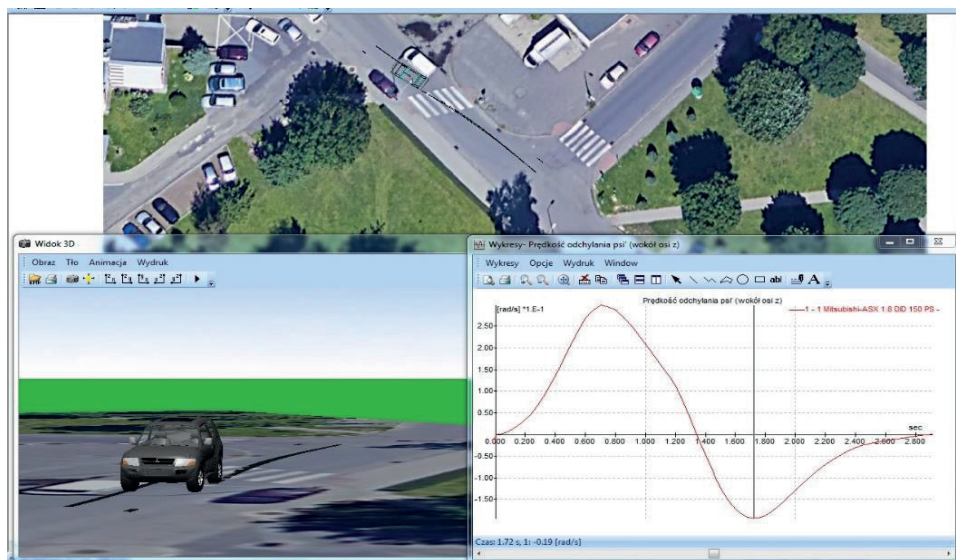
Kąt odchylenia pojazdu wokół osi Z zmienia się podczas trwania symulacji. Jest to wartość około 8 stopni, co przedstawione jest na rysunkach 7-8.



Rysunek 9. Prędkość odchylenia ψ' (wokół osi Z) $\text{rad/s} = 0,3$ dla $t = 0,71$ (s)

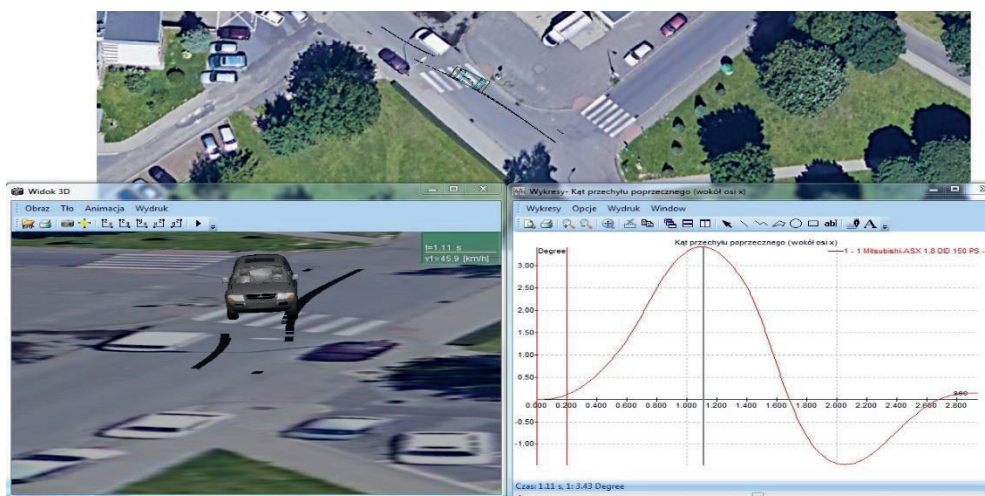
Źródło: opracowanie własne

Rysunki 9 i 10 to przedstawienie prędkości odchylenia psi' (wokół osi Z). Różnica między największą i najmniejszą wartością wynosi ok. $0,49 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.



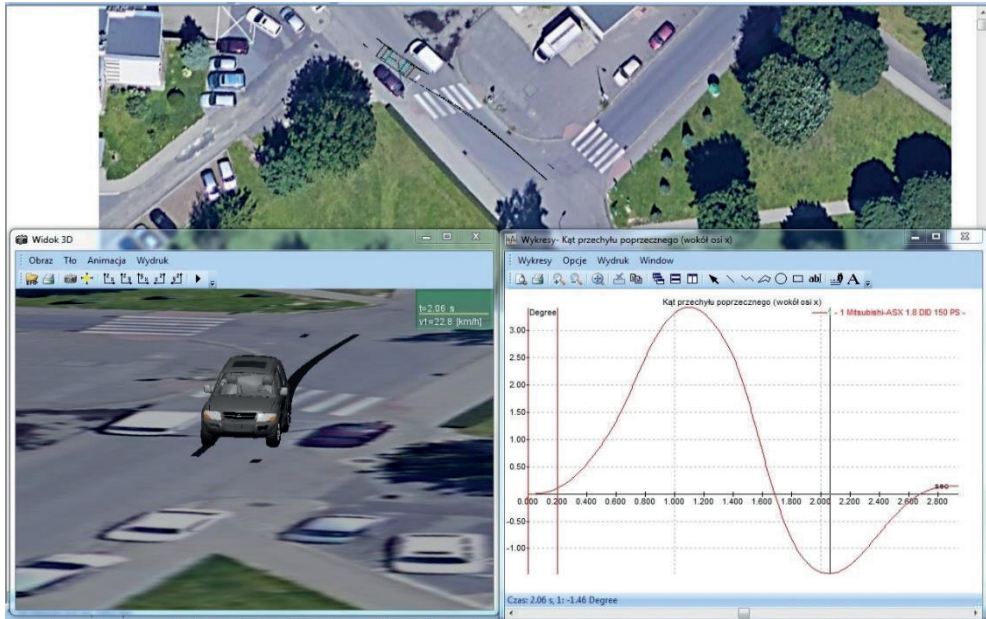
Rysunek 10. Prędkość odchylenia psi' (wokół osi Z) $\text{rad/s} = -0,19$ dla $t = 1,72$ (s)

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 11. Kąt przechyłu poprzecznego (wokół osi X) dla $t = 1,11$ (s), kąt = $3,43$ (°)

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 12. Kąt przechyłu poprzecznego (wokół osi X) dla $t = 2,06$ (s), kąt = $-1,46$ ($^{\circ}$)

Źródło: opracowanie własne

Wartości kąta przechyłu poprzecznego wokół osi X zmieniają się sinusoidalnie. Maksymalne wychylenie osiąga wartość $3,43^{\circ}$, natomiast wychylenie w drugą stronę to wartość $1,46^{\circ}$, co przedstawiają rysunki 11 i 12 (przy normalnej reakcji kierowcy).

Symulacja wpływu prędkości pojazdu na dynamikę i bezpieczeństwo ruchu z wykorzystaniem programu PC-Crash

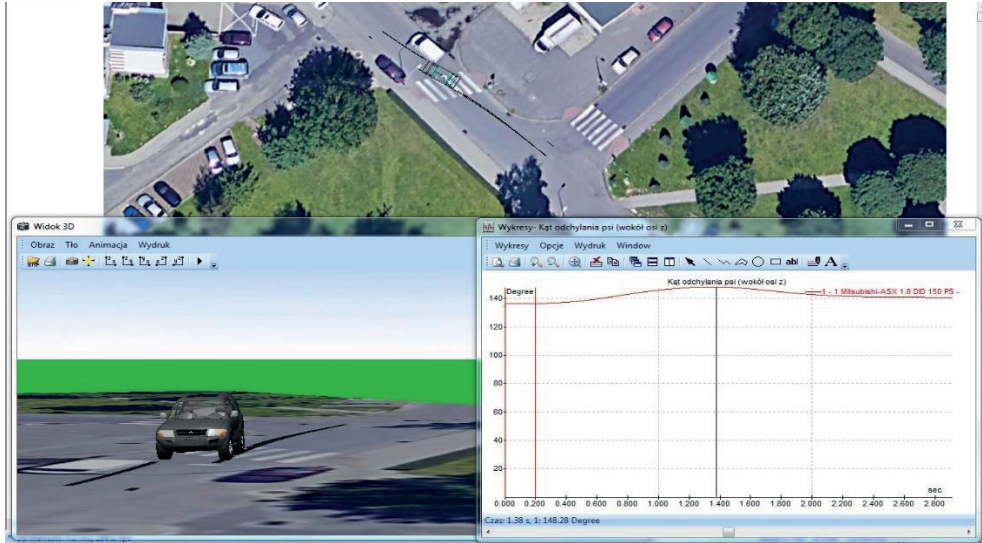
Do bezpieczeństwa w ruchu drogowym przyczynia się wiele czynników. Zaliczamy do nich między innymi: odpowiedzialność kierowców, stan infrastruktury drogowej, budowę i stan techniczny środków pojazdów.⁷

W kolejnej symulacji w programie PC-Crash - zmieniono prędkość z $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Zawieszenie pojazdu (bez zmian) ustawiono na średnie, założono normalną reakcję kierowcy. Badano, jak prędkość pojazdu wpływa na bezpieczeństwo ruchu.⁸

Rysunki 14 i 15 to przedstawienie prędkości odchylenia ψ' (wokół osi Z). Różnica między największą i najmniejszą wartością wynosi ok. $0,9 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$. Otrzymana wartość dla prędkości $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ jest większa od jazdy przy prędkości $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Zwiększenie prędkości samochodu wpływa więc na zwiększenie prędkości odchylenia ψ' (wokół osi Z).

⁷ Szada-Borzyszkowski W., Szada-Borzyszkowska M.: Rekonstrukcja zderzenia pojazdów na różnych nawierzchniach drogi, Autobusy, 2015.

⁸ Gąsior W.: Ewolucja strategii liderów przemysłu samochodowego w obliczu trwających zmian proekologicznych, Uniwersytet Ekonomiczny, Kraków, 2018.



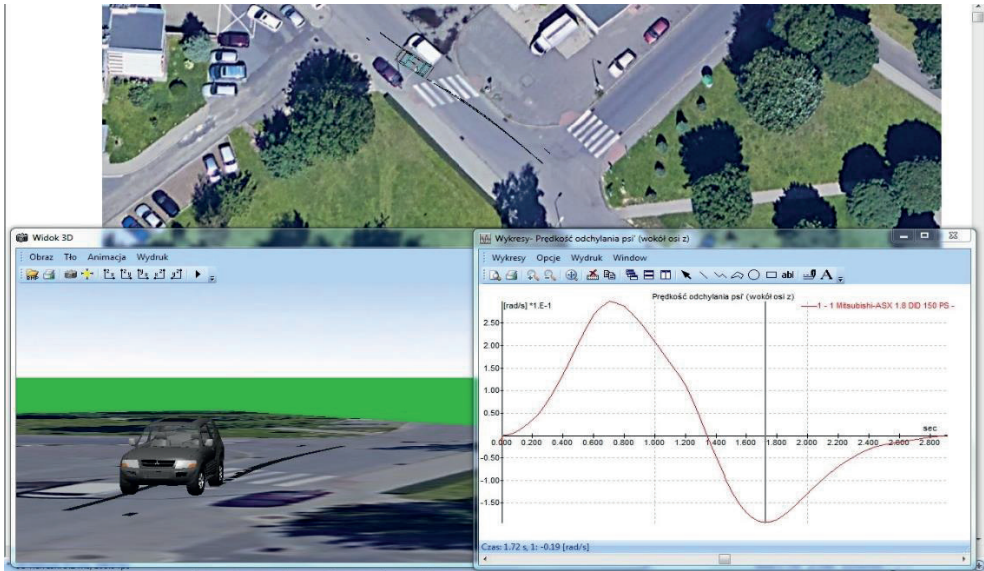
Rysunek 13. Kąt odchylenia pojazdu psi (wokół osi Z) dla $v=90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ dla $\psi=148,28 \text{ (}^\circ\text{)}$ dla $t = 1,38 \text{ (s)}$

Źródło: opracowanie własne



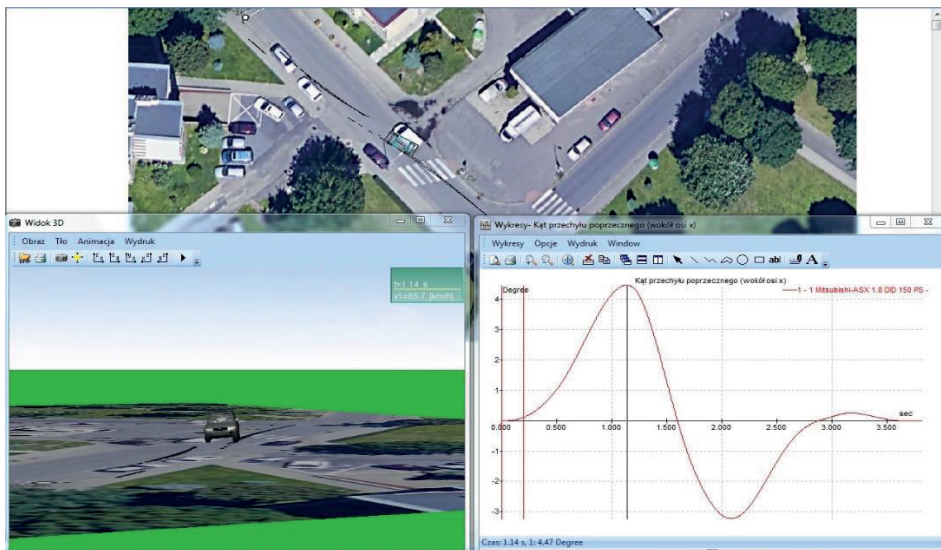
Rysunek 14. Prędkość odchylenia psi' (wokół osi Z) dla $v = 90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1} = 0,71$ dla $t = 0,30 \text{ (s)}$

Źródło: opracowanie własne



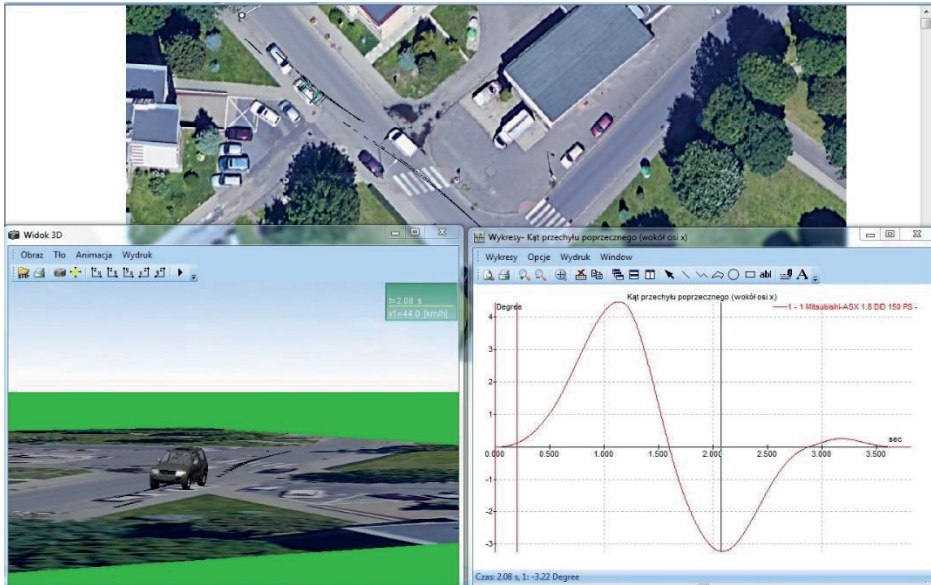
Rysunek 15. Prędkość odchylenia ψ' (wokół osi Z) dla $v = 90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} = -0,19$ dla $t = 1,72 \text{ (s)}$

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 16. Kąt przechyłu poprzecznego (wokół osi x) dla $v=90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ dla $t = 1,14 \text{ (s)}$, kąt = $4,47 \text{ (}^\circ\text{)}$

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 17. Kąt przechyłu poprzecznego (wokół osi X) dla $v=90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ dla $t = 2,08 \text{ (s)}$, kąt = $-3,22 \text{ (}^\circ\text{)}$

Źródło: opracowanie własne

Maksymalne wychylenie osiąga wartość $4,47^\circ$, natomiast wychylenie w drugą stronę to wartość $3,22^\circ$, co przedstawiają rysunki 16 i 17 (przy normalnej reakcji kierowcy). Otrzymane wartości dla zadanej prędkości są większe, niż dla prędkości $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.⁹

Podsumowanie i wnioski

Samochód który porusza się po drodze jest obiektem dynamicznym. Siły zewnętrzne budują w przestrzeni określony układ i działają na parametry ruchu każdego pojazdu¹⁰. Do przykładowych elementów teorii ruchu pojazdów samochodowych zaliczamy:

- siły oraz momenty działające na pojazd (analiza koła jezdnego, sił napędzania pojazdu, sił oporów ruchu),
- hamowanie (siły działające na pojazd podczas hamowania),
- ruch krzywoliniowy,
- zagrożenia podsterowności i nadsterowności.¹¹

⁹ Wdowicz D.: Biomechanika zdarzeń. Podejścia, źródła informacji, eksperymenty, modelowanie, Instytut Espertyz sądowych, 2022.

¹⁰ Trzeciak Ł.: Wpływ prędkości zderzeniowej pojazdu na ciężkość wypadku, Instytutu Espertyz Sądowych, Kraków, 2021.

¹¹ Wach W.: Symulacja wypadków drogowych w programie PC-Crash, Wydawnictwo Instytutu Espertyz Sądowych, Kraków, 2009.

Z przeprowadzonej w pracy analizy wynika, że program PC-Crash wspomaga i przyspiesza pracę osób pracujących przy wypadkach drogowych. Można w nim zasymulować jazdę konkretnym modelem samochodu i odtworzyć tor ruchu jazdy pojazdu po zaistniałym zdarzeniu.¹² Dzięki wykonywanym przez program PC-Crash obliczeniom - inżynierowie analizują bezpieczeństwo pojazdów w ruchu drogowym. W pracy przedstawiono również, że prędkość jazdy ma wpływ na dynamikę i bezpieczeństwo w ruchu drogowym.

Bibliografia

- Bułka D., Wdowicz D., Putanowicz R.: Wykorzystanie i wsparcie rozwoju platforma symulacyjnych wyposażonych w modele biomechaniczne ciała człowieka w celu poprawy bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego, *Przegląd Policynjny*, 2023.
- Dziwulski J., Piątek R.: Zarządzanie portfelem marek w koncernie motoryzacyjnym na przykładzie Stellantis N.V., *Politechnika Lubelska, Lublin*, 2021.
- Gąsior W.: Ewolucja strategii liderów przemysłu samochodowego w obliczu trwających zmian proekologicznych, *Uniwersytet Ekonomiczny, Kraków*, 2018.
- Jagielowicz-Ryznar C.: Przegląd możliwości komputerowego wspomagania rekonstrukcji wypadków drogowych, *Logistyka*, 2015.
- Jaworski A., Kuszewski H., Lejda K., Ustrzycki A., Woś P.: Symulacja ruchu pojazdu jako narzędzie wspomagające audyt BRD, *Technika Transportu Szynowego*, 2013.
- Jurczak M.: *Wszechstronny ASX, Logistyka a Jakość*, 2010.
- Lewkowicz R., Łata A., Ściegienka R., Piątkowski P.: Wybrane zagadnienia rekonstrukcji wypadków komunikacyjnych, *Autobusy*, 5, 2011.
- Stańczyk T., Lozia Z., Pieniążek W., Jurecki R.: *Badania reakcji kierowców w symulowanych sytuacjach wypadkowych, Instytut Pojazdów*, 2010.
- Szada-Borzyszkowski W., Szada-Borzyszkowska M.: *Rekonstrukcja zderzenia pojazdów na różnych nawierzchniach drogi, Autobusy*, 2015.
- Trzeciak Ł.: *Wpływ prędkości zderzeniowej pojazdu na ciężkość wypadku, Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków*, 2021.
- Wach W.: *Symulacja wypadków drogowych w programie PC-Crash, Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków*, 2009.
- Wdowicz D.: *Biomechanika zdarzeń. Podejścia, źródła informacji, eksperymenty, modelowanie, Instytut Ekspertyz sądowych*, 2022.

Adres do korespondencji: g.dzieniszewski@pansp.pl

ORCID: Grzegorz Dzieniszewski 0000-0002-2712-1131

ORCID: Wiktoria Sasiela 0009-0002-2915-8314

¹² Jaworski A., Kuszewski H., Lejda K., Ustrzycki A., Woś P.: *Symulacja ruchu pojazdu jako narzędzie wspomagające audyt BRD, Technika Transportu Szynowego*, 2013.

WYKORZYSTANIE TECHNIK CAD W PROJEKTOWANIU KONSTRUKCJI POJAZDÓW

Grzegorz Dzieniszewski^{1,2}, Wiktoria Sasiela¹

¹ Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

Wstęp

Przewozy ładunków przy pomocy pojazdów silnikowych miały swój początek w XVIII wieku. Projektanci w swoich działaniach konstrukcyjnych dopiero w XX wieku zaczęli przystosowywać pojazdy do przewożonych ładunków. To właśnie wtedy historii samochodów osobowych i ciężarowych się rozeszły.¹

Ważną postacią w dziejach transportu drogowego w Polsce był Stanisław Barycki. Jego prace konstrukcyjne były ukierunkowane w stronę zbudowania pojazdu poruszającego się po kołowej jezdni kładzonej przed pojazdem.² Barycki zapisał się w historii jako twórca pierwszego polskiego projektu pojazdu samobieżnego (bez indywidualnego napędu).³

Komputerowe wspomaganie projektowania stale poprawia pracę inżynierów wraz z rozwojem nowoczesnych technologii. Około 30 lat temu pojęcie systemów CAD wiązało się z oprogramowaniem umożliwiającym tworzenie rysunków technicznych. Rysunki te mogły być wykreślane (drukowane) przy użyciu ploterów. Dużym krokiem w rozwoju systemów CAD było zapoczątkowanie wykorzystania trójwymiarowej grafiki wektorowej – na przykład przy produkcji samolotów. Następnie rozpoczął się rozwój obszaru narzędzi CAD do tzw. inżynierii odwrotnej. Zapewniają one możliwość obróbki siatki trójkątów, które są produktami skanowania i odtwarzają się na ich podstawie dokładne modele bryłowe.⁴

¹ Zieliński A.: Geneza i rozwój lekkich samochodów ciężarowych typu pickup w okresie do 1939 roku, Kwartalnik Historii Nauki i Techniki, 2006.

² Wiktorowska-Jasik A.: Rozwój transportu drogowego w ujęciu historycznym – najważniejsze osiągnięcia światowej motoryzacji, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej, Szczecin.

³ Sienkiewicz K., Drzewisz A.: Możliwości zmniejszenia negatywnego wpływu transportu samochodowego na środowisko przez zastosowanie alternatywnych paliw i układów napędowych, Zeszyty naukowe Politechniki Poznańskiej, 2013.

⁴ Guzik M.: Komputerowe wspomaganie projektowania, Lublin, 2021.

Przepisy dotyczące konstrukcji pojazdów

Podczas konstruowania pojazdów samochodowych należy przestrzegać obowiązujących przepisów i norm. O wymaganiach dotyczących konstrukcji i dopuszczenia pojazdów czytamy między innymi w Dzienniku Ustaw – Poz. 891. Ustawa mówi o układach, do których zaliczamy m. in.: wyposażenie elektryczne (przewody elektryczne, bezpieczniki i wyłączniki, akumulatory, oświetlenie), układy hamulcowe, silniki, układ wydechowy.⁵

Obecnie ogromną rolę w rozwoju motoryzacji odgrywa dbanie o ekologię. Chcąc ograniczyć emisje szkodliwych substancji wprowadzono Europejskie Normy Spalin.⁶ Do szkodliwych substancji emitowanych przez środki transportu drogowego zaliczamy: tlenki azotu, tlenki węgla, cząstki stałe, węglowodory, aldehydy, tlenki siarki, czy związki ołowiu. Normy EURO wprowadzają coraz bardziej restrykcyjne wymagania stawiane emisji cząstek przez silniki.⁷

Obszary wykorzystania technik CAD

Obecnie zastosowanie technik CAD jest szerokie w świecie inżynierii. Grafikę wektorową wykorzystuje się do: projektów i rysunków technicznych, grafiki prezentacyjnej (tworzenie tabel, wykresów, diagramów, schematów), znaków firmowych, grafiki trójwymiarowej. Grafika rastrowa znajduje swoje zastosowanie w skanowaniu dokumentów oraz zdjęciach cyfrowych. Może ona służyć do odtwarzania modeli przestrzennych bazując na istniejącej dokumentacji technicznej, bądź do odtwarzania w cyfrowej postaci dokumentacji rysunkowej.⁸

Na rynku jest dostępna szeroka gama oprogramowania zróżnicowanego pod względem możliwości konstrukcyjnych oraz zasobów bibliotecznych. Przykładowe programy CAD dostępne na rynku to: AutoCAD, Inventor, CATIA, IronCAD, Solid Works.

Program CATIA V5 może być wykorzystywany do modelowania przedmiotów w branży motoryzacyjnej i lotniczej. Posiada on wiele specjalistycznych modułów.⁹ Pozwala tworzyć symulacje mechanizmów z wykorzystaniem szkicownika. Moduły z grupy Mechanical Design i Shape pozwalają wykonywać operacje modelowania powierzchniowego i hybrydowego.¹⁰ Program umożliwia również analizę kinematyczną mechanizmów poprzez użycie modułu DMU Kinematics. Rysunek 1 przedstawia połączoną z elementom ramę pojazdu.¹¹

⁵ Dziennik Ustaw, Część 9 Wymagania dotyczące konstrukcji i dopuszczenia pojazdów Poz. 891.

⁶ Walendzik M., Łepkowski M., Nowacki G.: Wpływ transportu drogowego na środowisko naturalne człowieka i zagrożenia występujące w transporcie drogowym rzeczy, Bezpieczeństwo i ekologia, Autobusy, 2016.

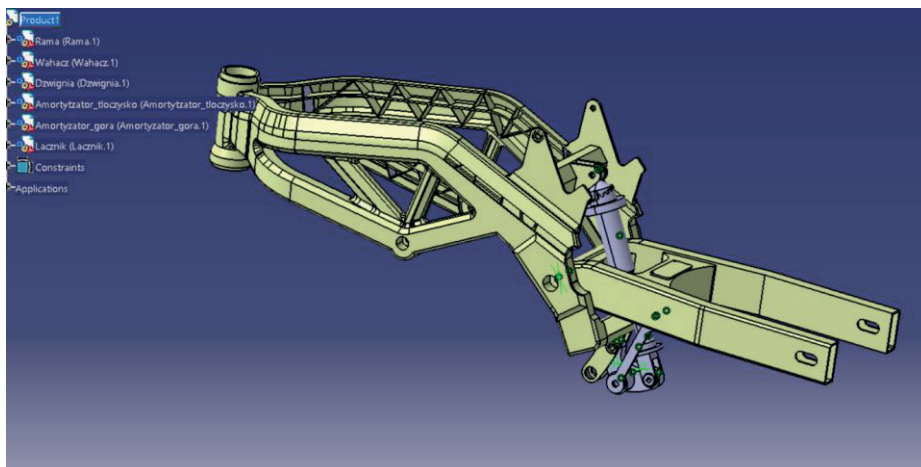
⁷ Trzensik E., Świątłoń M.: Wpływ implementacji norm emisji spalin EURO 5 i EURO 6 na przemysł motoryzacyjny, w aspekcie wdrażania nowych technologii i wzrostu kosztów eksploatacji pojazdów, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, 2011.

⁸ Wirwicki M.: Analiza układów antropotechnicznych w wnętrzu samochodu osobowego w środowisk programu CATIA, Poznański Instytut Technologiczny, 2011.

⁹ Płuciennik P., Maciejczyk A.: Wykorzystanie systemów CAD w procesie konstruowania maszyn i urządzeń, Autobusy, 2016.

¹⁰ Michael M.: Catia narzędzia i moduły, Helion, 2014.

¹¹ Płuciennik P., Maciejczyk A.: Wykorzystanie systemów CAD w procesie konstruowania maszyn i urządzeń, Autobusy, 2016.



Rysunek 1. Widok ramy pojazdu z połączonymi elementami w programie CATIA V5

Źródło: Opracowanie własne

W pracy przedstawiony zostanie proces modelowania innowacyjnego panelu sterowania radiem z wyświetlaczem dotykowym. Dzięki zaawansowanym możliwościom programu model panelu radia został również zwizualizowany w odpowiednim miejscu na zdjęciu wnętrza samochodu. Przedstawiony zostanie również proces modelowania przyczepy kempingowej w programie CATIA V5.

Charakterystyka wybranego pojazdu

Projekt panelu radia dostosowany został do pojazdu Mitsubishi ASX. Samochód zadebiutował w 2010 roku na targach motoryzacyjnych odbywających się w Genewie. Pojazd produkowany był do 2013 roku i wyposażony jest w silnik z zapłonem samoczynnym o mocy 150 KM.¹²

Analizowany samochód - Mitsubishi ASX w górnej części panelu sterowania posiada dwa wywietrzniki z możliwością ustawienia kierunku słupa powietrza. Niżej wstawiony jest wyświetlacz elektroniczny na którym pojawia się godzina, czy częstotliwość radia. Następne są przyciski, dzięki którym możemy w szybki sposób włączyć zakodowaną częstotliwość radiową. Na panelu znajdziemy również miejsce na płytę CD oraz przyciski do zmieniania utworu na płycie. Wbudowane są również pokręta do podgłaszania muzyki. Niżej, pośrodku panelu znajduje się przycisk do włączenia świateł awaryjnych. Jest on dobrze oznakowany, w kolorze czerwonym.¹³ Na samym dole panelu umieszczone są trzy obrotowe pokręta, dzięki którym możemy: zmieniać temperaturę w samochodzie, ustawiać moc oraz miejsce nadmuchu. Ostatnie pokręta można wcisnąć – wówczas środek podświetli się na czerwono i nadmuchi będzie działał na tylną szybę.

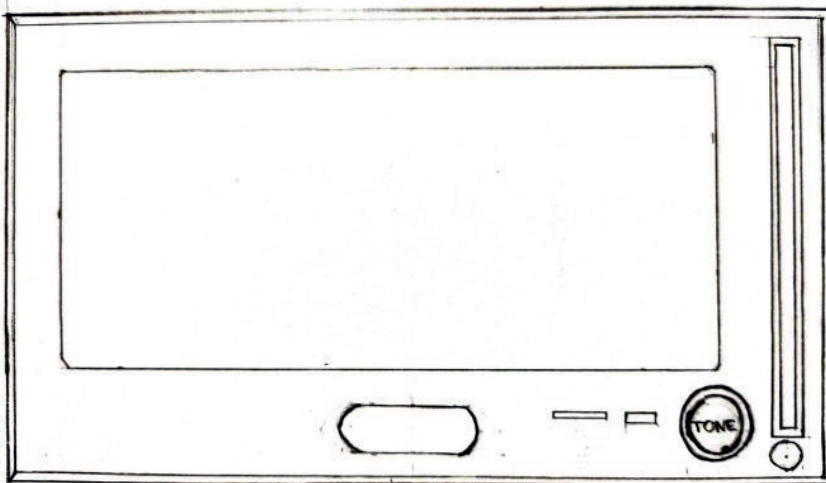
¹² Jurczak M.: Wszechstronny ASX, Logistyka a Jakość, 2010.

¹³ Cieślankowski S.: Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa i ergonomii w transporcie samochodowym, Autobusy, 2008.

Dodge Caliber jest to auto podobne do Mitsubishi ASX pod względem rocznika, wyglądu i budowy. W tym samochodzie został wprowadzony inny kształt pokręteł do zmiany ustawień nawiewu, w którym trzeba właściwie chwycić pokrętkę. Rozwiązanie to może być kłopotliwe podczas jazdy. Kolejną różnicą jest umieszczenie przycisku świateł awaryjnych na dale panelu.

Proces tworzenia modelu panelu radia w programie CATIA V5

Na rysunku 2 przedstawiono szkic propozycji nowego panelu sterowania radiem wraz z dotykowym wyświetlaczem nawigacji.

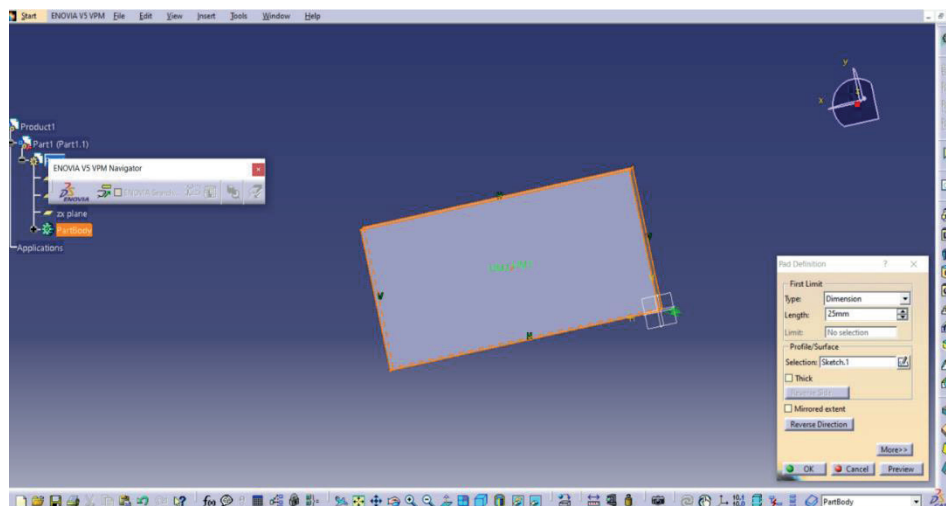


Rysunek 2. Szkic propozycji panelu sterowania radiem

Źródło: Opracowanie własne

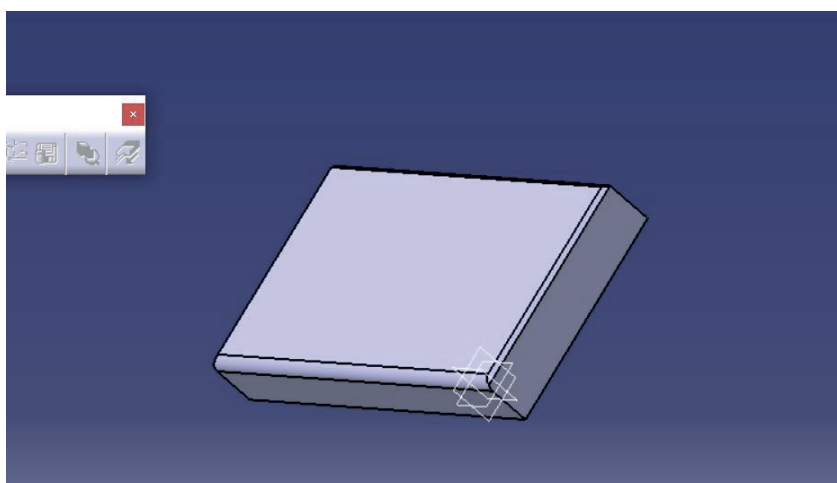
Projektowanie elementów sterujących radiem rozpoczęto od wykonania prostopadłością w programie CATIA, co przedstawia rysunek 3.

Następnie posłużono się narzędziami: Chamfer oraz Fillet Edge, aby nadać fazowania i łagodne wykończenie na modelu panelu, co pokazuje rysunek 4.



Rysunek 3. Modelowanie prostopadłościanu

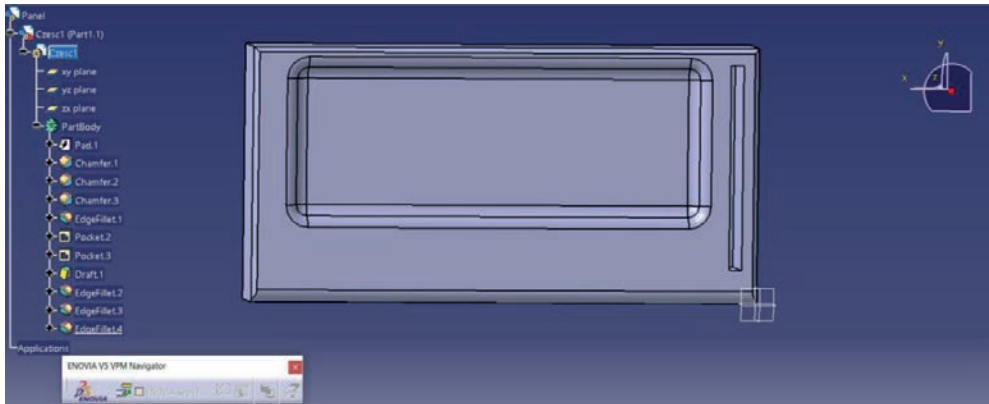
Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 4. Fazowanie prostopadłościanu

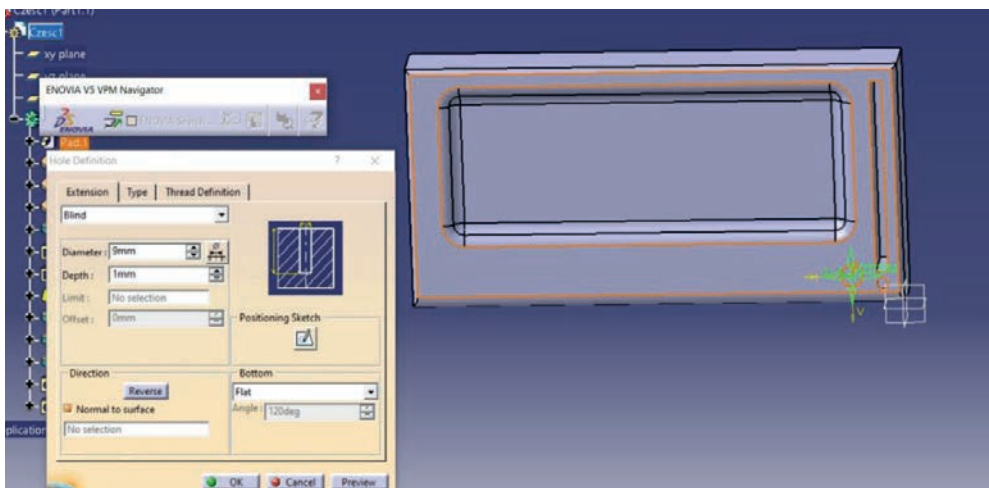
Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 5 przedstawia otwory w modelu wykonane za pomocą narzędzia Pocket. Po-dłużny przycisk po prawej stronie – jest to miejsce na płyty CD. Większa część panelu przeznaczone jest na wyświetlacz elektroniczny na którym będzie można wyświetlać nawigację. Na rysunku 6 pokazano użycie narzędzia Hole wraz ze zdefiniowaniem wymiarów otworu. Mniejszy jest to miejsce na przycisk służący do wysunięcia płyty. W miejscu większego – będzie pokrętko głośności.



Rysunek 5. Funkcja Pocket

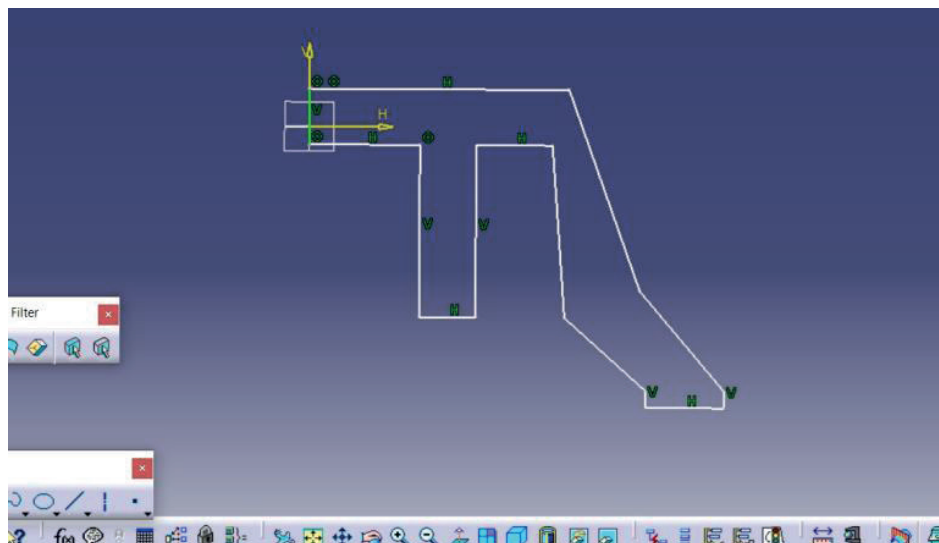
Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 6. Funkcja Hole

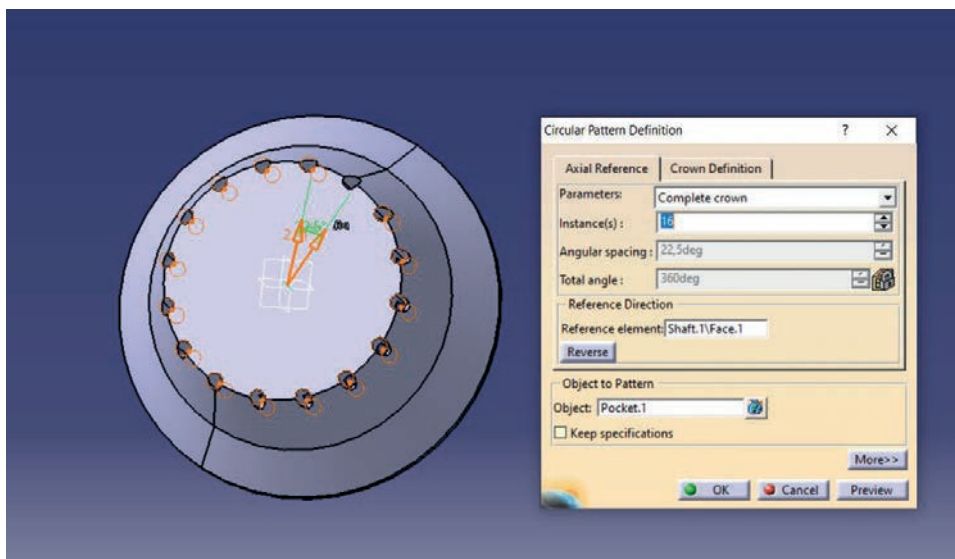
Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 7 przedstawia szkic nowej części – pokrętła. W następnym etapie modelowania zmodyfikowano otrzymaną bryłę przy pomocy funkcji Circular Pattern (rys. 8).



Rysunek 7. Projektowanie pokrętała

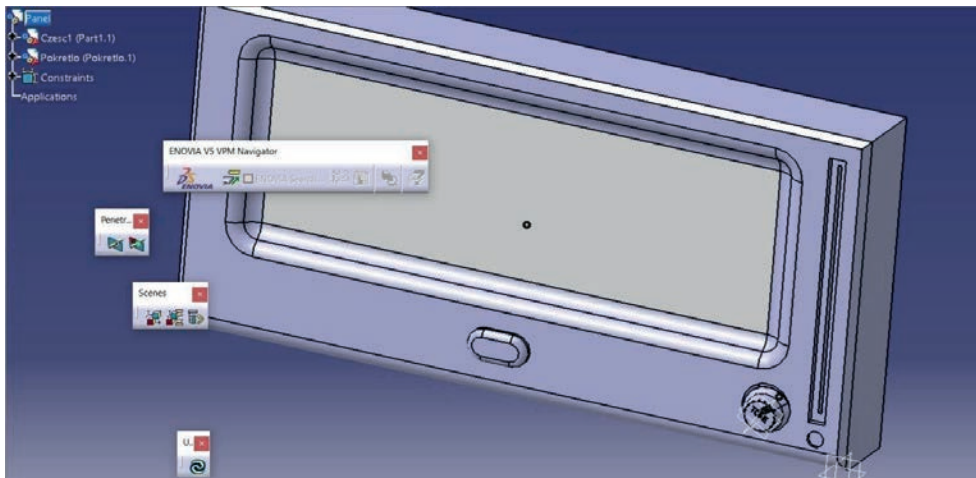
Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 8. Circular Pattern Definition

Źródło: Opracowanie własne

Przy pomocy narzędzia Text Editor utworzono napis: „TONE” i umieszczono go na pokrętle. Następnie połączono ze sobą dwie części modelu – prostopadłościan i pokrętło. Uzyskany model przedstawia rysunek 9.



Rysunek 9. Panel z pokrętłem

Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 10 przedstawia zaprojektowany panel sterowania radiem umieszczony w samochodzie Mitsubishi ASX. Zaprezentowanie modelu panelu było możliwe dzięki wykorzystaniu w programie CATIA V5 funkcji Renderowania.

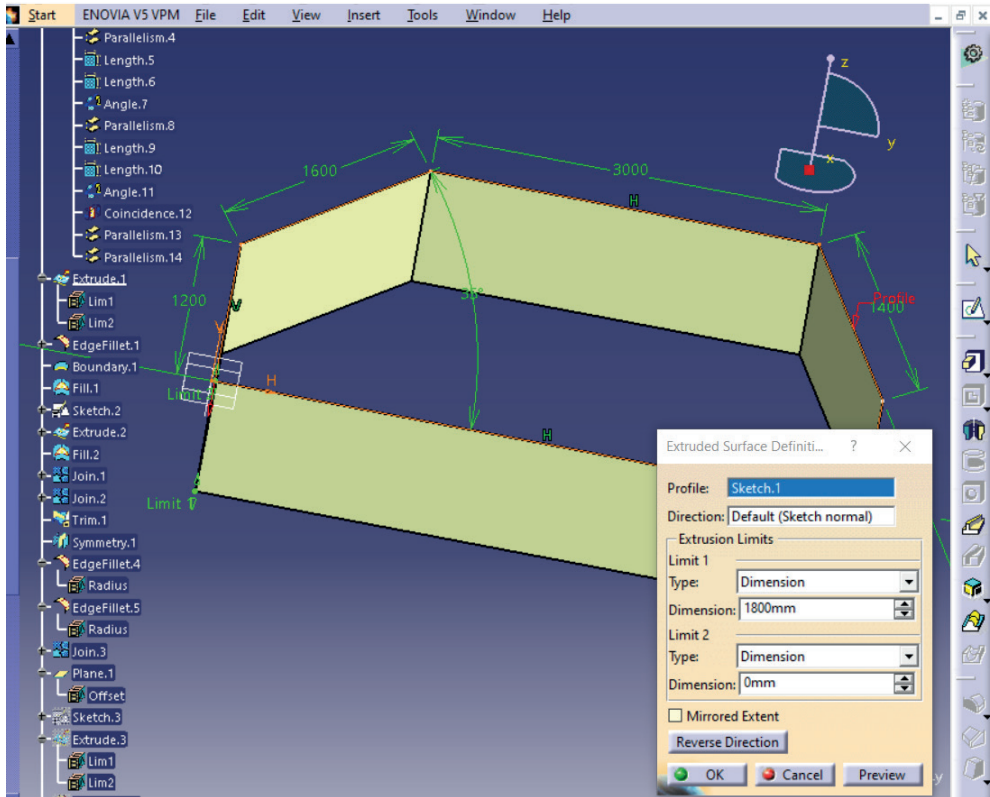


Rysunek 10. Nowy panel radia

Źródło: Opracowanie własne

Proces tworzenia modelu przyczepy kempingowej w programie CATIA V5

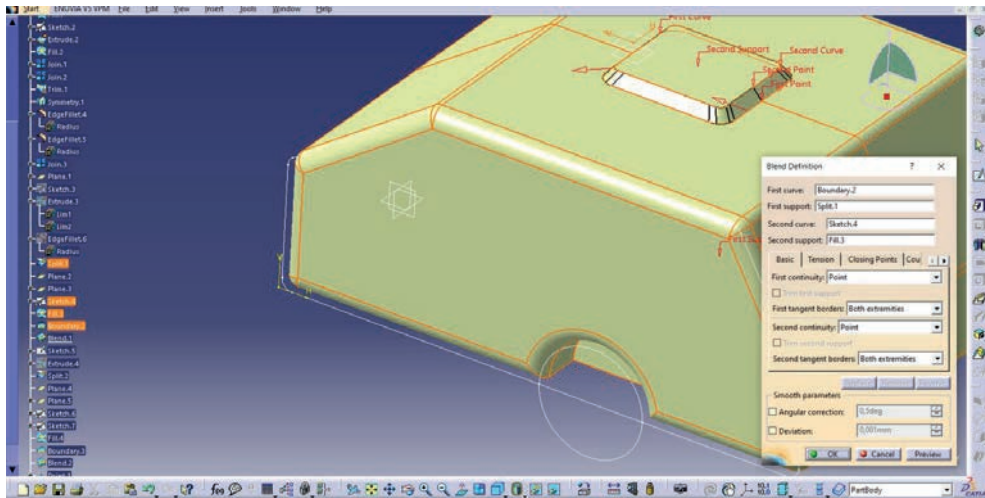
Do zamodelowania przyczepy kempingowej w Programie CATIA V5 wykorzystywano narzędzia z modułów z grupy Mechanical Design i Shape. Pierwszym krokiem było wykonanie szkicu kampera przy pomocy narzędzia Constraint oraz zdefiniowanie wymiarów przyczepy. Przy pomocy narzędzia Extrude utworzono powierzchnię (rys. 11).



Rysunek 11. Początkowy etap modelowania przyczepy kempingowej w programie CATIA V5

Źródło: Opracowanie własne

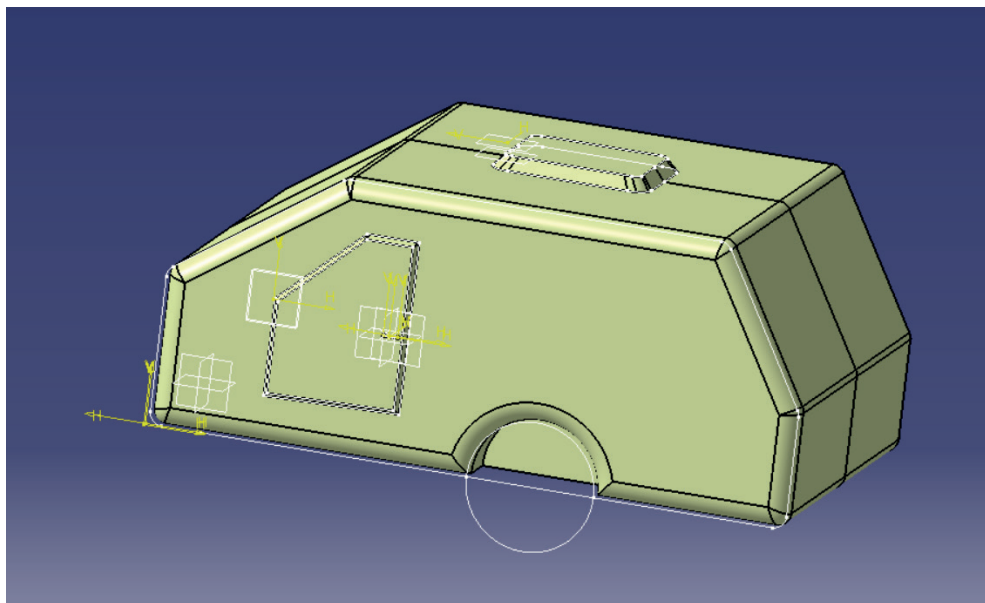
Następnie utworzono wypełnienia między powierzchniami i zamodelowano koło kampera. Na rysunku 12 przedstawiono wyżej wymienione etapy modelowania wraz z projektem dachu kampera.



Rysunek 12. Etap modelowania dachu przyczepy w programie CATIA V5

Źródło: Opracowanie własne

Ostatnim etapem było zamodelowanie drzwi kampera. Wykonany model przyczepy kempingowej w programie CATIA V5 przedstawia rysunek 13.



Rysunek 13. Widok przyczepy kempingowej zamodelowanej w programie CATIA V5

Źródło: Opracowanie własne

Podsumowanie i wnioski

Techniki CAD wykorzystywane są obecnie w wielu dziedzinach.¹⁴ Programy są stale polepszane i dodawane są nowe funkcje przyspieszające i ułatwiające prace inżynierów.

Konstruując pojazdy samochodowe należy pamiętać o obowiązujących przepisach oraz o ergonomii pojazdów. Powinno się również zwracać uwagę na wygodę użytkownika końcowego. Firmy samochodowe stale ulepszają swoje modele wprowadzając innowacyjne urządzenia.

W niniejszej pracy zaprezentowano etapy modelowania dotykowego panelu radia oraz przyczepy kempingowej w programie CATIA V5. Konstruktor posługując się profesjonalnym narzędziem może zwizualizować jak zaprojektowana część będzie się komponowała w rzeczywistym modelu. Program ma wiele funkcji - pozwala dobrać odpowiednie rozmiary przedmiotu, czy zastosować materiał z jakiego powinien on być wykonany.

Na podstawie niniejszej pracy można stwierdzić, że wykorzystanie technik CAD w projektowaniu konstrukcji pojazdów jest obecnie coraz powszechniej używane przez inżynierów i pozwala na optymalizację kosztów jeszcze na etapie produkcji. Wykonanie modelu komputerowo pozwala na zwizualizowanie projektu i daje możliwość wprowadzania poprawek przed wykonaniem zaprojektowanego produktu.

Bibliografia

- Cieślankowski S.: Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa i ergonomii w transporcie samochodowym, Autobusy, 2008.
- Dziennik Ustaw: Część 9, Wymagania dotyczące konstrukcji i dopuszczenia pojazdów, Poz. 891.
- Guzik M.: Komputerowe wspomaganie projektowania, Lublin, 2021.
- Jurczak M.: Wszechstronny ASX, Logistyka a Jakość, 2010.
- Michael M.: Catia narzędzia i moduły, Helion, 2014.
- Penkała P., Gorecki T.: Modelowanie bryłowe i powierzchniowe w systemach CAD/CAM, Postępy Nauki i Techniki, Lublin, 2010.
- Pluciennik P., Maciejczyk A.: Wykorzystanie systemów CAD w procesie konstruowania maszyn i urządzeń, Autobusy, 6/2016.
- Sienkiewicz K., Drzewisz A.: Możliwości zmniejszenia negatywnego wpływu transportu samochodowego na środowisko przez zastosowanie alternatywnych paliw i układów napędowych, Zeszyty naukowe Politechniki Poznańskiej, 2013.
- Trzensik E., Światłoń M.: Wpływ implementacji norm emisji spalin EURO 5 i EURO 6 na przemysł motoryzacyjny, w aspekcie wdrażania nowych technologii i wzrostu kosztów eksploatacji pojazdów, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, 2011.
- Walendzik M., Łepkowski M., Nowacki G.: Wpływ transportu drogowego na środowisko naturalne człowieka i zagrożenia występujące w transporcie drogowym rzeczy, Bezpieczeństwo i ekologia, Autobusy, 2016.
- Wiktorowska-Jasik A.: Rozwój transportu drogowego w ujęciu historycznym – najważniejsze osiągnięcia światowej motoryzacji, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej, Szczecin.

¹⁴ Penkała P., Gorecki T.: Modelowanie bryłowe i powierzchniowe w systemach CAD/CAM, Postępy Nauki i Techniki, Lublin, 2010.

Wirwicki M.: Analiza układów antropotechnicznych w wnętrzu samochodu osobowego w środowisk programu CATIA, Poznański Instytut Technologiczny, 2011.

Zieliński A.: Geneza i rozwój lekkich samochodów ciężarowych typu pickup w okresie do 1939 roku, Kwartalnik Historii Nauki i Techniki, 2006.

Adres do korespondencji: g.dzieniszewski@pansp.pl

ORCID: Grzegorz Dzieniszewski 0000-0002-2712-1131

ORCID: Wiktoria Sasiela 0009-0002-2915-8314

OCENA MOŻLIWOŚCI ZASILANIA GAZEM LPG SILNIKÓW O OBIEGU SABATHE I OBIEGU DIESLA

Grzegorz Dzieniszewski^{1,2}, Krzysztof Waszkowski¹

¹ Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

Wstęp

Współczesny rozwój technologii motoryzacyjnych skupia się coraz bardziej na poszukiwaniu alternatywnych źródeł napędu, przyjaznych dla środowiska, a jednocześnie efektywnych pod względem ekonomicznym. W tym kontekście gaz płynny (LPG) jako paliwo alternatywne zyskuje na znaczeniu, szczególnie w przypadku silników o obiegu Sabathe i obiegu Diesla.¹

W obliczu rosnącej świadomości ekologicznej społeczeństwa oraz potrzeby redukcji emisji gazów cieplarnianych, zastosowanie paliw alternatywnych, takich jak LPG, staje się przedmiotem intensywnych badań naukowych. W przypadku silników o obiegu Sabathe, charakteryzujących się zmiennością objętości w trakcie pracy oraz silników Diesla, wykorzystujących sprężanie jako mechanizm zapłonu, istnieje potrzeba dogłębnej analizy wpływu zasilania gazem LPG na ich wydajność i emisję.²

Zasilanie samochodów ciężarowych gazem LPG stanowi obszar badawczy, który cieszy się coraz większym zainteresowaniem ze względu na rosnącą potrzebę redukcji emisji szkodliwych substancji oraz poszukiwania bardziej zrównoważonych źródeł napędu dla pojazdów komercyjnych.

Konwersja samochodów ciężarowych na zasilanie LPG wymaga modyfikacji ich systemów napędowych. Elementy takie jak układy zasilania, wtryskiwacze paliwa i zbiorniki muszą być dostosowane do specyfiki gazu LPG. W związku z tym, przemysłowe i profesjonalne modyfikacje są kluczowe dla bezpiecznego i efektywnego użytkowania.³

¹ Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym, WKŁ, Warszawa, 2004.

² Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie iskrowym, WKŁ, Warszawa, 2005.

³ Dużyński A.: Silniki gazowe wybrane zagadnienia, Politechnika Częstochowska, Częstochowa, 2010.

Cel i zakres pracy

Celem rozważań jest ocena możliwości zasilania gazem LPG silników o obiegu Sabathe i obiegu Diesla.

Zakres badań obejmuje analizę procesów montażu LPG do samochodów ciężarowych i rozważania nad obiegami termodynamicznymi silników tłokowych w kontekście możliwości zastosowania optymalnych rozwiązań zasilania paliwami alternatywnymi.

Kluczowym elementem jest projekt adaptacji silnika samochodu ciężarowego na zasilanie gazem LPG oraz wskazanie na tendencje rozwojowe w zasilaniu silników dużej mocy paliwami gazowymi.

Metodyka pracy

Metodyka rozważań obejmuje część empiryczną, zawierającą praktyczne adaptowanie silników o zapłonie samoczynnym samochodów ciężarowych na zasilanie gazem LPG. Uzupełnieniem części empirycznej są pogłębione analizy rozwiązań konstrukcyjnych silników wolnoobrotowych o obiegu Sabathe oraz średnio- i szybkoobrotowych o obiegu Diesla, przystosowanych do zasilania gazem LPG w systemie Dual-Fuel lub w układzie Mono-Fuel.

Projekt adaptacji silnika samochodu ciężarowego na zasilanie gazem LPG

Zamontowanie instalacji LPG w silniku diesla, znanej również jako instalacja dwupaliwowa (Diesel-LPG), może przynieść kilka korzyści, choć warto zauważyć, że tego typu modyfikacje powinny być przeprowadzane zgodnie z przepisami i normami, a instalacje powinny być homologowane. Wśród głównych korzyści wymienia się oszczędności finansowe. Gaz LPG zazwyczaj jest tańszy niż diesel czy benzyna. Instalacja LPG pozwala na zmniejszenie kosztów paliwa, co jest korzystne ekonomicznie.⁴

Istotne są też czynniki ekologiczne, gdyż spalanie gazu LPG generuje mniejszą ilość dwutlenku węgla (CO₂) w porównaniu do spalania oleju napędowego. To może przyczynić się do zmniejszenia emisji CO₂ przez pojazd. Gaz LPG jest czystszy niż olej napędowy, co może przekładać się na mniejsze zanieczyszczenie silnika, a co za tym idzie, na potencjalnie dłuższą żywotność niektórych elementów. Spalanie gazu LPG jest bardziej efektywne w porównaniu do niektórych innych paliw, co może skutkować pewnym wzrostem mocy silnika i poprawą wydajności. Silniki diesla często generują cząstki stałe PM (tzw. sadzę). Gaz LPG jest czystszy i może przyczynić się do zmniejszenia emisji cząstek stałych. Używanie gazu LPG może prowadzić do mniejszej emisji tlenków azotu w porównaniu do spalania oleju napędowego. NOx jest jednym z gazów szkodliwych dla środowiska. Spalanie gazu LPG jest łagodniejsze w porównaniu do diesla, co może wpływać na zmniejszenie poziomu hałasu i wibracji silnika. Posiadanie dwóch rodzajów paliwa pozwala na zwiększenie zasięgu pojazdu zwłaszcza, gdy gaz LPG jest tańszy niż diesel. Gaz LPG może być także

⁴ Lotko W.: Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1997.

wykorzystywany jako źródło energii do dodatkowego ogrzewania pojazdu lub innego wyposażenia (np. naczepy).⁵

Należy jednak pamiętać, że instalacja LPG w silniku diesla wymaga profesjonalnego montażu i spełnienia określonych norm bezpieczeństwa i emisji spalin.

Ciekawym przykładem jest montaż instalacji LPG w pojeździe DAF XF 480 FT. Pojazd został przedstawiony na rysunku 1.



Rysunek 1. DAF XF 480 FT

Źródło: opracowanie własne

Pojazd jest eksploatowany przez firmę transportową z okolic Tarnobrzega. Pojazd posiada silnik DAF XF 480 FT, jest to PACCAR MX-13 355 o pojemności skokowej 12,9 litra i mocy 480 KM. Jest to silnik wysokoprężny, wyposażony w system zasilania Common Rail i turbosprężarkę o zmiennej geometrii. Maksymalny moment obrotowy wynosi 2600 Nm przy 1000-1300 obr·min⁻¹, co daje możliwość korzystania wysokiej mocy już na niskich obrotach. Jest wyposażony w system AdBlue, który redukuje emisję tlenków azotu. Dzięki temu ciągnik spełnia normy emisji spalin Euro 6, co oznacza, że emituje mniej szkodliwych substancji do atmosfery w porównaniu z starszymi pojazdami tego typu. PACCAR MX-13 355 jest również wyposażony w system inteligentnego zarządzania silnikiem, który dostosowuje moc i moment obrotowy do warunków jazdy, co pozwala na oszczędność paliwa. Dodatkowo silnik jest wyposażony w filtr cząstek stałych, który oczyszcza spaliny.

Wygląd silnika PACCAR MX-13 zdemontowanego z pojazdu przedstawia rysunek 2.

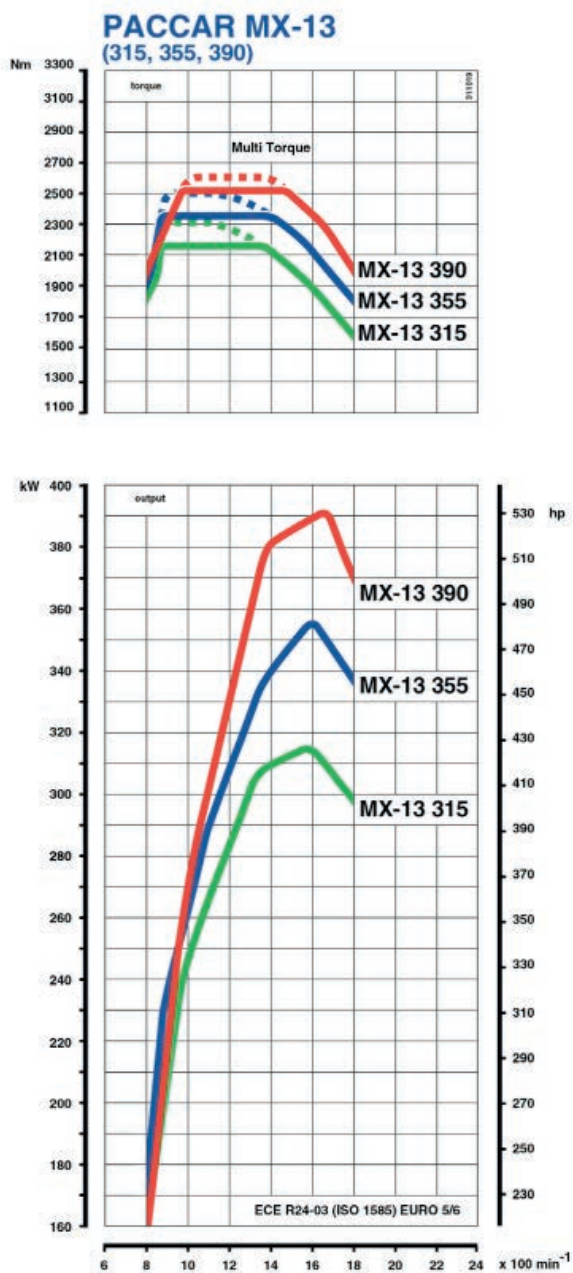
⁵ Majerczyk A., Taubert S.: Układy zasilania gazem propan-butan, WKŁ, Warszawa, 2006.

Charakterystyka zewnętrzna silnika PACCAR MX-13 355 została przedstawiona na rysunku 3.



Rysunek 2. Silnik PACCAR MX-13

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 3. Charakterystyka silnika Silnik PACCAR MX-13

Źródło: Materiały firmy DAF

Silnik MX-13 355 osiąga moc 355 KW (483 KM) przy 1600 obr. \cdot min⁻¹ oraz moment obrotowy 2350 przy 900-1365 obr. \cdot min⁻¹. Jest to silnik 6-cio cylindrowy o parametrach:

- średnica x skok 130 x 162 mm,
- pojemność skokowa 12,9 l,
- stopień sprężania 18,5:1.

Konstrukcja silnika jest następująca:

- Blok cylindrów - żeliwo z grafitem wermikularnym (CGI), zintegrowana obudowa zespołu wysokociśnieniowych pomp paliwowych, tuleje wykonane z materiału o wysokiej wytrzymałości i odporności na ścieranie udoskonalone chłodzenie.
- Głowica cylindrów - żeliwo z grafitem wermikularnym (CGI) - jednoczęściowa głowica cylindrów ze zintegrowanym kolektorem dolotowym, kompozytowa pokrywa zaworów.
- Zawory - cztery zawory na cylinder.
- Tuleje cylindrów - tuleje mokre z pierścieniami przeciwwytrarciowymi.
- Tłoki - tłoki chłodzone olejem, każdy z trzema pierścieniami tłokowymi.
- Wał korbowy - wał korbowy ze stali kutej bez przeciwwagi.
- Wtrysk paliwa Common Rail z 2 wysokociśnieniowymi pompami paliwowymi zintegrowanymi w bloku silnika.
- Wtryskiwacze szerokokątne.
- Ciśnienie wtrysku maks. 2500 bar.

Do silnika został zamontowany wielopunktowy wtrysk gazu STAG DIESEL firmy Stag z Białegostoku.

Silnik podczas montażu wtryskiwaczy przedstawia rysunek 4.



Rysunek 4. Montaż wtryskiwaczy gazu do silnika PACCAR MX-13

Źródło: opracowanie własne

Ponieważ silnik pracuje w układzie Dual-Fuel konieczne było zsynchronizowanie układu Common Rail silnika z komputerami sterującymi wtryskiem gazu.⁶

Na rysunku 5 przedstawiono sposób podpięcia jednego ze sterowników zasilania gazowego.



Rysunek 5. Podpięcie sterownika gazowego

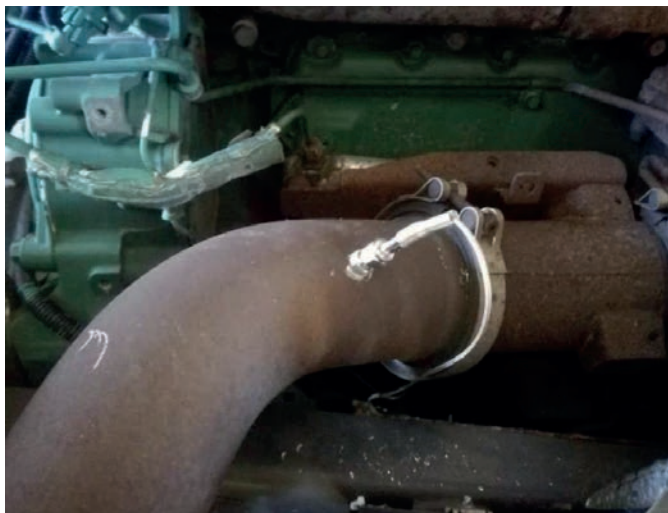
Źródło: opracowanie własne

Układ został skonfigurowany w ten sposób, że praca silnika odbywa się z wykorzystaniem układu paliwowego Common Rail, który steruje pracą silnika. Natomiast gaz LPG jest podawany wtryskowo do kolektora dolotowego, a wielkość dawek oleju napędowego i gazu LPG jest obliczana przez sterowniki STAG i sterownik układu Common Rail silnika. Taki system pracy sprawia, że silnik cały czas pracuje na dwóch paliwach, jednak udział procentowy oleju napędowego i gazu LPG nieustannie się zmienia zgodnie ze zmianami warunków pracy silnika.⁷

Aby układ LPG mógł pracować prawidłowo konieczna była instalacja szerokopasmowej sondy lambda – rysunek 6.

⁶ Postrzednik S., Żmuda Z.: Termodynamiczne oraz ekologiczne uwarunkowania eksploatacji tłokowych silników spalinowych, Politechnika Śląska, Gliwice, 2012.

⁷ Serdecki W.: Badania silników spalinowych, Politechnika Poznańska, Poznań, 2012.



Rysunek 6. Instalacja szerokopasmowej sondy lambda

Źródło: opracowanie własne

Szerokopasmowa sonda lambda umożliwia bieżące analizowanie zawartości tlenu w spalinach oraz optymalizowanie ilości paliw dostarczanych do cylindrów w poszczególnych suwach pracy.

Konieczne było także zamontowanie butli LPG i zaworu tankowania – rysunek 7.



Rysunek 7. Montaż zaworu tankowania

Źródło: opracowanie własne

Uzyskany wynik pomiaru zadymienia spalin przy pracy silnika na dwóch paliwach wynoszący $k = 1,03 \text{ m}^{-1}$ jest wynikiem prawidłowym, gdyż zgodnie z obowiązującymi przepisami dopuszczalne jest $k = 1,5 \text{ m}^{-1}$.

Problemy w adaptacji silników pojazdów ciężarowych na zasilanie gazem LPG

Trwałość silników diesla zasilanych gazem LPG może być przedmiotem wielu zmian, zależnych od wielu czynników. Adaptacja silnika diesla na zasilanie gazem LPG jest modyfikacją, która wprowadza pewne zmiany w konstrukcji i działaniu silnika.

Adaptacja silnika diesla na zasilanie gazem LPG wymaga modyfikacji mechanicznych, takich jak instalacja nowych wtryskiwaczy, regulatora ciśnienia paliwa czy zmiana konfiguracji układu paliwowego. Jakość tych modyfikacji oraz dostosowanie ich do specyfiki danego silnika mogą wpływać na trwałość.⁸

Silniki diesla nie posiadają układu zapłonowego, charakterystycznego dla silników benzynowych. Przystosowanie silnika do zasilania gazem LPG wprowadza ten element, co może mieć wpływ na działanie silnika i jego trwałość.

Zasilanie gazem LPG może wpływać na pewne elementy silnika, takie jak zawory, tłoki czy głowice. Długość życia tych elementów może być zależna od jakości adaptacji oraz skutków eksploatacji na nowych warunkach.⁹

Silniki diesla zasilane gazem LPG mogą charakteryzować się nieco obniżoną mocą w porównaniu do oryginalnego silnika diesla. To może wpływać na obciążenie silnika i wydajność pojazdu.

Zmiany w spalaniu gazu LPG mogą wpływać na układy smarowania i chłodzenia silnika. Prawidłowe funkcjonowanie tych systemów jest kluczowe dla utrzymania trwałości silnika.

Trwałość silnika może być silnie uzależniona od warunków eksploatacji, takich jak częstotliwość jazdy, obciążenie pojazdu, warunki pogodowe czy stosowanie prawidłowych procedur serwisowych.

Jakość komponentów użytych podczas adaptacji silnika na gaz LPG ma bezpośredni wpływ na trwałość silnika. Użycie wysokiej jakości, dedykowanych do tego typu konwersji, części może przyczynić się do lepszej ich trwałości.¹⁰

Z przeprowadzonych powyżej rozważań wynika, że adaptacja silnika diesla na zasilanie gazem LPG może napotykać na pewne trudności, które warto uwzględnić przed podjęciem decyzji o takiej modyfikacji.

Silniki diesla i benzynowe różnią się konstrukcją, zwłaszcza w zakresie stosunku sprężania. Silniki diesla mają zazwyczaj znacznie wyższy stopień sprężania, co wpływa na ich efektywność. Przystosowanie silnika diesla do spalania gazu LPG może skutkować mniejszą sprawnością.

⁸ Skorek J., Kalina J.: Gazowe układy kogeneracyjne, WNT, Warszawa, 2004.

⁹ Merksiz J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych, Tom I i II, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1998.

¹⁰ Przybyła G.: Studium stosowania biopaliw gazowych do zasilania silników spalinowych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2015.

Silniki diesla przystosowane na LPG mogą charakteryzować się obniżoną mocą w porównaniu do ich pierwotnej wersji na olej napędowy. To ograniczenie wydajności może być istotne, zwłaszcza w przypadku pojazdów użytkowych, takich jak ciężarówki.¹¹

Adaptacja silnika diesla na LPG wymaga modyfikacji układu wtryskowego. To może prowadzić do problemów z precyzyjnym dawkowaniem paliwa, co wpływa na efektywność spalania.

Proces adaptacji silnika diesla na LPG może wymagać szeregu modyfikacji mechanicznych, takich jak instalacja nowych wtryskiwaczy, regulatora ciśnienia czy też zmiana konfiguracji układu paliwowego. Te modyfikacje mogą zwiększyć koszty adaptacji.¹²

Modyfikacje silnika mogą wpływać na jego ogólną trwałość i żywotność. Niewłaściwie przeprowadzona adaptacja może prowadzić do zwiększonego zużycia i szybszego zużywania się niektórych elementów silnika.

Adaptacja silników pojazdów ciężarowych na zasilanie gazem LPG może napotykać na kilka wyzwań i problemów.

Nie wszystkie silniki samochodowe są od razu kompatybilne z zasilaniem gazem LPG. Niektóre silniki benzynowe mogą wymagać modyfikacji w celu dostosowania do specyfiki spalania gazu LPG. Problem dotyczy szczególnie zastosowanych materiałów głowicy, gniazd zaworowych oraz zaworów.¹³

Przykładem problemów wynikających ze stosowania paliwa LPG w silniku adaptowanym z silnika diesla jest spękanie głowicy silnika Man TGLD0836 na skutek wzrostu temperatury wywołanego spalaniem gazu LPG.

Rysunek 8 przedstawia zaznaczone miejsca pęknięć.



Rysunek 8. Głowica silnika Man TGLD0836

Źródło: opracowanie własne

¹¹ Bocheński C.J.: Biodiesel paliwo rolnicze, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2003.

¹² Budzik G.: Zasilanie silników autobusów komunikacji miejskiej sprężonym gazem ziemnym, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2006.

¹³ Majerczyk A., Taubert S.: Układy zasilania gazem propan-butan, WKŁ, Warszawa, 2020.

Silnik do chwili uszkodzenia głowicy osiągnął ogólny przebieg 1 140 000 km, z czego na gazie LPG w układzie Dual – Fuel około 460 000 km. Dla tych silników normatywny przebieg do naprawy głównej osiąga około 2 000 000 km. Stąd można wnioskować, że gaz LPG przyczynił się do ich wcześniejszego uszkodzenia. Objawami uszkodzenia było nadmierne ciśnienie w układzie chłodzenia oraz ubytki płynu chłodzącego.

Adaptacja pojazdów ciężarowych na zasilanie gazem LPG wymaga starannego planowania, w tym dostosowania technicznego, przestrzegania norm bezpieczeństwa i regulacji oraz uwzględnienia kosztów, a także ewentualnych nieprzewidzianych napraw.

Analiza ekonomiczna silników zasilanych w systemie Dual-Fuel

Silnik samochodu Volvo FH12, do którego została zamontowana instalacja LPG w systemie Dual-Fuel został poddany analizie ekonomicznej. Celem tej analizy było zbadanie opłacalności montażu instalacji LPG do silników z zapłonem samoczynnym. Dla porównania zestawiono inne pojazdy, do których w zakładzie została wcześniej zamontowana podobna instalacja. Każdy silnik po montażu instalacji jest poddawany pomiarom zużycia oleju napędowego (ON) i gazu (LPG). Do obliczeń przyjęto ceny paliw z 2 stycznia 2024 roku.

W tabeli 1 przedstawiono zużycie paliwa i wskaźniki ekonomiczne dla silników zasilanych w systemie Dual-Fuel oraz określono zysk przypadający na każde 100 km eksploatacji pojazdu. Z danych w tabeli wynika, że w przypadku silników o bardzo dużym zapotrzebowaniu na paliwo potencjalny zysk wynikający z montażu instalacji LPG jest większy.¹⁴

Tabela 1. Zużycie paliwa i wskaźniki ekonomiczne dla silników zasilanych w systemie Dual-Fuel

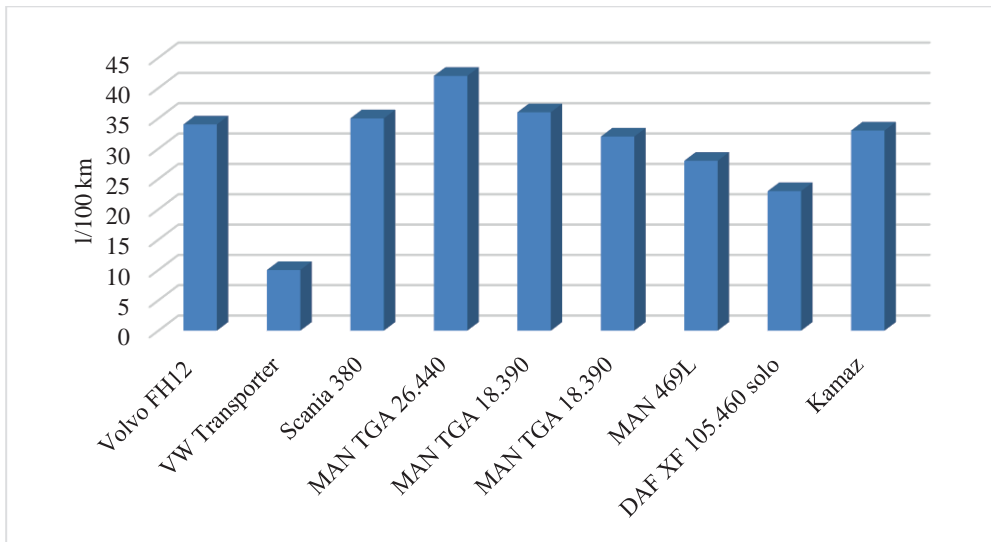
Pojazd	Instalacja seryjna		Instalacja Dual-Fuel					Zysk
	zużycie ON l/100 (km)	koszt ON (PLN)	zużycie ON l/100 (km)	zużycie LPG (l·100km ⁻¹)	koszt ON (PLN)	koszt LPG (PLN)	Koszt Dual-Fuel	Zysk (PLN)
Volvo FH12	34	217,6	26	10	166,4	29	195,4	22,2
VW Transporter	10	64	6,5	3	41,6	8,7	50,3	13,7
Scania 380	35	224	26	8	166,4	23,2	189,6	34,4
MAN TGA 26.440	42	268,8	28	10	179,2	29	208,2	60,6
MAN TGA 18.390	36	230,4	27	9	172,8	26,1	198,9	31,5
MAN TGA 18.390	32	204,8	25	6,5	160	18,85	178,85	25,95
MAN 469L	28	179,2	20	8	128	23,2	151,2	28
DAF XF 105.460 solo	23	147,2	16	6	102,4	17,4	119,8	27,4
Kamaz	33	211,2	22	11	140,8	31,9	172,7	38,5
Cena LPG	2,9							
Cena ON	6,4							

Źródło: Opracowanie własne

¹⁴ Zajac P.: Silniki pojazdów samochodowych. Podstawy budowy, diagnozowania i naprawy, WKŁ, Warszawa, 2015.

Jak wynika z obliczeń, zamontowanie instalacji Dual-Fuel do silnika samochodu Volvo FH12 przynosi średni zysk wynoszący 22,2 PLN na każde 100 km przebiegu pojazdu. Biorąc pod uwagę, że w firmie, z której pochodził pojazd poddany montażowi średni roczny przebieg wynosi około 200 tys. km, oznacza to roczne oszczędności na poziomie około 45 000 PLN. Natomiast dla pojazdu MAN TGA 26.440 przynosi średni zysk wynoszący 60,6 PLN na każde 100 km przebiegu pojazdu, co przy przebiegu 200 tys. km umożliwi oszczędności na poziomie około 120 000 PLN.

Otrzymane wartości wynikają z normatywnego zużycia oleju napędowego pojazdów z klasycznymi układami zasilania, co zostało przedstawione na rysunku 9.



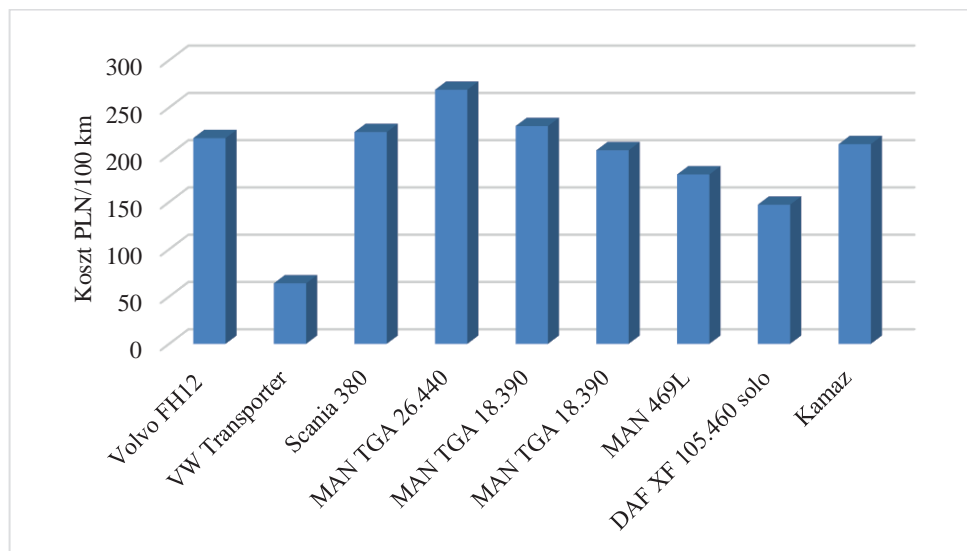
Rysunek 9. Normatywne zużycie paliwa przez pojazdy z klasycznym układem zasilania

Źródło: Opracowanie własne

Jak widać na rysunku 9 zużycie paliwa przez poszczególne pojazdy jest mocno zróżnicowane i wyraźnie większe dla silników o dużej mocy oraz dla pojazdów o przestarzałej konstrukcji silnika, jak np. Kamaz.

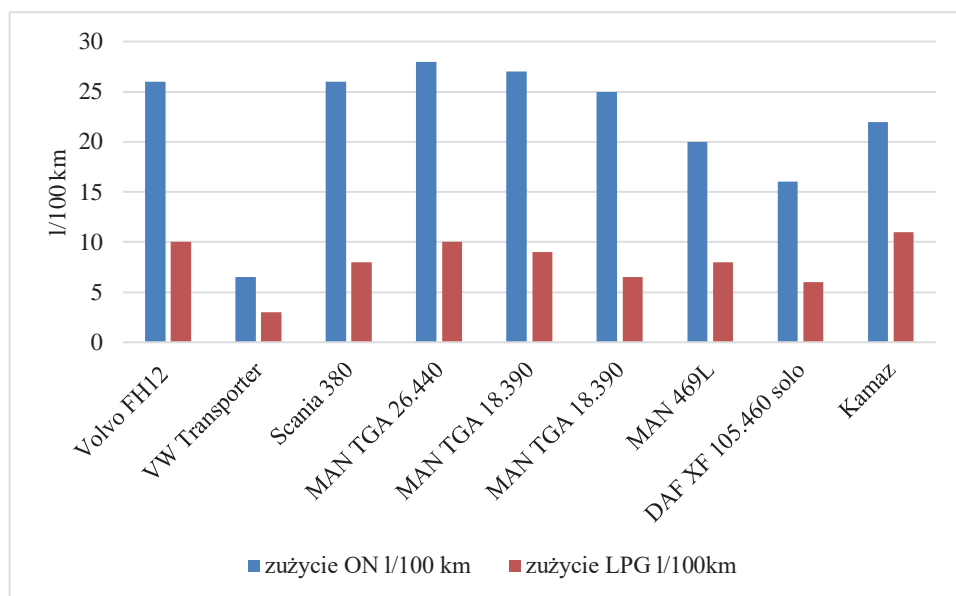
Proporcjonalnie do zużycia paliwa w przypadku klasycznych układów zasilania kształtują się koszty paliwa, co zostało przedstawione na rysunku 10. Jak wynika z zestawienia na rysunku 10 koszty paliwa w niektórych przypadkach przekraczają 250 PLN na każde 100 kilometrów przebiegu.

Rysunek 11 przedstawia zużycie oleju napędowego i zużycie gazu LPG w silnikach samochodów ciężarowych zasilanych w układzie Dual-Fuel.



Rysunek 10. Koszty paliwa w konwencjonalnym systemie zasilania

Źródło: Opracowanie własne

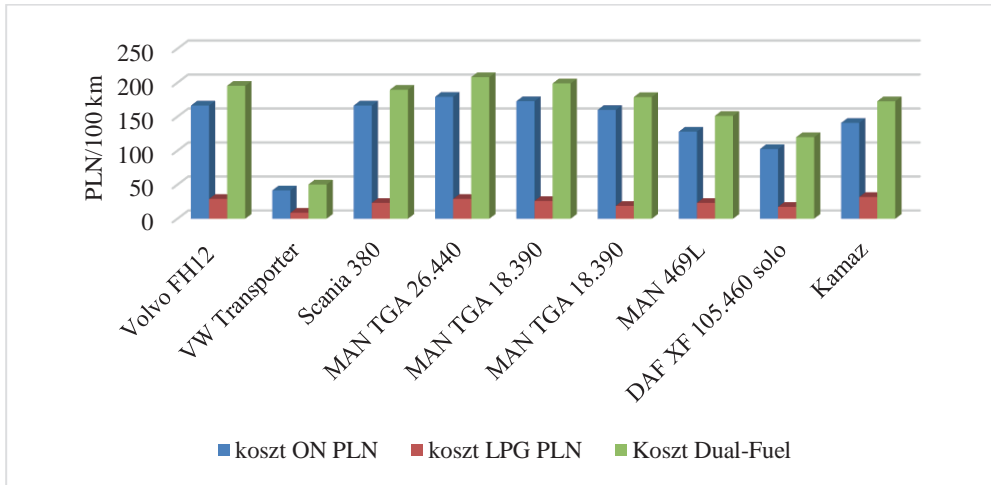


Rysunek 11. Zużycie oleju napędowego i zużycie gazu LPG w silnikach samochodów ciężarowych zasilanych w układzie Dual-Fuel

Źródło: Opracowanie własne

Jak wynika z analizy wyników przedstawionych na rysunku 11 silniki pracujące w układzie Dual-Fuel zużywają przeciętnie około 30% gazu LPG w odniesieniu do zużycia oleju napędowego.

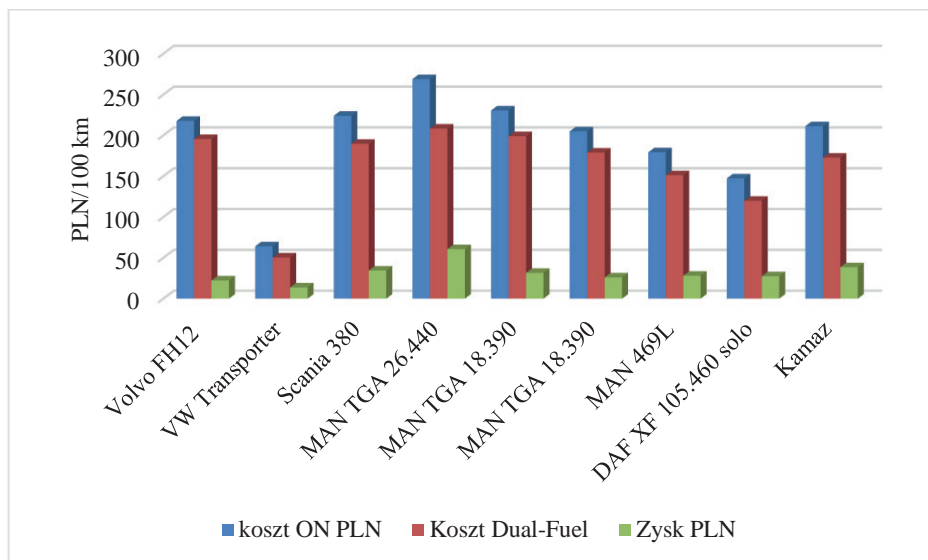
Adekwatnie do zużycia oleju napędowego i gazu LPG przedstawiają się koszty paliw w systemie Dual-Fuel pokazane na rysunku 12.



Rysunek 12. Koszty paliw w systemie Dual-Fuel

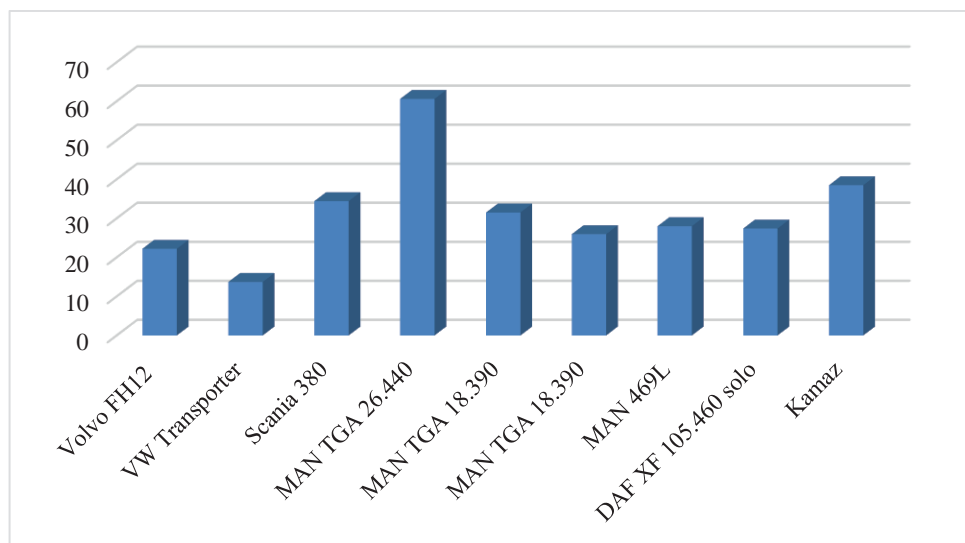
Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 13 przedstawia bilans ekonomiczny zastosowania systemu zasilania Dual-Fuel. Z analizy wyników na rysunku 13 i 14 wynika, że opłacalność systemu zasilania Dual-Fuel jest największa w przypadku pojazdów o bardzo dużym zużyciu paliwa oraz w przypadku pojazdów o starszych rozwiązaniach aparatury wtryskowej.



Rysunek 13. Bilans ekonomiczny zastosowania systemu zasilania Dual-Fuel

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 14. Opłacalność stosowania systemów zasilania Dual-Fuel

Źródło: Opracowanie własne

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone analizy miały na celu ocenę możliwości zasilania gazem LPG dwóch różnych rodzajów silników – o obiegu Sabathe i obiegu Diesla. Badania skupiły się na aspektach efektywności ekonomicznej, energetycznej, emisji szkodliwych substancji oraz ogólnej wydajności silników podczas zasilania gazem LPG.

Analiza wykazała, że silniki o obiegu Diesla lub Sabathe – badany silnik Volvo FH12 reagują pozytywnie na zasilanie gazem LPG. Obserwowano poprawę efektywności spalania, co przekładało się na wyższą moc przy niższych emisjach. Wprowadzenie gazu LPG stanowi perspektywiczne rozwiązanie dla silników tego typu.

Przeprowadzone analizy pozwoliły sformułować następujące wnioski:

1. Stosowanie dwupaliwowego zasilania silników o zapłonie samoczynnym przynosi wymierne korzyści ekonomiczne wynoszące przeciętnie około 30 PLN na 100 km przebiegu samochodu ciężarowego.
2. Stosowanie układu Dual-Fuel nie ma negatywnego wpływu na trwałość silników oraz na ich awaryjność.
3. Zasilanie gazem LPG wydaje się być korzystne dla silników o obiegu Diesla i Sabathe, przynosząc poprawę efektywności energetycznej i redukcję emisji zanieczyszczeń, głównie cząstek PM.
4. Adaptacja silników o zapłonie samoczynnym na zasilanie gazem LPG jest szczególnie uzasadniona ekonomicznie w przypadku silników o dużym zużyciu paliwa oraz silników o starszej konstrukcji.

Bibliografia

- Baczewski K., Kałdoński, T.: Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym, WKŁ, Warszawa, 2004.
- Baczewski K., Kałdoński, T.: Paliwa do silników o zapłonie iskrowym, WKŁ, Warszawa, 2005.
- Bocheński C.J.: Biodiesel paliwo rolnicze, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2003.
- Budzik G.: Zasilanie silników autobusów komunikacji miejskiej sprężonym gazem ziemnym, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2006.
- Dużyński A.: Silniki gazowe wybrane zagadnienia, Politechnika Częstochowska, Częstochowa, 2010.
- Lotko W.: Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1997.
- Majerczyk A., Taubert S.: Układy zasilania gazem propan-butan, WKŁ, Warszawa, 2006.
- Majerczyk A., Taubert S.: Układy zasilania gazem propan-butan, WKŁ, Warszawa, 2020.
- Merkisz J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych, Tom I i II, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1998.
- Postrzednik S., Żmuda Z.: Termodynamiczne oraz ekologiczne uwarunkowania eksploatacji tłokowych silników spalinowych, Politechnika Śląska, Gliwice, 2012.
- Przybyła G.: Studium stosowania biopaliw gazowych do zasilania silników spalinowych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2015.
- Serdecki W.: Badania silników spalinowych, Politechnika Poznańska, Poznań, 2012.
- Skorek J., Kalina J.: Gazowe układy kogeneracyjne, WNT, Warszawa, 2004.
- Zając P.: Silniki pojazdów samochodowych. Podstawy budowy, diagnozowania i naprawy, WKŁ, Warszawa, 2015.

Adres do korespondencji: g.dzieniszewski@pansp.pl

ORCID: Grzegorz Dzieniszewski 0000-0002-2712-1131

LOGISTYCZNE ROZWIĄZANIA W OBRÓBCE POZBIORCZEJ WARZYW NA PRZYKŁADZIE KALAFIORA I BROKUŁU WŁOSKIEGO

Krzysztof Jadwisieńczyk¹, Dariusz Choszcz¹, Joanna Majkowska-Gadomska²,
Krzysztof Krupiński²

¹ Katedra Maszyn Roboczych i Metodologii Badań, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 11, 10–719 Olsztyn

² Katedra Agroekosystemów i Ogrodnictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Plac Łódzki 3, 10–719 Olsztyn

Wstęp

Linia technologiczna, jako jeden ze sposobów organizacji procesu produkcji stanowi zespół stanowisk roboczych, na których poszczególne czynności związane z wytworzeniem produktu zostają uszeregowane w zależności od wykonywanego procesu technologicznego. Pozwala to na znaczne skrócenie czasu wykonywanych czynności, co ma ogromne znaczenie przy produkcji masowej. Podczas projektowania linii technologicznej niezwykle istotne jest odpowiednie zaplanowanie jej struktury^{1,2}

W obecnych realiach gospodarczo-ekonomicznych, nie można sobie pozwolić na błędy w produkcji czy źle przygotowanym produkcie. Należy produkować warzywa (surowiec) z ukierunkowaniem na poszczególne segmenty rynkowe.

Ważne by mieć tak zaplanowaną produkcję aby uzyskana surowiec był odpowiedniej jakości, a koszty robocizny ograniczać do minimum. Szansą na to są prawidłowy dobór odmiany, odpowiednio zaplanowane terminy sadzenia, odpowiednie nawożenie oraz wykorzystanie różnych ułatwień podczas zbioru i przerobu tych surowców. Przykładem tego może być półprodukt w postaci rozdrobnionych róż kalafiora i brokułu. Róże kalafiora

¹ Jarczyk A., Płocharski W.: Technologia produktów owocowo-warzywnych, Wyd. WSEH w Skierniewicach, 2010.

² Panas K., Łukaszewicz A. Innowacyjne podejście do projektowania linii technologicznej do pakowania produktów z uwzględnieniem aspektów ergonomicznych (artykuł został wykonany w ramach pracy S/WM/1/2013 realizowanej w Politechnice Białostockiej) https://www.mechanik.media.pl/pliki/do_pobrania/artykuly/15/26_panas_innowacyjne.pdf (dostęp w dniu 29.11.2024).

i brokołu włoskiego po zbiorze są surowcem wrażliwym, w których ciągle zachodzą procesy fizjologiczne w związku z tym wymagają szybkiej obróbki przetwórczej³.

Koniecznym staje się zmechanizowanie różyczkowania. Dlatego też ciągle poszukuje się rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń, dzięki którym surowiec zostanie poddany obróbce mechanicznej.

Celem pracy jest opracowanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń pozwalających na zautomatyzowanie procesu technologicznego związanego z pozyskiwaniem półproduktu w postaci rozdrobnionych róż kalafiora lub brokołu.

Ogólna charakterystyka produktu

W przypadku kalafiorów i brokułów włoskich plantatorzy mogą produkować te warzywa w ciągu jednego roku nawet dwa razy⁴. Zakładając, że pierwsze nasadzenia roślin wykonane zostaną stosunkowo szybko, czyli w marcu, uzyskuje się możliwość zbioru na przełomie czerwca i lipca oraz drugie nasadzenie w pierwszej dekadzie lipca dające możliwość zbioru jesienno-przypadającego na przełom września i października. Produkcja tych roślin stwarza duże możliwości, gdyż przeznaczone mogą być na spożycie bezpośrednie oraz dla zakładów przetwórczych np. jako półprodukt w postaci rozdrobnionych róż tych roślin. Analiza rynku warzyw kapustnych w Polsce wykazała następujące przyczyny strat w łańcuchu dostaw omawianych gatunków warzyw:

- brak prawidłowej kontroli nad czynnikami agrotechnicznymi i pogodowymi,
- zbiór na niewłaściwym etapie dojrzałości,
- wykonanie bezpośredniego pakowania, przed usunięciem ciepła zawartego w warzywach,
- nieodpowiednio prowadzone zabiegi oczyszczenia i sortowania,
- nieprawidłowe sklasyfikowanie róż i ich posortowanie,
- zastosowanie niewłaściwego opakowania lub nieprawidłowe wykonanie tego zabiegu,
- nieprawidłowy transport surowca i jego obsługa,
- słabe zaplecze magazynowe (komory chłodnicze, lokalizacja magazynu)⁴⁵⁶

W obecnym czasie brak jest rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń automatycznie rozdrabniających i kalibrujących róże kalafiora i brokołu z przeznaczeniem dla małych gospodarstw o powierzchni do 20 ha. Znane są natomiast rozwiązania konstrukcyjne maszyn i urządzeń do zbioru róż kalafiora i brokołu w dużych gospodarstwach (rys. 1 a, b, c, d).

³ Zadernowski R, Oszmiański J.: Wybrane zagadnienia z przetwórstw owoców i warzyw, wyd. Wyd. ART. 1994.

⁴ Postulski J., Gruda Z.: Zamrażalniczożywności. Wyd. WNT, 1974.

⁵ Zadernowski R, Oszmiański J.: Wybrane zagadnienia z przetwórstwa owoców i warzyw, wyd. Wyd. ART. 1994.

⁶ Jarczyk A., Płocharski W.: Technologia produktów owocowo-warzywnych, Wyd. WSEH w Skierniewicach, 2010.



Rysunek 1 (a, b, c, d). Proces zbioru i pozyskania róż kalafiora i brokołu włoskiego

Źródło: opracowanie własne

W zaistniałej sytuacji w ramach realizowanych przez pracowników Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie prac B+R, opracowano innowacyjne rozwiązanie linii technologicznej ujmujące w pełni proces rozdrabniania oraz wstępnej i końcowej selekcji róż kalafiora i brokołu.

Koncepcja projektowanej linii technologicznej

Założenia wstępne projektowanej linii obejmowała (rys. 2 a, b, c, d):

- skrócenie czasu potrzebnego na obróbkę róż kalafiora lub brokołu na półprodukt,
- zmechanizowanie pracy,
- uzyskanie jednorodnego półproduktu w postaci rozdrobnionych róż kalafiora lub brokołu,
- uzyskanie półproduktu w postaci głąbika,
- możliwość zagospodarowania pozostałości poprodukcyjnych na granulaty spożywcze.

Linia technologiczna łączy w sobie dwa urządzenia czyli kruszarkę do warzyw oraz kalibrator róż warzyw. Rozdrabniacz dzieli kwiatostany na mniejsze różyczki, a różyczki o średnicy większej niż 2–6 cm należy dalej rozdrabniać na mniejsze kawałki. W trakcie procesu łodygi i fragmenty liści spadają do oddzielnych pojemników, ponieważ frakcje te można dalej przetworzyć na produkty spożywcze⁷⁸⁹¹⁰.

⁷ Berndtsson E., Andersson R., Johansson E., Olsson M.E.: Side streams of broccoli leaves: A climate smart and healthy food ingredient. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 17, 2406. 2020.

⁸ Jadwisieńczyk K., Kaliniewicz Z., Konopka S., Choszcz D., Majkowska-Gadomska, J.: A Proposal for a Processing Line for Cauliflower and Broccoli Floretting. *Appl. Sci*. 13, 2509. <https://doi.org/10.3390/app13042509>, 2023.

⁹ Jadwisieńczyk, K.; Choszcz, D., Kaliniewicz, Z., Majkowska-Gadomska, J.: Kalibrator do róż kalafiora i brokołu. Patent nr 240043, 12 listopada 2021. (w języku polskim).



Rysunek 2 (a, b, c, d). Proces obróbki róż kalafiora i brokułu włoskiego w proponowanej linii technologicznej

Źródło: opracowanie własne

Kalibrator oddziela różyczki o średnicy od 2 do 6 cm od surowca, ponieważ takie różyczki można zamrozić. Pozostałe różyczki (zarówno za małe, jak i za duże) spadają do oddzielnych pojemników. Różyczki, które są za małe, przetwarzane są na produkty spożywcze, a różyczki, które są za duże, zawracane są do komory rozdrabniającej rozdrabniacza warzyw. W produkcji żywności wykorzystuje się zarówno surowce, jak i półprodukty. Dlatego też elementy maszyn mające bezpośredni kontakt z warzywami są wykonane z materiałów dopuszczonych do stosowania w przemyśle spożywczym^{11,12,13}. Oba główne urządzenia mogą być eksploatowane pojedynczo lub połączone w jedną linię technologiczną przy wykorzystaniu odpowiednio rozmieszczonych taśmociągów, które według Gierza i in. (2020)¹⁴ są najbardziej przystosowane do transportu tych warzyw.

Kruszarka do warzyw jest małogabarytowym, wydajnym i prostym urządzeniem eliminującym w 80% pracę ludzką przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej jakości półproduk-

¹⁰Rafiuddin, M., Swathi, Y., Prakash, M., Suneetha, W., Kumari, B.: Standardization and evaluation of cauliflower stalks incorporated phulkas. *Int. Res. J. Pure Appl. Chem.* 19, 1–6. 2019.

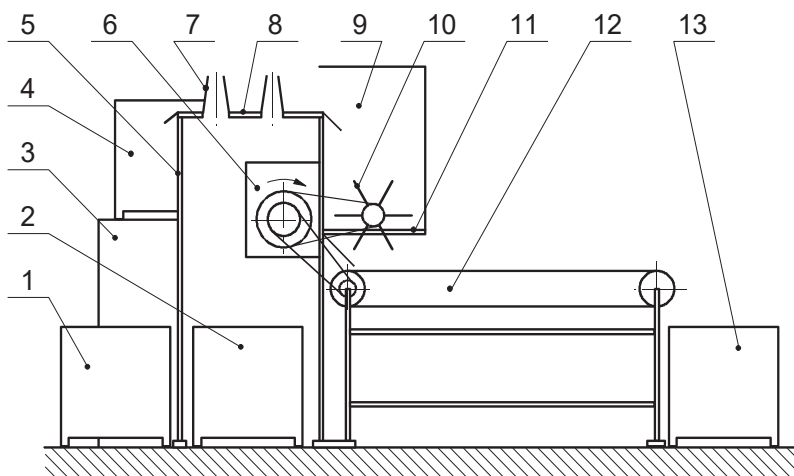
¹¹ Commission Regulation (EC). No. 2023/2006 of 22 December 2006 on good manufacturing practice for materials and articles intended to come into contact with food (Text with EEA relevance). *Off. J. Eur. Union.* 2006. 384, 75–78.

¹² Commission Regulation (EU). No. 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food Text with EEA relevance. *Off. J. Eur. Union* 2011, 12. 1–89.

¹³ Regulation (EC). No. 1935/2004 of the European Parliament and of the Council of 27 October 2004 on materials and articles intended to come into contact with food and repealing Directives 80/590/EEC and 89/109/EEC. *Off. J. Eur. Union* 2004, 338, 4–17.

¹⁴ Gierz Ł., Warguła Ł., Kukła M., Koszela K., Zwiachel T.S.: Computer aided modeling of wood chips transport by means of a belt conveyor with use of discrete element method. *Appl. Sci.* 10, 9091, 2020.

tu (rys. 3 i 4). Kruszarkę tą tworzy rama nośna, na której od przodu nabudowano stół selekcyjny wyposażony w wyprofilowany stożkowy lej oraz w zasuwę ze zgarniaczem do usuwania resztek poprodukcyjnych do skrzyni ustawionej na podeście przymocowanym do ramy nośnej. Element roboczy urządzenia stanowi obrotowy wał, ze wstawianymi poprzecznie względem osi obrotu wału prętami, który umieszczono nad dnem rusztowym komory kruszącej wyposażonej w stożkowe ściany boczne, a dno rusztowe stanowi odpowiednio rozlokowane blachy oporowych oddalonych od siebie o 80 mm, co wpływa na utworzenie podłużnych otworów, po środku których przemieszczają się końce prętów. Pod komorą kruszącą znajduje się przenośnik poziomy z taśmą bez końca, którą podparto na dwóch obrotowych wałach. Jeden z wałów jest napinającym, a drugi napędowym, a napęd taśmy oraz wału kruszącego zapewniono przez zastosowanie dwóch przekładni pasowo — klinowych utrzymujących napęd od silnika elektrycznego¹⁵¹⁶.



Rysunek 3. Schemat kruszarki róż kalafiora i brokułu: 1 – pojemnik na odpad (np. fragmenty liści), 2 – pojemnik na głąbiki, 3 – podeście, 4 – pojemnik z surowcem do przetworzenia, 5 – rama nośna, 6 – silnik elektryczny, 7 – nóż do różyczkowania, 8 – stół selekcyjny, 9 – komora rozdrabniania, 10 – wał z prętami kruszącymi, 11 – dno rusztowe komory zasypowej, 12 – przenośnik taśmowy, 13 – pojemnik na różyczki

¹⁵ Jadwisieńczyk K., Janiak K., Osowiecki M.: Przyrząd do różyczkowania kalafiora i brokułu. Wzór użytkowy Ru.068838, 22 czerwca 2016. (w języku polskim).

¹⁶ Jadwisieńczyk, K., Kaliniewicz, Z., Konopka, S., Choszcz, D., Majkowska-Gadomska, J.: Maszyna do różyczkowania kalafiorów i brokułów. Tech. Nauka. 25 , 171-181. 2022.



Rysunek 4. Prototyp kruszarki do warzyw: a – ogólny widok urządzenia; b – noże do różyczkowania; c – komora rozdrabniania; d – ruszt komory rozdrabniania; e – skrzynka sterownicza; f – silnik elektryczny; g – przekładnie pasowo-klinowe.

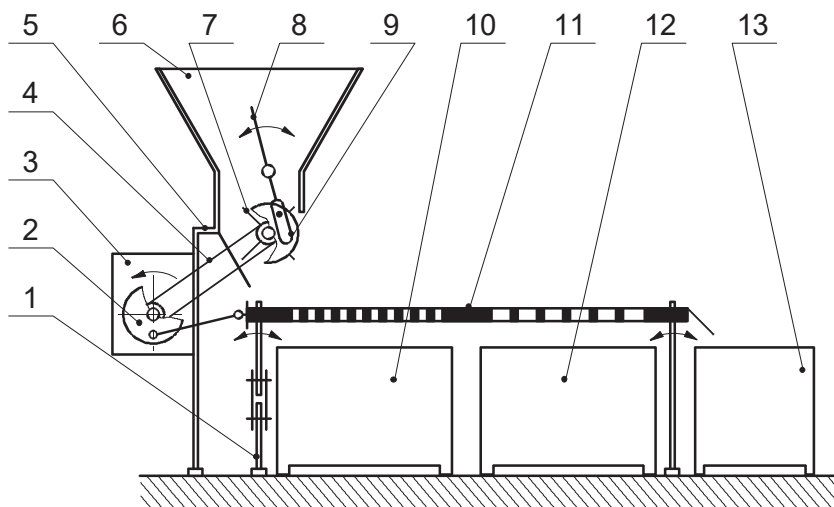
Źródło: Opracowanie własne

Drugim urządzeniem zaprojektowanym w omawianej linii technologicznej jest kalibrator wielkości róż (rys. 5 i 6). Urządzenie łączy w sobie układy elektryczne i mechaniczne, które odpowiadają za ruch obrotowy dozownika i posuwisto zwrotny elementów wahliwych. Kalibrator charakteryzuje się tym, że składa się z podstawy połączonej na stałe z ramą główną, do której za pomocą czterech wychylnych ramion przymocowany jest kosz sitowy z wymiennym sitem o otworach o wymiarze min 5 mm i otworach o wymiarze max 60 mm. Do ramy głównej nad koszem sitowym zamocowany jest zbiornik na półprodukt, z obrotowym dozownikiem, do którego przymocowany jest trójfazowy silnik elektryczny, wraz z panelem sterowniczym, wyposażonym w koło zamachowe, które z jednej strony połączone jest z targańcem. Targańiec połączony jest z koszem sitowym za pomocą ramienia i belki wsporczej, a z drugiej strony za pomocą przekładni pasowej, koła pasowego, napędu dozownika. Pod koszem sitowym umieszczone są zbiorniki na odsort do 5 mm i materiał właściwy od 40 do 60 mm¹⁷¹⁸.

¹⁷ Jadwisieńczyk, K.; Choszcz, D., Kaliniewicz, Z., Majkowska-Gadomska, J.: Kalibrator do róż Kalafiora i Brokułu. Patent nr 240043, 12 listopada 2021.

¹⁸ Jadwisieńczyk, K., Kaliniewicz, Z., Konopka, S., Choszcz, D., Majkowska-Gadomska, J.: Maszyna do różyczkowania kalafiorów i brokułów. Tech. Nauka. 25, 171-181. 2022 .

Po uruchomieniu kalibratora materiał w postaci rozdrobnionych róz kalafiora lub brokułu ze zbiornika zasypowego wyposażonego w odpowiednio wyprofilowany stożkowy spusty oraz obrotowy dozownik opada grawitacyjnie na kosz sitowy w którym zamocowano sito o dwóch wymiarach otworów. Różyczki które wypadły na sito umieszczone w koszu sitowym który porusza się ruchem posuwisto zwrotnym przesuwają się z jego prędkością w kierunku końca sita. Róże mieszczące się w odpowiednich średnicach otworów sita przesuwają się na odpowiednie frakcje i wpadają do odpowiednich zbiorników. Długość pozostawiania różyczek w obszarze sortowania na sicie uzależniona jest od zmiennych nastaw, zadawanych przez operatora na panelu sterowniczym (zmienna prędkość obrotowa silnika). Do ustalania wielkości masy w zbiorniku wykorzystywana jest waga połączona z panelem sterowniczym.



Rysunek 5. Schemat kalibratora róż kalafiora i brokułu: 1 – wahacz o regulowanej długości, 2 – mechanizm napędu kosza sitowego, 3 – silnik elektryczny, 4 – przekładnia pasowa, 5 – rama nośna, 6 – zbiornik zasypowy, 7 – dozownik surowca, 8 – mieszadło, 9 – mechanizm napędu mieszadła, 10 – pojemnik na rozkrusz, 11 – kosz sitowy, 12 – pojemnik na różyczki o prawidłowych wymiarach, 13 – pojemnik na różyczki ponadwymiarowe

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 6. Prototyp kalibratora do warzyw: a – ogólny widok urządzenia; b – zbiornik zasypowy z mieszadłem i dozownikiem; c – kosz sitowy; d – mechanizm zmiany kąta ustawienia kosza sitowego oraz płytki ślizgowej; e – skrzynka sterownicza i silnik elektryczny; f – mechanizm napędu kosza sitowego; g – mechanizm napędu mieszadła

Źródło: Opracowanie własne

Podsumowanie

Zastosowanie zaproponowanych rozwiązań konstrukcyjnych kruszarki i kalibratora pozwala w 90% wyeliminować pracę ludzi, przy jednoczesnym utrzymaniu stałej wydajności urządzeń oscylującej na poziomie około od 200 do 700 kg·h⁻¹.

Zastosowanie kalibratora pozwala na rozdzielanie urobku na dwóch sitach o wymiarach oczek $\phi 10$ mm i $\phi 60$ mm, co daje pewność, że rozdrobnione różyczki kalafiora i brokułu będą odpowiednio przesortowane na rozkrusz i róże właściwe.

Bibliografia

- Berndtsson E., Andersson R., Johansson E., Olsson M.E.: Side streams of broccoli leaves: A climate smart and healthy food ingredient. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 17, 2406, 2020.
- Commission Regulation (EC). No. 2023/2006 of 22 December 2006 on good manufacturing practice for materials and articles intended to come into contact with food (Text with EEA relevance). *Off. J. Eur. Union*. 2006.384, 75–78.
- Commission Regulation (EU). No. 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food Text with EEA relevance. *Off. J. Eur. Union* 2011, 12. 1–89.
- Chudzik A.: Produkcja wybranych gatunków warzyw gruntowych w Polsce w latach 1996-Sectio *EEE* 2007, XVII(1), 73-80, 2005.
- Tan D.K.Y., Birch C.J., Wearing A.H., Rickert K.G.: Predicting broccoli development I. Development is predominantly determined by temperature rather than photoperiod. *Scientia Horticulturae*, 84, 3–4: 227-243, 2000.
- Gierz Ł., Warguła Ł., Kukla M., Koszela K., Zwiachel T.S.: Computer aided modeling of wood chips transport by means of a belt conveyor with use of discrete element method. *Appl. Sci*, 10, 9091, 2020.
- Jadwisińczak K., Kaliniewicz Z., Konopka S., Choszcz D., Majkowska-Gadomska, J.: A Proposal for a Processing Line for Cauliflower and Broccoli Floretting. *Appl. Sci*. 13, 2509. <https://doi.org/10.3390/app13042509>, 2023.
- Jadwisińczak K., Janiak K., Osowiecki M.: Przyrząd do różyczkowania kalafiora i brokołu. Wzór użytkowy Ru.068838, 22 czerwca 2016. (w języku polskim).
- Jadwisińczak, K.; Choszcz, D., Kaliniewicz, Z., Majkowska-Gadomska, J.: Kalibrator do róż kalafiora i brokołu. Patent nr 240043, 12 listopada 2021.
- Jadwisińczak, K., Kaliniewicz, Z., Konopka, S., Choszcz, D., Majkowska-Gadomska, J.: Maszyna do różyczkowania kalafiorów i brokołów. *Tech. Nauka*. 25 , 171–181, 2022.
- Jarczyk A., Płocharski W.: *Technologia produktów owocowo-warzywnych*, Wyd. WSEH w Skierńwiczach, 2010.
- Panas K., Łukaszewicz A. Innowacyjne podejście do projektowania linii technologicznej do pakowania produktów z uwzględnieniem aspektów ergonomicznych (artykuł został wykonany w ramach pracy S/WM/1/2013 realizowanej w Politechnice Białostockiej) https://www.mechanik.media.pl/pliki/do_pobrania/artykuly/15/26_panas_innowacyjne.pdf (dostęp w dniu 29.11.2024).
- Postulski J., Gruda Z.: *Zamrażalnictwo żywności*. Wyd. WNT, 1974.
- Rafiuddin, M., Swathi, Y., Prakash, M., Suneetha, W., Kumari, B.: Standardization and evaluation of cauliflower stalks incorporated phulkas. *Int. Res. J. Pure Appl. Chem*. 19, 1–6, 2019.
- Regulation (EC). No. 1935/2004 of the European Parliament and of the Council of 27 October 2004 on materials and articles intended to come into contact with food and repealing Directives 80/590/EEC and 89/109/EEC. *Off. J. Eur. Union* 2004, 338, 4–17.
- Zadernowski R, Oszmiański J.: *Wybrane zagadnienia z przetwórstw owoców i warzyw*, Wyd. ART. 1994.

Adres do korespondencji: e-mail: krzychj@uwm.edu.pl

ORCID: Krzysztof Jadwisińczak 0000-0001-7804-7675

ORCID: Dariusz Choszcz 0000-0002-3119-9038

ORCID: Joanna Majkowska-Gadomska 0000-0003-1693-0248

ELEKTRYCZNE CIĄGNIKI SIODŁOWE JAKO STRATEGIA MAJĄCA NA CELU DEKARBONIZACJĘ PROCESÓW TRANSPORTOWYCH

Sławomir Juściński¹

¹ Katedra Energetyki i Środków Transportu, Zakład Logistyki i Zarządzania Przedsiębiorstwem, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wstęp

Przedsiębiorstwa transportowe zarządzając flotą pojazdów są zmuszone do jednoczesnego osiągnięcia dwóch bardzo ważnych wskaźników: efektywności czasowej i efektywności finansowej. Branża transportowa w Polsce, jako pracodawca stanowi istotny segment rynków lokalnych, dając zatrudnienie dla około 600 000 pracowników, a jednocześnie jest kluczowym ogniwem w realizacji zadań dystrybucyjnych przez łańcuchy logistyczne.^{1,2,3,4,5} Jakość świadczonych usług rozumiana jest w transporcie, jako niezawodność dostaw w zakresie uzgodnionych terminów oraz redukcja do minimum zdarzeń prowadzących do powstania ubytków i/lub uszkodzeń towarów. Permanentna i systemowa redukcja poszczególnych rodzajów kosztów w przewozach jest natomiast osiągnięta przez różnorodne działania.^{6,7} Z uwagi na fakt, że koszty eksploatacji, a w tym koszty nośników energii stanowią jedną z najwyższych wartości w budżecie, firmy podążają w kierunku m.in. dywersyfikacji

¹ Gołębska E., Gołębski M.: Transport w logistyce, CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-343-6, Warszawa, 2020.

² Sadowska B.: Rachunek kosztów logistycznych w przedsiębiorstwie, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-432-7, Warszawa, 2021.

³ Klóska R. (red.): Infrastruktura transportowa i cyfrowa jako czynnik regionalnego i lokalnego rozwoju gospodarczego, Wyd. Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: 978-83-7972-412-3, Szczecin, 2020.

⁴ Banaszyk P., Kauf S., Szołtysek J.: Logistyka jako czynnik dobrostanu, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2462-9, Warszawa, 2021.

⁵ Kordel Z. (red.): Polski transport samochodowy ładunków, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-283-5, Warszawa, 2019.

⁶ Wojewódzka-Król K., Załoga E. (red.): Transport . Tendencje zmian, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-22033-4, Warszawa, 2022.

⁷ Łapko A., Wagner N.: Logistyka dystrybucji, Trendy - Wyzwania – Przykłady, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-516-4, Warszawa, 2021.

źródeł zasilania ciągników siodłowych. Stąd równolegle do działań mających na celu wypracowanie konkurencyjnej oferty cenowej za usługi transportowe jest kwestia wyboru przez firmy drogi rozwoju. Strategiczne decyzje dotyczą coraz częściej inwestycji w nowoczesne technologie, a w tym flotę wykorzystującą pojazdy z napędem elektrycznym.^{8,9,10,11,12} Branża transportu drogowego, która każdego dnia na terenie poszczególnych państw realizuje dostawy w ramach łańcuchów logistycznych, na przestrzeni ostatnich kilku lat poddawana była presji w obszarze społecznym, politycznym i prawnym. Kolejne kryzysy uderzające wprost w zarządzanie i stabilność finansową firm transportowych wywołane zostały przez:¹³

- zerwane łańcuchy dostaw podczas pandemii COVID-19,
- unijne regulacje prawne ustanowione pod nazwą Pakiet Mobilności, które wprowadziły bariery wymierzone wprost w działalność firm transportowych z państw Europy Środkowo-Wschodniej, a w tym Polski będącej liderem pod względem wykonanej pracy przewozowej na terenie UE z udziałem na poziomie 21% (przewóz 355 mln tonokilometrów),
- agresję Rosji na Ukrainę, która spowodowała lawinowy odpływ kierowców narodowości ukraińskiej i braki pracowników w transporcie szacowane na 100 000 osób, a następnie stopniowe zamknięcie rynku wschodniego dla transportu drogowego,
- kryzys energetyczny, a w tym wysokie wzrosty cen paliw,
- wzrost obciążeń podatkowych oraz niestabilność przepisów prawnych w tzw. Polskim Ładzie.

Należy podkreślić, że krajowa branża usług przewozowych generalnie wykazywała wysoki poziom profesjonalizmu i duże zdolności w zakresie adaptacji do trudnych warunków rynkowych podczas kolejnych kryzysów. Firmy transportowe i spedycyjne, m.in. dzięki wykorzystaniu giełd na platformach internetowych, uzyskiwały optymalne wykorzystanie potencjału przewozowego posiadanego taboru w zakresie przemieszczania ładunków na trasach krajowych i międzynarodowych. Firmy z sektora TSL pomimo zamknięcia rynku wschodniego z powodu działań wojennych w Ukrainie w 2023 r. wypracowały przychody odpowiadające za 7% PKB.¹⁴ Wystąpiły jednak również bardzo niepokojące sygnały świadczące

⁸ Gąsowska M.K.: Zarządzanie procesami logistycznymi we współczesnych przedsiębiorstwach, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8270-091-6, Warszawa, 2022.

⁹ Książkiewicz D.: Rozwój transportu, spedycji i logistyki w dobie cyfryzacji i globalnej gospodarki, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN: 978-83-8206-379-0, Gdańsk, 2021.

¹⁰ Wasilewski M.: Tańsza flota ciągników, *Logistics manager*, Nr 1, luty-kwiecień, str. 86-89, 2018.

¹¹ Juściński S.: Analiza systemów kompleksowego zarządzania logistycznego flotą pojazdów. [w:] *Mechatronika i Telematyka w Logistyce*, Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.) ISBN 978-83-64377-440, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 81-97, 2019.

¹² Tundys B., Rzczycki A., Drobiazgiewicz J.: Decyzje strategiczne w łańcuchach dostaw, Wydawnictwo edu-Libri, ISBN: 978-83-65648-53-2, Kraków-Legionowo, 2018.

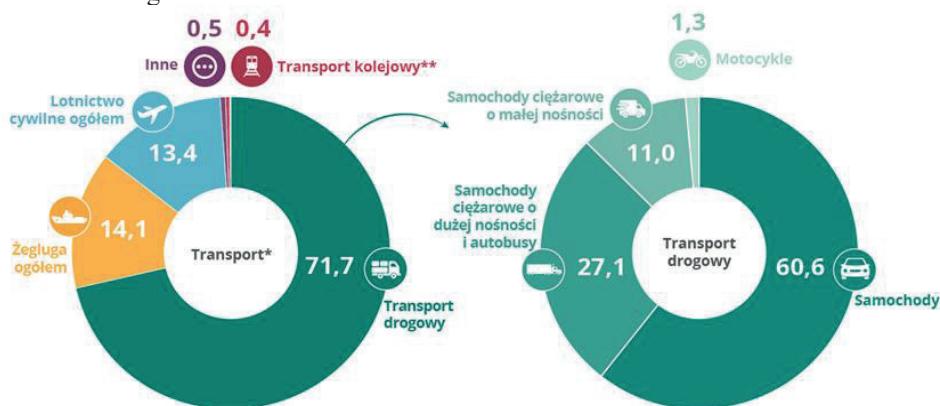
¹³ Wroński M.: Transport drogowy na bardzo ostrym wirażu, *Transport i Logistyka*, Dziennik Gazeta Prawna, Biznes, Nr 82 (6247), str. 9, 25 kwietnia 2022 r.

¹⁴ Juściński S.: Platformy internetowe, jako system wspomaganie informatycznego w branży transport-spedycja-logistyka. [w:] *Dzieniszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce*, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, s. 125-154, 2021.

o pogarszającej się kondycji finansowej mniejszych firm transportowych. Zgodnie z Raporem COFACE w 2022 r. upadłość ogłosiło 273 firmy z branży transportowej to w 2023 r. zostało zamkniętych aż 546 firm, czyli nastąpił wzrost w porównaniu rok do roku o 100%.¹⁵

Rozwój rynku ciągników siodłowych

W UE zgodnie z danymi Eurostatu w 2023 r. zarejestrowanych było łącznie 1 458 000 ciągników siodłowych. Kondycja finansowa branży w najbliższych latach będzie decydować o skali inwestycji i szybkości zmian w strukturze i rodzaju użytkowanych w transporcie pojazdów.^{16,17} Zielona rewolucja, która ma na celu dekarbonizację obszaru Unii Europejskiej, jako kolejny cel wyznaczyła zmiany w transporcie drogowym z uwagi na fakt, że generuje on prawie 72% całkowitej emisji CO₂ pochodzącej ze środków transportu. Obszarem, który powinien ulec modyfikacji w najbliższych latach jest transport drogowy towarów, a w tym realizowany przez ciągniki siodłowe, które są dominującym rodzajem pojazdów w przewozach na duże odległości.¹⁸



Rysunek 1. Poziom emisji CO₂ na terenie UE w 2022 r. z poszczególnych gałęzi transportu, a w tym udział poszczególnych segmentów transportu drogowego

Źródło: <https://www.amcsgroup.com/fr/blogs/comprendre-les-objectifs-de-developpement-durable-des-nations-unies-et-leur-pertinence-pour-le-transport-et-la-logistique/>

¹⁵ <https://www.coface.pl/publikacje-ekonomiczne-i-analazy/raport-coface-niewypłacalnosci-firm-w-polsce-w-2023-roku>

¹⁶ Juściński S.: Autonomiczne pojazdy ciężarowe jako innowacyjne wsparcie logistycznych łańcuchów dostaw, [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M.: (red.): Procesy logistyczne w przemyśle. Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-55-6, s. 55-83, 2023.

¹⁷ Juściński S.: Pojazdy z napędem alternatywnym, jako przykład zrównoważonego rozwoju logistycznych łańcuchów dostaw, [w:] Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej, Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 137-166, 2020.

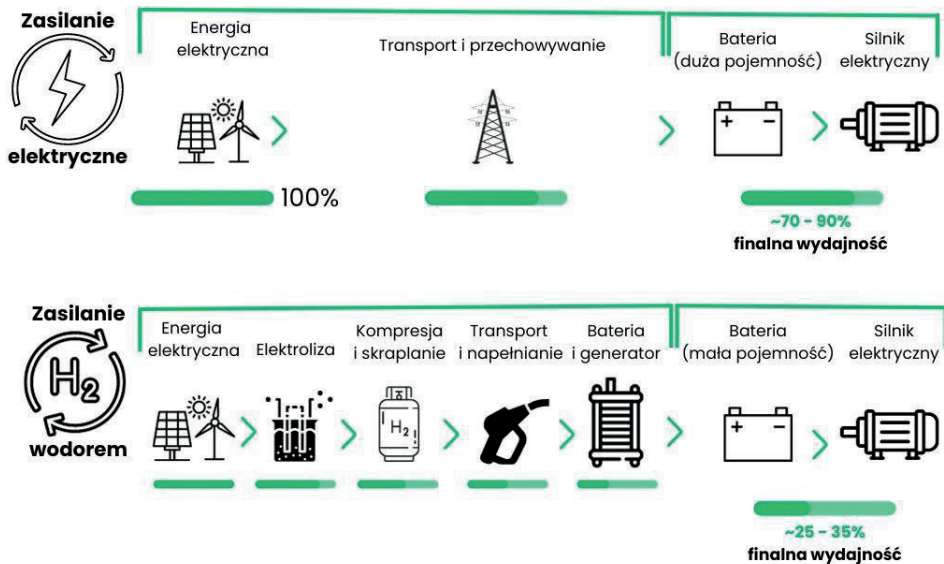
¹⁸ <https://www.amcsgroup.com/fr/blogs/comprendre-les-objectifs-de-developpement-durable-des-nations-unies-et-leur-pertinence-pour-le-transport-et-la-logistique/>

Samochody ciężarowe o dużej nośności stanowią 2% wszystkich pojazdów, ale zużywają aż 25% paliw konwencjonalnych. Stąd po samochodach osobowych i lekkich pojazdach transportowych, elektryfikacja przewozów ciężkich wyznaczona została, jako kolejny etap transformacji transportu.^{19,20}

Największe rynki transportowe państw UE to:²¹

- Polska - 257 000 szt.,
- Francja - 199 000 szt.,
- Niemcy - 183 000 szt.,
- Hiszpania - 161 000 szt.
- Włochy - 154 000.

W pięciu krajach jest użytkowanych aż 954 000 pojazdów, czyli 2/3 wszystkich ciągników siodłowych użytkowanych w UE.



Rysunek 2. Porównanie wydajności napędu elektrycznego i wodorowego w pojazdach

Źródło: <https://static.ampergo.pl/imgv-webp-1024x-width/public/images/original/auta-elektryczne-wodorowe-porownanie-1692361314.png>

¹⁹ Chakraborty S., Kumar N. M., Jayakumar A., Dash S. K., Elangovan D.: Selected aspects of sustainable mobility reveals implementable approaches and conceivable actions. Sustainability, 13(22), 12918, 2021.

²⁰ <https://www.automotiveworld.com/articles/truckings-long-haul-electrification/>

²¹ <https://forsal.pl/transport/aktualnosci/artykuly/9408843,mit-polskiej-samochodozy-obalony-jestesmy-za-to-ciezarowkowym-zagle.html>

Dla klasycznych silników spalinowych w pojazdach ciężarowych koncerny motoryzacyjne proponują dwie linie rozwoju w postaci ciągników elektrycznych z zestawem akumulatorów lub napędem wodorowym. Należy podkreślić, że napęd wodorowy to tak naprawdę inny rodzaj napędu elektrycznego, ale posiadający szereg istotnych różnic w procesie pozyskiwania, przetwarzania i wykorzystania energii. Kluczową wadą napędu wodorowego jest niska wydajność. Na etapie pozyskiwania wodoru metodą elektrolizy następuje utrata aż 45% początkowej energii. Na kolejnych etapach obejmujących: kompresję, skraplanie, transport, napełnianie oraz wytworzenie energii w ogniwie paliwowym następuje dalsza znacząca utrata energii. Stąd wydajność napędu wodorowego to około 25-35%. Dla napędu pobierającego energię z zestawu akumulatorów straty energii są znacznie niższe i wynoszą około 18%. Samochody elektryczne charakteryzują się wydajnością energetyczną rzędu 70-80%. Porównanie tych dwóch napędów upoważnia do stwierdzenia, że pojazdy elektryczne mają niższą cenę zakupu oraz niższe koszty eksploatacji, ale pojazdy wodorowe posiadają większy zasięg i zapewniają szybszy proces uzupełniania energii poprzez tankowanie w stosunku do procesu ładowania baterii. Generalnie przed konstruktorami pojazdów wytwarzanych w obu technologiach stoją nadal poważne wyzwania w obszarze udoskonalenia systemów magazynowania energii.^{22,23,24}

Dla pojazdów z zasilaniem z baterii (BEV) konieczne są prace nad:²⁵

- wydłużeniem zasięgu, który ograniczony jest pojemnością akumulatorów,
- skróceniem czasu potrzebnego do pełnego naładowania baterii,
- obniżeniem kosztów zestawu baterii zasilających,
- obniżeniem masy zestawu akumulatorów,
- dostępnością infrastruktury ładowarek wysokiej mocy.

Dla pojazdów zasilanych wodorem (FCEV) konieczne są prace nad:

- obniżeniem kosztów ogniw paliwowych,
- uproszczeniem konstrukcji ogniw paliwowych,
- budową systemów do produkcji i magazynowania wodoru,
- dostępnością terytorialną infrastruktury do tankowania wodoru.

Systemy zasilania elektrycznych ciągników siodłowych

Rynek ciągników siodłowych zasilanych z akumulatorów w UE jest na początkowych etapach rozwoju (rys. 3). W 2021 r. zostało zarejestrowanych na terenie Europy 346 ciągników siodłowych, co oznaczało wzrost aż o 193% w odniesieniu do 2020 r. W Polsce zarejestrowano w 2021 r. zaledwie 4 ciągniki siodłowe BEV. Raport Europejskiego Stowarzyszenia

²² <https://ampergo.pl/baza-wiedzy/samochody-elektryczne-vs-auta-wodorowe-na-co-sie-zdecydowac>

²³ Aguilar P., Groß B.: Battery electric vehicles and fuel cell electric vehicles, an analysis of alternative powertrains as a mean to decarbonise the transport sector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53, 102624, 2022.

²⁴ Seyitoglu F., Eren, K., Luttenberger F. et al.: Distributed Battery Systems for Fully Electric Heavy-duty Trucks. *ATZ Heavy Duty worldw* 13, 10–17, 2020. <https://doi.org/10.1007/s41321-020-0096-5>

²⁵ Albatayneh A.; Juaidi A.; Jaradat M., Manzano-Agugliaro, F.: Future of Electric and Hydrogen Cars and Trucks: An Overview. *Energies* 2023, 16, 3230. <https://doi.org/10.3390/en16073230>

Producentów Samochodowych (*ang. European Automobile Manufacturers Association ACEA*) „Pojazdy w użytkowane w 2023 roku w Europie” potwierdził, że 96,4% wszystkich ciężarówek użytkowanych na terenie państw zrzeszonych w Unii Europejskiej jest zasilanych olejem napędowym, podczas gdy benzyna zasila 0,5% floty. Należy podkreślić, że w 2023 r. tylko 0,2% ciężarówek na drogach UE to pojazdy elektryczne z układem napędowym o zerowej emisji.²⁶

Liczba rejestracji elektrycznych samochodów ciężarowych (≥ 16 ton) w Europie w 2021 r.

Szwajcaria	77
Norwegia	56
Szwecja	47
Holandia	42
Niemcy	37
Francja	25
Dania	21
Hiszpania	11
Włochy	9
Węgry	7
Polska	4
Belgia	3
Czechy	2
Finlandia	2
Irlandia	2
Austria	1



346

elektrycznych samochodów ciężarowych (≥16 ton) zarejestrowano w Europie w 2021 r.

+193%

w stosunku do 2020 r.

Źródło: IHS Markit

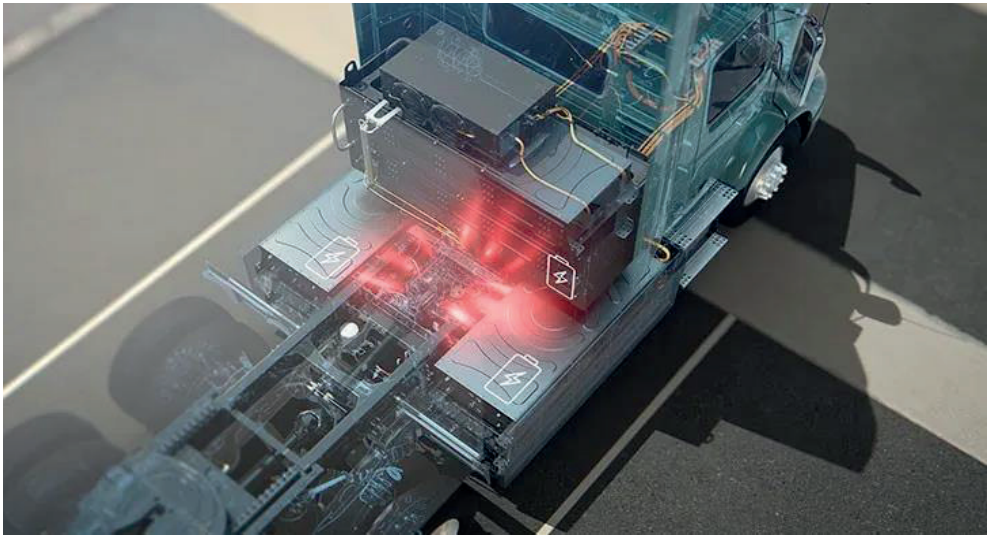
Rysunek 3. Liczba rejestracji elektrycznych samochodów ciężarowych o DMC powyżej 16 ton w Europie w 2021 r.

Źródło: <https://elektromobilni.pl/elektryczne-ciezarowki-na-horyzoncie/>

Ceny akumulatorów od dekady utrzymują trend spadkowy. Średnia cena dla zestawów ogni stosowanych w pojazdach elektrycznych zasilanych akumulatorami (*ang. Battery Electric Vehicle BEV*) na świecie w 2020 r. wyniosła 137 USD/kWh, co oznacza spadek aż o 89% w porównaniu do 2010 r. Po trudnościach spowodowanych pandemią w postaci przerw w globalnych łańcuchach dostaw oraz wzrostach cen surowców i energii oczekiwany jest powrót do trendu spadkowego w dłuższym horyzoncie czasowym. Według badań Bloomberg New Energy Finance, koszt baterii litowo-jonowych może spaść o kolejne kilkadziesiąt procent do 2030 r., a jednocześnie z dużym prawdopodobieństwem należy oczekiwać, że gęstość energetyczna tego typu akumulatorów wzrośnie także o kilkadziesiąt procent. Należy podkreślić, że najniższy poziom cenowy dla zestawów baterii odnotowano w Chinach, a w USA i Europie były one generalnie droższe. Osiągnięcie stabilnego poziomu 100 USD/kWh dla baterii litowo-jonowych w opinii Bloomberg New Energy Finance będzie oznaczało przekroczenie prognozy, przy którym pojazdy elektryczne zasilane akumulatorami

²⁶ <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-2023/>

(BEV) staną się rzeczywiście konkurencyjne cenowo i będą generować podobne marże rynkowe tak, jak pojazdy z silnikiem spalinowym (*ang. Internal Combustion Engine ICE*).²⁷ Rozwój tego rynku jest możliwy dzięki prowadzonym od lat inwestycjom. W USA na przestrzeni minionej dekady podmioty prywatne rozpoczęły działania finansowane na poziomie 188 mld USD. Działania tego typu wsparła Ustawa o redukcji inflacji (*ang. Inflation Reduction Act IRA*), podpisana przez prezydenta Stanów Zjednoczonych 16 sierpnia 2022 r. Ustawa zapewniła nowe fundusze federalne m.in. na redukcję emisji dwutlenku węgla, poprzez rozwój badań oraz komercjalizację najnowszych technologii w tej dziedzinie. Fundusze wsparły tworzenie zakładów produkujących akumulatory i zakładów montujących pojazdy elektryczne.²⁸



Rysunek 4. Konfiguracja akumulatorów w ciągniku siodłowym Volvo VNR Electric o pojemności 565 kWh

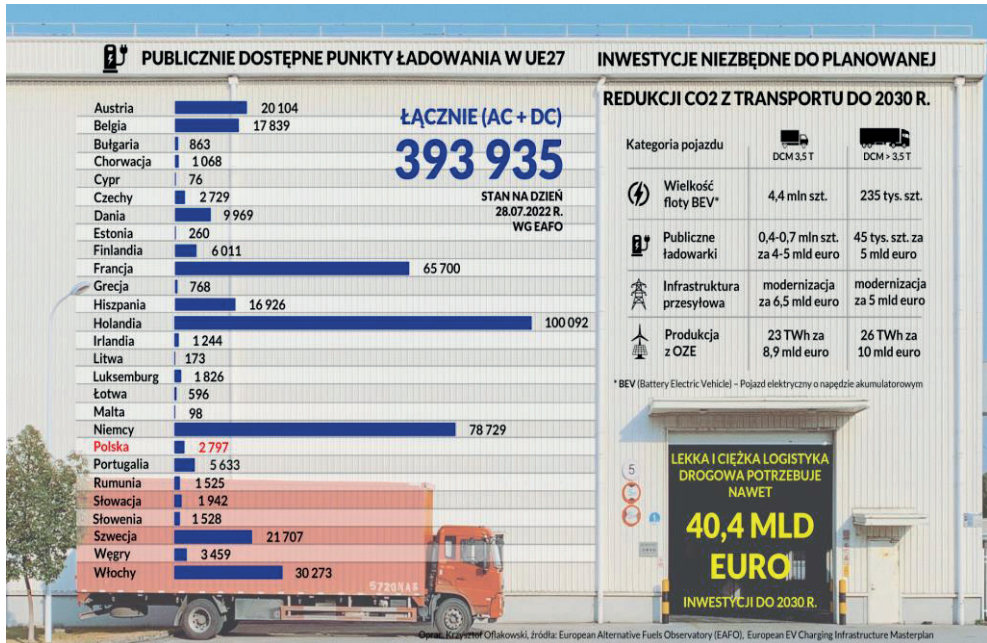
Źródło: <https://www.volvotrucks.us/trucks/vnr-electric/#charging>

Firma Volvo w modelu ciągnika siodłowego VNR Electric zaprezentowała system składający się z sześciu akumulatorów. Pojazdy są produkowane w wersji 6x2 i 6x4, a zastosowane baterie umożliwiają pokonanie do 275 mil (443 km) na jednym ładowaniu. System składający się z czterech akumulatorów jest dostępny w pięciu konfiguracjach zarówno dla ciągników siodłowych, jak i samochodów ciężarowych. Istotnym atutem zastosowanych baterii jest możliwość ich naładowania poprzez złącze CCS1 z ładowarki o mocy 250 kW do 80% w ciągu 60 minut przy konfiguracji systemu z 4 akumulatorami oraz w ciągu 90 minut przy konfiguracji systemu z 6 akumulatorami.²⁹

²⁷ <https://www.energy-storage.news/bloombergnef-average-battery-pack-prices-to-drop-below-us100-kwh-by-2024-despite-near-term-spikes/>

²⁸ <https://www.izg.org.pl/co-to-jest-inflation-reduction-act-ira/>

²⁹ <https://www.volvotrucks.us/trucks/vnr-electric/#charging>



Rysunek 5. Liczba dostępnych punktów ładowania prądem zmiennym (AC) i prądem stałym (DC) dla samochodów osobowych i ciężarowych na terenie UE w 2022 r.

Źródło: <https://mojafirma.infor.pl/wiadomosci/5586574,Logistyka-drogowa-w-UE-samochody-elektryczne-dekarbonizacja-Fit-for-55-ograniczenie-emisji-CO2.html>

Dane przygotowane przez Europejskie Obserwatorium Paliw Alternatywnych (EAFO) potwierdziły, że w lipcu 2022 r. było 393 935 użytkowanych na terenie UE publicznych punktów ładowania, a w tym 352 750 na prąd zmienny (AC) i 41 185 na prąd stały (DC).

Bezpośredni wpływ na czas ładowania pojazdu elektrycznego ma rodzaj stacji ładowania. W przypadku stacji na prąd zmienny (AC) istnieje konieczność przekształcenia go na prąd stały zanim zostanie on skierowany do akumulatorów. Stąd proces ładowania ulega istotnemu wydłużeniu. W przypadku stacji na prąd stały (DC), których jest wielokrotnie mniej na rynku nie występuje taka potrzeba, gdyż akumulatory są źródłem prądu stałego. Drugim warunkiem decydującym o szybkości ładowania jest moc tych urządzeń. Zdecydowana większość istniejących stacji dysponuje mocą na poziomie kilkudziesięciu kW, co jest dedykowane dla samochodów osobowych, ale nie spełnia wymagań czasowych nawet w przypadku lekkich pojazdów dostawczych. Prędkość ładowania ograniczona jest również rodzajem instalacji zamontowanej w danym pojeździe. Stacje planowane w hubach MOP dla samochodów ciężarowych z założenia będą ultraszybkie i zasilane ze złącza siłowego (instalacji trójfazowej 400V), aby spełnić warunek limitu czasowego dla akumulatorów o wysokiej pojemności. Kolejny problem na etapie eksploatacji stacji ładowania to konieczność monitorowania stopnia jej zużycia oraz przepięć i przeciążeń, które mogą wystąpić w sieci zasilającej. Doładowania na MOP-ach muszą uwzględniać wpływ warunków pogodowych na proces ładowania. W niskich temperaturach akumulatory litowo-jonowe będą ładowały się

wolniej, a w ekstremalnych sytuacjach systemy nadzorujące pracę ogniw mogą zablokować proces ładowania, aby zabezpieczyć je przed uszkodzeniem.³⁰

Rozbudowa sieci stacji ładowania na terenie państw europejskich na przestrzeni ostatnich kilku lat jest realizowana zbyt wolno i występują bardzo wysokie dysproporcje pomiędzy poszczególnymi państwami. Liderzy rynku to Holandia posiadająca ponad 100 000 punktów ładowania, Niemcy użytkujący około 79 000 stacji i Francja oferująca dostęp do około 66 000 punktów, podczas gdy w Polsce były dostępne tylko 2797 punktów ładowania. Należy podkreślić, że większość istniejącej infrastruktury to stacje ładowania o niskiej mocy przeznaczone do zasilania wyłącznie samochodów osobowych (rys. 5).^{31,32}

W lipcu 2023 r. Rada UE przyjęła rozporządzenie ws. rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych (*ang. Alternative Fuels Infrastructure Regulation AFIR*), a weszło ono w życie 13 kwietnia 2024 r. Zgodnie z założeniami unijnego rozporządzenia w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych obecne tempo budowy stacji ładowania powinno być w praktyce dziesięć razy wyższe. Do 2030 r. po drogach UE będzie poruszać się już 235 000 pojazdów ciężarowych o DMC powyżej 3,5 tony, dla których konieczny jest dostęp do co najmniej 45 000 publicznych szybkich ładowarek rozmieszczonych regularnie wzdłuż tras sieci TEN-T oraz miejsc postoju nocnego ciężarówek.^{33,34,35}

Wdrażanie ciężarowych pojazdów zeroemisyjnych z napędem wodorowym w porównaniu z ciężarówkami elektrycznymi jest praktycznie na etapie testowania rynku. Skalę problemu w procesie budowy infrastruktury stacji z wodorem ilustruje rys. 6, zawierający zestawienie ilości stacji tankowania wodoru. Na terenie UE w lutym 2024 r. było 193 ogólnodostępnych stacji tankowania wodoru (*ang. Hydrogen Refueling Stations HRS*) z czego 161 było przystosowanych do obsługi ciśnienia na poziomie 700 bar. Liderem rynku HRS są Niemcy, które dysponują aż 92 stacjami, Francja posiada 23 stacje, a Holandia 22 stacje, czyli razem dysponują 71% sieci dystrybucji wodoru w UE. Rozwój infrastruktury wodorowej był w tych krajach możliwy wyłącznie dzięki rządowym programom wsparcia z uwagi na fakt użytkowania znikomej floty pojazdów elektrycznych na ogniwa paliwowe (*ang. Fuel Cell Electric Vehicle FCEV*).

W Polsce są aktualnie tylko 2 ogólnodostępne stacje tankowania wodoru w Warszawie i Rybniku. Według Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych pod koniec grudnia 2023 r. w Polsce zarejestrowanych było 54 autobusy wodorowe, ale żadnego pojazdu ciężarowego z napędem wodorowym. Rozbudowa stacji tankowania H₂ dedykowana jest obecnie dla rozwoju komunikacji autobusowej. Rozwój sieci HRS wymusza Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1804 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie rozwoju

³⁰ <https://enerad.pl/wiedza/ile-trwa-ladowanie-samochodu-elektrycznego-i-od-czego-zalezy/>

³¹ https://mojafirma.infor.pl/wiadomosci/5586574,Logistyka-drogowa-w-UE-samochody-elektryczne-dekarbonizacja-Fit-for-55-ograniczenie-emisji-CO2.html#google_vignette

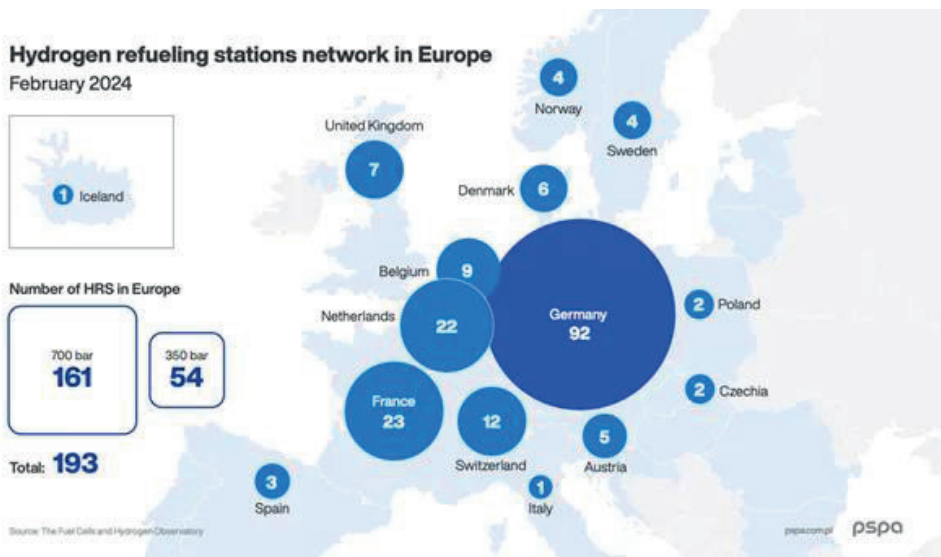
³² <https://www.gazetaprawna.pl/wiadomosci/kraj/artykuły/9648486,mamy-za-malo-stacji-ladowania.html>

³³ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1804 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych

³⁴ https://mojafirma.infor.pl/wiadomosci/5586574,Logistyka-drogowa-w-UE-samochody-elektryczne-dekarbonizacja-Fit-for-55-ograniczenie-emisji-CO2.html#google_vignette

³⁵ <https://www.gazetaprawna.pl/wiadomosci/kraj/artykuły/9648486,mamy-za-malo-stacji-ladowania.html>

infrastruktury paliw alternatywnych i uchylecia dyrektywy 2014/94/UE. Rozporządzenie zakłada budowę stacji dla pojazdów wodorowych wzdłuż głównych szlaków komunikacyjnych tworzących sieć TEN-T. Stacje powinny być rozmieszczone tak, aby maksymalna odległość między HRS nie była większa niż 200 km oraz powinny posiadać standard poziomu ciśnienia 700 bar.^{36,37}



Rysunek 6. Liczba dostępnych stacji tankowania wodoru na terenie UE w 2024 r.

Źródło: <https://elektromobilni.pl/wp-content/uploads/2024/03/Obraz1.png.webp>

Zgodnie z AFIR cele, które powinny być osiągnięte dla infrastruktury ładowania dla pojazdów ciężarowych, to:^{38,39,40}

- w 2025 r. - pokrycie 15% sieci TEN-T ładowarkami o mocy 1 400 kW na każdy hub ładowania, rozmieszczony maksymalnie co 120 km oraz huby ładowania z ładowarkami o mocy 900 kW w każdym węźle miejskim, przy czym takich punktów łącznie w eksploatacji winno być 424 na terenie całej UE,
- w 2027 r. - pokrycie 50% sieci TEN-T ładowarkami o mocy 2 800 kW na każdy hub ładowania tworzący tzw. sieć bazową oraz huby ładowania z ładowarkami o mocy 1 400

³⁶ <https://elektromobilni.pl/kiedy-stacje-tankowania-wodoru-pojawia-sie-przy-polskich-drogach/>

³⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1804>

³⁸ <https://eloptiobox.pl/blog/afir-co-to-jest-jakie-sa-najwazniejsze-zalozenia/>

³⁹ <https://fppe.pl/afir-co-trzeba-wiedziec-o-zmianach-w-rozporzadzeniu-o-infrastrukturze-paliw-alternatywnych-07-2023/>

⁴⁰ <https://www.gov.pl/web/gddkia/zalozenia-afir-jak-unijne-rozporzadzenie-wplynie-na-rozwoj-elektromobilnosci-w-polsce>

- kW tworzące tzw. sieć komplementarną, rozmieszczone w odległości nie większej niż co 120 km,
- w 2030 r. - pokrycie 100% sieci TEN-T ładowarkami o mocy 3 600 kW na każdy hub ładowania, tworząc tzw. sieć bazową, rozmieszczone w odległości nie większej niż 60 km w obu kierunkach jazdy oraz ładowarkami o mocy 1 500 kW tworzące tzw. sieć komplementarną, rozmieszczone w odległości nie większej niż 100 km w obu kierunkach jazdy, a także zapewnić dostęp do ładowarek o mocy 1 800 kW w każdym węźle miejskim, a takich punktów łącznie w eksploatacji winno być łącznie 424 na terenie UE.



Rysunek 7. Budowa na terenie UE ogólnodostępnej sieci eTruck 400 szybkich ładowarek o mocy 400 kW przez konsorcjum firm MAN i E.ON Drive Infrastructure

Źródło: <https://www.edri.com/e-truck-charging/>

Generalnie założenia AFIR dedykują osiągnięcie do 2030 r. takiego poziomu rozbudowy sieci, dla którego huby ładowania dla samochodów ciężarowych będą dostępne w każdym większym mieście na terenie UE, a na każdym wyznaczonym tzw. „bezpiecznym parkingu dla ciężarówek” powinny być dostępne co najmniej cztery punkty ładowania o wysokiej mocy.⁴¹

Najbardziej popularny w Europie standard ładowania elektrycznych samochodów osobowych i ciężarowych to obecnie CCS (*ang. Combined Charge System*). Większość ładowarek w systemie CCS ma maksymalną moc wyjściową od 50 do 400 kW. Projektem wspierającym

⁴¹ <https://fppe.pl/afir-co-trzeba-wiedziec-o-zmianach-w-rozporzadzeniu-o-infrastrukturze-paliw-alternatywnych-07-2023/>

rozwój rynku elektrycznych ciągników siodłowych jest realizowana budowa na terenie UE ogólnodostępnej sieci o nazwie „eTruck” przez konsorcjum firm MAN Truck & Bus i E.ON Drive Infrastructure (rys. 7).

Docelowo będzie to 400 stacji wyposażonych w szybkie ładowarki o mocy ładowania 400 kW przy prądzie o natężeniu 500A w 170 lokalizacjach. Projekt zakłada budowę w 125 lokalizacjach na terenie Niemiec, a pozostałe w Austrii, Wielkiej Brytanii, Danii, Włoszech, Polsce, Czechach i na Węgrzech. Stacje „eTruck” zostały tak zaprojektowane, aby w przyszłości mogły być zmodernizowane do systemu ładowania w standardzie megawatowym (MCS).^{42,43}



Rysunek 8. Nowy standard ładowania dla ciągników siodłowych MCS testowany przez koncern Mercedes dla modelu eActros 600, ilustrujący wielkość złącza zasilającego o mocy 1 MW

Źródło: <https://www.electrive.com/2024/04/22/mercedes-benz-eactros-600-charges-at-one-megawatt/>

Zgodnie z raportem badawczym opublikowanym przez Spherical Insights & Consulting wartość globalnego rynku infrastruktury ładowania dedykowanej dla elektrycznych ciągników siodłowych w 2022 r. została oszacowana na 2,57 mld USD. Prognoza do 2032 r. przy średniorocznej stopie wzrostu (CAGR) na poziomie 33,18% zakłada, że światowy rynek infrastruktury ładowania ciężkich pojazdów elektrycznych osiągnie wartość na poziomie 45,11 mld USD. Raport „*Global Heavy-Duty Electric Vehicle Charging Infrastructure Market*

⁴² <https://www.edri.com/e-truck-charging/>

⁴³ <https://press.mantruckandbus.com/corporate/eon-and-man-to-build-public-charging-network-for-electric-trucks-in-europe/>

Size” opublikowany w 2023 r. podkreśla, że w najbliższych latach należy oczekiwać dynamicznego rozwoju segmentu ładowarek na prąd stały (DC) o wysokiej mocy, aby uzyskać jak najkrótsze czasy uzupełniania energii w akumulatorach ciągników siodłowych, realizujących dostawę długodystansowe.

Liderzy na globalnym rynku infrastruktury ładowania ciężkich pojazdów elektrycznych to firmy: ABB, Tesla, Siemens, Daimler Trucks, BP, Kempower OY, Chargepoint Inc., Proterra, Schunk Group, EFACEC, Kehua Hengsheng Co. Ltd., State Grid Corporation of China, Shijiazhuang Tonhe Electronics Technologies Co. Ltd., TGOOD Global Ltd, Shell, Webasto i Blink Charging.⁴⁴

Globalne stowarzyszenie CharIN zostało założone w 2015 r. przez Audi, BMW, Daimler, Mennekes, Opel, Phoenix Contact, Porsche, TÜV SÜD i Volkswagen. Obecnie stowarzyszenie skupia 166 członków głównych i 157 członków zwyczajnych i stowarzyszonych, a grupie tej są firmy z branży uczestniczącej w budowaniu e-mobilności: producenci pojazdów elektrycznych, zakłady energetyczne i producenci sprzętu do ładowania. W 2018 r. stowarzyszenie CharIN powołało „Task Force Megawatt Charging System”. Zespół rozpoczął prace nad wdrożeniem nowego systemu opartego na istniejącym Combined Charging System CCS.⁴⁵ Nowy standard ładowania dla ciężarówek o dużej ładowności będący w fazie testów to MCS (*ang. Megawatt Charging System MCS*). Standard MCS będzie miał moc wyjściową 1 MW do 3,75 MW (3750 kW) i planowane jest komercyjne jego wdrożenie pod koniec 2024 r. Rozwiązaniem wystarczającym dla uzyskania szybkości ładowania dedykowanej dla transportu ciężarowego będzie poziom mocy od 800 kW do 1,5 MW.⁴⁶

Wymagania, które musi spełniać nowy system MCS, aby był wdrożony komercyjnie to m.in.:⁴⁷

- złącze w postaci pojedynczej wtyczki przewodzącej,
- kabel umożliwiający przepływ maksymalnego prądu stałego o parametrach 1 250 V i 3 000 A,
- norma bezpieczeństwa dla wtyczek, gniazdek i złączy do pojazdów elektrycznych UL 2251,
- normy ochrony przeciwpożarowej zgodne ze standardami globalnymi,
- emisja promieniowania na poziomie FCC Klasa A EMI,
- realizacja przepływu V2X (przepływ dwukierunkowy).

Należy podkreślić, że rozwój e-mobilności musi być prowadzony dwutorowo. Efektywne wykorzystanie parametrów ładowarki o dużej mocy będzie możliwe wyłącznie w sytuacji, gdy ciągnik siodłowy będzie obsługiwał tak wysoką maksymalną moc ładowania dla posiadanych akumulatorów. Globalne stowarzyszenie CharIN, którego członkowie reprezentują każdy rodzaj firm związanych z zeroemisyjnym rynkiem transportowym dążą do uzyskania

⁴⁴ <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2023/06/12/2686263/0/en/Global-Heavy-Duty-Electric-Vehicle-Charging-Infrastructure-Market-Size-To-Grow-USD-45-11-Billion-By-2032-CAGR-of-33-18.html>

⁴⁵ <https://www.charin.global/>

⁴⁶ <https://milence.com/insight/truck-charging-101/>

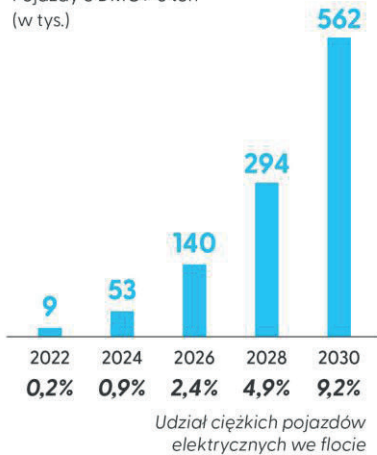
⁴⁷ <https://www.charin.global/technology/mcs/>

konsensusu pomiędzy koncernami wytwarzającymi pojazdy elektryczne, producentami zestawów baterii oraz producentami sprzętu do ładowania i zakładami energetycznymi tak, aby możliwy był harmonijny rozwój we wszystkich tych obszarach.

Zapotrzebowanie energetyczne elektrycznych pojazdów ciężkich w Europie

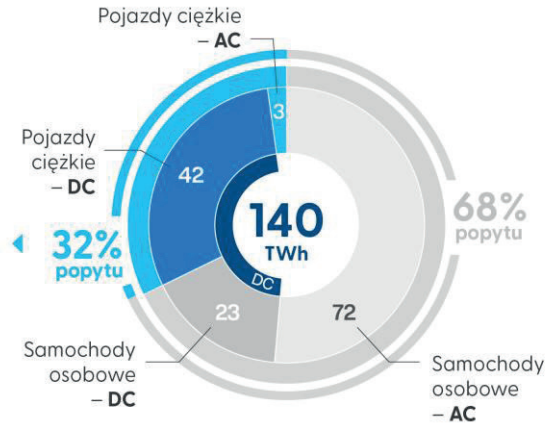
Prognoza rozwoju floty elektrycznych pojazdów ciężkich w Europie

Pojazdy o DMC > 6 ton
(w tys.)



Całkowite zapotrzebowanie energetyczne w Europie w 2030 r.

(w TWh)



Europa: EU27 + Norwegia, Szwajcaria i Wielka Brytania

Źródło: The future of automotive mobility, Arthur.D.Little

Rysunek 9. Prognoza rozwoju floty elektrycznych pojazdów o dużej ładowności i zapotrzebowania energetycznego pojazdów elektrycznych w Europie w 2030 r.

Źródło: <https://elektromobilni.pl/elektryczne-ciezarowki-na-horyzoncie/>

Kolejną barierą przy rozwoju infrastruktury ładowania zarówno niskiej, jak i wysokiej mocy jest bardzo znaczący wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną (rys. 9). Rozwój ten uzależniony jest dostępu do sieci energetycznych, ich wydajności oraz długich i skomplikowanych procedur w zakresie pozyskania zezwoleń, a następnie budowy i podłączenia stacji ładowania. Prognoza zakłada, że nastąpi wzrost udziału ciężkich pojazdów elektrycznych we flocie z obecnego poziomu 0,2% do 9,2% do 2030 r., a do zasilania pojazdów elektrycznych będzie wówczas potrzeba 140 TWh.^{48,49}

W Polsce Miejsca Obsługi Pasażerów (MOP) podzielone są na trzy kategorie, przy czym:⁵⁰

⁴⁸ <https://elektromobilni.pl/elektryczne-ciezarowki-na-horyzoncie/>

⁴⁹ <https://kempower.com/electric-truck-charging-what-to-know/>

⁵⁰ <https://www.compero.pl/poradnik/miejsca-obslugi-pasazerow>

- I kategoria – pełni funkcję wypoczynkową z urządzeniami higieniczno-sanitarnymi na powierzchni, która nie przekracza 2 ha,
- II kategoria – pełni funkcję wypoczynkowo-usługową, a na powierzchni 3 ha posiada co najmniej stację paliw, położoną po jednej lub dwóch stronach autostrady,
- III kategoria – jest zawsze po dwóch stronach autostrady, zawiera elementy II kategorii oraz dodatkowo obiekty zapewniające miejsca noclegowe i inne rodzaje usług rozmieszczone na powierzchni do 5 ha.

Projekty hubów ładowania zakładają powstanie infrastruktury dla elektrycznych pojazdów ciężarowych na MOP III kategorii oraz na MOP I kategorii, które docelowo byłyby dedykowane, jako miejsca do ładowania pojazdów elektrycznych. Idea MOP zakłada, że ładowarki wysokiej mocy zapewnią efektywne ładowanie baterii o pojemności ponad 500 kWh w czasie nieprzekraczającym 45 minut, czyli czasu, który wynika z obowiązkowego odpoczynku kierowcy (tzw. paury) podczas dnia pracy.⁵¹

Perspektywy rozwoju globalnego rynku elektrycznych samochodów ciężarowych

W październiku 2024 r. opublikowany został globalny raport rynkowy pt. *Market Research Report* przez firmę konsultingową MARKET.US. Raport charakteryzuje rynek elektrycznych ciężarówek z podziałem na:⁵²

- rodzaj napędu - pojazdy elektryczne zasilane akumulatorowo (BEV), samochody hybrydowe typu plug-in (PHEV) oraz pojazdy elektryczne na ogniwa paliwowe (FCEV),
- typ pojazdu - ciężarówki lekkie, średnie i ciężkie,
- zasięg - 150 mil (241 km), 151-300 mil (241-483 km), powyżej 300 mil (483 km),
- ocenę rynku, trendy i prognozy na lata 2024-2033.

Globalny rynek elektrycznych samochodów ciężarowych w 2023 r. osiągnął poziom 0,9 mld USD. Przy założeniu średniorocznej stopy wzrostu (*ang. Compound Annual Growth Rate CAGR*) na poziomie 31,3% w kolejnych latach dla okresu objętego prognozą (2024-2033) będzie to oznaczało, że osiągnie on za dekadę wartość na poziomie 13,7 mld USD (rys. 10).

Na rynku oferowane są pojazdy w trzech kategoriach, jako elektryczne zasilane akumulatorowo (BEV), samochody hybrydowe typu plug-in (PHEV) oraz pojazdy elektryczne na ogniwa paliwowe (FCEV), ale występuje bardzo wyraźna dominacja popytu na pojazdy z pełnym napędem elektrycznym, czyli o zerowej emisji CO₂. Prognozowany jest docelowy udział pojazdów BEV na poziomie rzędu 75%.

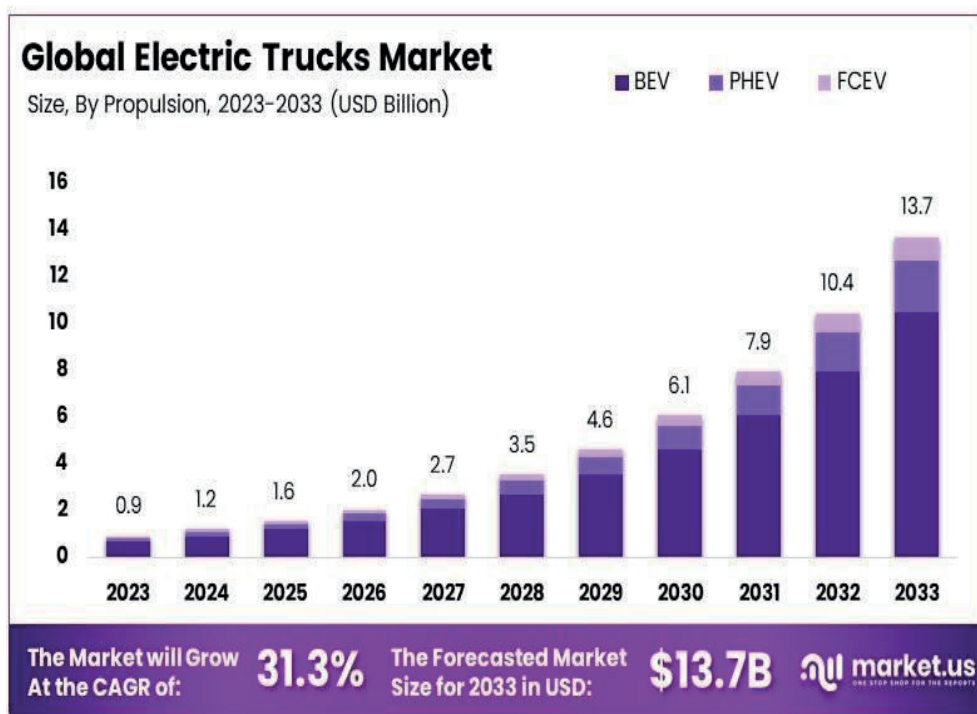
Rynek elektrycznych samochodów ciężarowych obejmuje ich produkcję, sprzedaż i obsługę serwisową, a rozwijany jest w segmentach dostawczych pojazdów lekkich i średnich oraz ciężkich ciągników siodłowych, realizujących transport długodystansowy. W 2023 r. na rynku użytkowano najwięcej lekkich samochodów ciężarowych, które znalazły zastosowanie przede wszystkim, jako pojazdy dostawcze w miastach (rys. 11).⁵³

⁵¹ <https://elektromobilni.pl/elektryczne-ciezarowki-na-horyzoncie/>

⁵² <https://market.us/report/electric-trucks-market/>

⁵³ <https://market.us/report/electric-trucks-market/>

Od kilku lat pojazdy elektryczne wykorzystują firmy kurierskie, m.in.: UPC, Amazon i DHL. Wprowadziły one do swoich flot już tysiące pojazdów i obsługują nimi dostawy przesyłek na terenie miast na ograniczonym dystansie dziennym stosownie do pojemności baterii.⁵⁴



Rysunek 10. Globalny rynek elektrycznych samochodów ciężarowych w aspekcie wartości i struktury w prognozie na lata 2023 - 2033 opracowany przez firmę konsultingową MARKET.US

Źródło: <https://market.us/wp-content/uploads/2024/10/Electric-Trucks-Market-By-Size.jpg>

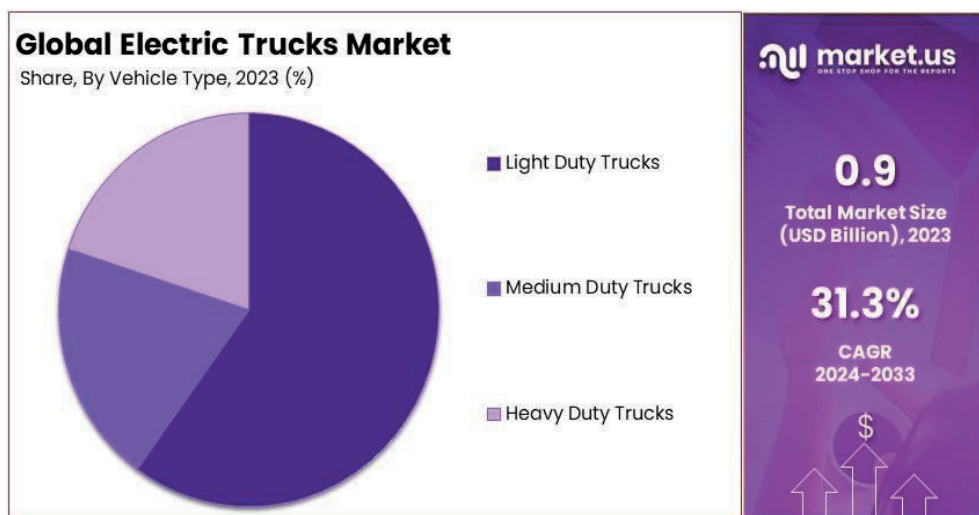
Raport „Global Heavy-Duty Electric Vehicle Charging Infrastructure Market” opublikowany przez Spherical Insights & Consulting, podkreśla, że globalny rynek infrastruktury ładowania elektrycznych ciągników siodłowych, który w 2022 r. był na poziomie 2,57 mld USD wzrośnie do 45,11 mld USD w 2032 r., przy założeniu średniorocznej stopy wzrostu (CAGR) o wartości 33,18% na przestrzeni kolejnych lat dla prognozowanej dekady.⁵⁵

Rozwój rynku samochodów ciężarowych z napędem elektrycznym posiadając potencjał technologiczny w postaci kolejnych modeli wprowadzanych do sprzedaży wkroczył w fazę

⁵⁴ Juściński S.: Pojazdy z napędem alternatywnym, jako przykład zrównoważonego rozwoju logistycznych łańcuchów dostaw, [w:] Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej, Dzieniszewski G., Kubon M. (red.), ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 137-166, 2020.

⁵⁵ <https://www.sphericalinsights.com/press-release/heavy-duty-electric-vehicle-charging-infrastructure-market>

szybkiego rozwoju, ponieważ wprowadzone zostały wysokie wymagania dotyczące redukcji poziomu szkodliwych substancji emitowanych z silników spalinowych.



Rysunek 11. Globalny rynek elektrycznych samochodów ciężarowych w aspekcie podziału na pojazdy lekkie, średnie i ciężkie w 2023 r. opracowany przez firmę konsultingową MARKET.US

Źródło: <https://market.us/wp-content/uploads/2024/10/Electric-Trucks-Market-By-Size.jpg>

Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (*ang. U.S. Environmental Protection Agency EPA*) wprowadziła przepisy zgodnie, z którymi do 2032 r. 60% nowych ciężarówek dostawczych na terenie miast i 25% ciągników siodłowych realizujących dostawy na długich trasach musi posiadać napęd elektryczny. EPA podkreśla szczególne znaczenie przepisów na terenie USA dla segmentu pojazdów klasy 7 o DMC 12-15 ton (samochody ciężarowe) i klasy 8 dla ciężarówek o DMC powyżej 15 ton (ciągniki siodłowe).

Unia Europejska zatwierdziła normy mające doprowadzić do redukcji emisji CO₂ z silników pojazdów ciężarowych o 45% do 2030 r. i aż o 90% do 2040 r. W skali światowej transport ciężarowy towarów po 2000 r. odpowiada za ponad 80% wzrostu emisji CO₂ z uwagi na fakt, że posiada bardzo wysoki udział w wykonywanej pracy przewozowej. Międzynarodowa Agencja Energetyczna z siedzibą w Paryżu (*ang. International Energy Agency IEA*) potwierdziła, że w 2023 r. sprzedaż ciężarówek elektrycznych wzrosła o 35% w odniesieniu do 2022 r. i osiągnęła poziom 54 000 sztuk. Ponadto po raz pierwszy zakupiono na rynku więcej ciężarowych samochodów elektrycznych niż autobusów elektrycznych.^{56,57,58}

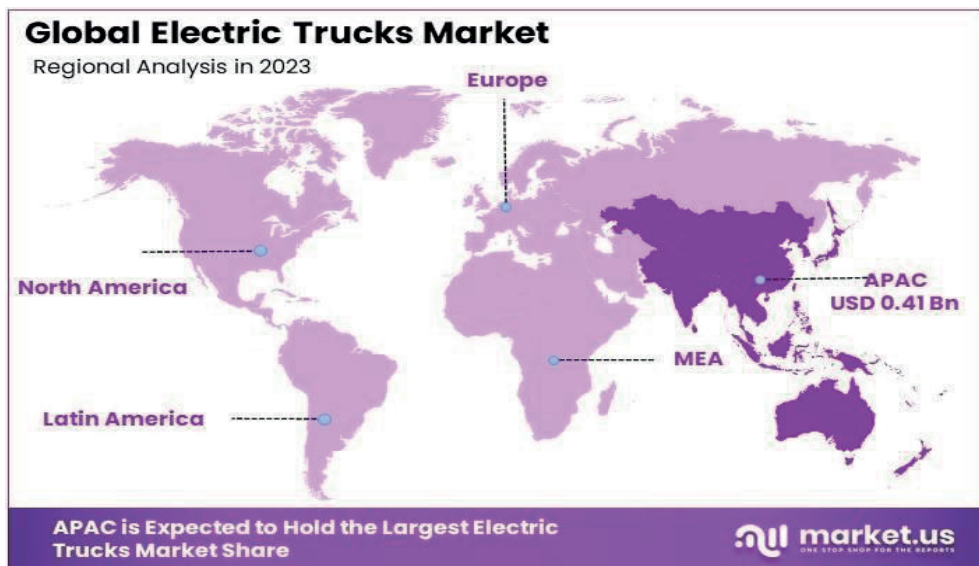
Największym rynkiem sprzedaży elektrycznych pojazdów ciężarowych były Chiny z udziałem w 2022 r. na poziomie 85% oraz w 2023 r. na poziomie 70% globalnego popytu.

⁵⁶ <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>

⁵⁷ <https://www.iea.org/reports/road-transport>

⁵⁸ <https://www.cognitivemarketresearch.com/regional-analysis/europe-electric-trucks-market-report>

W 2023 r. region Azji i Pacyfiku (APAC) był liderem w układzie globalnym z udziałem ilościowym w sprzedaży na poziomie 45,2% oraz wartościowym na poziomie 0,41 mld USD (rys. 12).



Rysunek 12. Globalny rynek elektrycznych samochodów ciężarowych w aspekcie podziału na regiony geograficzne w 2023 r. opracowany przez firmę konsultingową MARKET.US

Źródło: <https://market.us/wp-content/uploads/2024/10/Electric-Trucks-Market-By-Regional-Analysis.jpg>

Czołowi producenci ciężarowych pojazdów elektrycznych to:⁵⁹

- Volvo AB (Volvo Aktiebolaget),
- BYD Motors Inc.,
- Daimler Truck AG,
- Dongfeng Motor Corporation,
- First Automotive Works Group Co., Ltd.,
- FOTON Motor Inc.,
- Isuzu Motors Ltd,
- Navistar Inc.,
- PACCAR Inc. (Grupa firm: Kenworth Truck Company, Peterbilt i DAF Trucks),
- Scania Aktiebolag,
- NIKOLA Corporation,
- SAIC HONGYAN Automotive Co., Ltd.

⁵⁹ <https://market.us/report/electric-trucks-market/>

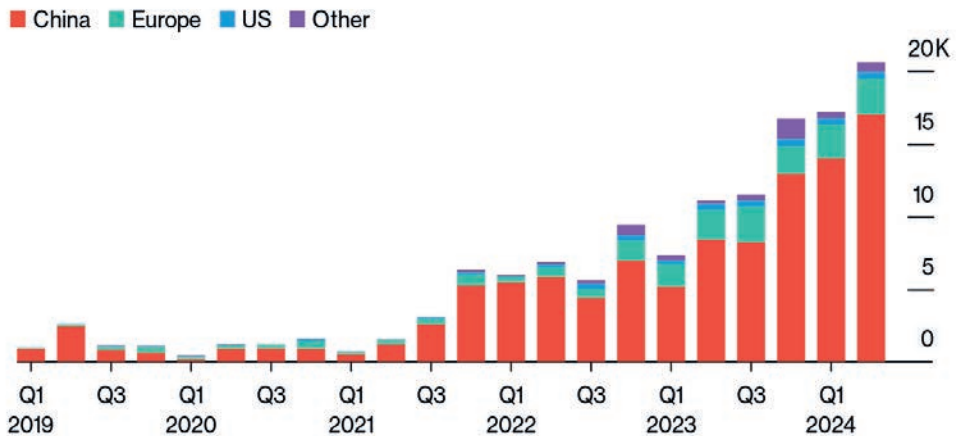
Do głównych dostawców na globalnym rynku infrastruktury ładowania ciężkich pojazdów elektrycznych należą m.in.: ABB, Siemens, Kempower OY, Tesla, Chargepoint, Inc., BP, Daimler Trucks, Proterra, Schunk Group, EFACEC, Kehua Hengsheng Co., Ltd., Shijiazhuang Tonhe Electronic Technologies Co., Ltd., State Grid Corporation of China, TGOOD Global Ltd, Shell, Webasto, Blink Charging.

Rynek elektrycznych ciągników siodlowych

Globalny dostawca badań firma BloombergNEF (BNEF) w raporcie opublikowanym 18 września 2024 r. pt.: „Zero-Emission Commercial Vehicles The Time Is Now” scharakteryzowała światowy rynek sprzedaży ciężarówek elektrycznych i z ogniwami paliwowymi (rys. 13). Należy podkreślić, że 82% tego rynku przypada obecnie na Chiny. Pojazdy zero-emisyjne, a szczególnie ciężarówki elektryczne to segment rynku otrzymujący wszechstronne wsparcie rządu, a jest wykorzystywany w portach, na terenach przemysłowych oraz w miastach. Sprzedaż ciężarówek elektrycznych i z ogniwami paliwowymi w latach 2019-2021 na całym świecie była na bardzo niskim poziomie. Znaczący trend wzrostowy odnotowany został w latach 2022-2023, natomiast pierwsze dwa kwartały 2024 r. upoważniają do stwierdzenia, że będzie to kolejny rok potwierdzający taką tendencję.

China Dominates the Clean Truck Market

Quarterly sales of medium- and heavy-duty battery electric and fuel-cell trucks



Source: BloombergNEF

Note: Excludes light commercial vehicles.

BloombergNEF

Rysunek 13. Rynek sprzedaży elektrycznych i wodorowych samochodów ciężarowych z podziałem na Chiny, Europę, USA i pozostałe kraje w układzie kwartalnym dla lat 2019- 2024

Źródło: <https://about.bnef.com/blog/where-are-we-on-the-road-to-cleaner-trucking/>

W układzie ilościowym rynek ciężarowych pojazdów zeroemisyjnych pomimo spektakularnego wzrostu w zestawieniach rok do roku nadal należy postrzegać, jako niszowy z uwagi na fakt, że na terenie całej UE w 2023 r. sprzedano ich zaledwie 8 000 szt., w USA mniej niż 1 000 szt., a w Japonii, Indiach, Kanadzie i Australii nabywców znalazło zaledwie po kilkadziesiąt elektrycznych ciągników siodłowych. W Polsce w 2023 r. było zarejestrowanych ogółem 105 ciężarówek elektrycznych.⁶⁰ Od kilku lat utrzymuje się również porównywalny udział procentowy w strukturze pojazdów zeroemisyjnych. Elektryczne ciągniki siodłowe stanowią 92%, ciągniki z napędem wodorowym 5%, a ciężarówki hybrydowe typu Plug-in zaledwie 3% i są oferowane niemal wyłącznie na terenie Chin.⁶¹ Na rynku europejskim i amerykańskim czołowi producenci: Volvo Trucks, Renault Trucks, Mercedes-Benz Trucks, MAN, DAF, Scania, IVECO, oraz Tesla, Freightliner i Peterbilt wprowadzili do sieci sprzedaży ciągniki siodłowe z napędem elektrycznym. Rynek ciężkich pojazdów dostawczych w USA to segment klasy 7 o DMC 12-15 ton (samochody ciężarowe) i klasa 8 dla ciężarówek o DMC powyżej 15 ton (ciągniki siodłowe).



Rysunek 14. Mercedes eActros 600 na trasie rajdu pojazdów elektrycznych EV Rally 2024 na dystansie 1400 mil (2254 km) przez Wielką Brytanię

Źródło: <https://www.truckmo.com/pl/decals/firma/m/72741/truckmo-decals-mercedes-benz-european-testing-tour-2024-mercedes-benz-eactros-600-box-trailer-100728>

Mercedes-Benz w 2021 r. rozpoczął seryjną produkcję modelu eActros 600 (rys. 14) będącego elektrycznym ciągnikiem siodłowym przeznaczonym do transportu na dalekich trasach. Generuje on 544 KM mocy ciągłej, a wyposażony jest w akumulatory litowo-żelazowo-fosforanowe o łącznej pojemności 621 kWh, co pozwala na pokonanie trasy o długości

⁶⁰ <https://pitd.org.pl/news/elektryfikacja-ciezarowek-w-polsce-gdzie-jestesmy-teraz/>

⁶¹ https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/Commercial_ZEV_Factbook.pdf

500 km bez doładowywania. Na obecnym etapie rozwoju rynku ciągnik może być zasilany ładowarką o mocy do 400 kW, natomiast konstrukcyjnie jego instalacja dostosowana jest do parametrów ładowarki o mocy do 1 MW. Dzięki temu będzie możliwe naładowanie akumulatorów pojazdu do poziomu 80% w czasie około 30 min. Firma Mercedes zakłada, że ciągnik będzie mógł przejechać ponad 1000 km (621 mil) w ciągu jednego dnia, z zachowaniem wymaganej przez prawo przerwy dla kierowców (pauzy) oczywiście przy zapewnieniu dostępu do superszybkich stacji ładowania. Ciągnik Mercedes-Benz eActros 600 jest przystosowany do obsługi zestawu o masie 44 ton, a ładowność standardowej naczepy 22 tony.^{62,63}

W ramach promocji modelu Mercedes eActros 600 w dniach 1-5 lipca 2024 r. pomyslnie ukończył wymagający pięciodniowy rajd pojazdów elektrycznych EV Rally 2024 na dystansie 1400 mil (2254 km) przez Wielką Brytanię. Zestaw o masie 40 ton korzystał z ładowarek o mocy 350 kW, co pozwoliło na osiągnięcie 60% naładowania akumulatorów w czasie około jednej godziny.⁶⁴

Parametry techniczne elektrycznych ciągników siodłowych czołowych koncernów motoryzacyjnych zestawione w tabeli 1 upoważniają do stwierdzenia, że rynek oferuje modele pojazdów o różnych parametrach eksploatacyjnych. Ciągniki siodłowe realizują większość pracy przewozowej na długich dystansach, stąd oczekiwanie ze strony firm transportowych, aby zapewniały stosowny poziom mocy i zasięg bez konieczności uzupełniania energii. Porównane ciągniki siodłowe dysponują mocą silnika od 350 kW/480 KM do 600 kW/816 KM, zapewniając przebieg na dystansie od 300 km do 500 km. Wszystkie modele to ciągniki dwuosiowe, które mogą współpracować z naczepą dwu lub trzy osiową. Należy podkreślić, że producenci deklarowany przebieg bez konieczności doładowania pojazdu odnoszą do zestawu o DMC 42 ton. Pojazdy wyposażone są w 4-6 akumulatorów litowo-jonowych lub od 5-9 pakietów baterii o różnej pojemności jednostkowej. Koncern DAF, jako pierwszy zastosował innowacyjną technologię akumulatorów LFP, czyli litowo-żelazowo-fosforanowych. Technologia taka eliminuje szkodliwe pierwiastki (np. kobalt), a także rzadkie pierwiastki (np. mangan i nikiel). Wszyscy producenci deklarują żywotność zestawów baterii przez okres od 10 do 14 lat.

Osobny problem stanowi czas ładowania i poziom uzyskanego naładowania akumulatorów. Najlepsze rozwiązania konstrukcyjne akumulatorów w zakresie gromadzenia energii zastosowano w ciągnikach siodłowych koncernów: Mercedes-Benz, DAF, Scania i IVECO. W tych ciągnikach posiadających akumulatory o dużej pojemności uzyskano najkrótsze czasy ładowania. Należy podkreślić, że czas ładowania będzie ulegał redukcji w przypadku powszechnego dostępu do ultraszybkich ładowarek o dużej mocy.^{65,66,67,68,69,70}

⁶² <https://www.autoweek.com/news/a45508980/mercedes-benz-electric-semi-truck-long-haul/>

⁶³ <https://www.electrive.com/2024/04/22/mercedes-benz-eactros-600-charges-at-one-megawatt/>

⁶⁴ <https://www.daimlertrucksnewcastle.com.au/blog-posts/mercedes-eactros-600-proves-durability-ev-rally>

⁶⁵ <https://www.mercedes-benz-trucks.com/pl>

⁶⁶ <https://www.renault-trucks.pl>

⁶⁷ <https://www.iveco.com/poland>

⁶⁸ <https://www.volvotrucks.pl>

⁶⁹ <https://www.man.eu/pl>

⁷⁰ <https://www.daftrucks.pl/>

Tabela 1. Parametry techniczne elektrycznych ciągników siodłowych czołowych producentów

Marka i model ciągnika siodłowego	Moc silnika (kW/KM)	Zasięg na jednym ładowaniu (km)	Pojemność pakietu akumulatorów (kWh)	Moc ładowarki DC (kW)	Czas ładowania /poziom naładowania akumulatorów
Mercedes-Benz eActros 600	600/816	500	621	400	1 h do 80%
				1000	0,5 h od 20 do 80%
Renault Trucks T E-Tech	490/666	300	540	250	2,5 h do 100%
IVECO S e-Way	480/645	500	738	350	1,5 h do 80%
Volvo FH Aero Electric	490/666	300	540	250	2,5 h do 100%
MAN eTGX	400/544	400	480	375	1,5 h do 100%
				750	3/4 h do 100%
DAF XF Electric	350/480	300	525	325	3/4 h do do 80%
Scania 45S	540/612	440	624	350	1 h 20 min. do 100%

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych technicznych producentów: Mercedes-Benz, Renault Trucks, Iveco, Volvo, MAN, DAF, Scania.

Alternatywną koncepcję napędu elektrycznego w ciągnikach siodłowych poprzez modyfikację infrastruktury drogowej w zakresie źródła zasilania, uzyskano poprzez modyfikację instalacji napowietrznej, użytkowanej od kilkudziesięciu lat w komunikacji miejskiej z wykorzystaniem trolejbusów. Pierwsza niemiecka zelektryfikowana droga, znajdująca się w pobliżu Frankfurtu, została oddana do użytku na początku lipca 2020 r. Fragment autostrady A5 w Hesji jest jednym z trzech odcinków z siecią trakcyjną testowanych w Niemczech. Drugi otwarto w Szlezwiku-Holsztynie (A1). Ostatni test rozpoczął się pod koniec 2020 r. w Badenii-Wirtembergii (droga B462) (rys. 15).⁷¹ Sieć trakcyjna w pełni współdziała z pięcioma hybrydowymi Scaniami R 450 wyposażonymi w pantografy. Testy na autostradach prowadzone są w celu wszechstronnej oceny tej technologii w aspekcie użytkowym i ekonomicznym. Docelowo planowane jest wyposażenie około jednej trzeciej niemieckich autostrad w zelektryfikowane sieci trakcyjne. Dzięki temu w przyszłości około 80% zarejestrowanych w Niemczech pojazdów ciężarowych będzie mogło zasilać układ napędowy energią elektryczną z wykorzystaniem sieci trakcyjnej. Wstępne szacunki wdrożenia tej technologii zakładają, że sieci napowietrzne zwiększyłyby koszt budowy 1 km autostrady o około 10%.⁷²

⁷¹ <https://fleet.com.pl/wiadomosci/w-niemczech-otwarto-pierwsza-elektryczna-autostrade>

⁷² <https://truckfocus.pl/nawosci/56175/pierwsza-elektryczna-autostrada-juz-dziala>



Rysunek 15. Pierwszy w Niemczech zelektryfikowany odcinek drogi testowany przez elektryczne ciągniki siodłowe Scania

Źródło: https://truckfocus.pl/wp-content/uploads/2020/08/elektryczna-autostrada-w-niemczech_scania.jpg

Przewagę w długim horyzoncie czasowym w zakresie całkowitych kosztów eksploatacji UE chce zapewnić poprzez zmianę przepisów w katalogu opłat drogowych. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/362 z dnia 24 lutego 2022 r. w sprawie zmiany dyrektyw 1999/62/WE, 1999/37/WE i (UE) 2019/520 w odniesieniu do pobierania opłat za użytkowanie niektórych typów infrastruktury przez pojazdy zobowiązuje wszystkie państwa członkowskie do wdrożenia opłat drogowych zależnych od emisji CO₂ dla wszystkich pojazdów o DMC powyżej 3,5 tony. Kraje powinny wprowadzić takie zmiany do 25 marca 2024 r.

Opłaty mogą być pobierane w trzech różnych kategoriach:

- infrastrukturalnej - zależnej od emisji CO₂ przez pojazd,
- za koszty zewnętrzne - wynikające z zanieczyszczenia powietrza, hałas i zmiany klimatyczne;
- za zatory komunikacyjne na wybranych odcinkach dróg.

Pojazdy ciężarowe będą podzielone na pięć klas emisji CO₂ różnicujących poziom opłat drogowych. Istotny jest fakt zaliczenia do klasa V pojazdów zasilanych elektrycznie lub wodorem, czyli zeroemisyjnych. Grupa V będzie zwolniona z opłat drogowych do 31 grudnia 2025 r., a po tej dacie będzie obciążona tylko 25% stawki opłaty drogowej w kategorii kosztów infrastrukturalnych.⁷³

⁷³ Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/362 z dnia 24 lutego 2022 r. w sprawie zmiany dyrektyw 1999/62/WE, 1999/37/WE i (UE) 2019/520 w odniesieniu do pobierania opłat za



Rysunek 16. Manhattan Beer Distributors, jako pierwsza firma na wschodnim wybrzeżu USA wprowadziła do swojej działalności elektryczny ciągnik siodłowy w 2021 r.

Źródło: <https://www.fleetowner.com/emissions-efficiency/article/21172225/volvo-delivers-first-electric-heavy-duty-truck-to-new-york-city>

Inne formy wspierające zakup i użytkowanie pojazdów elektrycznych na terenach zurbanizowanych w USA to dotacje realizowane ze środków federalnych, stanowych lub miejskich. Problem zanieczyszczenia powietrza stanowi szczególne zagrożenie na terenie największych aglomeracji miejskich stąd dążenie lokalnych władz do dekarbonizacji procesów transportowych. Pojazdy ciężkie, czyli autobusy i samochody ciężarowe są odpowiedzialne za emisję około 25% gazów cieplarnianych pochodzących z transportu. W 2022 r. rząd Stanów Zjednoczonych przyznał 1,5 mld USD dotacji na modernizację flot i infrastruktury autobusowej w całym kraju. Inne formy lokalnych programów to na przykład możliwość korzystania przez elektryczne ciężarówki z wydzielonych parkingów, co zostało zaproponowane w Nowym Jorku (rys. 16).^{74,75,76}

Podsumowanie

Ciągniki siodłowe w klasie pojazdów zeroemisyjnych reprezentowane są przez dwie technologie pozyskiwania energii: ciągniki elektryczne z zestawem akumulatorów oraz pojazdy z napędem wodorowym. Pomimo, że napęd wodorowy jest w rzeczywistości innym

użytkowanie niektórych typów infrastruktury przez pojazdy (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32022L0362>)

⁷⁴ <https://www.fleetowner.com/emissions-efficiency/article/21172225/volvo-delivers-first-electric-heavy-duty-truck-to-new-york-city>

⁷⁵ <https://fppe.pl/kalifornia-koniec-ciezarowek-spalinowych-juz-przesadzony/>

⁷⁶ <https://elektromobilni.pl/usa-dekarbonizuja-transport-zbiorowy/>

rodzajem napędu elektrycznego, to charakteryzuje go szereg istotnych różnic w procesie pozyskiwania, przetwarzania i wykorzystania energii. Najważniejsze wady napędu wodorowego to niska wydajność procesu wykorzystania energii oraz bardzo mała ilość stacji dystrybucji wodoru. Na obecnym etapie komercyjne wykorzystanie elektrycznych ciągników siodłowych z zestawem akumulatorów uzyskało dzięki temu wyraźną przewagę ilościową nad pojazdami wodorowymi. Jednocześnie należy podkreślić, że pomimo szeregu zalet ciągniki z napędem elektrycznym nadal wymagają wielu prac nad rozwiązaniem istotnych problemów oraz barier utrudniających ich efektywną eksploatację.^{77,78}

Zagadnienia, które powinny zostać poddane wnikliwej ocenie, to:⁷⁹

- niski popyt rynkowy wynikający z o kilkadziesiąt procent wyższej ceny nowych pojazdów z napędem elektrycznym w stosunku do posiadających silnik Diesla w tej samej klasie ładowności,
- krótszy całkowity okres użytkowania elektrycznych ciężarówek niż ciągników z silnikiem spalinowym, wynikający z zakładanej trwałości eksploatacyjnej akumulatorów (prognozy dla obecnie produkowanych akumulatorów zawierają się w granicach od co najmniej 10 lat do nie więcej niż 14 lat), a ponadto na obecnym etapie trudno ocenić ich niezawodność nawet w deklarowanym czasie użytkowania,
- brak wiarygodnych informacji na temat przyszłych kosztów naprawy lub wymiany zestawu baterii, które są najdroższym zespołem samochodu,
- wysokie koszty ładowania w przypadku korzystania z szybkich ładowarek,
- konieczność uzyskania przez kierowców dodatkowych uprawnień w zakresie obsługi urządzeń elektrycznych (do 1 kV) dla ładowarek wysokiej mocy,
- deklarowany przez producentów zasięg bez konieczności ładowania baterii zakłada liczne ograniczenia w zakresie poboru energii przez inne zespoły w samochodzie gdyż jej deficyt będzie wzrastał na przykład przy częstym używaniu hamulców lub wysokim poziomie wykorzystania klimatyzacji,
- niskie temperatury w okresie zimowym to większe zużycie energii i dłuższy czas ładowania akumulatorów oraz obniżenie ich sprawności użytkowej.

Ciągniki siodłowe z napędem elektrycznym będąc w grupie pojazdów kluczowych dla transportu długodystansowego towarów będą podlegały stopniowemu rozwojowi. Należy przypuszczać, że rozwój technologii akumulatorów i rozbudowa infrastruktury szybkiego ładowania przyspieszą rozbudowę ilościową tego segmentu. Rządy poszczególnych państw UE oraz innych regionów świata wprowadzają dotacje, ulgi podatkowe i granty, które mają na celu promowanie i obniżanie początkowego kosztu wprowadzania elektrycznych ciągników siodłowych do floty w poszczególnych firmach transportowych. Różnica w cenie zakupu i kosztach użytkowania oczywiście będzie zależna m.in. od poziomu cen paliwa i cen

⁷⁷ https://mojafirma.infor.pl/wiadomosci/5586574,Logistyka-drogowa-w-UE-samochody-elektryczne-dekarbonizacja-Fit-for-55-ograniczenie-emisji-CO2.html#google_vignette

⁷⁸ Albatayneh A., Juaidi A., Jaradat M., Manzano-Agugliaro F.: Future of Electric and Hydrogen Cars and Trucks: An Overview. *Energies*, 16, 3230. <https://doi.org/10.3390/en16073230>, 2023.

⁷⁹ Brach J.: Zastosowanie paliw alternatywnych i alternatywnych zespołów napędowych w samochodach ciężarowych klas tonażowych średniej i ciężkiej w warunkach zachodnioeuropejskich. Wyzwania i ograniczenia – aspekty praktyczne, Wyd. Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, ISBN: 978-83-67400-02-2, 2022.

energii elektrycznej. Kluczowym zagadnieniem jest również redukcja czasu uzupełniania energii, ponieważ w przeciwieństwie do tradycyjnych ciężarówek spalinowych, które można zatankować w ciągu kilku minut, proces ładowania baterii jest co najmniej kilka razy dłuższy. Wykorzystanie czasu pracy na jazdę z ładunkiem wpływa wprost na wydajność ekonomiczną floty i stąd istotny jest niczym nie ograniczy dostęp jej użytkowania. Należy podkreślić, że transport w łańcuchach logistycznych dostaw towarów funkcjonuje obecnie w ramach bardzo wymagających czasowo harmonogramów i stąd uzasadniona obawa przed dodatkowym zagrożeniem deficytu czasowego. Kolejnym problemem jest konieczność uwzględnienia w harmonogramach okna czasowego w korelacji do istniejącej na danym terenie sieci ogólnodostępnych stacji szybkiego ładowania. Utrudnieniem jest fakt, że każdy pojazd zajmuje takie miejsce podczas ładowania znacznie dłużej w przeciwieństwie do tradycyjnych ciężarówek spalinowych, które można zatankować z dystrybutora w ciągu kilku minut. Rotacja pojazdów na stacjach ładowania jest zatem dużo wolniejsza niż na stacjach paliw. Przeszkodą we wdrażaniu może być nawet czynnik behawioralny, wynikający z konieczności dostosowania się kierowców do nowej technologii i zmian w sposobie pracy. Ciągniki siodłowe z napędem elektrycznym mogą być w przyszłości znaczącym segmentem w grupie ciężkich pojazdów dostawczych pod warunkiem, że ich całkowity koszt posiadania (*ang. Total Cost of Ownership TCO*) będzie konkurencyjny w stosunku do pojazdów spalinowych lub innych rozwiązań w zakresie transportu ładowego.

Bibliografia

- Aguilar P., Groß B.: Battery electric vehicles and fuel cell electric vehicles, an analysis of alternative powertrains as a mean to decarbonise the transport sector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53, 102624, 2022.
- Albatayneh A., Juaidi A., Jaradat, M., Manzano-Agugliaro, F.: Future of Electric and Hydrogen Cars and Trucks: An Overview. *Energies*, 16, 3230. <https://doi.org/10.3390/en16073230>, 2023.
- Banaszyk P., Kauf S., Szołtysek J.: *Logistyka jako czynnik dobrostanu*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2462-9, Warszawa, 2021.
- Brach J.: Zastosowanie paliw alternatywnych i alternatywnych zespołów napędowych w samochodach ciężarowych klas tonażowych średniej i ciężkiej w warunkach zachodnioeuropejskich. *Wyzwania i ograniczenia – aspekty praktyczne*, Wyd. Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, ISBN: 978-83-67400-02-2, 2022.
- Chakraborty S., Kumar N. M., Jayakumar A., Dash S. K., Elangovan D.: Selected aspects of sustainable mobility reveals implementable approaches and conceivable actions, *Sustainability*, 13(22), 12918, 2021.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/362 z dnia 24 lutego 2022 r. w sprawie zmiany dyrektyw 1999/62/WE, 1999/37/WE i (UE) 2019/520 w odniesieniu do pobierania opłat za użytkowanie niektórych typów infrastruktury przez pojazdy (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32022L0362>)
- Gąsowska M.K.: *Zarządzanie procesami logistycznymi we współczesnych przedsiębiorstwach*, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8270-091-6, Warszawa, 2022.
- Gołębska E., Gołębski M.: *Transport w logistyce*, CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-343-6, Warszawa, 2020.
- Juściński S.: *Analiza systemów kompleksowego zarządzania logistycznego flotą pojazdów*. [w:] *Mechatronika i Telematyka w Logistyce*, Dzieńiszewski G., Kuboń M. (red.) ISBN 978-83-64377-440, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 81-97, 2019.

- Juściński S.: Autonomiczne pojazdy ciężarowe jako innowacyjne wsparcie logistycznych łańcuchów dostaw, [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M.: (red.): Procesy logistyczne w przemyśle. Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-55-6, s. 55-83, 2023.
- Juściński S.: Platformy internetowe, jako system wspomagania informatycznego w branży transport-spedycja-logistyka. [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, s. 125-154, 2021.
- Juściński S.: Pojazdy z napędem alternatywnym, jako przykład zrównoważonego rozwoju logistycznych łańcuchów dostaw, [w:] Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej, Dzieniszewski G., Kubon M. (red.), ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 137-166, 2020.
- Kłóska R. (red.): Infrastruktura transportowa i cyfrowa jako czynnik regionalnego i lokalnego rozwoju gospodarczego, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: 978-83-7972-412-3, Szczecin, 2020.
- Kordel Z. (red.): Polski transport samochodowy ładunków, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-283-5, Warszawa, 2019.
- Książkiewicz D.: Rozwój transportu, spedycji i logistyki w dobie cyfryzacji i globalnej gospodarki, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN: 978-83-8206-379-0, Gdańsk, 2021.
- Łapko A., Wagner N.: Logistyka dystrybucji, Trendy - Wyzwania – Przykłady, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-516-4, Warszawa, 2021.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1804 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych
- Sadowska B.: Rachunek kosztów logistycznych w przedsiębiorstwie, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-432-7, Warszawa, 2021.
- Seyitoglu F., Eren, K., Luttenberger F. et al. : Distributed Battery Systems for Fully Electric Heavy-duty Trucks. ATZ Heavy Duty world, 10–17, 2020. <https://doi.org/10.1007/s41321-020-0096-5>
- Tundys B., Rzczycki A., Drobiazgiewicz J.: Decyzje strategiczne w łańcuchach dostaw, Wydawnictwo edu-Libri, ISBN: 978-83-65648-53-2, Kraków-Legionowo, 2018.
- Wasilewski M.: Tańsza flota ciągników, Logistics manager, Nr 1, luty-kwiecień, str. 86-89, 2018.
- Wojewódzka-Król K., Załoga E. (red.): Transport . Tendencje zmian, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-22033-4, Warszawa, 2022.
- Wroński M.: Transport drogowy na bardzo ostrym wirażu, Transport i Logistyka, Dziennik Gazeta Prawna, Biznes, Nr 82 (6247), str. 9, 25 kwietnia 2022 r.
- <https://ampergo.pl/baza-wiedzy/samochody-elektryczne-vs-auta-wodorowe-na-co-sie-zdecydowac>
- https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/Commercial_ZEV_Factbook.pdf
- <https://www.cognitivemarketresearch.com/regional-analysis/europe-electric-trucks-market-report>
- <https://elektromobilni.pl/elektryczne-ciezarowki-na-horyzoncie/>
- <https://elektromobilni.pl/kiedy-stacje-tankowania-wodoru-pojawia-sie-przy-polskich-drogach/>
- <https://elektromobilni.pl/usa-dekarbonizuja-transport-zbiorowy/>
- <https://eloptibox.pl/blog/afir-co-to-jest-jakie-sa-najwazniejsze-zalozenia/>
- <https://enerad.pl/wiedza/ile-trwa-ladowanie-samochodu-elektrycznego-i-od-czego-zalezy/>
- <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1804>
- <https://fleet.com.pl/wiadomosci/w-niemczech-otwarto-pierwsza-elektryczna-autostrade>
- <https://forsal.pl/transport/aktualnosci/artykuly/9408843,mit-polskiej-samochodozy-obalony-jestesmy-za-to-ciezarowkowym-zagle.html>
- <https://fppe.pl/afir-co-trzeba-wiedziec-o-zmianach-w-rozporzadzeniu-o-infrastrukturze-paliw-alternatywnych-07-2023/>
- <https://kempower.com/electric-truck-charging-what-to-know/>
- <https://market.us/report/electric-trucks-market/>
- <https://milence.com/insight/truck-charging-101/>
- https://mojafirma.infor.pl/wiadomosci/5586574,Logistyka-drogowa-w-UE-samochody-elektryczne-dekarbonizacja-Fit-for-55-ograniczenie-emisji-CO2.html#google_vignette

<https://pitd.org.pl/news/elektryfikacja-ciezarowek-w-polsce-gdzie-jestesmy-teraz/>
<https://press.mantruckandbus.com/corporate/eon-and-man-to-build-public-charging-network-for-electric-trucks-in-europe/>
<https://truckfocus.pl/nowosci/56175/pierwsza-elektryczna-autostrada-juz-dziala>
<https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-2023/>
<https://www.amcsgroup.com/fr/blogs/comprendre-les-objectifs-de-developpement-durable-des-nations-unies-et-leur-pertinence-pour-le-transport-et-la-logistique/>
<https://www.automotiveworld.com/articles/truckings-long-haul-electrification/>
<https://www.autoweek.com/news/a45508980/mercedes-benz-electric-semi-truck-long-haul/>
<https://www.charin.global/>
<https://www.charin.global/technology/mcs/>
<https://www.coface.pl/publikacje-ekonomiczne-i-analizy/raport-coface-niewyplacalnosci-firm-w-polsce-w-2023-roku>
<https://www.compero.pl/poradnik/miejsca-obslugi-pasazerow>
<https://www.daftrucks.pl/>
<https://www.daimlertrucksnewcastle.com.au/blog-posts/mercedes-eactros-600-proves-durability-ev-rally>
<https://www.edri.com/e-truck-charging/>
<https://www.electrive.com/2024/04/22/mercedes-benz-eactros-600-charges-at-one-megawatt/>
<https://www.energy-storage.news/bloombergnef-average-battery-pack-prices-to-drop-below-us-100-kwh-by-2024-despite-near-term-spikes/>
<https://www.fleetowner.com/emissions-efficiency/article/21172225/volvo-delivers-first-electric-heavy-duty-truck-to-new-york-city>
<https://www.gazetaprawna.pl/wiadomosci/kraj/artykuly/9648486,mamy-za-malo-stacji-ladowania.html>
<https://www.globenewswire.com/en/news-release/2023/06/12/2686263/0/en/Global-Heavy-Duty-Electric-Vehicle-Charging-Infrastructure-Market-Size-To-Grow-USD-45-11-Billion-By-2032-CAGR-of-33-18.html>
<https://www.gov.pl/web/gddkia/zalozenia-afir-jak-unijne-rozporzadzenie-wplynie-na-rozwoj-elektromobilnosci-w-polsce>
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>
<https://www.iea.org/reports/road-transport>
<https://www.iveco.com/poland>
<https://www.izg.org.pl/co-to-jest-inflation-reduction-act-ira/>
<https://fppe.pl/kalifornia-koniec-ciezarowek-spalinowych-juz-przesadzony/>
<https://www.man.eu/pl>
<https://www.mercedes-benz-trucks.com/pl>
<https://www.renault-trucks.pl>
<https://www.sphericalinsights.com/press-release/heavy-duty-electric-vehicle-charging-infrastructure-market>
<https://www.volvotrucks.pl>
<https://www.volvotrucks.us/trucks/vnr-electric/#charging>

Adres do korespondencji: e-mail: slawomir.juscinski@up.lublin.pl

ORCID: Sławomir Juściński 0000-0002-2692-9083

ROBOTY WSPÓLPRACUJĄCE (COBOTY) JAKO INNOWACYJNA TECHNOLOGIA WSPIERAJĄCA PROCESY TRANSPORTOWE

Sławomir Juściński¹

¹ Katedra Energetyki i Środków Transportu, Zakład Logistyki i Zarządzania Przedsiębiorstwem, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wstęp

Transport towarów realizowany w ramach łańcuchów logistycznych na poziomie globalnym, krajowym i regionalnym podlegał na przestrzeni ostatnich kilku lat licznym ograniczeniom. Wyzwaniem dla poszczególnych uczestników w procesach przewozowych były bariery społeczne, polityczne i ekonomiczne.^{1,2,3,4} Pierwszym wydarzeniem bez precedensu w logistyce światowej była pandemia COVID-19. Efektem blokady granic były opóźnienia i zerwanie łańcuchów dostaw surowców dla zakładów produkcyjnych oraz poważne problemy w logistyce dystrybucji wyrobów. Wszystkie te zjawiska wynikały z permanentnych opóźnień w transporcie morskim, a następnie lądowym. Wstrzymanie strumienia towarów na szlakach z Azji do Europy wywołało jednocześnie drastyczny wzrost opłat za ładunki przewożone w kontenerach. Stawka za przewóz standardowego kontenera morskiego TEU (*ang. Twenty-foot Equivalent Unit*) przed pandemią na trasie z Chin (np. z portu Shanghai) do Europy Zachodniej (np. do portu Rotterdam) z poziomu 2 500 USD wzrosła w czasie trwania pandemii w 2021 r. do poziomu 16 000 USD.⁵ Należy podkreślić, że wydajność i koszty generowane przez globalne łańcuchy transportowe zależą w znacznym stopniu od przewozów morskich. Przez Kanał Sueski, łączący Morze Śródziemne z Morzem Czerwonym, przepływają towary stanowiące 12% światowego handlu. Gdy kontenerowiec Ever Given osiadł na mieliźnie na 6 dni w 2021 r. wywołał kryzys w łańcuchach dostaw do odbiorców w Europie. Szacunkowe koszty wstrzymania handlu osiągnęły poziom 9,6 mld USD

¹ Skowrońska A.: Zarządzanie makrologistyką w gospodarce globalnej, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, ISBN: 978-83-7695-827-9, Wrocław, 2020.

² Kulińska E., Dendera-Gruszka M.: Zarządzanie ryzykiem łańcuchów dostaw, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8085-969-2, Warszawa, 2019.

³ Sadowska B.: Zrównoważony rachunek kosztów w społecznie odpowiedzialnej logistyce, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: 978-83-7972-476-5, Szczecin, 2021.

⁴ Książkiewicz D.: Rozwój transportu, spedycji i logistyki w dobie cyfryzacji i globalnej gospodarki, Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN: 978-83-8206-379-0, Gdańsk, 2021.

⁵ <https://logistyka.rp.pl/morski/art39657211-ceny-transportu-kontenerow-poszybowały-w-gore>

na każdy dzień blokady. Zgodnie z danymi Lloyd's of London przepływ towarów na zachód od kanału szacuje się na około 5,1 mld USD dziennie, a ruch na wschód na 4,5 mld USD.^{6,7}

Po pierwszych atakach bojowników Huti w październiku 2023 r. na kontenerowce na Morzu Czerwonym, armatorzy przekierowali statki na dłuższą trasę dookoła Afryki. W efekcie ponownie nastąpił kilkukrotny wzrost stawek frachtu morskiego. Trasa do portów Europy Zachodniej przez Kanał Sueski trwa 25 dni, a dookoła Przylądka Dobrej Nadziej co najmniej 38 dni w przypadku nowoczesnych kontenerowców, a jeszcze dłużej dla starszych jednostek, których prędkość na pełnym morzu jest niższa.⁸

Działania wojenne rozpoczęte 24 lutego 2022 r. w Ukrainie spowodowały przerwanie łańcuchów dostaw lądowych towarów z Azji. Nastąpił wysoki i długotrwały wzrost cen paliw dla transportu drogowego. W praktyce uległy ograniczeniu, a następnie zawieszeniu dostawy transportem drogowym i kolejowym w ramach budowanego nowego Jedwabnego Szlaku.^{9,10,11}

Rodzaje działań modyfikujących łańcuchy dostaw

Negatywne procesy mające destrukcyjny wpływ na transport ładunków były impulsem do podjęcia radykalnych kroków, mających na celu zmianę organizacji funkcjonowania łańcuchów dostaw. Wystąpiła tendencja do skracania ich długości, dywersyfikacji źródeł zakupów, reorganizacji częstotliwości dostaw oraz tworzenia zapasów dla pozycji zagrożonych brakiem dostępu zgodnie z metodą JIT. Problem szczególnie mocno zaistniał w przemyśle motoryzacyjnym.^{12,13,14,15} Naturalną konsekwencją był radykalny wzrost popytu na wynajem nowoczesnych powierzchni magazynowych w celu zabezpieczenia tych działań. Posiadanie wyższego poziomu zapasów wymaga zapewnienia zwiększonych możliwości w zakresie

⁶ Juściński S.: Aplikacja systemów informatycznych klasy TMS w obsłudze przesyłek kontenerowych w transporcie morskim, [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, Kraków, s. 97-124, 2021.

⁷ <https://maritime-security.eu/artykuly/2058/>

⁸ <https://portaltsl.pl/transport/fracht-miedzy-azja-i-europa-zdrozal-trzykrotnie/>

⁹ <https://logistyka.rp.pl/drogowy/art38009641-rok-wojny-w-transporcie>

¹⁰ <https://www.osw.waw.pl/pl/publikacje/komentarze-osw/2022-12-15/kolejowy-jedwabny-szlak-w-cieniu-wojny-na-ukrainie>

¹¹ Śmietana K.: Branża pokonała pandemię. Co przyniesie wojna? Transport i Logistyka, Dziennik Gazeta Prawna, Biznes, Nr 62 (5724), str. 4-6, 30 marca 2022 r.

¹² Sadowska B.: Rachunek kosztów logistycznych w przedsiębiorstwie, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-432-7, Warszawa, 2021.

¹³ Gąsowska M.K.: Zarządzanie procesami logistycznymi we współczesnych przedsiębiorstwach, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8270-091-6, Warszawa, 2022.

¹⁴ Klepacki B. (red.): Logistyka, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-518-8, Warszawa, 2021.

¹⁵ Stawiarska E.: Modele zarządzania innowacjami w łańcuchach i sieciach dostaw międzynarodowych koncernów motoryzacyjnych, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-228-6, Warszawa, 2019.

skracania czasu przyjęć i wydań towarów.¹⁶ Wdrażanie nowoczesnych rozwiązań technologicznych ma na celu zwiększenie wydajności magazynów na wszystkich etapach obsługi logistycznej ładunków. Strategia taka jest także odpowiedzią na dynamiczny wzrost sprzedaży internetowej. Rynek e-commerce od czasu pandemii COVID-19 wykazuje trwałe i dynamiczne wzrosty przychodów i udziału w rynku.^{17,18,19,20}

Technologie informacyjne, komunikacyjne i informatyczne są obecnie kluczowym elementem funkcjonowania łańcuchów logistycznych. Rozbudowa systemów telematycznych oraz integracja tych rozwiązań w ramach platform internetowych stanowi od lat wsparcie dla całej branży Transport-Spedycja-Logistyka (TSL).²¹ *Warehouse Management System* to programy, które zapewniają dostęp do bieżących informacji o stanach zapasów i możliwościach realizacji zleceń wysyłkowych.²² Równolegle prowadzona jest od kilku lat automatyzacja działań w zakresie transportu wewnętrznego. Pojazdy AGV (*ang. Automated Guided Vehicle*) posiadają duży potencjał w zakresie redukcji czasów obsługi transportowej zapasów w magazynach.²³ Robotyzacja ma na celu usprawnienie procesów kompletacji i pakowania oraz pozwala na elastyczne wydłużanie godzin pracy w okresach dynamicznego wzrostu popytu. Działania takie mają na celu skracanie luki czasowej w procesach transportu wewnętrznego, a tym samym czasu pomiędzy złożeniem zamówienia i dostawą towarów do klienta przez transport zewnętrzny.²⁴ Firmy kurierskie w odpowiedzi na wzrost sprzedaży interneto-

¹⁶ Otto P.: Rynek magazynowy wciąż bije rekordy, *Transport i Logistyka*, Dziennik Gazeta Prawna, Biznes, Nr 62 (5724), str. 16, 30 marca 2022 r.

¹⁷ Łapko A., Wagner N.: *Logistyka dystrybucji. Trendy - Wyzwania - Przykłady*. Wyd. CeDeWu Sp. z o.o. ISBN: 978-83-8102-516-4, Warszawa, 2021.

¹⁸ Januła E., Kasińska M., Kwiatkiewicz P., Laskowski M.: *Zapasy i magazynowanie*, Wyd. As Pik, ISBN: 978-83-66264-17-5, Warszawa, 2020.

¹⁹ Skowrońska A.: *Zarządzanie makrologistyką w gospodarce globalnej*, Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, ISBN: 978-83-7695-827-9, Wrocław, 2020.

²⁰ Tundys B., Rzczycki A., Drobiazgiewicz J.: *Decyzje strategiczne w łańcuchach dostaw*, Wydawnictwo edu-Libri, ISBN: 978-83-65648-53-2, Kraków-Legionowo, 2018.

²¹ Juściński S.: Platformy internetowe, jako system wspomaganie informatycznego w branży transport-spedycja-logistyka. [w:] *Dziesięszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce*. Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, Kraków, s. 125-154, 2021.

²² Juściński S.: Programy WMS, jako przykład kompleksowych systemów informatycznych do obsługi logistyki magazynowej i dystrybucyjnej. [w:] *Dziesięszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce*. Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, Kraków, s. 155-180, 2021.

²³ Juściński S.: Aplikacja autonomicznie sterowanych pojazdów, jako kierunek rozwoju logistycznych systemów transportu wewnętrznego. [w:] *Dziesięszewski G., Kuboń M., Kaczmar I.: (red.): Tendencje Rozwojowe w Transporcie i Logistyce*. Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-53-2, Przemysł, s. 145-176, 2022.

²⁴ Bogołębska J., Bogołębski M.: *Znaczenie nowoczesnych technologii dla konkurencyjności przedsiębiorstw prowadzących gospodarkę magazynową*, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN: 978-83-8142-830-9, Łódź, 2020.

wej inwestują w magazyny z wydajnymi sorterami, które pozwalają na automatyzację rozdziału dużych strumieni różnorodnych przesyłek. Są one znacznie bardziej wydajne ilościowo niż pracownicy przy zachowaniu najwyższych standardów jakości i braku pomyłek.²⁵

Historia rozwoju robotów współpracujących

Historia powstania i rozwoju robotów współpracujących liczy trzy dekady. Roboty tego typu zostały opracowane w połowie lat 90. XX wieku przez profesorów Northwestern University, J. Edwarda Colgate'a i Michaela A. Peshkina. Pierwszy artykuł naukowy na temat robotów współpracujących autorzy przedstawili na Międzynarodowej Konferencji Robotyki i Automatyki w Filadelfii w 1996 r., a następnie w tym samym roku zaprezentowali pierwszy artykuł z określeniem „cobot” na Kongresie i Wystawie Inżynierii Mechanicznej w Atlancie.^{26,27} Termin „cobot” został zaproponowany przez Brenta Gillespiego, pracującego na Northwestern University, jako skrót od słów collaborative robots (cobots). Określenie „cobot” umieszczono w grupie Słów Jutra (*ang. Words of Tomorrow*) w opracowaniu sporządzonym przez Wall Street Journal w wydaniu z 1 stycznia 2000 r.²⁸ Pierwszy patent opisujący parametry techniczne tego wynalazku został uzyskany w USA w 1996 r. (United States Patent 5,923,129), a kolejny, który już zawierał nową nazwę „cobot” w 1997 r. (United States Patent 5,952,796).^{29,30}

Rozwój konstrukcji i technologii cobotów na Northwestern University uzyskał wsparcie dwóch koncernów motoryzacyjnych: General Motors Foundation oraz Ford Motor Company. Prace finansowała również Amerykańska Narodowa Fundacja Nauki (*ang. National Science Foundation*), która jest niezależną agencją federalną, ukierunkowaną m.in. na rozwój badań naukowych oraz opracowań inżynierskich prowadzonych przez podmioty w USA. J. Edward Colgate i Michael A. Peshkin w ramach komercjalizacji badań naukowych utworzyli w 1996 r. spółkę spin-off o nazwie Cobotics LLC. W 2002 r. spółka Cobotics LLC została przejęta przez concern Stanley Assembly Technologies, Inc., który od 1963 r. aktywnie wspiera producentów z branży przemysłowej i motoryzacyjnej, opracowując i produkując bogatą gamę narzędzi montażowych oraz elementów złącznych i systemów mocujących.

Roboty interaktywne w kontaktach z człowiekiem na liniach produkcyjnych i magazynowych zyskały w literaturze alternatywne nazwy:

- roboty współpracujące,
- współroboty,

²⁵ Przybylski R.: Pandemia przyspieszyła automatyzację, Branżę logistyczną czekają duże inwestycje w automatykę, Rzeczpospolita, dodatek Logistyka, str. K1, 30 lipca 2020.

²⁶ Colgate J.E., Peshkin M.A., Wannasuphprasit W.: Nonholonomic Haptic Display, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Philadelphia, PA, April 23-27, 1996.

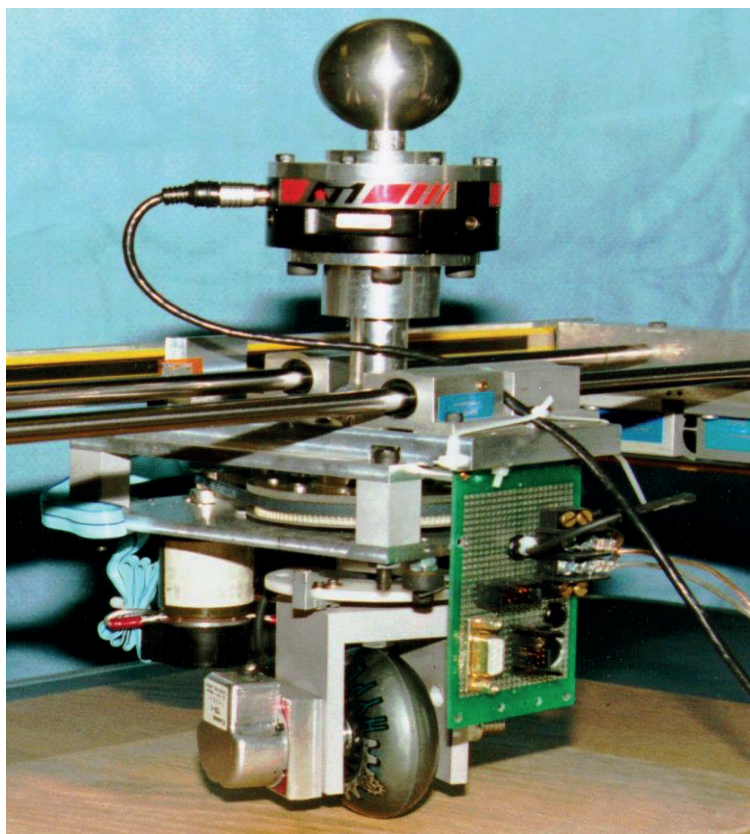
²⁷ Colgate J.E., Wannasuphprasit W., Peshkin M.A.: Cobots: Robots for Collaboration with Human Operators, Proceedings of the International Mechanical Engineering Congress and Exhibition, Atlanta, GA, DSC-Vol. 58, Nov. 17-22, pp. 433-439, 1996.

²⁸ [https://peshkin-mech-northwestern-edu.translate.google.com/cobot/?](https://peshkin-mech-northwestern-edu.translate.google.com/cobot/)

²⁹ <https://peshkin.mech.northwestern.edu/patents/5923139.pdf>

³⁰ <https://peshkin.mech.northwestern.edu/patents/5952796.pdf>

- inteligentne urządzenia wspomagające (ang. *Intelligent Assist Devices, IAD*).



Rysunek 1. Najprostsza konstrukcja cobota o nazwie „Unicycle” opracowana na Northwestern University w 1996 r.

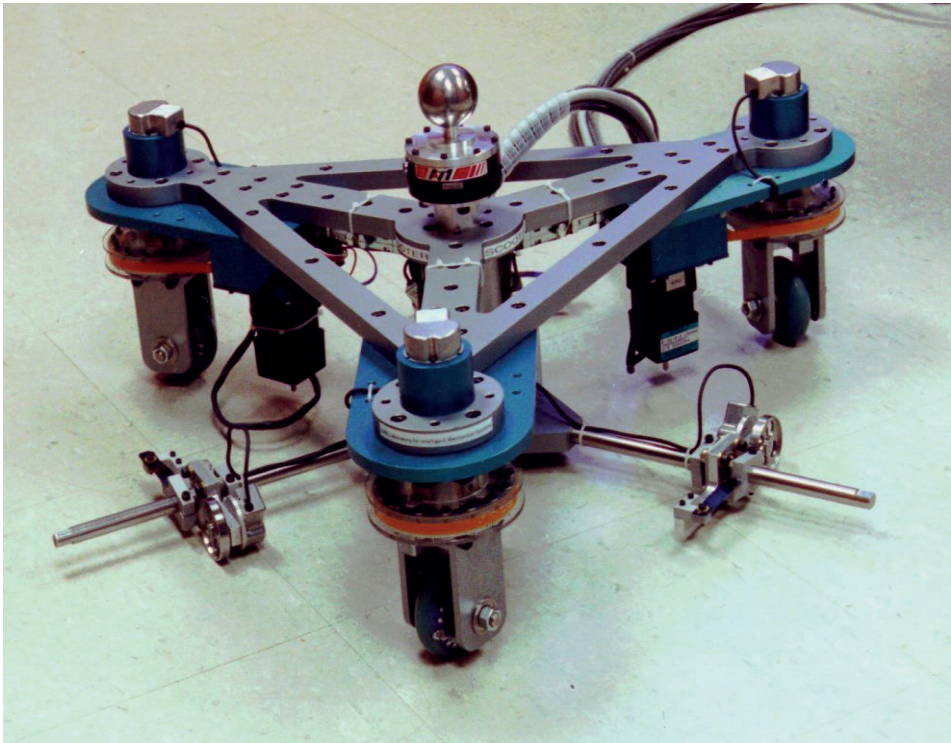
Źródło: https://peshkin-mech-northwestern-edu.translate.goog/cobot/gallery/unicycle/unicycle_lg.gif?

Robot współpracujący „Unicycle” to najprostsza użytkowa konstrukcja cobota. W jego skład wchodzi pojedyncze koło sterowane silnikiem. Rozwiązanie takie zapewnia realizację dwóch podstawowych trybów sterowania:

- tryb „*free*”, podczas którego koło jest sterowane tak, aby płynnie dostosować się do pożądanego przez użytkownika kierunku ruchu,
- tryb „*virtual surface*”, podczas którego koło jest sterowane tak, aby precyzyjnie ograniczyć ruch możliwy do wykonania przez użytkownika do zdefiniowanej w programie sterującym powierzchni roboczej.

Dwuwymiarową przestrzeń roboczą w warunkach przemysłowych w prosty sposób można zmieniać w oprogramowaniu cobota. W wersji badawczej (rys. 1) zastosowano szyny

kartezjańskie, które służyły do utrzymywania cobota w pozycji pionowej, ale nie były już konieczne przy kolejnych generacjach przemysłowych tych urządzeń.



Rysunek 2. Trójkątowa konstrukcja cobota o nazwie „Scooter” opracowana na Northwestern University w 1996 r.

Źródło: <https://peshkin-mech-northwestern-edu.translate.google.com/cobot/gallery/scooter/scooter.jpg?>

Robot współpracujący „Scooter” to zmodyfikowana użytkowa konstrukcja cobota trójkątowego. Rozwiązanie takie zapewnia realizację w trybie „free” dowolnego ruchu dla trzech współrzędnych, a w programie można definiować powierzchnie prowadzące jedno- lub dwuwymiarowe.

Biała księga, która została wydana w 2002 r. na temat cobotów i IAD pt.: *Intelligent Assist Devices Revolutionary Technology for Material Handling* precyzowała szereg zagadnień dotyczących współpracy człowieka z tymi urządzeniami. Coboty i IAD to nowa generacja sterowanych komputerowo urządzeń, które przystosowano do wsparcia czynności wykonywanych przez pracowników tak, aby zapewnić wysoki poziom produktywności oraz jakości, a także bezpieczeństwa i ergonomii w operacjach manualnych. Dzięki zastosowaniu systemu

zaawansowanych technologicznie czujników, elementów sterujących i wykonawczych w postaci serwośilników, coboty i IAD zapewniały operatorom manipulowanie i pozycjonowanie ładunkami z łatwością, szybkością oraz precyzją.³¹

Bezpieczeństwo systemów zrobotyzowanych

W latach 70. XX wieku rozpoczął się dynamiczny rozwój robotyki przemysłowej. Ten model działania oparty o automatyzację prac na różnych etapach procesów wytwórczych szybko stał się kluczowym czynnikiem, warunkującym wzrost efektywności oraz wydajności przedsiębiorstw. Tradycyjne roboty przemysłowe to z reguły duże i ciężkie maszyny, mające stałe miejsce na terenie hal wytwórczych, których obszar roboczy ze względów bezpieczeństwa zawsze musi być odgradzony od otoczenia.

Zagrożenia dla pracowników ze strony robotów oraz systemów zrobotyzowanych w postaci gniazd lub linii wytwórczych były przez szereg lat przedmiotem badań. Ryzyko i poziom zagrożeń to pochodne rozmiarów i złożoności konstrukcji oraz zakresu prac realizowanych w procesie technologicznym. Analiza ryzyka powinna obejmować zagrożenia charakterystyczne dla danego rodzaju robota, obszaru jego stosowania, a także użytkowanego oprogramowania oraz systemu obsługi i serwisu.

Efektom tych działań prowadzonych na przestrzeni wielu lat było opracowanie polskich norm, wdrażających dyrektywę maszynową 2006/42/WE w postaci:³²

- PN-EN ISO 10218-1:2011E, Roboty i urządzenia dla robotyki – Wymagania bezpieczeństwa dla robotów przemysłowych – Część 1: Roboty,
- PN-EN ISO 10218-2:2011E, Roboty i urządzenia dla robotyki – Wymagania bezpieczeństwa dla robotów przemysłowych – Część 2: Systemy robotyczne i integracja.

Normy opisują podstawowe zagrożenia związane z użytkowaniem robotów oraz wymagania mające na celu eliminowanie lub redukcję poziomu ryzyka związanego z istniejącymi zagrożeniami. Definiują poziom maksymalnej, bezpiecznej prędkości roboczej, jako 250 mm/s lub mniej, gdy uzasadnia to przeprowadzona ocena ryzyka dla danego stanowiska pracy.³³

Powyższe normy z uwagi na czas ich wprowadzenia zawierają także szereg odniesień do robotów współpracujących, opisując wymagania, które muszą one spełniać oraz różne modele współpracy człowiek-robot:^{34,35,36}

³¹<https://peshkin.mech.northwestern.edu/cobot/cobotics/Cobotics%20IAD%20White%20Paper%202002.pdf>

³² <https://automatykaonline.pl/Artykuly/Prawo-i-normy/Bezpieczenstwo-robotow-ora-z-integrowanych-systemow-produkcyjnych>

³³ <https://bezpieczenstwosystemachsterowania.pl/2018/05/rola-i-znaczenie-oceny-ryzyka/>

³⁴ <https://bezpieczenstwosystemachsterowania.pl/2020/10/ocena-ryzyka-roboty-wspolpracujacego-z-czlowiekiem/>

³⁵ Nardo M., Forino D., Murino T., et al.: The evolution of man-machine interaction: The role of human in industry 4.0 paradigm. *Production & Manufacturing Research*, 8(1), 20–34, 2020.

³⁶ Losey D. P., McDonal C. G., Battaglia E., et al.: A review of intent detection, arbitration, and communication aspects of shared control for physical human-robot interaction. *Applied Mechanics Reviews*, 70(1), 2018.

- współpraca operacyjna (*ang. collaborative operation*) - to stan, w którym robot zaprojektowany, jako współpracujący z człowiekiem (cobot), realizuje zadania na wydzielonym obszarze roboczym,
- wspólna przestrzeń robocza (*ang. collaborative workspace*) - to przestrzeń robocza, w której cobot i człowiek będą mogli wykonywać określone zadania jednocześnie podczas danej operacji technologicznej.

Uzupełnieniem norm była wprowadzona w 2016 r. specyfikacja techniczna ISO/TS 15066 „Roboty i urządzenia robotyczne – Roboty współpracujące”, która jako pierwszy dokument wprost odnosiła się do bezpieczeństwa we wspólnej przestrzeni roboczej. Prace nad stworzeniem tej specyfikacji rozpoczęły się już w 2010 r., a do grupy roboczej zaproszono wówczas 24 przedstawicieli z krajów na całym świecie, zarówno naukowców, jak też osoby reprezentujące producentów cobotów. Należy podkreślić, że specyfikacja techniczna nie jest obowiązującą normą lecz tylko zbiorem wytycznych. Głównym jej zaleceniem było to, aby przy wdrażaniu robotów współpracujących rygorystycznie zachowywać limity prędkości w zależności od bezwładności, masy i najmniejszej powierzchni elementu robota (np. końcówki chwytaka na ramieniu roboczym), która może potencjalnie mieć kontakt z ciałem człowieka.³⁷

Kwestie bezpieczeństwa przy współpracy robot-człowiek zgodnie ze specyfikacją ISO/TS 15066 obejmowały cztery typy aplikacji współpracujących (*ang. collaborative operation*).^{38,39}

- poprzez ograniczenie ich nominalnej mocy i siły (*ang. power and force limiting*) dzięki sygnałom wysyłanym z czujników, gdy człowiek jest w strefie ruchu,
- monitorowane zatrzymanie (*ang. safety-rated monitored stop*) dla wydzielonych stref bezpieczeństwa oraz polecenie bezwzględnego zatrzymania robota, gdy pojawi się w nich człowiek, a następnie automatyczne wznawianie cyklu po opuszczeniu przez niego tej strefy,
- monitorowanie prędkości i separacja (*ang. speed and separation monitoring*) stosowanie zaawansowanych systemów wizyjnych do kontroli czy obszar pracy robota jest pusty, a w przypadku obecności człowieka natychmiastowe ograniczenie do minimum prędkości działania lub jego zatrzymanie,
- system prowadzenia ręcznego (*ang. hand-guiding*) w którym robot przez cały czas pracy jest sterowany przez operatora, czyli człowiek kieruje jego ramieniem i w ten sposób eliminuje ryzyko kolizji i urazów.

Roboty współpracujące (coboty) w odróżnieniu od klasycznych robotów służą do zautomatyzowania nie tylko procesów produkcyjnych, ale także w szerokim zakresie wspomagają

³⁷ <https://automatykaonline.pl/Artykuly/Robotyka/Roboty-wspolpracujace.-Specyfikacja-techniczna-ISO-TS-15066>

³⁸ <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/przewodnik-przemyslowy-coboty/>

³⁹ <https://automatykaonline.pl/Artykuly/Robotyka/Roboty-wspolpracujace.-Specyfikacja-techniczna-ISO-TS-15066>

działania logistyki magazynowej i transportu wewnętrznego, istotnie zwiększając ich wydajność.^{40,41}

Stąd coboty, które zostały zaprojektowane już jako nowa generacja robotów, są przykładem technologii programowo obejmującej interakcję człowiek-maszyna.^{42,43,44,45,46} Konstrukcja cobotów generalnie zawiera szereg ograniczeń dotyczących ich wielkości i udźwigu oraz zasięgu ramienia w przestrzeni roboczej. Zwarta budowa jest czynnikiem redukującym poziom zagrożeń. Szereg zaawansowanych czujników gwarantuje bardzo wysoki poziom kontroli i możliwość wykrywania każdej przeszkody (obiektu lub pracownika) w strefie roboczej. Programy sterujące realizują w takim przypadku natychmiastowe zatrzymanie ramienia cobota.^{47,48,49,50}

Pierwszym i najważniejszym wymaganiem, które musi spełniać nowoczesny robot współpracujący to posiadanie ramienia zaprojektowanego w ten sposób, że jest ono bezpieczne dla człowieka.

Oznacza to jednoczesne spełnienie szeregu warunków:⁵¹

- brak ostrych krawędzi,
- brak stref ściskających,
- ograniczenie prędkości,
- ograniczona siła i moment,
- ograniczona strefa pracy,
- sygnalizacja świetlna informująca o bieżącym trybie pracy cobota.

⁴⁰ <https://przemysl-40.pl/index.php/2020/12/30/how-to-przemysl-4-0-webinaria/>

⁴¹ <https://www.linkedin.com/pulse/robot-vs-cobot-what-difference-bzhwen-a-kadir>

⁴² Shafti A., Tjomsland J., Dudley W., et al.: Real-world human-robot collaborative reinforcement learning. In 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 11161–11166, 2020.

⁴³ Chen M., Nikolaidis S., Soh H., et al.: Trust-aware decision making for human-robot collaboration: Model learning and planning. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction (THRI)*, 9(2), 1–23, 2020.

⁴⁴ Cacace J., Caccavale R., Finzi A., et al.: Combining human guidance and structured task execution during physical human-robot collaboration. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1–15, 2022.

⁴⁵ Rega A., Di Marino C., Pasquariello A., Vitolo F., Patalano S., Zanella A., Lanzotti A.: Collaborative Workplace Design: A Knowledge-Based Approach to Promote Human-Robot Collaboration and Multi-Objective Layout Optimization. *Applied Sciences*. 2021; 11(24):12147. <https://doi.org/10.3390/app112412147>.

⁴⁶ Peternel L., Tzagarakis N., Caldwell D., et al.: Robot adaptation to human physical fatigue in human-robot co-manipulation. *Autonomous Robots*, 42(5), 1011–1021, 2018.

⁴⁷ Khoramshahi M., Billard A.: A dynamical system approach for detection and reaction to human guidance in physical human-robot interaction. *Autonomous Robots*, 44(8), 1411–1429, 2020.

⁴⁸ Thomaz A., Hoffman G., Cakmak M.: "Computational Human-Robot Interaction", *Foundations and Trends® in Robotics*: Vol. 4: No. 2-3, pp 105-223, 2016. <http://dx.doi.org/10.1561/23000000049>.

⁴⁹ Vianello L., Ivaldi S., Aubry A. et al.: The effects of role transitions and adaptation in human-cobot collaboration. *Journal of Intelligent Manufacturing* 35(5):1-15, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02104-5>.

⁵⁰ Ajoudani A., Zanchettin A. M., Ivaldi S., et al.: Progress and prospects of the human-robot collaboration. *Autonomous Robots*, 42(5), 957–975, 2018.

⁵¹ <https://iautomatyka.pl/cobot-co-to-wlasciwie-jest/#prettyPhoto>

Drugim warunkiem przy tworzeniu systemów współpracujących jest stosowanie odpowiedniego rodzaju narzędzi, czyli takich, które nie posiadają np. ostrych krawędzi. Firmy produkujące coboty oferują już szeroką gamę dedykowanych narzędzi w formie m.in. chwytaków, które są zaprojektowane pod kątem bezpiecznej współpracy z człowiekiem i spełniają takie same wymagania, jak coboty.

Porównanie tradycyjnych robotów z cobotami pozwala zdefiniować szereg różnic:^{52,53}

- roboty przemysłowe są montowane na stałe, co w praktyce znacznie utrudnia ich relokację, natomiast coboty posiadające z reguły mniejsze rozmiary są łatwe do przemieszczania,
- roboty przemysłowe projektowane są do sekwencyjnego powtarzania zadań i czynności (np. zgrzewanie elementów karoserii samochodu), które bardzo rzadko podlegają zmianom, gdyż jest to kosztowne i trudne technicznie, a coboty z uwagi na proste programowanie mogą być często modyfikowane do bieżących i zmiennych prac,
- w przypadku robotów przemysłowych nie istnieje pojęcie bezpiecznej interakcji z człowiekiem (ryzyko poziomu zagrożeń jest tylko zredukowane przez dodatkowe czujniki i detektory ruchu), natomiast coboty posiadają wewnętrzne czujniki, które realizują natychmiastowe ich zatrzymanie, co w sytuacji kolizyjnej gwarantuje bezpieczną interakcję z pracownikiem,
- tradycyjne roboty są oddzielone ogrodzeniem (osłony i/lub ściany), a coboty dzielą przestrzeń roboczą z ludźmi bez montowania fizycznych zabezpieczeń,
- coboty posiadają zdolność ciągłej pracy „ramię w ramię” z pracownikami, a roboty przemysłowe nie są do takiego użytkowania przystosowane,
- dla cobotów ocena ryzyka jest warunkiem koniecznym podczas projektowania systemów z uwagi na współdzielenie tej samej przestrzeni roboczej z ludźmi (wymagane jest spełnienie normy bezpieczeństwa ISO/TS 15066), natomiast dla robotów przemysłowych aż tak precyzyjna ocena ryzyka nie jest wymagana,
- przygotowanie robota przemysłowego do realizacji nowych czynności wymaga umiejętności programowania oraz wiedzy z zakresu technologii, a programowane wykonywane może być w trybie online lub offline, natomiast coboty nie wymagają formalnego programowania ponieważ mogą odbierać instrukcje udzielane przez pracowników w sposób bezpośredni poprzez rejestrowanie sekwencyjne ruchu wykonywanego przez operatora,
- coboty to urządzenia mniejsze i znacznie wolniejsze od tradycyjnych robotów przemysłowych, a z uwagi na wspólną przestrzeń roboczą z ludźmi posiadają ograniczoną prędkość ruchu oraz udźwig, natomiast w przypadku robotów przemysłowych ich większa prędkości robocza i duży udźwig są stosowane powszechnie i bez dodatkowych ograniczeń,
- koszty zakupu i instalacji robota przemysłowego są wysokie i taka inwestycja jest ekonomicznie uzasadniona wyłącznie przy produkcji o dużej wielkości (masowej), podczas

⁵² Djuric A. M., Urbanic R. J., Rickli J. L.: A Framework for Collaborative Robot (CoBot) Integration in Advanced Manufacturing Systems', SAE International Journal of Materials and Manufacturing, 9(2), pp. 2016-01-0337. 2016. <https://doi.org/10.4271/2016-01-0337>.

⁵³ <https://www.linkedin.com/pulse/robot-vs-cobot-what-difference-bzhwen-a-kadir>

- gdy niska cena cobotów zapewnia ich rentowność już przy małych partiach wytwórczych lub usługowych,
- coboty to zazwyczaj konstrukcje antropomorficzne, natomiast roboty przemysłowe klasyfikowane są z uwagi na strukturę kinematyczną jako: kartezyjańskie, cylindryczne, SCARA (*ang. Selective Compliance Articulated Robot Arm*), sferyczne i przegubowe.

Roboty współpracujące w transporcie wewnętrznym

Roboty współpracujące, które łączą w sobie dwie innowacyjne technologie, czyli sztuczną inteligencję oraz umiejętność uczenia maszynowego znajdują coraz szersze zastosowanie w procesach logistycznych. Logistyka magazynowa, której integralną częścią są zadania i czynności powtarzane każdego dnia tysiące razy przy paletyzacji i depaletyzacji dostaw, komisjonowaniu zamówień, a także rozkładaniu i pobieraniu poszczególnych ładunków na regałach w ramach transportu wewnętrznego i/lub przygotowania do transportu w ramach logistyki dystrybucji jest coraz częściej prowadzona przez coboty. Zadaniem tych urządzeń jest wspieranie pracowników przy wykonywaniu powtarzalnych, wyczerpujących, skomplikowanych lub niebezpiecznych zadań wymagających dużych nakładów siły. Realizacja części prac, które najbardziej obciążają personel fizycznie, umożliwia skierowanie ich uwagi na obszary związane z analizą danych, kontrolą procesów lub podejmowaniem decyzji operacyjnych w zakresie maksymalizacji bieżących wyników.⁵⁴

Na terenie magazynów wielkopowierzchniowych w przedsiębiorstwach oraz w centrach dystrybucyjnych stanowiska z cobotami umożliwiają podwyższenie wydajności pracy. Roboty współpracujące zapewniają realizację zadań podczas wszystkich procesów związanych z przygotowaniem produktów do transportu wewnętrznego i/lub zewnętrznego z maksymalną dokładnością i precyzją, eliminując niebezpieczeństwo uszkodzeń i pomyłek. W praktyce mogą pracować bez przerwy, co pozwala na elastyczne podejście do problemu podwyższonego popytu i losowego wzrostu zapotrzebowania generowanego np. w sprzedaży e-commerce. Coboty zainstalowane przy przemieszczaniu najbardziej ciężkich ładunków pozwalają zredukować ryzyko ich uszkodzeń i niebezpieczeństwa urazów dla pracowników.⁵⁵

Firma YASKAWA Electric Corporation będąca jednym z największych na świecie producentów robotów, a w tym także robotów współpracujących w swojej ofercie posiada urządzenia, które spełniają wszystkie wymagania generowane przez procesy transportu wewnętrznego. W ramach realizacji zadań logistyki magazynowej i dystrybucyjnej coboty mogą pracować w trybie 24/7/365.

Wiodącymi modelami na rynku cobotów o wszechstronnych możliwościach użytkowych są urządzenia z serii HC:⁵⁶

- MOTOMAN HC10DTP to robot współpracujący z człowiekiem o udźwigu 10 kg, jego zasięg bezwzględny wynosi 1 379 mm, a zasięg efektywny to 1 200 mm, posiada 6 osi roboczych z 6 zintegrowanymi sensorami, waży 58 kg oraz zapewnia powtarzalność czynności na poziomie $\pm 0,05$ mm,

⁵⁴ <https://www.mecalux.pl/blog/coboty-roboty-wspolpracujace>

⁵⁵ <https://industry4o.com/2022/08/04/what-is-a-collaborative-robot/>

⁵⁶ https://www.yaskawa.pl/produkty/roboty-przemyslowne-motoman/roboty-wspolpracujace-cobot/productdetail/product/cobot-hc10dtp_17024

- MOTOMAN HC20DTP to robot współpracujący z człowiekiem o udźwigu 20 kg, jego zasięg bezwzględny wynosi 1 900 mm, a zasięg efektywny to 1 700 mm, posiada 6 osi roboczych z 6 zintegrowanymi sensorami, waży 140 kg oraz zapewnia powtarzalność czynności na poziomie $\pm 0,05$ mm,
- MOTOMAN HC30PL to robot współpracujący z człowiekiem o udźwigu 30 kg, jego zasięg bezwzględny wynosi 1 900 mm, a zasięg efektywny to 1 700 mm, posiada 6 osi roboczych z 6 zintegrowanymi sensorami, waży 140 kg oraz zapewnia powtarzalność czynności na poziomie $\pm 0,05$ mm.



Rysunek 3. Proces układania ładunków na paletcie realizowany przez cobota serii HC firmy Yaskawa

Źródło: <https://magazynprzemyslowy.pl/artykuly/wydajne-pakowanie-i-paletyzacja-dzieki-cobotom-serii-hc-firmy-yaskawa>

Firma YASKAWA Electric Corporation opracowała innowacyjny programator robotów Smart Pendant z dużym 10-calowym ekranem dotykowym (rys. 4). Technologia Smart Frame umożliwia proste, intuicyjne programowanie robotów współpracujących serii HC oraz robotów przemysłowych serii GP. Smart Pendant do ręcznego przemieszczania osi robota (tzw. jogging) w ramach uczenia go nowych funkcji, stosuje aplikację Smart Frame. Technologia ta korzysta z czujników żyroskopowych analogicznie do stosowanych w nowoczesnych smartfonach. Podczas tego procesu programator ręczny definiuje pozycję programisty w odniesieniu do pozycji robota, a manipulator odwzorowuje ruchy wykonywane przez pracownika. Ten rodzaj programowania wyklucza konieczność czasochłonných obliczeń w odniesieniu do układu współrzędnych XYZ. Proces programowania robota do nowej czynności w taki sposób to zaledwie kilka minut. Smart Pendant w warunkach rzeczywistych na maga-

zynie zapewnia ergonomiczne warunki pracy dla programisty. Graficzny interfejs użytkownika (GUI) na tablecie jest intuicyjny i dlatego pracownik w prosty sposób wprowadza parametry ruchu, polecenia dotyczące zadań oraz kolejne funkcje i sekwencje tworzące program obsługi stanowiska przez cobota.⁵⁷



Rysunek 4. Innowacyjny programator robotów i cobotów Smart Pendant opracowany przez YASKAWA Electric Corporation

Źródło: https://www.yaskawa.pl/produkty/roboty-przemyslowe-motoman/kontrolery-do-robotow/productdetail/product/inteligenty-smart-pendant_756

Badania przeprowadzone w Polsce w 2020 r. wśród grupy małych i średnich firm w Polsce potwierdziły, że sukcesywnie realizowany jest zakup i wdrażanie tradycyjnych robotów przemysłowych, ale równolegle następuje także wsparcie przez coboty czynności w logistyce magazynowej, czyli pakowania i paletyzacji. Wynika to wprost z faktu, że tego typu procesy idealnie spełniają wymagania istotne dla robotyzacji, czyli powtarzalność i względną prostotę, a jednocześnie monotony charakter, będący bardzo uciążliwym dla pracowników.

Nowoczesne chwytaki dla robotów uzyskały taki poziom precyzji i regulacji siły, że mogą obsługiwać bardzo delikatne i małe części (od elementów elektroniki po świeże owoce). Przykładem nowatorskich działań jest fabryka koncernu Unilever, która wdrożyła 6 robotów

⁵⁷ https://www.yaskawa.pl/produkty/roboty-przemyslowe-motoman/kontrolery-do-robotow/productdetail/product/inteligenty-smart-pendant_756

współpracujących UR10 do układania pudełek z herbatą na paletach według konfiguracji zamówienia (rys. 5). Praca cobotów pozwoliła skrócić czas paletyzacji oraz podnieść poziom ergonomii pracy poprzez odciążenie pracowników od tych prac.⁵⁸



Rysunek 5. Proces układania pudełek herbaty przez robota współpracującego UR10 w fabryce koncernu Unilever

Źródło: <https://automatykab2b.pl/wydarzenia/realizacje/53728-co-moze-cobot-universal-robots-prezentuje-prze-gląd-zastosowan-robotow-wspolpracujacych>

W odpowiedzi na rosnące zainteresowanie wykorzystaniem robotów współpracujących w logistyce firmy Universal Robots i Robotiq podjęły współpracę w celu zaoferowania gotowych do instalacji rozwiązań UR20-PE20 w zakresie paletyzacji produktów. Problem niedoboru siły roboczej do wykonywania ręcznej pracy przy paletyzacji towarów jest zjawiskiem narastającym we wszystkich rodzajach firm na świecie. Badania nad ergonomią pracy i dążenie do zapewnienia odpowiednich warunków, które zminimalizują ryzyko wypadków potwierdziły, że noszenie przez cały dzień pracy dużych ciężarów prowadzi do powstania zaburzeń układu mięśniowo-szkieletowego (*ang. Musculoskeletal disorders*, MSD). Choroby MSD to główna przyczyna odpowiedzialna aż na poziomie 86% za leczone choroby zawodowe. Firmy Universal Robots i Robotiq zaproponowały obsługę procesu paletyzacji w pakiecie, który zawiera: cobot UR20, zestaw do paletyzacji PE20, chwytak PowerPick20 oraz

⁵⁸ <https://automatykab2b.pl/wydarzenia/realizacje/53728-co-moze-cobot-universal-robots-prezentuje-prze-gląd-zastosowan-robotow-wspolpracujacych>

bezzterminową licencją na oprogramowanie. Usługa obejmuje także dostawę, instalację i uruchomienie w wybranej lokalizacji na terenie magazynu. Ponadto obowiązkowo na miejscu realizowana jest analiza i ocena ryzyka, a także szkolenie operatorów i osób odpowiedzialnych za bieżącą konserwację sprzętu.^{59,60}



Rysunek 6. Cobot UR20-PE20 oferowany na rynku przez firmy Universal Robots i Robotiq do paletyzacji produktów na magazynie o udźwigu 20 kg i zasięgu 2150 mm

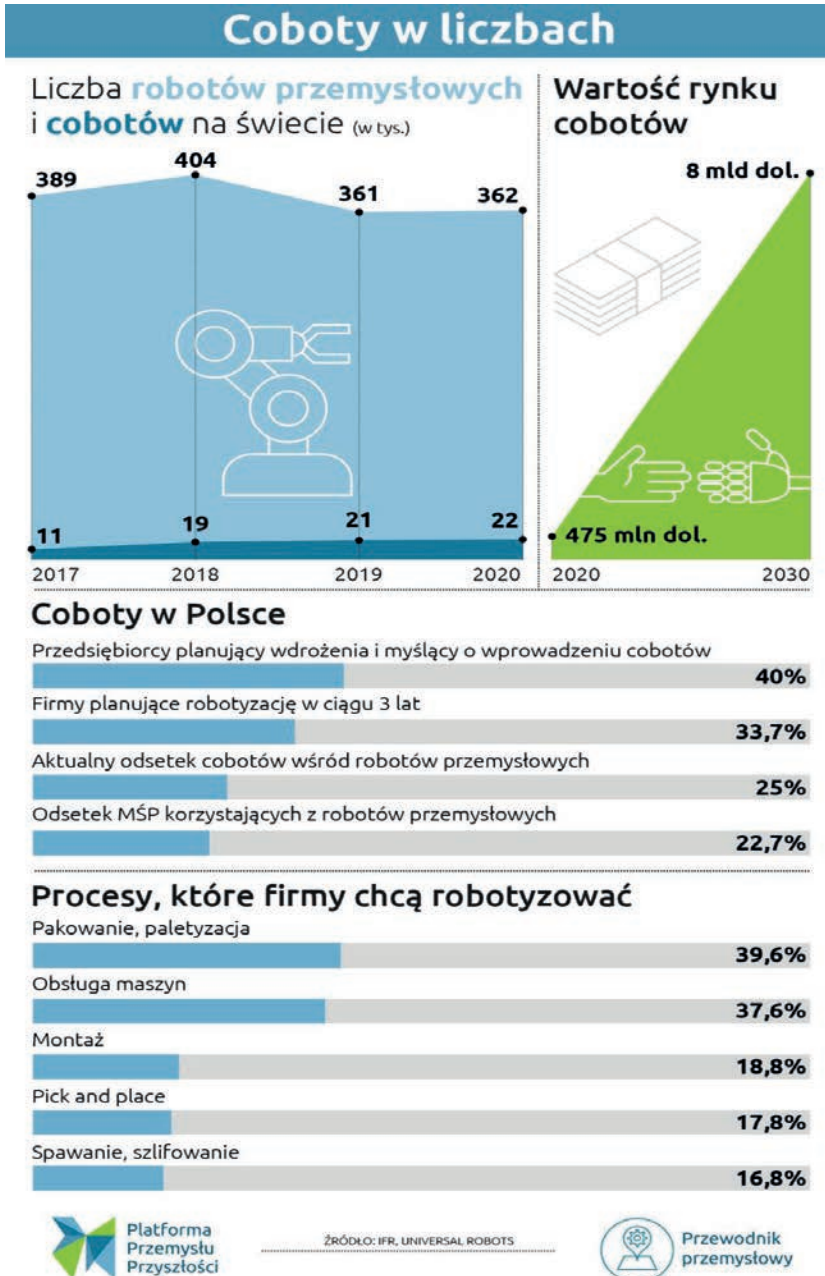
Źródło: <https://www.universal-robots.com/fr/blog/ur20-pe20-revolutionne-la-palettisation/>

Globalny rynek robotów współpracujących

Międzynarodowa Federacja Robotyki (*ang. International Federation of Robotics IFR*) w opublikowanym w 2020 r. raporcie dotyczącym rynku robotów współpracujących potwierdziła, że coboty są najszybciej rozwijającym się segmentem automatyki przemysłowej. W latach 2017-2020 roboty przemysłowe zainstalowane na świecie wykazywały wyrównany poziom od 361 000 do 404 000 sztuk. W tym samym okresie w klasie cobotów odnotowano wzrost z poziomu 11 000 do 22 000 sztuk. Stąd zestawienie ilości cobotów na przestrzeni tego czteroletniego okresu oznaczało wzrost na poziomie aż 100%. Porównanie rynku robotów współpracujących do przemysłowych na świecie wykazało natomiast wzrost z 2,8% do 6,1%.

⁵⁹ <https://www.universal-robots.com/fr/palettisation-cobotique-ur20-pe20/>

⁶⁰ <https://www.universal-robots.com/fr/blog/ur20-pe20-revolutionne-la-palettisation/>



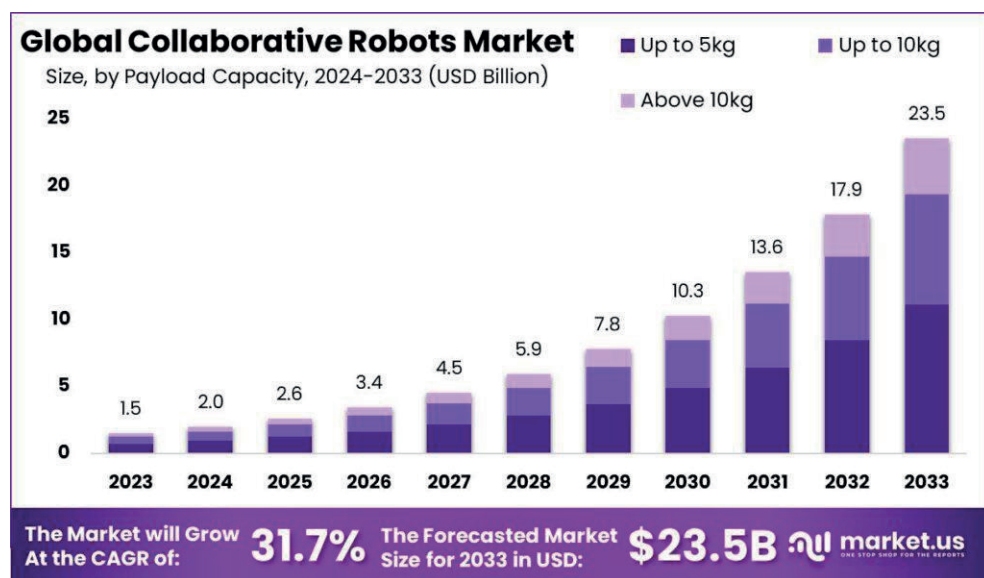
Rysunek 7. Rynek robotów przemysłowych i cobotów według danych Międzynarodowej Federacji Robotyki ((graf. Lech Mazurczyk/PPP)

Źródło: <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/przewodnik-przemyslowsy-coboty/>

Istotne były również badania rynku przeprowadzone w Polsce, których wyniki potwierdziły, że coboty zamierza wdrożyć aż 40% przedsiębiorstw, a udział cobotów na rynku krajowym osiągnął poziom 25% w 2020 r. Tak wysoki udział wynikał z opóźnienia we wdrażaniu tradycyjnych robotów i bardzo wysokiej dynamiki w zakupach cobotów. Procesy planowane do wsparcia robotami współpracującymi to przede wszystkim logistyka magazynowa i transport wewnętrzny, zarówno jako pojedyncze stanowiska, jak też elementy linii do przemieszczania i sortowania wyrobów.⁶¹

Market.US (*Powered by Prudour Private Limited*) międzynarodowa firma konsultingowa, która specjalizuje się w badaniach i analizach rynku, przedstawiła w styczniu 2024 r. raport ilustrujący globalny rynek robotów współpracujących. Strukturalnie obejmuje on trzy kategorie urządzeń o udźwigu:⁶²

- do 5 kg,
- do 10 kg,
- powyżej 10 kg.



Rysunek 8. Wielkość globalnego rynku robotów współpracujących zgodnie z raportem opracowanym przez Market.US (*Powered by Prudour Private Limited*) dla trzech klas udźwigu

Źródło: <https://market.us/wp-content/uploads/2022/06/Collaborative-Robots-Market-1024x595.jpg>

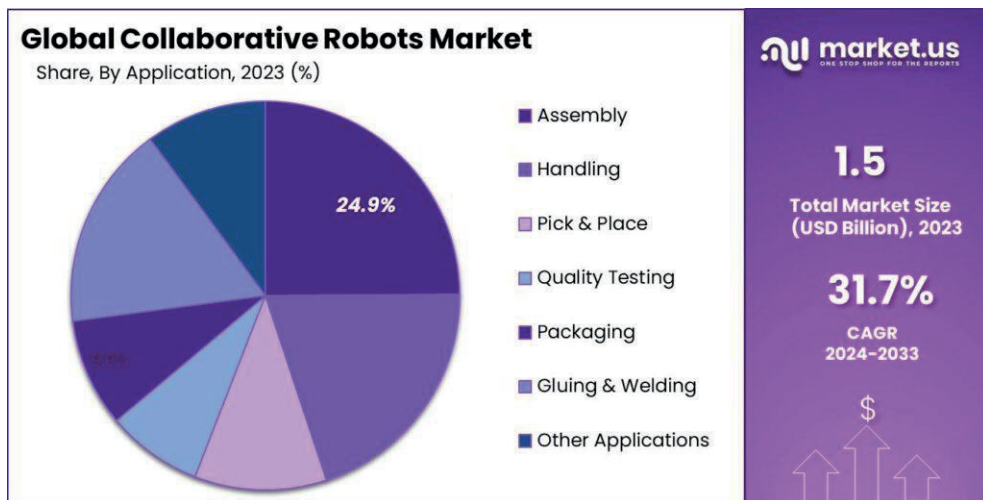
Sumaryczna globalna wartość rynku cobotów w 2023 r. to 1,5 mld USD. Market.US szacuje się, że światowy rynek robotów współpracujących osiągnie wartość na poziomie 23,5 mld USD już za dekadę w 2033 r. Prognoza została sporządzona przy założeniu, że

⁶¹ <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/przewodnik-przemyslowy-coboty/>

⁶² <https://market.us/report/collaborative-robots-market/#overview>

utrzymany zostanie trwały trend wzrostu tego segmentu rynku ze średnioroczną stopą wzrostu (*ang. Compound Annual Growth Rate, CAGR*) na poziomie 31,7% w okresie objętym prognozą (od 2024 r. do 2033 r.).

W 2023 r. roboty współpracujące o udźwigu do 5 kg stanowiły największą grupę urządzeń z udziałem w rynku na poziomie 47,3%. Kategoria lekkich cobotów jest najbardziej popularna na rynku małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP) z uwagi na fakt, że są one atrakcyjne cenowo oraz posiadają możliwość elastycznego dostosowania do bardzo szerokiej gamy prac i zadań wykonywanych w poszczególnych branżach.⁶³



Rysunek 9. Udział w globalnym rynku robotów współpracujących zgodnie z raportem opracowanym przez Market.US (*Powered by Prudour Private Limited*) dla poszczególnych branż

Źródło: <https://market.us/wp-content/uploads/2022/06/Collaborative-Robots-Market-Share-1024x519.jpg>

Roboty współpracujące znalazły zastosowanie w branżach:⁶⁴

- montaż przemysłowy (z dominującym zastosowaniem w segmencie motoryzacyjnym i elektronicznym),
- manipulowanie ładunkiem (logistyka i transport wewnętrzny),
- pobieranie i umieszczanie w wyznaczonym miejscu (paletyzacja i procesy produkcyjne),
- kontrola jakości,
- procesy *co-packingu* (kompletacja towarów),
- produkcja (klejenie i spawanie),
- inne zastosowania.

⁶³ <https://market.us/report/collaborative-robots-market/#overview>

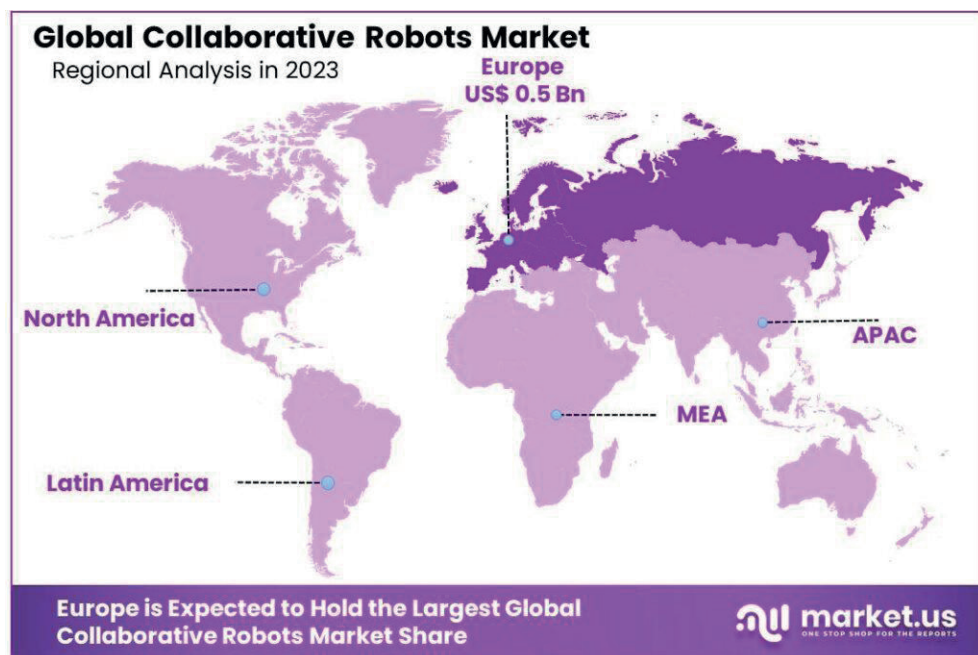
⁶⁴ <https://market.us/report/collaborative-robots-market/#overview>

Europa w 2023 r. zajmowała pierwszą pozycję na rynku robotów współpracujących z udziałem 33% o wartości 0,5 mld USD. Liderami rynku, którzy wprowadzali najwcześniej technologię cobotów były takie kraje, jak Niemcy, Szwecja i Włochy.

Dominująca wielkość rynku cobotów na terenie Europy w 2023 r. wynikała z szeregu procesów, do których można zaliczyć:

- programowe przyjęcie w UE rozwiązań Przemysłu 4.0, promującego innowacyjność i wysokie standardy produkcji,
- surowe przepisy w zakresie bezpieczeństwa w miejscu pracy,
- generalnie wysoki poziom kultury technicznej, ułatwiający wprowadzenie i integrację cobotów z istniejącymi procesami przemysłowymi.

Najwyższą dynamikę nowych wdrożeń odnotowano natomiast w państwach na terenie Azji i Pacyfiku, a średni roczny wskaźnik wzrostu (CAGR) dla tego regionu osiągnął poziom 47,3%. Niekwestionowanym liderem są Chiny, a następnie Japonia, Korea Południowa, Indie, Australia, Nowa Zelandia, Singapur, Tajlandia i Wietnam. Tak wysoki popyt wynika wprost z bardzo rozbudowanej struktury produkcyjnej tego regionu świata, a w tym szczególnie przemysłu motoryzacyjnego, elektronicznego i maszynowego.



Rysunek 10. Globalna analiza struktury dystrybucji i wdrożeń robotów współpracujących w 2023 r. według raportu opracowanego przez Market.US (Powered by Prudour Private Limited)

Źródło: <https://market.us/wp-content/uploads/2022/06/Collaborative-Robots-Market-Region-1024x680.jpg>

Rynek producentów robotów współpracujących jest miejscem bardzo silnej globalnej konkurencji. Liderzy stosują ekspansję biznesową poprzez wprowadzanie nowych modeli na rynek, podejmują współpracę i partnerstwo w celu wzbogacania oferty technologicznej, ale również realizują przejęcia mniejszych firm. Zgodnie z danymi opracowanymi przez Market Research Future jeszcze w 2019 r. aż 47% rynku należało do firmy Universal Robots, a żadna inna firma nie miała dwucyfrowego udziału procentowego. W 2022 r. do liderów rynku globalnego należały firmy ze znaczącym poziomem udziałów w sprzedaży:⁶⁵

- Universal Robots - udział 30,7%,
- AUBO Robotics - udział 10,4%,
- ABB Ltd. - udział 6%,
- TechMan Robot Inc. - udział 5,3%,
- Fanuc Robotics Ltd - udział 3,8%,
- OMRON - udział 3,5%,
- Doosan Robotics Inc. - udział 3,4%,
- YASKAWA Electric Corporation - udział 2,8%,
- Kawasaki Heavy Industries, Ltd. - udział 2,5%,
- KUKA AG - udział 2,1%,
- pozostałe 29,5% rynku było obsługiwane przez liczną grupę małych firm krajowych.

Podsumowanie

Na obecnym etapie coboty i roboty przemysłowe to już dwie różne linie produktów. Należy podkreślić, że mając inne przeznaczenie, wykazują różnice w budowie i działaniu, a stąd reprezentują odmienne pakiety zalet i wad istotnych dla efektów uzyskiwanych w procesie ich eksploatacji.

W praktyce zastosowań komercyjnych ewolucja w zakresie konstrukcji robotów prowadziła kolejno przez pięć poziomów operacji współpracujących. Dla poszczególnych operacji zostały zdefiniowane tzw. stopnie współpracy, które będą realizowane pomiędzy robotem i człowiekiem:^{66,67,68}

- separacja – standardowo trwale odgródkowanie przestrzeni operacyjnej robota, aby nie mógł tam przebywać człowiek,
- koegzystencja - to sporadyczna interakcja operatora z robotem, podczas krótkotrwałej obecności przy stanowisku,
- synchronizacja - istnienie współdzielonej przestrzeni przez robota i człowieka, ale nie w tym samym czasie czyli, gdy pracuje człowiek to robot jest zatrzymany,

⁶⁵ <https://statzon.com/insights/global-collaborative-robot-market>

⁶⁶ <https://www.astor.com.pl/poradnikautomatyka/coboty-wszystko-co-musisz-o-nich-wiedziec/>

⁶⁷ Nikolaidis S., Ramakrishnan R., Gu K., Shah J.: Efficient model learning from joint-action demonstrations for human-robot collaborative tasks. In Proceedings of the tenth annual ACM/IEEE international conference on human-robot interaction, pp. 189-196, 2015.

⁶⁸ Toussaint M., Munzer T., Mollard Y., Wu L. Y., Vieu N. A., Lopes M.: Relational activity processes for modeling concurrent cooperation. In 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 5505-5511, IEEE, 2016.

- współdziałanie - gdy robot i człowiek wykonując różne czynności współdzielą przestrzeń roboczą w tym samym czasie,
- współpraca - stan realizowany przez cobota, gdy wspólnie z człowiekiem wykonują prace w tym samym miejscu, w tym samym czasie i w odniesieniu do tego samego elementu.

Roboty współpracujące, które na przestrzeni ostatnich lat wykazują dynamiczny wzrost udziału w rynku są postrzegane przez podmioty gospodarcze, jako technologia z ogromnym potencjałem. Do mocnych stron cobotów należy zaliczyć to, że pozwalają na redukcję kosztów operacyjnych. Umożliwiają bardziej efektywne wykorzystanie zasobów przedsiębiorstwa dzięki podwyższeniu wydajności pracy na przykład w logistyce magazynowej i obsłudze transportu wewnętrznego. W czynnościach powtarzalnych i monotonicznych eliminują pracę ludzi i dzięki temu istotnie ograniczają liczbę popełnianych błędów. Przy potencjalnych licznych korzyściach nadal istotnym ograniczeniem dla rozbudowy rynku są wysokie ceny ich zakupu. Coboty, pomimo że tańsze od robotów przemysłowych, należy zaliczyć do kosztownych inwestycji. Proces wdrożenia robotów współpracujących jest zadaniem skomplikowanym i obejmuje:⁶⁹

- zakup robota i elementów roboczych,
- zakup oprogramowania,
- szkolenia pracowników,
- integrację operacyjną z już użytkowanymi w firmie systemami informatycznymi.

Dla małych i średnich przedsiębiorstw budżet możliwy do akceptacji i realizacji w odniesieniu do tego typu inwestycji podlega istotnym ograniczeniom. Kolejny problem polega na dodatkowych kosztach, wynikających z przestojów linii na etapie montażu, integracji oraz szkoleń. W praktyce rynkowej - zrównoważenia sumy wydatków firmy powinny zatem oczekiwać w dłuższym horyzoncie czasowym.⁷⁰

Dynamiczny postęp w dziedzinie sztucznej inteligencji (AI) z dużym prawdopodobieństwem będzie miał istotny wpływ na rozbudowę możliwości użytkowych cobotów. Roboty współpracujące korzystając z systemów wizyjnych opartych o AI uzyskują znacznie szybszy i jeszcze bardziej precyzyjny poziom kontroli zmian w otoczeniu oraz możliwość dostosowania się do bieżących jego parametrów.^{71,72,73,74}

⁶⁹ <https://statzon.com/insights/global-collaborative-robot-market>

⁷⁰ <https://automatykaonline.pl/Artykuly/Robotyka/Rewolucja-w-automatyzacji-dzieki-kobotom>

⁷¹ Habibian S., Alvarez Valdivia A., Blumenschein L.H, Losey D.P.: A survey of communicating robot learning during human-robot interaction. *The International Journal of Robotics Research*, DOI:10.1177/02783649241281369, 2024.

⁷² Nikolaidis S., Ramakrishnan R., Gu K., Shah J.: Efficient model learning from joint-action demonstrations for human-robot collaborative tasks. In *Proceedings of the tenth annual ACM/IEEE international conference on human-robot interaction*, pp. 189-196, 2015.

⁷³ Mendez E., Ochoa O., Olivera-Guzman D. et. al: Integration of Deep Learning and Collaborative Robot for Assembly Tasks. *Applied Sciences.*; 14(2):839. 2024, <https://doi.org/10.3390/app14020839>

⁷⁴ Chen M., Nikolaidis S., Soh H., Hsu D., Srinivasa S.: Planning with trust for human-robot collaboration. In *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE international conference on human-robot interaction*, pp. 307-315, 2018.

Przyszłość cobotów to:^{75,76,77}

- wykorzystywanie zaawansowanych algorytmów uczenia maszynowego do analizy danych,
- podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym,
- optymalizacja wydajności i szybkości adekwatnie do dynamicznie zmieniających się warunków otoczenia.

Innowacyjnym kierunkiem rozwoju są roboty, które można określić, jako hybrydowe. Ten typ robotów jest przystosowany do eksploatacji na wysokich prędkościach z wykorzystaniem dużych sił, reprezentując parametry przemysłowe, ale jednocześnie istnieje możliwość szybkiego przełączenia go w tryb urzędzenia współpracującego z rygorystycznym ograniczeniem siły i prędkości. System złożony z kilku kamer 3D, które w czasie rzeczywistym monitorują przestrzeń pracy robota pozwala na bieżąco reagować na zmiany w otoczeniu. Kluczowym elementem systemu jest program informatyczny, który umożliwi obliczanie trajektorii ruchu ramienia robota w czasie rzeczywistym. Wykrycie obiektu w tej przestrzeni powoduje natychmiastowe zatrzymanie i program oblicza nową trajektorię ruchu. Ten kierunek rozwoju to rewolucyjna zmiana w filozofii programowania. Dotychczasową metodę ruchu od punktu do punktu zastępuje polecenie definiujące czynność, jako zadanie. W takim przypadku trajektoria ruchu zależy od bieżącej sytuacji w otoczeniu i wykrytych przeszkód. Stanowi to kolejny etap rozwoju robotów, które stopniowo uzyskują „bieżącą świadomość otoczenia”, czyli przewyższają odwzorowanie stosowane w aplikacjach robotów współpracujących.^{78,79,80}

Bibliografia

- Ajoudani A., Zanchettin A. M., Ivaldi S., et al.: Progress and prospects of the human-robot collaboration. *Autonomous Robots*, 42(5), 957–975, 2018.
- Bogołębska J., Bogołębski M.: Znaczenie nowoczesnych technologii dla konkurencyjności przedsiębiorstw prowadzących gospodarkę magazynową, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN: 978-83-8142-830-9, Łódź, 2020.
- Borboni A., Reddy K. V. V., Elamvazuthi I., AL-Quraishi M. S., Natarajan E., Azhar Ali S. S.: The expanding role of artificial intelligence in collaborative robots for industrial applications: A systematic review of recent works. *Machines*, 11(1), 111, 2023.

⁷⁵ Borboni A., Reddy K. V. V., Elamvazuthi I., AL-Quraishi M. S., Natarajan E., Azhar Ali S. S.: The expanding role of artificial intelligence in collaborative robots for industrial applications: A systematic review of recent works. *Machines*, 11(1), 111, 2023.

⁷⁶ <https://www.mecalux.pl/blog/roboty-magazynowe-logistyka-4-0>

⁷⁷ Ionescu T. B., Schlund S.: Programming cobots by voice: A human-centered, web-based approach. *Procedia CIRP*, 97, 123-129, 2021.

⁷⁸ <https://iautomatyka.pl/coboty-czyli-roboty-wspolpracujace/>

⁷⁹ Murali, P. K., Darvish, K., Mastrogiovanni, F.: Deployment and evaluation of a flexible human-robot collaboration model based on AND/OR graphs in a manufacturing environment. *Intelligent Service Robotics*, 13(4), 439-457, 2020.

⁸⁰ <https://iautomatyka.pl/cobot-co-to-wlasciwie-jest/#prettyPhoto>

- Cacace J., Caccavale R., Finzi A., et al.: Combining human guidance and structured task execution during physical human–robot collaboration. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1–15, 2022.
- Chen M., Nikolaidis S., Soh H., Hsu D., Srinivasa S.: Planning with trust for human-robot collaboration. In *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE international conference on human-robot interaction*, pp. 307-315, 2018.
- Chen M., Nikolaidis S., Soh H., et al.: Trust-aware decision making for human-robot collaboration: Model learning and planning. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction (THRI)*, 9(2), 1–23, 2020.
- Colgate J.E., Peshkin M.A, Wannasuphprasit W.: Nonholonomic Haptic Display, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Philadelphia, PA, April 23–27, 1996.
- Colgate J.E., Wannasuphprasit W., Peshkin M.A.: Cobots: Robots for Collaboration with Human Operators, *Proceedings of the International Mechanical Engineering Congress and Exhibition*, Atlanta, GA, DSC-Vol. 58, Nov. 17–22, pp. 433–439, 1996.
- Djuric A. M., Urbanic R. J., Rickli J. L.: A Framework for Collaborative Robot (CoBot) Integration in Advanced Manufacturing Systems’, *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 9(2), pp. 2016-01–0337. 2016. [https://doi: 10.4271/2016-01-0337](https://doi.org/10.4271/2016-01-0337).
- Gąsowska M.K.: Zarządzanie procesami logistycznymi we współczesnych przedsiębiorstwach, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8270-091-6, Warszawa, 2022.
- Habibian S., Alvarez Valdivia A., Blumenschein L.H, Losey D.P.: A survey of communicating robot learning during human-robot interaction. *The International Journal of Robotics Research*, DOI:10.1177/02783649241281369, 2024.
- Ionescu T. B., Schlund, S.: Programming cobots by voice: A human-centered, web-based approach. *Procedia CIRP*, 97, 123–129, 2021.
- Januła E., Kasińska M., Kwiatkiewicz P., Laskowski M.: Zapasy i magazynowanie, Wyd. As Pik, ISBN: 978-83-66264-17-5, Warszawa, 2020.
- Juściński S.: Platformy internetowe, jako system wspomagania informatycznego w branży transport-spedycja-logistyka. [w:] *Dziesiętowski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce*. Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, Kraków, s. 125–154, 2021.
- Juściński S.: Aplikacja autonomicznie sterowanych pojazdów, jako kierunek rozwoju logistycznych systemów transportu wewnętrznego. [w:] *Dziesiętowski G., Kuboń M., Kaczmar I.: (red.): Tendencje Rozwojowe w Transporcie i Logistyce*. Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-53-2, Przemysł, s. 145–176, 2022.
- Juściński S.: Aplikacja systemów informatycznych klasy TMS w obsłudze przesyłek kontenerowych w transporcie morskim, [w:] *Dziesiętowski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce*, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, Kraków, s. 97–124, 2021.
- Juściński S.: Programy WMS, jako przykład kompleksowych systemów informatycznych do obsługi logistyki magazynowej i dystrybucyjnej. [w:] *Dziesiętowski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce*. Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, Kraków, s. 155–180, 2021.
- Khoramshahi M., Billard, A.: A dynamical system approach for detection and reaction to human guidance in physical human-robot interaction. *Autonomous Robots*, 44(8), 1411–1429, 2020.
- Klepcki B. (red.): *Logistyka*, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-518-8, Warszawa, 2021.
- Książkiewicz D.: *Rozwój transportu, spedycji i logistyki w dobie cyfryzacji i globalnej gospodarki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN: 978-83-8206-379-0, Gdańsk, 2021.
- Kulińska E., Dendera-Gruszka M.: *Zarządzanie ryzykiem łańcuchów dostaw*, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8085-969-2, Warszawa, 2019.
- Losey D. P., McDonald C. G., Battaglia E., et al.: A review of intent detection, arbitration, and communication aspects of shared control for physical human–robot interaction. *Applied Mechanics Reviews*, 70(1), 2018.

- Lapko A., Wagner N.: *Logistyka dystrybucji . Trendy - Wyzwania - Przykłady*. Wyd. CeDeWu Sp. z o.o. ISBN: 978-83-8102-516-4, Warszawa, 2021.
- Mendez E., Ochoa O., Olivera-Guzman D. et. al: Integration of Deep Learning and Collaborative Robot for Assembly Tasks. *Applied Sciences.*; 14(2):839. 2024, <https://doi.org/10.3390/app14020839>
- Nardo M., Forino D., Murino T., et al.: The evolution of man-machine interaction: The role of human in industry 4.0 paradigm. *Production & Manufacturing Research*, 8(1), 20–34, 2020.
- Nikolaidis S., Ramakrishnan R., Gu K., Shah J.: Efficient model learning from joint-action demonstrations for human-robot collaborative tasks. In *Proceedings of the tenth annual ACM/IEEE international conference on human-robot interaction*, pp. 189-196, 2015.
- Murali P. K., Darvish K., Mastrogiovanni F.: Deployment and evaluation of a flexible human–robot collaboration model based on AND/OR graphs in a manufacturing environment. *Intelligent Service Robotics*, 13(4), 439-457, 2020.
- Otto P.: Rynek magazynowy wciąż bije rekordy, *Transport i Logistyka, Dziennik Gazeta Prawna, Biznes*, Nr 62 (5724), s. 16, 30 marca 2022 r.
- Peternel L., Tzagarakis N., Caldwell D., et al.: Robot adaptation to human physical fatigue in human-robot co-manipulation. *Autonomous Robots*, 42(5), 1011–1021, 2018.
- Przybylski R.: Pandemia przyspieszyła automatyzację, Branżę logistyczną czekają duże inwestycje w automatykę, *Rzeczpospolita, dodatek Logistyka*, s. K1, 30 lipca 2020.
- Rega A., Di Marino C., Pasquariello A., Vitolo F., Patalano S., Zanella A., Lanzotti A.: Collaborative Workplace Design: A Knowledge-Based Approach to Promote Human–Robot Collaboration and Multi-Objective Layout Optimization. *Applied Sciences*. 2021; 11(24):12147. <https://doi.org/10.3390/app112412147>.
- Sadowska B.: *Rachunek kosztów logistycznych w przedsiębiorstwie*, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-432-7, Warszawa, 2021.
- Sadowska B.: *Zrównoważony rachunek kosztów w społecznie odpowiedzialnej logistyce*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: 978-83-7972-476-5, Szczecin, 2021.
- Shafiq A., Tjomsland J., Dudley W., et al.: Real-world human-robot collaborative reinforcement learning. In *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 11161–11166, 2020.
- Skowrońska A.: *Zarządzanie makrologistyką w gospodarce globalnej*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, ISBN: 978-83-7695-827-9, Wrocław, 2020.
- Skowrońska A.: *Zarządzanie makrologistyką w gospodarce globalnej*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, ISBN: 978-83-7695-827-9, Wrocław, 2020.
- Stawiarska E.: *Modele zarządzania innowacjami w łańcuchach i sieciach dostaw międzynarodowych koncernów motoryzacyjnych*, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-228-6, Warszawa, 2019.
- Śmietana K.: Branża pokonała pandemię. Co przyniesie wojna? *Transport i Logistyka, Dziennik Gazeta Prawna, Biznes*, Nr 62 (5724), s. 4-6, 30 marca 2022 r.
- Thomaz A., Hoffman G., Cakmak M.: Computational Human-Robot Interaction, *Foundations and Trends® in Robotics: Vol. 4: No. 2-3*, pp 105-223, 2016. <http://dx.doi.org/10.1561/23000000049>.
- Tundys B., Rzczycki A., Drobiaziewicz J.: *Decyzje strategiczne w łańcuchach dostaw*, Wydawnictwo edu-Libri, ISBN: 978-83-65648-53-2, Kraków-Legionowo, 2018.
- Toussaint M., Munzer T., Mollard Y., Wu L. Y., Vien N. A., Lopes M.: Relational activity processes for modeling concurrent cooperation. In *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 5505-5511, IEEE, 2016.
- Vianello L., Ivaldi S., Aubry A. et al.: The effects of role transitions and adaptation in human–cobot collaboration. *Journal of Intelligent Manufacturing* 35(5):1-15, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02104-5>.
- <https://automatykab2b.pl/wydarzenia/realizacje/53728-co-moze-cobot-universal-robots-prezentuje-przegląd-zastosowań-robotów-współpracujących>.
- <https://automatykaonline.pl/Artykuly/Robotyka/Rewolucja-w-automatyzacji-dzieki-kobotom>.

<https://automatykaonline.pl/Artykuly/Robotyka/Roboty-wspolpracujace.-Specyfikacja-techniczna-ISO-TS-15066>.
<https://iautomatyka.pl/cobot-co-to-wlasciwie-jest/#prettyPhoto>.
<https://iautomatyka.pl/coboty-czyli-roboty-wspolpracujace/>
<https://industry4o.com/2022/08/04/what-is-a-collaborative-robot/>
<https://logistyka.rp.pl/drogowy/art38009641-rok-wojny-w-transportcie>.
<https://logistyka.rp.pl/morski/art39657211-ceny-transportu-kontenerow-poszybowaly-w-gore>
<https://magazynprzemyslowy.pl/artykuly/wydajne-pakowanie-i-paletyzacja-dzieki-cobotom-serii-hc-firmy-yaskawa>.
<https://maritime-security.eu/artykuly/2058/>
<https://market.us/report/collaborative-robots-market/#overview>
<https://market.us/wp-content/uploads/2022/06/Collaborative-Robots-Market-1024x595.jpg>
<https://market.us/wp-content/uploads/2022/06/Collaborative-Robots-Market-Share-1024x519.jpg>
<https://market.us/wp-content/uploads/2022/06/Collaborative-Robots-Market-Region-1024x680.jpg>
https://peshkin-mech-northwestern-edu.translate.goog/cobot/gallery/unicycle/unicycle_lg.gif?
<https://peshkin-mech-northwestern-edu.translate.goog/cobot/gallery/scooter/scooter.jpg?>
<https://portaltsl.pl/transport/fracht-miedzy-azja-i-europa-zdrozal-trzykrotnie/>
<https://przemysl-40.pl/index.php/2020/12/30/how-to-przemysl-4-0-webinaria/>
<https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/przewodnik-przemyslowy-coboty/>
<https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/przewodnik-przemyslowy-coboty/>
<https://statzon.com/insights/global-collaborative-robot-market>
<https://www.astor.com.pl/poradnikautomatyka/coboty-wszystko-co-musisz-o-nich-wiedziec/>
<https://www.linkedin.com/pulse/robot-vs-cobot-what-difference-bzhwen-a-kadir>
<https://www.linkedin.com/pulse/robot-vs-cobot-what-difference-bzhwen-a-kadir>
<https://www.mecalux.pl/blog/coboty-roboty-wspolpracujace>
<https://www.mecalux.pl/blog/roboty-magazynowe-logistyka-4-0>
<https://www.osw.waw.pl/pl/publikacje/komentarze-osw/2022-12-15/kolejowy-jedwabny-szlak-w-cie-niu-wojny-na-ukrainie>
<https://www.universal-robots.com/fr/blog/ur20-pe20-revolutionne-la-palettisation/>
<https://www.universal-robots.com/fr/palettisation-cobotique-ur20-pe20/>
https://www.yaskawa.pl/produkty/roboty-przemyslowe-motoman/kontrolery-do-robotow/productdetail/product/inteligenty-smart-pendant_756
https://www.yaskawa.pl/produkty/roboty-przemyslowe-motoman/roboty-wspolpracujace-coboty/productdetail/product/cobot-hc10dtp_17024

Adres do korespondencji: e-mail: slawomir.juscinski@up.lublin.pl

ORCID: Sławomir Juściński 0000-0002-2692-9083

ANALIZA I OCENA EFEKTYWNOŚCI PRZEWOZÓW TOWARÓW TRANSPORTEM DROGOWYM NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO PRZEDSIĘBIORSTWA

Sławomir Juściński¹, Wiesław Piekarski², Dariusz Piekarski³, Nadiya Mozola²

¹ Katedra Energetyki i Środków Transportu, Zakład Logistyki i Zarządzania Przedsiębiorstwem, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

² Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

³ Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wstęp

Efektywne zarządzanie flotą transportową staje się kluczowym wyzwaniem dla przedsiębiorstw działających w sektorze usług logistycznych. W globalnej gospodarce, gdzie czas i niezawodność dostaw są kluczowymi elementami sukcesu organizacji, istnieje potrzeba systematycznej analizy oraz doskonalenia procesów związanych z eksploatacją pojazdów. Flota transportowa, dysponująca szeroką gamą pojazdów oraz profesjonalnym systemem zarządzania ich eksploatacją, stanowi kluczowy element łańcucha dostaw, wpływając zarówno na koszty operacyjne, jak i satysfakcję klienta. W intensywnym ruchu towarowym na krajowym i międzynarodowym rynku dostaw, skuteczne zarządzanie flotą staje się niezbędne dla utrzymania konkurencyjności i zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstwa. Analiza efektywności wykorzystania floty transportowej nie ogranicza się jedynie do aspektów ekonomicznych, ponieważ wzrastają jednocześnie wyzwania związane z ochroną środowiska, które są szczególnie intensywnie wdrażane na obszarze Unii Europejskiej. W związku z powyższym przedsiębiorstwa są zobowiązane do ciągłego doskonalenia swoich działań i dostosowywania ich do zmieniającego się otoczenia prawnego.^{1,2,3,4,5}

¹ Banaszyk P., Kauf S., Szołtysek J.: Logistyka jako czynnik dobrostanu, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2462-9, Warszawa, 2021.

² Załoga E.: (red.) Europejska przestrzeń transportu. Wyzwania rynkowe, Zeszyty Naukowe nr 741. Problemy Transportu i Logistyki nr 18, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: ISSN 1640-6818, Szczecin, 2012.

³ Biała Księga, Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/COM:2011:0144:FIN:PL:PDF>

⁴ Burnewicz J.: Wizja struktury transportu oraz rozwoju sieci transportowych do roku 2033 ze szczególnym uwzględnieniem docelowej struktury modelowej transportu. Uniwersytet Gdański, Gdańsk, 2007.

⁵ Regulation (EU) No 1315/2013 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2013 on Union guidelines for the development of the trans-European transport network and repealing Decision No 661/2010/EU Text with EEA relevance, OJ L 348, 20.12.2013, p. 1–128.

Istnieje rosnące zainteresowanie analizą procesów transportowych, a w tym oceną wskaźników efektywności, kosztochłonności floty, czy stopnia wykorzystania zasobów transportowych. Innowacyjne metody zarządzania flotą takie, jak systemy telematyczne czy inteligentne algorytmy opracowania tras są warunkiem optymalizacji operacji logistycznych. Ocenie poddaje się szereg czynników, a w tym: czas pracy pojazdów i kierowców, diety, koszty noclegów itp. Nowoczesne zarządzanie flotą rozwija się wraz z postępem techniki i technologii transportu. Rynek oferuje odmienne modele użytkowania floty w przedsiębiorstwach oparte na wynajmie pojazdów. Efektywne zarządzanie flotą to permanentna redukcja kosztów w celu uzyskania przewagi konkurencyjnej na europejskim rynku logistycznym. Analiza efektywności w logistyce jest kluczowym wyzwaniem, obejmującym aspekty operacyjne, taktyczne i strategiczne.^{6,7,8,9,10}

Giędy transportowe funkcjonujące na platformach internetowych to nowoczesna wirtualna baza danych, która pozwala łączyć potrzeby w branży Transport-Spedycja-Logistyka.^{11,12,13,14} Proces transportowy opracowany przez spedytorów rozpoczyna się od załadunku towaru na środek transportu. Ten moment oznacza fizyczne umieszczenie towaru w pojeździe, przygotowując go do dalszego procesu przemieszczania.¹⁵ Po załadunku konieczne jest staranne zaplanowanie trasy dostawy. Przy wyborze optymalnej trasy spedytor

⁶ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) NR 1072/2009 z dnia 21 października 2009 r. dotyczące wspólnych zasad dostępu do rynku międzynarodowych przewozów drogowych.

⁷ Sadowska B.: Zrównoważony rachunek kosztów w społecznie odpowiedzialnej logistyce, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: 978-83-7972-476-5, Szczecin, 2021.

⁸ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) NR 1072/2009 z dnia 21 października 2009 r. dotyczące wspólnych zasad dostępu do rynku międzynarodowych przewozów drogowych.

⁹ Kordel Z., Kuriata A.: Logistyka i transport w ujęciu systemowym, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN 978-83-8102-138-8, Warszawa, 2018.

¹⁰ Juściński S.: Krajowy rynek wynajmu pojazdów, jako nowy model funkcjonowania floty w przedsiębiorstwach, (w:) Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej: Rozdział w recenzowanej monografii naukowej, Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, s. 117-136, 2020.

¹¹ Juściński S.: Platformy internetowe, jako system wspomagania informatycznego w branży transport-spedycja-logistyka. (w:) Dzieniszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce. Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, Kraków, s. 125-154, 2021.

¹² Palczewska A., Barwiński S., Borowiecki Ł.: Znaczenie Giędy Transportowej dla współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych, transportowych i spedycyjnych na przykładzie giędy Trans.eu, (w:) Czajkowska M., Malarski M. (red.): Funkcjonowanie e-biznesu, Zasoby, procesy, technologie, Seria Zarządzanie, <http://dx.doi.org/10.18778/8088-106-8.12>, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2015, s. 121-133, 2015.

¹³ Paszkiewicz B.: Systemy giędowe w logistyce - materiały szkoleniowe 2019 (<http://projekt-zpu.sggw.pl/wp-content/uploads/2019/01/Systemy-giędowe-w-logistyce.pdf>)

¹⁴ Wyrwińska K., Wyrwiński M.: Platformy internetowe, jako narzędzia ekonomii współdzielenia, Transformacje Prawa Prywatnego, ISSN 1641-1609, nr 2, s. 91-112, 2018.

¹⁵ Prochowski L., Żuchowski A.: Technika transportu ładunków, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności sp. z o.o., ISBN: 978-83-206-1977-5, Warszawa, 2016.

uwzględnia kwestie takie, jak odległość, warunki drogowe, czas podróży i zakres dodatkowych kosztów wynikających na przykład z obowiązkowych opłat drogowych. Na etapie przygotowań do procesu transportowego tworzona jest niezbędna dokumentacja, czyli listy przewozowe, faktury oraz etykiety. Informacja o planowanym przebiegu przewozu jest przekazywana przez spedytora do wszystkich zainteresowanych stron.^{16,17} Stanowi to ważny element w uzyskaniu niezawodnego przebiegu procesu transportowego. Głównym celem procesu przemieszczania ładunku jest dostarczenie towaru do klienta w ustalonym miejscu i czasie. Proces ten obejmuje nie tylko fizyczne dostarczenie, ale także potwierdzenie odbioru i zakończenie transakcji. Po dotarciu do miejsca przeznaczenia, towar jest rozładowywany z pojazdu. Następnie przeprowadzany jest proces rozliczeń, weryfikujący zgodność dostarczonego towaru z zamówieniem oraz występowanie ewentualnych uszkodzeń lub niezgodności. Wartość dodana usługi spedycyjnej procesu transportowego to wypracowanie satysfakcji klienta poprzez wysoki poziom świadczonych usług.^{18,19,20,21,22}

Badanie efektywności procesów transportowych to skomplikowany problem, w którym analizie są poddane różnorodne aspekty z zastosowaniem metod ilościowych i jakościowych. Na pierwszym etapie proces ten obejmuje analizę porównawczą wskaźników i mierników, które służą, jako narzędzia pomiaru skutków ekonomicznych i pozaekonomicznych działań logistycznych w transporcie. W procesie transportowym wykorzystuje się także podejście ilościowe, które opiera się na konkretnych danych liczbowych. Całość obejmuje mierniki związane z ilością takie, jak wielkość masy towarów, które zostały przewiezione od nadawcy do odbiorcy, liczba przejechanych kilometrów z ładunkiem, czy koszty transportu na jednostkę ciężaru. Powyższe wskaźniki pozwalają na obiektywną ocenę różnych aspektów efektywności operacyjnej procesu transportowego w logistyce dystrybucji oraz występującego przy tym ryzyka.²³ Istotne jest także podejście jakościowe, uwzględniające elementy takie, jak: poziom obsługi, dotrzymanie uzgodnionych terminów, a także bezpieczeństwo dostaw. Mierniki jakościowe są kluczowe dla kompleksowej oceny satysfakcji klienta oraz identyfikacji obszarów wymagających dalszych działań naprawczych. Ponadto w każdym z tych obszarów należy uwzględnić zmienne czynniki rynkowe takie, jakie wystąpiły na przestrzeni

¹⁶ Marciniak-Neider D., Neider J. (red.): Podręcznik spedytora: Transport, Spedycja, Logistyka, Polska Izba Spedycji i Logistyki, Tom 1 i 2, ISBN 978-83-924234-3-0, Gdynia, 2011.

¹⁷ Wierzejski T., Kędzior-Laskowska M.: Transport i spedycja, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, ISBN 978-83-63041-74-8, Olsztyn, 2014.

¹⁸ Wasielewska-Marszałkowska I.: Spedycja współczesnych łańcuchów dostaw, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN 978-83-7556-678-9, Warszawa, 2014.

¹⁹ Długołęcka K., Simiński P.: Spedytor jako istotne ogniwo w łańcuchu dostaw, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, Seria Administracja i Zarządzanie, nr 105, s. 37-47, 2015.

²⁰ Duraj N., Sadowski A., Misztal A., Comporek M., Kowalska M.: Bezpieczeństwo ekonomiczno-finansowe przedsiębiorstw sektora TSL. Wybrane problemy, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN 978-83-8142-972-6, Łódź, 2020.

²¹ Karbownik L.: Metody oceny zagrożenia finansowego przedsiębiorstw sektora TSL w Polsce, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN 978-83-8088-588-2, Łódź, 2016.

²² Książkiewicz D.: Rozwój transportu, spedycji i logistyki w dobie cyfryzacji i globalnej gospodarki, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN: 978-83-8206-379-0, Gdańsk, 2021.

²³ Kulińska E., Dendera-Gruszka M.: Zarządzanie ryzykiem łańcuchów dostaw, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8085-969-2, Warszawa, 2019.

ostatnich lat, czyli pandemia, wojna w Ukrainie i radykalne zmiany legislacyjne w postaci Pakietu Mobilności.^{24,25,26,27}

W obszarze strukturalnym istotnym miernikiem jest wielkość pracy przewozowej, odzwierciedlająca ilość przewożonych towarów. Koszty transportu stanowią kluczowy parametr, zarówno w odniesieniu do ogólnych kosztów, jak i kosztów jednostkowych przewozu. Mierniki produktywności obejmują koszty transportu na jednostkę zlecenia, co umożliwia skuteczną kontrolę kosztów operacyjnych. Udział kosztów transportu w kosztach produkcji jest kluczowym wskaźnikiem finansowym, odzwierciedlającym wpływ transportu na ogólną strukturę kosztów przedsiębiorstwa. Ocena przedsiębiorstwa transportowego w obszarze produktywności, obejmująca, czas transportu na jednostkę zlecenia jest miernikiem, wpływającym na efektywność czasową całego procesu. Należy nadmienić, że stopień wykorzystania środków transportu to główny parametr operacyjny, decydujący o efektywnym zarządzaniu flotą.^{28,29,30,31}

Innowacyjne metody w zarządzaniu flotą transportową

Transport międzynarodowy służy nie tylko do przemieszczania towarów, lecz jest także obszarem wdrażania nowatorskich rozwiązań w logistyce. Nowoczesne systemy transportowe są niezbędne dla rozwoju gospodarki, a ich wysoki poziom generując wzrost wymiany handlowej i zwiększa jej konkurencyjność. Unia Europejska konsekwentnie wdraża przepisy mające na celu długofalowy i zrównoważony rozwój jednolitej struktury przewozów drogowych. Polska włączona została w momencie akcesji do budowy nowoczesnych połączeń oraz restrukturyzacji zaplecza transportowego.^{32,33} Działania mające na celu rozwój infrastruktury

²⁴ Łapko A., Wagner N.: Logistyka dystrybucji, Trendy - Wyzwania – Przykłady, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-516-4, Warszawa, 2021.

²⁵ Śmietana K.: Branża pokonała pandemię. Co przyniesie wojna? Transport i Logistyka, Dziennik Gazeta Prawna, Biznes, Nr 62 (5724), s. 4-6, 30 marca 2022 r.

²⁶ Wroński M.: Transport drogowy na bardzo ostrym wirażu, Transport i Logistyka, Dziennik Gazeta Prawna, Biznes, Nr 82 (6247), str. 9, 25 kwietnia 2022 r.

²⁷ Wojewódzka-Król K., Załoga E. (red.): Transport. Tendencje zmian, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-22033-4, Warszawa, 2022.

²⁸ Hajdul M., Stajniak M., Fołtyński M., Koliński A., Andrzejczyk P.: Organizacja i monitorowanie procesów transportowych, Zarządzanie środkami technicznymi podczas realizacji procesów transportowych, Instytut Logistyki i Magazynowania, ISBN 978-83-63186-01-2, Poznań, 2015.

²⁹ Lewicki W.: Podstawy ekonomiki transportu i logistyki. Ekonomiczne, organizacyjne, techniczne determinanty rozwoju transportu intermodalnego i centrów logistycznych w Polsce, Wydawnictwo Naukowe Sophia, ISBN: 978-83-65929-64-8, Katowice, 2018.

³⁰ Tundys B., Rzczycki A., Drobiaziewicz J.: Decyzje strategiczne w łańcuchach dostaw, Wydawnictwo edu-Libri, ISBN: 978-83-65648-53-2, Kraków-Legionowo, 2018.

³¹ Waściński T., Zieliński P.: Efektywność procesu transportowego. Systemy Logistyczne Wojsk, nr 42, Warszawa, DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.7166>, 2015.

³² Marciszewska E. (red.): Wpływ implementacji regulacji w europejskim systemie transportowym na zmiany strukturalne na rynku usług, Szkoła Główna Handlowa Oficyna Wydawnicza, ISBN: 978-83-7378-833-6, Warszawa, 2013.

³³ Łącka I., Suproń B.: Polski transport drogowy ładunków w Unii Europejskiej. Stan obecny i perspektywy, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN 978-83-8102-348-1, Warszawa, 2020.

realizowane są równoległe z rozbudową terminali przeładunkowych, aby ułatwić wykorzystania transportu intermodalnego. Wspólnym mianownikiem tego typu działań jest nie tylko dążenie do zwiększenia efektywności usług transportowych, ale także uzyskanie pozytywnego wpływu na ochronę środowiska.^{34,35,36,37,38}

W dziedzinie transportu wdrożenie zaawansowanych systemów monitorowania pracy kierowców stanowi miły krok w doskonaleniu procesu zarządzania flotą. Technologie informatyczne rejestrują aktywność kierowców podczas przewozu ładunków, umożliwiając szczegółową analizę ich zachowania. Systemy pomagają identyfikować obszary, w których kierowcy mogą poprawić swoje umiejętności i jednocześnie monitorują przestrzeganie przepisów obowiązujących w ruchu drogowym. Dzięki analizie danych dotyczących prędkości, drogi hamowania oraz innych parametrów ilustrujących przebieg przewozu, możliwe jest prowadzenie szkoleń, mających na celu zwiększenie bezpieczeństwa na drodze. Monitorowanie pracy kierowców obejmuje także aspekty związane z bezpieczeństwem takie, jak wykrywanie zmęczenia czy nadmiernego stresu, co pozwala na natychmiastową reakcję w celu uniknięcia potencjalnie niebezpiecznych zdarzeń. W rezultacie przekłada się to na podniesienie poziomu bezpieczeństwa, efektywność i jakość usług realizowanych przez flotę transportową.^{39,40,41,42}

Internet Rzeczy (IoT) integrujący obiekty fizyczne, które są wyposażone w czujniki, oprogramowanie i inne technologie informatyczne, wykorzystywany jest do łączenia się i wymiany danych z innymi urządzeniami i systemami za pośrednictwem globalnej sieci. W branży transportowej zastosowanie systemu IoT umożliwia monitorowanie i zarządzanie procesami logistycznymi w czasie rzeczywistym.⁴³ Kontroli podlega lokalizacja pojazdów

³⁴ Gołębska E., Gołębski M.: *Transport w logistyce*, CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-343-6, Warszawa, 2020.

³⁵ Cieśla M., Hat-Garncharz G., Opasiak T., Nowakowski P.: *Logistyka w łańcuchach dostaw, Wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, ISBN: 978-83-7880-422-2, Gliwice, 2017.

³⁶ Fajczak-Kowalska A., Krenski C.: *Infrastruktura liniowa dróg krajowych i autostrad w Polsce, jej stan, wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego i transport samochodowy*, *Logistyka*, nr 4, s. 265-271, 2014.

³⁷ Burnewicz J.: *Wizja struktury transportu oraz rozwoju sieci transportowych do roku 2033 ze szczególnym uwzględnieniem docelowej struktury modelowej transportu*. Uniwersytet Gdański, Gdańsk, 2007.

³⁸ Jacyna M., Pyza D., Jachimowski R.: *Transport intermodalny. Projektowanie terminali przeładunkowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-19579-3, Warszawa, 2017.

³⁹ Kulińska E.: *Systemy informatyczne a rozwiązywanie problemów funkcjonalnych przedsiębiorstw transportowo-spedycyjnych*, *Ekonomiczne problemy usług*, ISSN 1896-382X, Politechnika Opolska, nr 122, s. 309-318, 2016.

⁴⁰ Klóska R. (red.): *Infrastruktura transportowa i cyfrowa jako czynnik regionalnego i lokalnego rozwoju gospodarczego*, Wyd. Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN 978-83-7972-412-3, Szczecin, 2020.

⁴¹ Kuska K.: *System GPS. Rodzaje, historia, opis działania i przyszłość* (<https://geex.x-kom.pl/wiadomosci/system-gps/>)

⁴² Simiński P., Zubrycka M.: *Transport dalekobieżny: Środki transportu i uwarunkowania pracy kierowców*. Wyd. Ridero IT Solution, ISBN:978-83-8104-659-6, 2018

⁴³ Wyrwich-Płotka S.: *Wirtualna praca w łańcuchu dostaw*, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8085-649-3, Warszawa, 2018.

przy wykorzystaniu sensorów GPS i modułów komunikacyjnych. Ten rodzaj monitoringu dostarcza dokładnych informacji o trasach przejazdu, prędkościach oraz czasie dostawy. Ponadto system rejestruje dane obejmujące stanu techniczny pojazdów oraz parametry eksploatacyjne, w tym zużycia paliwa, temperaturę silnika i ciśnienia w oponach, co pozwala na wczesne wykrywanie usterek i planowanie obsługi serwisowej. Specjalistyczne czujniki temperatury i wilgotności są istotne przy przewozie towarów łatwopsujących, które wymagają określonych warunków termicznych. Czujniki zmiany nacisku, umieszczone na powierzchniach ładunku, monitorują zmiany stanu w czasie rzeczywistym, co pomaga identyfikować potencjalne problemy podczas transportu.^{44,45,46,47}

Implementacja systemów automatyzacji, telematyki i sztucznej inteligencji (SI) stanowi przełomowy krok w doskonaleniu obsługi operacji logistycznych. Wykorzystywane są do optymalizacji w procesie planowania tras, uwzględniając zmienne warunki ruchu, zmiany prognozy pogody i bieżące informacje o stanie dróg. Sztuczna inteligencja, poprzez analizę dużych zbiorów danych, może być wykorzystywana do prognozowania czasów przebiegu, wykorzystania czasu pracy oraz związanych z tym planami wykonywania przeglądów serwisowych dla każdego pojazdu we flocie przedsiębiorstwa. W rezultacie przedsiębiorstwa transportowe stają się bardziej elastyczne, efektywne i konkurencyjne w realizacji zleceń na dynamicznym rynku usług logistycznych.^{48,49,50,51}

Mobilność, jako usługa (*ang. Mobility-as-a-Service*) to koncepcja umożliwiająca dostęp do różnych form transportu poprzez jedną cyfrową platformę (aplikację mobilną). Integracja różnych systemów zarządzania flotą w jedną platformę umożliwia scentralizowane i spójne zarządzanie wszystkimi obszarami pracy floty. Pozwala to na skoordynowane działania, monitorowanie i optymalizację procesów logistycznych, co przekłada się na efektywność i transparentność operacji transportowych.⁵²

Automatyczna diagnostyka pokładowa, oparta na zaawansowanych systemach analizujących stan pojazdów, stanowi kluczowy element utrzymania sprawności technicznej floty transportowej. Umożliwia wczesne wykrywanie usterek, co pozwala na planowanie napraw

⁴⁴ Sałek R., Grondys K.: Uwarunkowania nowoczesnych technologii ICT wspierających działalność przewozową w transporcie drogowym, *Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe*, R.18, nr 12, s. 1592-1596, CD, 2017.

⁴⁵ Sosnowski J., Nowakowski Ł.: Innowacje kreujące nowe wartości w transporcie samochodowym, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN 978-83-8142-881-1, Łódź, 2020.

⁴⁶ Sosnowski J., Nowakowski Ł.: Systemy elektroniczne w transporcie drogowym, Wydawnictwo Difin S.A., ISBN: 978-83-8085-557-1, Warszawa, 2018.

⁴⁷ Januszewski, J.: Nawigacyjny system satelitarny GPS dzisiaj i w przeszłości, Gdynia, Akademia Morska w Gdyni, 2010.

⁴⁸ Śmieszek M., Dobrzański P., Dobrzańska M.: Zastosowanie nowoczesnych technologii informacyjnych w transporcie, *Instytut Logistyki i Magazynowania*, (4), Poznań, 2015.

⁴⁹ Wojewódzka-Król K., Załoga E. (red.): *Transport. Nowe wyzwania*, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-18462-9, Warszawa, 2016.

⁵⁰ Mikulski J.: *Infrastruktura telematyczna w logistyce*, *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, Nr 3, 2013.

⁵¹ Mikulski J.: *Telematyka – przyszłość transportu i logistyki*, *Logistyka*, Nr 2, s. 36–37, 2010.

⁵² Rydzkowski W. (red.): *Współczesna polityka transportowa*, *Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A.*, ISBN: 978-83-208-2282-3, Warszawa, 2017.

bez konieczności zakłócania planu dostaw oraz przyczynia się do redukcji przestojów pojazdów i zwiększenia dostępności poszczególnych pojazdów we flocie.⁵³

Kolejny nurt w innowacjach to wprowadzanie do eksploatacji pojazdów elektrycznych i na paliwa alternatywne w celu zminimalizowania negatywnego wpływu na środowisko. Pojazdy elektryczne eliminują emisję gazów cieplarnianych, co przekłada się na poprawę jakości powietrza, a korzystanie z paliw alternatywnych, takich jak biopaliwa czy wodór, wpisuje się w ideę wykorzystywania ekologicznych źródeł energii. Podejmowane są także działania nad wprowadzeniem autonomicznych systemów transportowych, jako alternatywne rozwiązanie problemu logistyki dystrybucji na coraz wyższym poziomie ilościowym.^{54,55,56,57,58}

Metody oceny efektywności floty transportowej

Efektywność floty transportowej w przedsiębiorstwie jest kluczowym wskaźnikiem pomiaru, określającym poziom funkcjonowania przedsiębiorstwa. Przedsiębiorstwo skupia się na kompleksowej ocenie różnych obszarów świadczonych usług, obejmujących takie tematy, jak:^{59,60,61}

- Terminowość dostaw towarów - efektywność floty jest ściśle związana z terminowością dostaw. Analiza czasu dostawy umożliwia identyfikację obszarów, gdzie możliwe jest przeprowadzenie optymalizacji przebiegu trasy w celu minimalizacji opóźnień.
- Koszty usług transportowych - ocena efektywności floty wymaga uwzględnienia aspektów finansowych, a analiza kosztów transportu, paliwa, napraw i serwisowania pojazdów oraz innych związanych z logistyką kosztów pozwala na identyfikację obszarów, w których można wprowadzić oszczędności lub zoptymalizować wydatki.

⁵³ Mindur L. (red.), *Technologie transportowe*, Wydawca: Instytut Technologii Eksploatacji, Warszawa-Radom 2014.

⁵⁴ Juściński S.: Pojazdy z napędem alternatywnym, jako przykład zrównoważonego rozwoju logistycznych łańcuchów dostaw, (w:) *Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej*, Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 137-166, 2020.

⁵⁵ Choromański W., Grabarek I., Kozłowski M., Czerepicki A., Marczuk K.: *Pojazdy autonomiczne i systemy transportu autonomicznego*, Wyd. PWN S.A., ISBN: 978-83-01-21102-8, Warszawa, 2020.

⁵⁶ Juściński S.: *Autonomiczne pojazdy ciężarowe jako innowacyjne wsparcie logistycznych łańcuchów dostaw*, (w:) Dzieniszewski G., Kuboń M.: (red.): *Procesy logistyczne w przemyśle*. Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-55-6, s. 55-83, 2023.

⁵⁷ Załoga E., Liberacki B. (red.): *Innowacje w transporcie. Korzyści dla użytkownika*, Zeszyty Naukowe nr 603 Ekonomiczne Problemy Usług nr 59, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: ISSN 1640-6818, Szczecin, 2010.

⁵⁸ Wojewódzka-Król K. (red.): *Innowacje w transporcie, Zrównoważony rozwój. Integracja gałęzi transportu, Sztuczna inteligencja*. Wyd. PWN SA, ISBN 978-83-01-21503-3, Warszawa, 2021.

⁵⁹ Banasiak-Lach J. (red.): *21 wskazówek jak optymalizować koszty w transporcie drogowym*. Zatrudnianie, podatki, leasing, zarząd, Oficyna Prawa Polskiego, ISBN: 978-83-269-5258-6, Warszawa, 2016.

⁶⁰ Neider J.: *Transport Międzynarodowy*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, ISBN: 978-83-208-2334-9, Warszawa, 2019.

⁶¹ Rucińska D. (red.): *Rynek usług transportowych w Polsce*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2201-4, Warszawa, 2015.

- Efektywność procesów transportowych - ważna jest ocena efektywności samego procesu transportowego w aspekcie poziomu optymalizacji tras oraz wykorzystania najnowszej technologii monitorowania i zarządzania flotą, aby uzyskać maksymalne wykorzystanie przestrzeni ładunkowej.

W efektywnym zarządzaniu flotą kluczowe obszary, to:^{62,63,64,65}

- Zużycie paliwa - bieżące monitorowanie zużycia paliwa stanowi istotny element w procesie kontroli efektywności floty, gdyż pozwala identyfikować zmiany i realizować działania mające na celu optymalizację tras, kontrolę prędkości oraz stosowanie bardziej ekonomicznych technik jazdy.
- Utrzymanie sprawności pojazdów - wymaga stałej kontroli kosztów w zakresie przeglądów technicznych i napraw, a także zarządzanie cyklem życia pojazdów.
- Optymalne planowanie tras - umożliwia skrócenie przebiegu pojazdów, a tym samym zminimalizowanie czasu transportu ładunku i ograniczenie emisji gazów cieplarnianych.
- Zarządzanie czasem dostaw - obejmuje nie tylko monitorowanie czasu przewozu, ale także efektywne zarządzanie czasem załadunku i rozładunku dostaw w celu minimalizowania przestojów.

Poprzez skuteczną optymalizację produktywności floty, przedsiębiorstwa w Polsce mogą nie tylko zwiększyć efektywność operacyjną, ale także obniżyć całkowity poziom generowanych kosztów. Równoległe podejmowane są starania, aby zwiększyć poziom satysfakcji klientów poprzez szybsze i bardziej efektywne dostawy. Sprawne systemy transportowe stanowią element niezbędny do rozwoju przedsiębiorczości na rynkach lokalnych, a tym samym są uznawane za czynnik inicjujący wzrost gospodarczy poszczególnych krajów.^{66,67,68}

Miejsce i metoda realizacji badań rynkowych

Firma transportowa, będąca przedmiotem badań zajmuje się międzynarodową spedycją drogową, oferując kompleksowe usługi w zakresie organizacji i realizacji procesów transportowych. Specjalizuje się w transporcie ładunków do 24 ton, włączając w to towary spaletyzowane oraz luzem. Charakteryzuje się elastycznością w zakresie miejsc załadunku i rozładunku, co pozwala dostosować się do indywidualnych potrzeb klientów.

⁶² Kuriata A., Kordel Z.: Logistyka i transport. Teoria oraz praktyczne zastosowania, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-286-6, Warszawa, 2019.

⁶³ Wasiak M., Jacyna-Gołda I.: Transport drogowy w łańcuchach dostaw. Wyznaczanie kosztów, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-18487-2, Warszawa, 2016.

⁶⁴ Wasilewski M.: Tańsza flota ciągników, Logistics manager, Nr 1, luty-kwiecień, str. 86-89, 2018.

⁶⁵ Wiszniewska M.: Przewóz ładunków, Organizacja i nadzorowanie transportu, Planowanie realizacji procesów transportowych, Difin S.A., Warszawa 2014.

⁶⁶ Wojewódzka-Król K., Rolbiecki R.: Infrastruktura transportu, Europa, Polska – teoria i praktyka, Wyd. Naukowe PWN SA, ISBN 978-83-01-19690-5, Warszawa, 2018.

⁶⁷ Kordel Z. (red.): Polski transport samochodowy ładunków, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN 978-83-8102-283-5, Warszawa, 2019.

⁶⁸ Strategia Rozwoju Transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030 roku). Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Warszawa 2013.

Ważnym aspektem działalności przedsiębiorstwa jest dobór optymalnych środków transportu, dostosowanych do specyfiki przewożonego towaru. Flotę stanowi 11 różnych typów pojazdów takich, jak ciągniki siodłowe z naczepami typu plandeka, firanka, izoterma oraz platformy do przewozu kontenerów, co pozwala na przyjmowanie i realizację różnych usług transportowych.

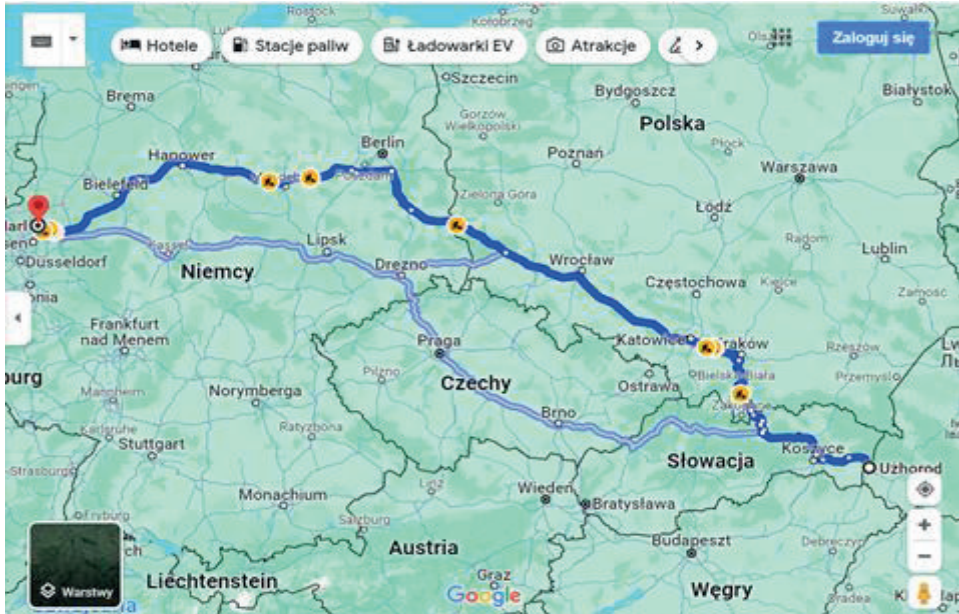
Badaniami objęto kombinację tras przez różne kraje, co pozwala na analizę wpływu warunków drogowych, dopuszczalnych prędkości oraz czasu przestojów na granicach.

Trasy transportu ładunków wyznaczone do badań, to:

- Użhorod – Marl (1412 km przez Ukrainę, Słowację, Polskę i Niemcy).
Podróż z Użhorodu do Marla rozpoczyna się na Ukrainie, przy granicy ze Słowacją. Przejazd przez Polskę i Niemcy zapewniają drogi o wysokiej jakości, które pozwalają na bardziej efektywną jazdę z mniejszym zużyciem paliwa. Natomiast odcinki na Ukrainie i Słowacji wymagają wolniejszej jazdy z powodu gorszej jakości dróg, co zwiększa zużycie paliwa i wydłuża czas przejazdu.
- Jarosław – Neapol (1992 km przez Polskę, Czechy, Austrię i Włochy).
Trasa z Jarosławia do Neapolu prowadzi przez kraje o wysokim standardzie infrastruktury drogowej, co jest korzystne z punktu widzenia efektywności energetycznej. Wysokiej jakości autostrady w Austrii i Włoszech pozwalają na utrzymanie optymalnych prędkości i minimalizację przestojów, co sprzyja niższemu zużyciu paliwa i wyższej efektywności transportu.
- Przemyśl – Ateny (1948 km przez Polskę, Słowację, Węgry, Serbię, Macedonię Północną i Grecję).
Trasa z Przemyśla do Aten jest interesująca z punktu widzenia zmienności warunków drogowych i przepisów. Przejazd przez kraje takie, jak Serbia i Macedonia Północna po drogach o niższej jakości w porównaniu do szlaków w UE, może wpływać na wyższe zużycie paliwa. Granice, które trzeba przekroczyć, mogą także wymagać przestoju związanego z odprawami celnymi, co może negatywnie wpływać na efektywność energetyczną i ekonomiczną.
- Żytomierz – Bolonia (1842 km przez Ukrainę, Węgry, Słowenię i Włochy).
Podczas podróży z Żytomierza do Bolonii, pojazdy przejeżdżają przez kraje z różnymi standardami dróg i przepisami transportowymi. Dobrej jakości autostrady na Węgrzech i w Słowenii oraz we Włoszech pozwalają na efektywne zarządzanie zużyciem paliwa. Z kolei różnice w czasach przejazdu i regulacjach dotyczących transportu na Ukrainie mogą wprowadzać dodatkowe wyzwania logistyczne.

Efektywność energetyczna dostaw towarów realizowana po drogach w krajach UE

Efektywność energetyczna w dostawach towarów stanowi strategiczny element w realizacji celów zrównoważonego rozwoju i redukcji emisji CO₂. Badania zostały wykonane pod kątem analizy efektywności energetycznej na wybranej trasie przewozu towarów. W badaniach uwzględniono czynniki wpływające na zużycie paliwa i emisję spalin, takie jak warunki drogowe, styl jazdy, rodzaj pojazdu oraz przestrzeganie przepisów i czasu pracy kierowców. Podczas transportu warunki drogowe i pogodowe były bardzo dobre.



Rysunek 1. Przykład przebiegu trasy drogowej o różnym standardzie i jakości użytkowej Użhorod – Marl

Źródło: Opracowanie własne

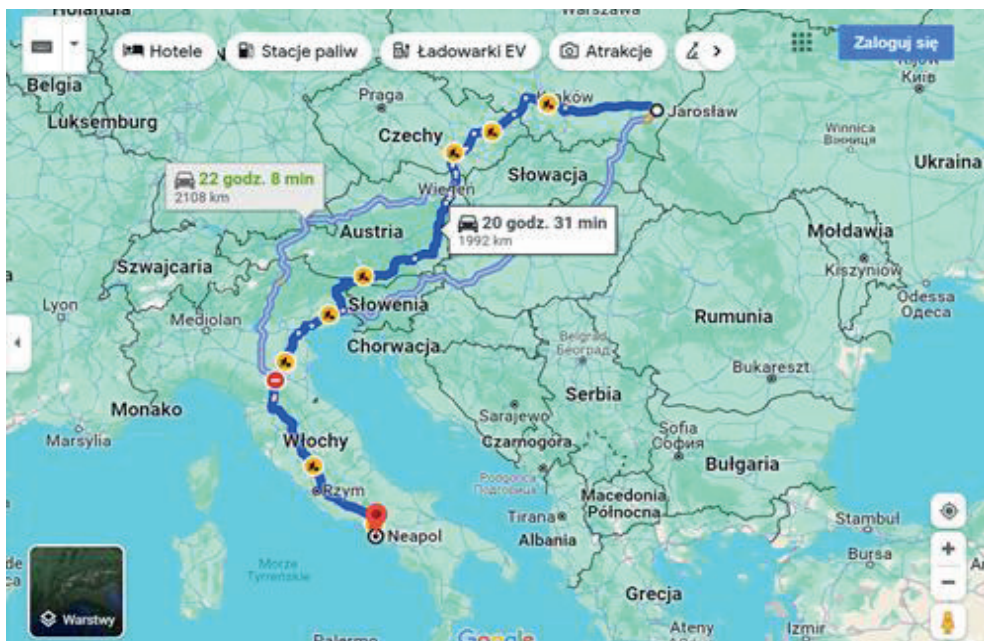
Całkowita długość trasy Użhorod – Marl wynosi około 1412 km, a przewożonym ładunkiem był węgiel drzewny o łącznej masie 12,045 t. Zużycie energii, mierzone w objętości paliwa, wynosiło 381 dm³, co wskazuje na stosunkowo efektywny transport przy danej masie ładunku i dystansie. Efektywność energetyczna dla trasy to 0,021 dm³/tkm, co jest stosunkowo niską wartością, sugerującą wysoką wydajność transportu w kontekście zużycia paliwa (tabela 1).

Tabela 1. Zestawienie wyników efektywności energetycznej na trasie Użhorod - Marl

Lp.	Czynnik techniczno-eksploatacyjny	Dane pomiarowe	Jednostka miar
1	Zużycie energii	381	objętość (dm ³)
2	Dystans	1412	kilometry (km)
3	Masa ładunku	13,045	tony (t)
4	Tonokilometry	18419,54	tonokilometry(tkm)
5	Efektywność energetyczna	0,021	(dm ³ /tkm)

Źródło: Opracowanie własne

Kolejna analizowana trasa (rys. 2) rozpoczęła się w Jarosławiu i prowadziła do Neapolu we Włoszech. Długość trasy Jarosław – Neapol wynosi 1992 km. Przewożonym ładunkiem były szklane wyroby hutnicze o łącznej masie 14 380 kg, a dane uzyskane z badań dotyczące efektywności energetycznej prezentuje tabela 2.



Rysunek 2. Przebieg trasy transportu towaru z Jarosławia (Polska) do Neapolu (Włochy)

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 2. Uzyskane wyników efektywności energetycznej na trasie Jarosław - Neapol

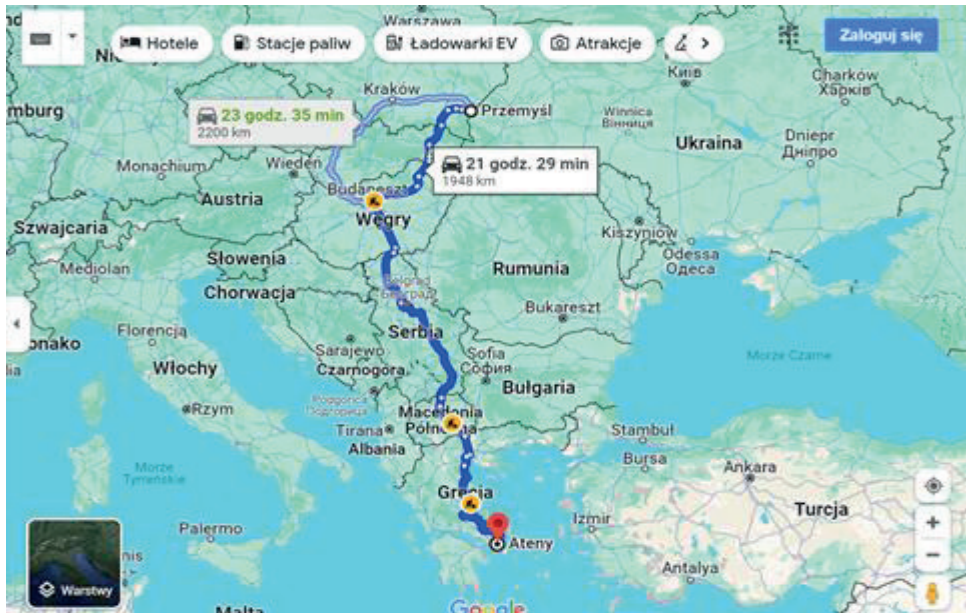
Lp.	Czynnik techniczno-eksploatacyjny	Dane pomiarowe	Jednostka miar
1	Zużycie energii	578	objętość (dm ³)
2	Dystans	1992	kilometry (km)
3	Masa ładunku	14,380	tony (t)
4	Tonokilometry	28644,96	tonokilometry(tkm)
5	Efektywność energetyczna	0,0201	(dm ³ /tkm)

Źródło: Opracowanie własne

Analiza danych zawartych w tabeli 2 wskazuje na stosunkowo niskie zużycie paliwa w odniesieniu do masy przewożonego ładunku (wyroby szklane) i pokonanego dystansu. Zużycie energii to 578 dm³ paliwa na dystansie 1992 kilometrów przy ładunku o masie 14,38 tony, co oznacza uzyskanie efektywności energetycznej na poziomie 0,0201 dm³/tkm. Uzyskany bardzo korzystny wskaźnik efektywnego wykorzystania paliwa w ocenianym transporcie oznacza wysoki poziom optymalizacji.

Efektywność energetyczna dostaw towarów po drogach w krajach poza strefą UE

Efektywność energetyczna dostaw towarów w krajach poza Unią Europejską (Ukraina, Serbia, Macedonia Północna) jest ważnym aspektem w kontekście globalnych działań na rzecz zrównoważonego rozwoju i redukcji emisji gazów cieplarnianych.



Rysunek 3. Przebieg trasy transportu towaru z Przemysła (Polska) do Aten (Grecja)

Źródło: Opracowanie własne

Do analizy energetycznej dostaw towarów w krajach poza Unią Europejską wykorzystano trasę z Przemysła do Aten o długości 1948 km. Transport środków czystości i AGD z Przemysła do Aten, przebiegał przez kilka krajów, w tym przez Serbię i Macedonię Północną, które nie są członkami Unii Europejskiej. Na odcinku 755 km trasa znajduje się poza UE, istotne jest uwzględnienie różnych aspektów, które mogą mieć wpływ na efektywność energetyczną. Przejazd przez Serbię i Macedonię Północną oznacza korzystanie z niższej jakości dróg w porównaniu do standardów obowiązujących w UE. Znacznie gorszy jest stan nawierzchni i potencjalne ograniczenia w infrastrukturze drogowej prowadzą do wyższego zużycia paliwa. Nierówności i częste zmiany prędkości oraz konieczność omijania uszkodzeń drogowych zwiększają opory toczenia, co przekłada się na większe zużycie paliwa. Także przejazd przez granice krajów poza UE może wiązać się z dłuższymi postojami. Kontrole celne i inne formalności graniczne wydłużają czas podróży. Dłuższy czas postoju oznacza, że silniki ciężarówek pracują na biegu jałowym, co również zwiększa zużycie paliwa.

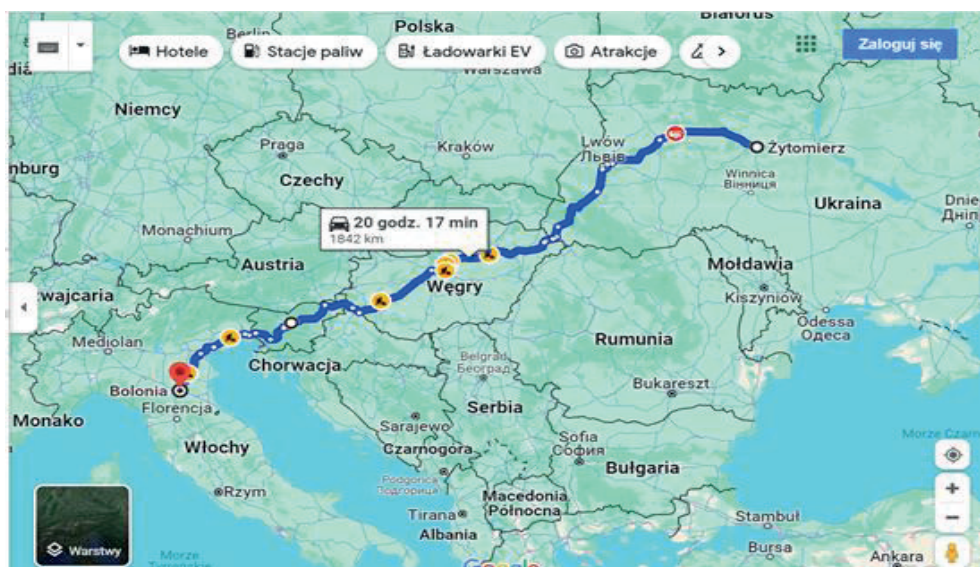
Na podstawie uzyskanych danych, zużycie paliwa na trasie wyniosło 623 dm³. Biorąc pod uwagę masę ładunku i dystans, uzyskana została efektywność energetyczna na poziomie

0,023 dm³/tkm. Wyższe spalanie paliwa na odcinkach drogowych o niższym standardzie poza UE i opóźnienia na granicach miały wpływ na wysokość tego wskaźnika (tabela 3).

Tabela 3. Uzyskane wyników efektywności energetycznej na trasie Przemysł - Ateny

Lp.	Czynnik techniczno-eksploatacyjny	Dane pomiarowe	Jednostka miar
1	Zużycie energii	623	objętość (dm ³)
2	Dystans	1948	kilometry (km)
3	Masa ładunku	13,630	tony (t)
4	Tonokilometry	26551,24	tonokilometry(tkm)
5	Efektywność energetyczna	0,023	(dm ³ /tkm)

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 4. Przebieg trasy transportu towaru z Żytomierza (Ukraina) do Bolonii (Włochy)

Źródło: Opracowanie własne

Kolejnym przykładem (rys. 4) jest przewóz dekoracji drewnianych trasą z Żytomierza w Ukrainie do Bolonii we Włoszech. Zlecenie to było przykładem technicznie zróżnicowanego transportu po drogach o różnym standardzie. Wymagało to od kierowcy dostosowania się do różnych warunków drogowych i ograniczeń prędkości, charakterystycznych dla każdego kraju, przez który prowadziła trasa o łącznej długości około 1842 km. Część trasy o długości 670 km przebiega przez Ukrainę, czyli kraj nienależący do Unii Europejskiej.

Całkowite zużycie paliwa na tej trasie wyniosło 608 dm³, co przekłada się na efektywność energetyczną na poziomie 0,024 dm³/tkm. Wysokość wskaźnika wynikała z niskiej jakości dróg, zwłaszcza w części trasy przebiegającej przez Ukrainę. Dane na temat efektywności energetycznej trasy zostały zaprezentowane w tabeli 4.

Tabela 4. Zestawienie wyników efektywności energetycznej na trasie Żytomierz - Bolonia

Lp.	Czynnik techniczno-eksploatacyjny	Dane pomiarowe	Jednostka miar
1	Zużycie energii	608	objętość (dm ³)
2	Dystans	1842	kilometry (km)
3	Masa ładunku	13,750	tony (t)
4	Tonokilometry	25327,5	tonokilometry(tkm)
5	Efektywność energetyczna	0,024	(dm ³ /tkm)

Źródło: Opracowanie własne

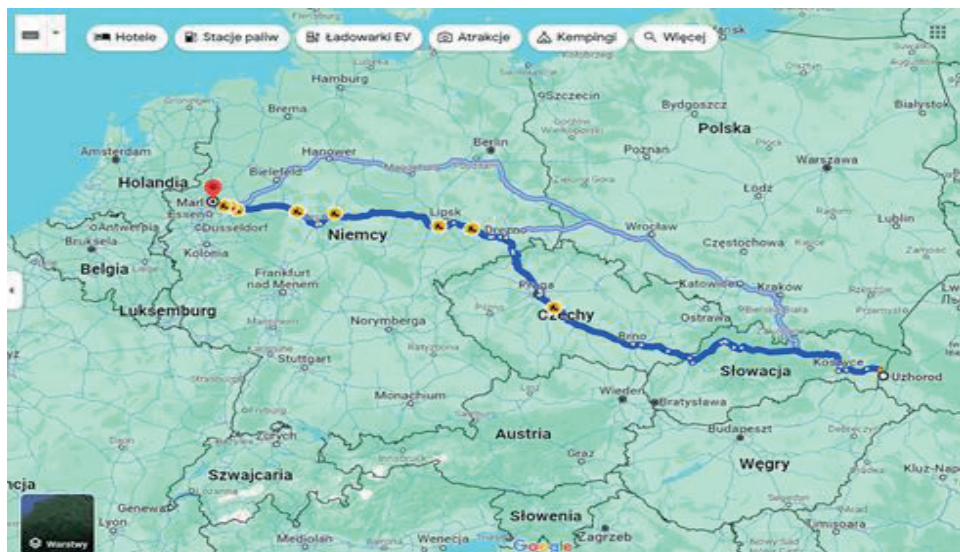
Na 670 kilometrach trasy przebiegającej przez Ukrainę, kierowca jechał drogami o niższej jakości nawierzchni niż w krajach Unii Europejskiej. Nierówności i uszkodzenia nawierzchni, mogą prowadzić do zwiększonego oporu toczenia i częstych zmian prędkości, co skutkuje wyższym zużyciem paliwa. To obniża efektywność energetyczną transportu na tej części trasy. Ponadto wystąpiły dłuższe postoje na granicach, zwłaszcza na zewnętrznych granicach Unii Europejskiej, co miało także wpływ na wydłużenie czasu podróży i zużycie paliwa.

Optymalizacja tras środków transportu w ruchu międzynarodowym

Optymalizacja tras ruchu pojazdów w międzynarodowych przewozach towarów jest kluczowym elementem, który ma bezpośredni wpływ na efektywność operacyjną, generowane koszty i oddziaływanie na środowisko. Optymalizacja polega na wyborze najbardziej efektywnych tras przewozowych, które gwarantują szybsze dostarczanie towarów, a tym samym minimalizację przebiegu i czasu jazdy. W planowaniu tras konieczne jest unikanie opóźnień i przestojów. W aspekcie rosnącej świadomości ekologicznej i uregulowań prawnych dotyczących ochrony środowiska, optymalizacja tras staje się nie tylko kwestią efektywności ekonomicznej przedsiębiorstwa, ale również odpowiedzialności społecznej i środowiskowej.

Analiza dwóch alternatywnych tras z Użhorod na Ukrainie do Marl w Niemczech (rys. 5) pod kątem jakości dróg, długości trasy oraz szybkości przejazdu dostarcza cennych wskazówek dotyczących efektywności transportu międzynarodowego.

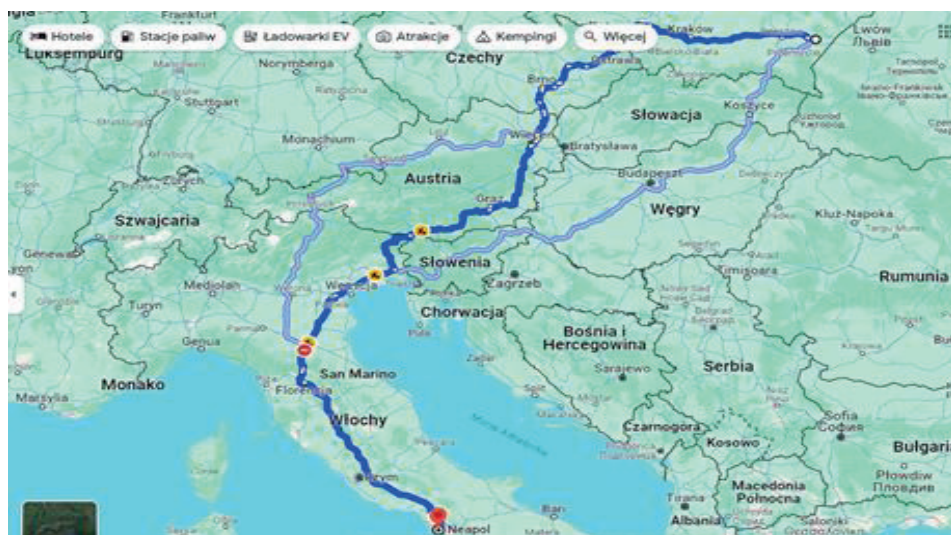
Pierwsza trasa prowadzi przez dobrze rozwiniętą sieć dróg w Europie Środkowej, a następnie obejmuje przejazd przez dłuższe odcinki autostrad, co zwiększa szybkość przewozu, ale również wydłuża całkowitą długość trasy do 1436 km. Jej przebieg zajmuje łącznie 16 godzin i 55 minut. Druga trasa, która została wybrana do przewozu towaru, zaczyna się w Użhorod, ale już na Słowacji kieruje się na trasę E50, a następnie prowadzi przez Polskę w kierunku Niemiec. Ta opcja sieci drogowej jest krótsza, z łączną długością 1406 km i jej pokonanie zajmuje mniej czasu tj. 15 godzin i 17 minut. Wybrana przez przewoźnika trasa oferuje przewagę w postaci krótszej długości drogi i krótszego czasu przejazdu, co przekłada się na niższe zużycie paliwa i mniejsze koszty operacyjne.



Rysunek 5. Przebieg alternatywnej trasy transportu towaru z Użhorod (Ukraina) do Marl (Niemcy)

Źródło: Opracowanie własne

Trasy z Jarosławia w Polsce do Neapolu we Włoszech, zgodnie z rys. 6, mogą być pokonywane z wykorzystaniem różnych opcji, które różnią się zarówno pod względem jakości dróg, jak i całkowitej długości trasy.



Rysunek 6. Przebieg alternatywnej trasy transportu towaru z Jarosławia do Neapolu

Źródło: Opracowanie własne

Pierwsza trasa rozpoczyna się w Jarosławiu i prowadzi przez szereg dróg wojewódzkich i krajowych w Polsce i na Słowacji. Następnie dalsza część trasy przebiega przez Węgry, Austrię, Słowenię i Włochy. Trasa zapewnia szybki przejazd, wykorzystując głównie autostrady i drogi szybkiego ruchu, a jej łączna długość to 1940 km. Druga wersja trasy z Jarosławia, prowadzi przez inne drogi, w kierunku autostrady A4/E40. Dalej trasa prowadzi przez Polskę, Czechy, Austrię, Słowenię i Włochy, co obejmuje łącznie 1992 km. Jednak ta opcja, chociaż dłuższa pod względem czasu, zapewnia bardziej stabilną jazdę z uwagi na korzystanie z sieci autostrad. Obie przedstawione trasy posiadają różne zalety i wady. Pierwsza trasa umożliwia uzyskanie wyższej prędkości, ale może być bardziej wymagająca ze względu na konieczność zmiany dróg. Druga trasa, choć dłuższa czasowo, oferuje mniej skomplikowany przebieg z wykorzystaniem głównie autostrad, dlatego została wybrana przez przewoźnika.

Efektywność a prędkość ruchu pojazdów

W celu dokonania oceny efektywności ruchu pojazdów w kontekście prędkości, rodzajów dróg i masy ładunku, należy uwzględnić kilka kluczowych aspektów. Po pierwsze, rodzaje dróg i związane z nimi ograniczenia prędkości mają bezpośredni wpływ na średnią prędkość ruchu pojazdów. Na autostradach, drogach ekspresowych i drogach dwujezdniowych, gdzie dopuszczalna prędkość jest zwykle wyższa (do 80 km/h), pojazdy mogą poruszać się szybciej, co potencjalnie wpływa na poziom zużycia paliwa i efektywność czasową podróży. Drugim czynnikiem jest masa ładunku na pojeździe. Większa masa ładunku może zwiększać zużycie paliwa, szczególnie w przypadku pojazdów ciężarowych. Dane dotyczące powyższych zależności zostały przedstawione w tabeli 5.

Tabela 5. Wyniki pomiaru efektywności ruchu pojazdów na badanych trasach

Lp.	Trasa	Długość (km)	Średnia prędkość (km/h)	Spalanie (dm ³ /km)	Masa ładunku (t)
1	Użhorod – Marl	1412	70	27	13,045
2	Jarosław – Neapol	1992	71	28	14,380
3	Przemyśl – Ateny	1948	66	32	13,630
4	Żytomierz – Bolonia	1842	62	33	13,750

Źródło: Opracowanie własne

Analizując dane w tabeli 5, potwierdza się zależność pomiędzy średnią prędkością, a poziomem zużycia paliwa na różnych trasach. Trasa Użhorod – Marl z najwyższą średnią prędkością 70 km/h ma stosunkowo niskie zużycie paliwa na kilometr, wynoszące 27 dm³/km. Podobnie na trasie Jarosław – Neapol, gdzie średnia prędkość wynosi 71 km/h, zużycie paliwa jest tylko nieznacznie wyższe (28 dm³/km). W obu tych przypadkach, wyższe prędkości wskazują na poruszanie się drogami szybkiego ruchu, co sprzyja płynności ruchu pojazdów. Z kolei na trasach Przemyśl – Ateny i Żytomierz – Bolonia, gdzie średnie prędkości są niższe (odpowiednio 66 km/h i 62 km/h), zużycie paliwa jest wyższe (32 dm³/km i 33 dm³/km).

Powyższe trasy prowadzą przez tereny o bardziej zróżnicowanym warunkami drogowymi, jak drogi gorszej jakości i tereny góryste, co negatywnie wpływa na poziom zużycia paliwa. Wpływ tych czynników na efektywność ruchu pojazdów jest złożony. Wyższe prędkości na autostradach i drogach ekspresowych sprzyjają efektywności ruchu pojazdów, ale

zwiększone zużycie paliwa przy wyższych prędkościach może przewyższyć korzyści czasowe. Z drugiej strony, większa masa ładunku zwiększa pobór mocy silnika, co wymaga większego zużycia paliwa do utrzymania tej samej prędkości. Dlatego ważne jest, aby kierowcy i firmy transportowe starannie dobierali środki transportu do rodzaju trasy i ładunku tak, aby zoptymalizować efektywność ruchu pojazdów na trasach dostaw towarów.

Badania efektywności ekonomicznej dostaw ładunków w transporcie międzynarodowym

Badania efektywności ekonomicznej dostaw ładunków w transporcie międzynarodowym są kluczowe dla zrozumienia wydajności sektora transportowego. Ważna jest analiza różnych aspektów wpływających na efektywność ekonomiczną, biorąc pod uwagę specyfikę poszczególnych krajów. Efektywność ekonomiczna dostaw towarów zależy od modelu gospodarczego, regulacji prawnych i infrastruktury drogowej w poszczególnych krajach. Analizując koszty ryczałtu noclegowego i diety należy zwrócić uwagę na ich wpływ na ogólną rentowność transportu międzynarodowego, a także na poziom komfortu i bezpieczeństwa pracy kierowców. Koszty czasu pracy środka transportu związane są z jego eksploatacją, amortyzacją, zużyciem paliwa, obsługą serwisową i naprawami. Koszty czasu pracy kierowcy obejmują wynagrodzenia oraz inne składniki wynikające z godzin pracy.

Efektywność ekonomiczna dostaw towarów w krajach europejskich

W ramach badania efektywności ekonomicznej dostaw analizie poddano cztery trasy, które są reprezentatywne dla różnych regionów i odległości. Wybrane trasy to: Użhorod – Marl, Jarosław – Neapol, Przemyśl – Ateny, Żytomierz – Bolonia.

Każda z tych tras generuje inne wyzwania logistyczne i operacyjne, co pozwala na uzyskanie wszechstronnego obrazu efektywności ekonomicznej. Czynniki wpływające na wydajność i koszty transportu prezentuje tabela 6.

Analiza efektywności ekonomicznej dostaw towarów, oparta na czterech przewozach przeprowadzonych w krajach Unii Europejskiej i poza nią, daje interesujący materiał do oceny wydajności ekonomicznej dostaw towarów i kosztów operacji transportowych. Zużycie paliwa wyniosło 2190 dm³ na trasie o łącznej długości 7194 kilometrów, co przekłada się na średnie zużycie paliwa 30,44 dm³/100km. Jest to istotny wskaźnik, który ilustruje poziom efektywności w odniesieniu do zużycia paliwa w badanej flocie pojazdów. Łączna masa przewożonego ładunku wyniosła 54,805 tony, co w połączeniu ze zużyciem paliwa, daje poziom 39,93 dm³/t. Jest to wskaźnik, który można wykorzystać do oceny wydajności ekonomicznej transportu w odniesieniu do masy przewożonego towaru. Koszt na jednostkę ładunku, obliczony na podstawie całkowitego kosztu transportu i liczby jednostek ładunkowych wyniósł 114,02 zł na jednostkę. Wykorzystanie przestrzeni ładunkowej było wysokie, osiągając poziom 91,6%, co świadczy o efektywnym planowaniu w zakresie zagospodarowania dostępnej przestrzeni na naczepach. Natomiast regularność dostaw, będąca odzwierciedleniem niezawodności usług, osiągnęła poziom 75%, co może wskazywać na potrzebę poprawy w zakresie planowania usług logistycznych. Przeprowadzone badania potwierdzają wysoki poziom wykorzystania potencjału transportowego, ale nadal jest możliwość optymalizacji tych wyników.

Tabela 6. Wskaźniki wpływające na wydajność ekonomiczną i koszty transportu

Lp.	Wskaźnik	Wzór obliczeń	Wartość	Jednostka
1	Liczba przewozów		4	szt.
2	Zużyte paliwo		2190	dm ³
3	Koszt paliwa	Średnia cena brutto za 1dm ³	6,30	zł
4	Łączna masa ładunku		54,805	t
5	Przeźródź ładunkowa	Europaleta	132	szt.
6	Jednostki ładunkowe	Europaleta	121	szt.
7	Liczba kilometrów		7194	km
	Koszt paliwa na 100 km	Zużyte paliwo/Przebyte kilometry * 100	30,44	dm ³ /100km
8	Koszt na jednostkę ładunku	Całkowiły koszt transportu/Liczba jednostek ładunku	114,02	zł/jednostka
9	Wydajność paliwowa	Ilość zużytego paliwa/Masa ładunku	39,93	dm ³ /t
10	Zużycie przestrzeni ładunkowej	Wykorzystana przestrzeń/ Całkowiła przestrzeń	91,6	%
11	Regularność dostaw	Liczba punktualnych dostaw/Całkowiła liczba dostaw	75	%

Źródło: Opracowanie własne

Koszty czasu pracy środka transportu

Analiza kosztów czasu pracy środka transportu jest ważna dla efektywnego zarządzania flotą i optymalizacji procesów transportowych. Każdy środek transportu, niezależnie od typu pojazdu, wiąże się z różnorodnymi wydatkami, które mają bezpośredni wpływ na ogólną rentowność i efektywność operacji transportowych. Koszt amortyzacji jest jednym z istotnych czynników w takiej ocenie. Odnosi się on do stopniowego zużywania się pojazdu w czasie i jest istotny w ocenie długoterminowej wartości środka transportu. Koszty paliwa są głównym elementem przy usługach transportowych, który bezpośrednio wpływa na sumę wydatków operacyjnych. Koszty te są obliczane na podstawie zużycia paliwa na kilometr i aktualnej ceny paliwa, co pozwala na dokładną ocenę wpływu cen paliwa na ogólny koszt operacji. Roczny koszt ubezpieczenia jest stałą wartością, która musi być uwzględniona przy kalkulacji całkowitych kosztów operacyjnych. Regularne serwisowanie i utrzymanie pojazdu w dobrym stanie technicznym jest nie tylko wymogiem prawnym, ale także wpływa na długoterminową wydajność i niezawodność środka transportu. Oprócz tego istnieją inne koszty ogólne takie, jak na przykład opłaty drogowe i licencje.

Prezentowane wydatki w skali roku mogą znacząco wpływać na całkowity koszt pracy środka transportu. Średnie roczne koszty poniesione na jeden środek transportu na łącznej trasie dostaw w 2022 r. zostały zaprezentowane w tabeli 7. Dane potwierdzają, że całkowity roczny koszt utrzymania środka transportu to 251 320 zł. Kwota ta zawiera zarówno bezpośrednie koszty eksploatacyjne, jak i pośrednie, czyli amortyzację i ubezpieczenie. Roczny koszt amortyzacji pojazdu wyniósł 27 000 zł. Amortyzacja jest koniecznym składnikiem

kosztów, gdyż każdy pojazd traci na wartości w czasie eksploatacji nawet, gdy jest utrzymywany w dobrym stanie technicznym.

Tabela 7. Koszty utrzymania środka transportu na trasie dostaw w 2022 r.

Lp.	Element kosztu	Wzór obliczeń	Wynik (zł)
1	Koszt amortyzacji	Roczny koszt amortyzacji	27000
2	Koszty paliwa roczne	Zużycie paliwa x cena (28080dm ³ x 6,5)	182520
3	Koszty ubezpieczenia	Roczny koszt ubezpieczenia	11500
4	Koszty serwisowania		23300
5	Koszty ogólne (opłaty drogowe)		7000
6	Całkowity koszt pracy środka transportu	Suma kosztów	251 320

Źródło: Opracowanie własne

Kwota ta jest ustalana na podstawie początkowej wartości pojazdu oraz przyjętej metody amortyzacji. Kolejnym znaczącym elementem były koszty paliwa na poziomie 182 520 zł, które zostały wyliczone, jako iloczyn zużycia paliwa (28080 dm³) i przyjętej średniej ceny paliwa (6,5 zł/ dm³).

Koszty paliwa bezpośrednio zależą od intensywności użytkowania pojazdu i cen paliwa, co czyni je jednymi z najbardziej zmiennych składników w całkowitych kosztach eksploatacji. Koszty ubezpieczenia, zostały ustalone na 11 500 zł rocznie, są kolejnym istotnym czynnikiem. Ubezpieczenie jest obowiązkowe i jego koszt może się różnić w zależności od wielu czynników takich, jak wartość pojazdu, zakres ochrony czy historia ubezpieczeniowa użytkownika. Koszty serwisowania zamknęły się kwotą 23 300 zł, na co złożyła się suma wydatków na regularne przeglądy, naprawy i konserwację pojazdu. Te koszty mogą być zróżnicowane w zależności od stanu technicznego i modelu pojazdu, ale są niezbędne do utrzymania pojazdu w dobrym stanie technicznym oraz w celu zapewnienia jego bezpieczeństwa i niezawodności.

Koszty ogólne, a w tym opłaty drogowe, wyniosły 7 000 zł. Są to stałe wydatki, które nie zależą bezpośrednio od użytkowania pojazdu, ale są nieodłączną częścią kosztów związanych z posiadaniem i eksploatacją pojazdu. Całkowity koszt pracy środka transportu, zgodnie z tabelą 7, wyniósł 251 320 zł. Należy podkreślić, że suma ta została uśredniona, biorąc pod uwagę różne ceny paliwa w poszczególnych krajach.

Koszty czasu pracy kierowcy

Analiza kosztów czasu pracy kierowcy jest kluczowa dla zrozumienia ekonomicznych aspektów działania przedsiębiorstw transportowych. Czas pracy kierowcy, będący nieodłącznym elementem transportu drogowego, podlega różnym regulacjom prawnym, które mają wpływ zarówno na bezpieczeństwo, jak i na wydajność pracy. Miesięczne koszty ponoszone przez firmę na jednego kierowcę zostały przedstawione w tabeli 8.

Tabela 8. Zestawienie miesięcznych kosztów utrzymania jednego kierowcy

Lp.	Element kosztu	Wzór obliczeń	Wynik	Jednostka
1	Stawka za dzień		390/dzień	zł/dzień
2	Liczba dni w miesiącu		20	h
	Dodatki, delegacje		95	zł
3	Koszt pracy za miesiąc	Stawka x czas pracy	7800	zł
4	Koszty delegacji	Dzienna stawka delegacji x liczba dni	1900	zł
5	Ubezpieczenie społeczne	Procent od całkowitego kosztu pracy	3139	zł
6	Koszty szkoleń	Koszty szkoleń w danym okresie	300	zł
7	Całkowity koszt pracy kierowcy/ miesiąc	Suma wszystkich elementów	13139	zł

Źródło: Opracowanie własne

Analiza kosztów czasu pracy kierowcy zawodowego ujawnia złożoną strukturę obciążeń finansowych, które mają bezpośredni wpływ na efektywność ekonomiczną transportu. Koszt pracy za miesiąc, wynoszący 7800 zł, jest kluczowym elementem, który łączy stawkę dzienną (390 zł/dzień) z liczbą dni pracy (20 dni w miesiącu). Dodatkowo, koszty delegacji (1900 zł), które są rezultatem mnożenia dziennych stawek delegacji (95 zł) przez liczbę dni, zwiększają całkowite obciążenie finansowe. Ubezpieczenie społeczne, stanowiące procent od całkowitego kosztu pracy, wynosi 3139 zł, co pokazuje, jak znaczący jest to czynnik w całkowitym rachunku kosztów. Koszty szkoleń, choć mniejsze (300 zł), także wpływają na ogólną sumę, która osiąga łącznie 13139 zł/miesiąc.

Efektywność ekonomiczna transportu jest ściśle związana z optymalizacją tych kosztów. Zarządzanie czasem pracy, minimalizacja kosztów związanych z delegacjami, a także inwestycje w szkolenia, mogą przyczynić się do poprawy wydajności pracy kierowców i obniżenia całkowitych kosztów. Dla każdej firmy transportowej, zarówno czas przejazdu, jak i jakość pracy kierowców są kluczowe dla utrzymania konkurencyjności i efektywności ekonomicznej.

Analiza efektywności procesu transportowego w 2022 r.

Ocena efektywności procesu transportowego w 2022 r. oparta była na analizie szeregu wskaźników. Do najważniejszego z tych wskaźników należy liczba przewozów, która odzwierciedla ilość zrealizowanych zadań transportowych w ciągu roku. Ważnym elementem jest również terminowość przewozów, czyli jak często zadania transportowe są realizowane zgodnie z ustalonym harmonogramem. Uszkodzenia towarów podczas transportu są kolejnym wskaźnikiem, który wskazuje na jakość i bezpieczeństwo procesu transportowego. Koszt przewozu ładunków daje obraz wydajności finansowej operacji transportowych, podczas gdy suma kilometrów przejechanych przez pojazdy transportowe w ciągu roku odzwierciedla intensywność ich eksploatacji. Liczba środków transportu odzwierciedla zasoby, które firma ma do dyspozycji, podczas gdy dysponowany czas pracy i wykorzystany czas pracy wskazują na efektywność zarządzania tymi zasobami. Ilość awarii pojazdów transportowych

jest wskaźnikiem bezpieczeństwa i niezawodności floty, a ilość natychmiastowo podjętych zleceń pokazuje zdolność firmy do szybkiego reagowania na potrzeby klientów. Równie istotna jest liczba zatrudnionych kierowców, która ma bezpośredni wpływ na możliwości operacyjne firmy transportowej. Wszystkie powyższe mierniki opisane w tabeli 9 dają kompleksowy obraz efektywności procesu transportowego. Pozwalają one na identyfikację mocnych i słabych stron w procesie, umożliwiając tym samym lepsze planowanie, optymalizację kosztów i poprawę jakości usług. Należy nadmienić, że regularna analiza tych wskaźników jest kluczowa dla utrzymania konkurencyjności i zapewnienia najwyższego poziomu satysfakcji klientów w branży transportowej.

Tabela 9. Zestawienie mierników oceny efektywności procesu transportowego

Lp.	Miernik	Wartość	Jednostka
1	Liczba przewozów	3316	szt.
2	Terminowe przewozy	2689	szt.
3	Uszkodzenia	0	szt.
4	Ilość kryteriów specjalnych	21	szt.
5	Osiągnięte kryteria	21	szt.
6	Koszt przewozu	2 420 000	zł.
7	Suma kilometrów	1 029 600	km
8	Przewieziony ładunek	79 584	t
9	Możliwy ładunek	63 447	t
10	Liczba środków transportu	11	szt.
11	Dysponowany czas pracy	23 760	h
12	Wykorzystany czas pracy	21 645	h
13	Ilość awarii	12	szt.
14	Ilość bezzwłocznie podjętych zleceń	2676	szt.
16	Liczba kierowców	11	szt.

Źródło: Opracowanie własne

Zestawienie wskaźników oceny efektywności procesu transportowego w 2022 r. prezentuje tabela 10. Analiza wyników upoważnia do stwierdzenia, że proces transportowy w ocenianej firmie jest wysoce efektywny. Wskaźniki niezawodności są na poziomie 81,09%, co oznacza, że większość przewozów była realizowana terminowo. Jest to znaczący element efektywności, ponieważ terminowość przewozów bezpośrednio wpływa na satysfakcję klientów oraz na reputację firmy. Ponadto brak uszkodzeń towarów podczas transportu, świadczy o staranności i dbałości w obsłudze ładunków, a stąd o wysokiej jakości świadczonych usług. Jest to główny klucz w budowaniu zaufania klientów i utrzymaniu wysokiej pozycji na rynku.

Elastyczność transportu wynosząca 100% pokazuje, że firma jest w stanie spełnić wszystkie postawione przed nią zadania i standardy. Jest to szczególnie istotne w branży logistycznej, gdzie zdolność adaptacji do często zmieniających się wymagań klientów jest szczególnie cenna. Koszty operacyjne mierzone, jako koszt usług na kilometr i koszt usług na przewóz, wynoszą odpowiednio 2,35 zł/km i 729,79 zł/przewóz. Te wartości pokazują efektywność

ekonomiczną działalność badanej firmy. Koszt na poziomie 2,35 zł/km wskazuje na optymalne zarządzanie wydatkami związanymi z transportem, podczas gdy koszt na przewóz ilustruje, jakie są średnie wydatki firmy na każdy zrealizowany transport.

Tabela 10. Zestawienie wskaźników oceny efektywności procesu transportowego

Lp.	Wskaźnik	Wzór	Wyniki obliczeń	Wynik	Jednostka
1	Niezawodność	$(\text{Terminowe przewozy} / \text{liczba przewozów}) \times 100\%$	$(2689/3316) \times 100$	81,09	%
2	Liczba uszkodzeń	$(\text{Ilość uszkodzeń} / \text{liczba przewozów}) \times 100\%$	$(0/3316) \times 100$	0	%
3	Elastyczność transportu	$(\text{Ilość osiągniętych kryteriów} / \text{suma wymagań}) \times 100\%$	$(21/21) \times 100$	100	%
4	Koszt na kilometr	$\text{Koszt przewozu} / \text{suma kilometrów}$	2420000/1029600	2,35	zł/km
5	Koszt na przewóz	$\text{Koszt przewozu} / \text{liczba przewozów}$	2420000/3316	729,79	zł/km
6	Stopień wykorzystania środków transportu w tonach	$(\text{Ładunek przewożony} / \text{ładunek możliwy}) \times 100\%$	$(63447/79584) \times 100$	79,72	%
7	Liczba km na samochód	$\text{Suma kilometrów} / \text{liczba środków transportu}$	1029600/11	93600	km
8	Wykorzystanie czasu pracy	$(\text{Wykorzystany czas pracy} / \text{dysponowany czas pracy}) \times 100\%$	$(21645/23760) \times 100$	91,09	%
9	Awaryjność	$(\text{Ilość awarii} / \text{liczba przewozów}) \times 100\%$	$(12/3316) \times 100$	0,36	%
10	Dyspozycyjność	$(\text{Bezwłocznie podjęte zlecenia} / \text{liczba przewozów}) \times 100\%$	$(2676/3316)$	80,69	%

Źródło: Opracowanie własne

Stopień wykorzystania środków transportu mierzony w tonach, który wynosi 79,72%, świadczy o tym, że firma efektywnie wykorzystuje swoją flotę, co jest ważne z punktu widzenia maksymalizacji przychodów i minimalizacji pustych przebiegów. Przebieg wyrażony ilością kilometrów na pojazd, wynoszący 93 600 km, sugeruje dobrą wydajność floty, co jest istotne w planowaniu przeglądów i konserwacji pojazdów.

Awaryjność, reprezentowana przez niewielką liczbę uszkodzeń w stosunku do liczby przewozów (0,36%), wskazuje na dobrą kondycję techniczną floty i odpowiednie działania prewencyjne podczas eksploatacji. Dyspozycyjność na poziomie 80,69%, świadczy o szybkim reagowaniu na zlecenia, co jest bardzo ważne dla badanej firmy, gdzie szybkość reakcji na zlecenia klientów często decyduje o wyborze przewoźnika. Natomiast wykorzystanie czasu pracy na poziomie 91,09% wskazuje na skuteczne zarządzanie czasem pracy kierowców, co jest kluczowe w aspekcie przestrzegania przepisów o czasie pracy oraz maksymalizacji wydajności jego pracy.

Systemy monitorowania ruchu pojazdów w dostawach towarów

Optymalizacja procesów logistycznych i transportowych stanowi kluczowy element dla uzyskania wysokiego poziomu rentowności firmy. W ostatniej dekadzie systemy telematyczne w istotny sposób przyczyniły się do transformacji metod, które są stosowane w przedsiębiorstwach do zarządzania logistyką i transportem. Dzięki integracji zaawansowanych technologii komunikacyjnych i informatycznych, systemy tego typu oferują znacznie więcej niż tradycyjne metody monitorowania pojazdów. Pozwalają one na śledzenie pojazdów w czasie rzeczywistym, co jest nieocenione w procesie zarządzania flotą i koordynacji dostaw. Jednak ich rola wykracza poza prostą lokalizację pojazdów, gdyż systemy telematyczne umożliwiają zbieranie, przetwarzanie i analizowanie dużych zbiorów danych, co przekłada się na głębsze zrozumienie procesów operacyjnych. Takie dane mogą obejmować informacje o trasach, zachowaniu kierowców, zużyciu paliwa, czasach dostaw oraz wiele innych istotnych czynników, które są kluczowe dla efektywnego zarządzania dostawami w usługach logistycznych.^{69,70}

Systemy telematyczne wykorzystują nie tylko aplikacje mobilne, ale też technologie takie, jak Internet Rzeczy (IoT) i Big Data, co pozwala na komunikację z pojazdem i kierowcą, a także na zbieranie danych, które są nieocenione w analizie i ocenie jakości wykonanych zadań przewozowych w układzie online. Aplikacje mobilne stosowane w telematyce transportowej umożliwiają kierowcom lepszą orientację na trasie, dostęp do ważnych informacji w czasie rzeczywistym oraz ułatwiają komunikację z centralą. Dzięki temu przyczyniają się do efektywnego zarządzania flotą pojazdów oraz dostawami, oferując rozwiązania dla wielu codziennych wyzwań logistycznych. Dodatkowo integracja z IoT i wykorzystanie Big Data w telematyce pozwala na zbieranie i analizowanie dużych ilości danych z różnych źródeł, a w tym z czujników pojazdów.^{71,72}

⁶⁹ Juściński S.: Wykorzystanie systemów nawigacji satelitarnej w transporcie drogowym, (w:) Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.): Aktualne Problemy Transportu, ISBN 978-83-60184-97-4, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysł, s. 63-76, 2017.

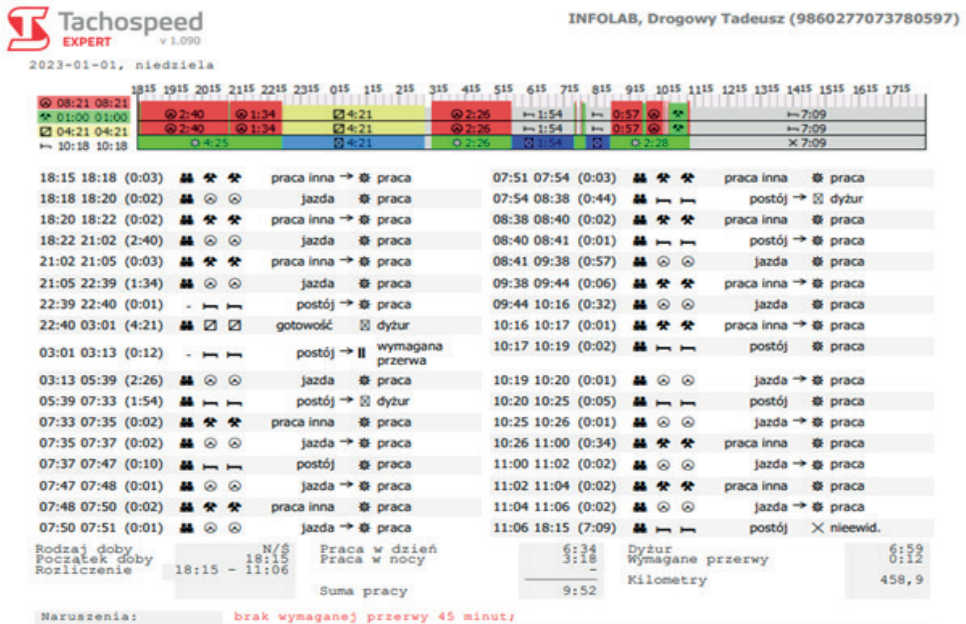
⁷⁰ Juściński, S.: Analiza systemów kompleksowego zarządzania logistycznego flotą pojazdów, (w:) Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.): Logistyka dziś i jutro, Mechatronika i Telematyka w Logistyce, ISBN 978-83-64377-440, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysł, s. 81-97, 2019.

⁷¹ Neumann T.: Wykorzystanie systemów telematyki na przykładzie wybranych przedsiębiorstw transportu drogowego, Autobusy, Nr 12, s. 605-612, 2017

⁷² Nowacki G. (red.): Telematyka transportu drogowego, Wyd. Instytut Transportu Samochodowego, ISBN 978-83-60965-68-9, Warszawa, 2008.

Głównym narzędziem do zarządzaniu flotą pojazdów w firmie będącej miejscem badań był program GBox, który służy do kompleksowego zarządzania flotą pojazdów i optymalizacji czasu pracy kierowców. Program GBox to zaawansowane narzędzie telematyczne dedykowane dla branży transportowej, które oferuje szeroki zakres funkcji wspomagających. Umożliwia śledzenie pozycji pojazdu w czasie rzeczywistym, co jest istotną funkcją dla menedżerów floty pragnących mieć ciągły nadzór nad swoimi pojazdami będącymi w trasie. Dzięki integracji z mapami program oferuje możliwość weryfikacji trasy z uwzględnieniem masy, jak i gabarytów ładunków. Odczyt parametrów pracy pojazdu takich, jak czas postoju, prędkość czy zużycie paliwa pozwala na dokładną analizę wydajności pojazdu i identyfikację potencjalnych oszczędności. Monitoring czasu pracy kierowców zapewnia zgodność z regulacjami prawnymi i nadzoruje bezpieczny przebieg pracy. System GBox pomaga również w prawidłowym rozliczaniu płacy minimalnej dla kierowców, co jest szczególnie ważne w kontekście przestrzegania przepisów pracy.

Raportowanie umożliwia tworzenie zestawień dla poszczególnych pojazdów lub całych grup, dostarczając cennych danych do analizy. Animowane odtwarzanie trasy pozwala na wizualne prześledzenie przebiegu ruchu pojazdu, co jest przydatne przy szkoleniach kierowców lub rozwiązywaniu sporów między nadawcą a odbiorcą. GBox oferuje również zdalne pobieranie danych z tachografu i karty kierowcy, co ułatwia zarządzanie dokumentacją i zapewnia przestrzeganie przepisów. Przesyłanie danych do systemów e-TOLL i SENT automatyzuje procesy administracyjne związane z opłatami drogowymi i kontrolą transportu towarów.



Rysunek 7. Raport kontrolny czasu pracy kierowcy w programie Tachospeed

Źródło: Opracowanie własne

Komunikacja dwukierunkowa firmy transportowej z kierowcą oraz możliwość wysyłania wiadomości bezpośrednio do spedytora poprawiają przepływ informacji i umożliwiają szybkie reagowanie na zmieniające się warunki na trasie. Zintegrowana nawigacja z atrybutami dla samochodów ciężarowych oraz ostrzeżenia o niebezpiecznych parkingach i strefach płatnych są dodatkowymi funkcjami, które wspierają kierowców w bezpiecznym poruszaniu się po drogach.

Innym ważnym narzędziem wykorzystywanym w firmie transportowej jest program Tachospeed, służący do zarządzania czasem pracy kierowców. Głównym zadaniem tego programu jest automatyczne odczytywanie danych z tachografów oraz kart kierowców, co obejmuje czas jazdy, okresy odpoczynku, przerwy oraz inne okresy aktywności, co przedstawia rysunek 7. Stosowanie tego narzędzia umożliwia zdalny i automatyczny odczyt pamięci tachografu lub karty kierowcy zgodnie z zaplanowanym harmonogramem. To usprawnia proces zbierania danych i zmniejsza ryzyko błędów związanych z ręcznym wprowadzaniem informacji. Program jest niezwykle przydatny w zarządzaniu czasem pracy kierowców, zapewniając przestrzeganie przepisów dotyczących czasu pracy, jazdy i odpoczynków. Jest to kluczowe dla bezpieczeństwa i zgodności prawnej w transporcie drogowym.

System Tachospeed integruje się z innymi systemami telematycznymi, jak GBox, co stanowi istotne narzędzie dla firm transportowych, umożliwiając efektywne zarządzanie i analizę czasu pracy kierowców. Integracja GBox z Tachospeed pozwala na automatyczne przenoszenie danych zebranych przez system GBox do Tachospeed. Dzięki temu firmy transportowe mogą łatwo i szybko przetwarzać dane z tachografów.

Podsumowanie

Analiza wyników badań ilustrujących kompleksowy obraz zarządzania flotą transportową w wybranej firmie miała na celu pokazanie działań niezbędnych do zapewnienia efektywności procesów transportowych. Przedstawione rozwiązania i strategie mogą stanowić cenne wskazówki dla menedżerów flot i przedsiębiorstw logistycznych, dążących do optymalizacji swoich operacji transportowych.

Efektywność energetyczna w transporcie towarów, szczególnie w przypadku długodystansowego przewozu, jest kluczowa w aspekcie wymagań ekonomicznych i ekologicznych. Podczas analizy dwóch zleceń przewozowych – transportu węgla drzewnego z Użhorod do Marl oraz szklanych wyrobów hutniczych z Jarosławia do Neapolu wykazano, jak różne czynniki wpływają na zużycie paliwa i emisję spalin. Czynniki te obejmują warunki drogowe, styl jazdy, rodzaj środka transportu oraz przestrzeganie przepisów dotyczących czasu pracy kierowców.

Przedstawione przypadki reprezentują stosunkowo niskie zużycie paliwa w odniesieniu do masy przewożonego ładunku i pokonanego dystansu. Wpływ niskiego zużycia paliwa na produktywność transportu jest bardzo istotne dla branży transportowej, ponieważ przyczynia się do obniżenia kosztów operacyjnych i redukcji emisji spalin, co jest ważne w kontekście zrównoważonego rozwoju i celów klimatycznych Unii Europejskiej. Wyniki te wskazują na efektywność energetyczną w transporcie towarów, co jest istotne zarówno z punktu widzenia ekonomii jak i ekologii. Efektywność energetyczna dostaw towarów w krajach poza Unią

Europejską nabiera szczególnego znaczenia w kontekście globalnych wysiłków na rzecz zrównoważonego rozwoju i ograniczenia emisji gazów cieplarnianych.

Zaprezentowane przykłady stanowią dowód, jak ważne jest uwzględnienie jakości infrastruktury drogowej i efektywności procedur granicznych dla ogólnej efektywności energetycznej w transporcie międzynarodowym. Nierówności na drogach, długie postoje na granicach i inne czynniki logistyczne mogą znacząco zwiększać zużycie paliwa, wpływając na koszty operacyjne i środowisko. Dla operatorów logistycznych kluczowe staje się uwzględnienie tych czynników w planowaniu tras, by minimalizować negatywne skutki dla efektywności energetycznej i ekologii. Optymalizacja tras ruchu pojazdów, pozwoliła na wybór najbardziej efektywnych tras przewozowych, które umożliwiają szybsze dostarczanie towarów, minimalizację przebiegu i czasu jazdy, co bezpośrednio przekłada się na obniżenie kosztów operacyjnych.

Bibliografia

- Banasiak-Lach J. (red.): 21 wskazówek jak optymalizować koszty w transporcie drogowym. Zatrudnianie, podatki, leasing, zarząd, Oficyna Prawa Polskiego, ISBN: 978-83-269-5258-6, Warszawa, 2016.
- Banaszyk P., Kauf S., Szołtysek J.: Logistyka jako czynnik dobrostanu, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2462-9, Warszawa, 2021.
- Biała Księga, Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/COM:2011:0144:FIN:PL:PDF>
- Burnewicz J.: Wizja struktury transportu oraz rozwoju sieci transportowych do roku 2033 ze szczególnym uwzględnieniem docelowej struktury modelowej transportu. Uniwersytet Gdański, Gdańsk, 2007.
- Choromański W., Grabarek I., Kozłowski M., Czerepicki A., Marczuk K.: Pojazdy autonomiczne i systemy transportu autonomicznego, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-21102-8, Warszawa, 2020.
- Cieśla M., Hat-Garnarcz G., Opasiak T., Nowakowski P.: Logistyka w łańcuchach dostaw, Wybrane zagadnienia, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, ISBN: 978-83-7880-422-2, Gliwice, 2017.
- Długołęcka K., Simiński P.: Spedytor jako istotne ogniwo w łańcuchu dostaw, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, Seria Administracja i Zarządzanie, nr 105, s. 37-47, 2015.
- Duraj N., Sadowski A., Miształ A., Comporek M., Kowalska M.: Bezpieczeństwo ekonomiczno-finansowe przedsiębiorstw sektora TSL. Wybrane problemy, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN 978-83-8142-972-6, Łódź, 2020.
- Fajczak-Kowalska A., Krenski C.: Infrastruktura liniowa dróg krajowych i autostrad w Polsce, jej stan, wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego i transport samochodowy, Logistyka, nr 4, s. 265-271, 2014.
- Gołaczyński J., (red.), Kowalik-Bańczyk K., Majchrowska A., Świerczyński M.: Ustawa o świadczeniu usług drogą elektroniczną, Komentarz, Warszawa, 2009.
- Gołębska E., Gołębski M.: Transport w logistyce, CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-343-6, Warszawa, 2020.
- Hajdul M., Stajniak M., Fołtyński M., Koliński A., Andrzejczyk P.: Organizacja i monitorowanie procesów transportowych, Zarządzanie środkami technicznymi podczas realizacji procesów transportowych, Instytut Logistyki i Magazynowania, ISBN 978-83-63186-01-2, Poznań, 2015.

- Jacyna M., Pyza D., Jachimowski R.: Transport intermodalny. Projektowanie terminali przeładunkowych, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-19579-3, Warszawa, 2017.
- Januszewski, J. : Nawigacyjny system satelitarny GPS dzisiaj i w przeszłości, Gdynia, Akademia Morska w Gdyni, 2010.
- Juściński, S.: Analiza systemów kompleksowego zarządzania logistycznego flotą pojazdów, (w:) Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.): Logistyka dziś i jutro, Mechatronika i Telematyka w Logistyce, ISBN 978-83-64377-440, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysł, s. 81-97, 2019.
- Juściński S.: Autonomiczne pojazdy ciężarowe jako innowacyjne wsparcie logistycznych łańcuchów dostaw, (w:) Dzieniszewski G., Kuboń M.: (red.): Procesy logistyczne w przemyśle. Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-55-6, s. 55-83, 2023.
- Juściński S.: Krajowy rynek wynajmu pojazdów, jako nowy model funkcjonowania floty w przedsiębiorstwach, (w:) Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej: Rozdział w recenzowanej monografii naukowej, Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, s. 117-136, 2020.
- Juściński S.: Platformy internetowe, jako system wspomagania informatycznego w branży transport-spedycja-logistyka. (w:) Dzieniszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, Kraków, s. 125-154, 2021.
- Juściński S.: Pojazdy z napędem alternatywnym, jako przykład zrównoważonego rozwoju logistycznych łańcuchów dostaw, (w:) Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej, Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Inżynieria Rolnicza, s. 137-166, 2020.
- Juściński S.: Wykorzystanie systemów nawigacji satelitarnej w transporcie drogowym, (w:) Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.): Aktualne Problemy Transportu, ISBN 978-83-60184-97-4, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysł, s. 63-76, 2017.
- Karbownik L.: Metody oceny zagrożenia finansowego przedsiębiorstw sektora TSL w Polsce, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN 978-83-8088-588-2, Łódź, 2016.
- Kłóska R. (red.): Infrastruktura transportowa i cyfrowa jako czynnik regionalnego i lokalnego rozwoju gospodarczego, Wyd. Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN 978-83-7972-412-3, Szczecin, 2020.
- Kordel Z. (red.): Polski transport samochodowy ładunków, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN 978-83-8102-283-5, Warszawa, 2019.
- Kordel Z., Kuriata A.: Logistyka i transport w ujęciu systemowym, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN 978-83-8102-138-8, Warszawa, 2018.
- Książkiewicz D.: Rozwój transportu, spedycji i logistyki w dobie cyfryzacji i globalnej gospodarki, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN: 978-83-8206-379-0, Gdańsk, 2021.
- Kulińska E., Dendera-Gruszka M.: Zarządzanie ryzykiem łańcuchów dostaw, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8085-969-2, Warszawa, 2019.
- Kulińska E.: Systemy informatyczne a rozwiązywanie problemów funkcjonalnych przedsiębiorstw transportowo-spedycyjnych, Ekonomiczne problemy usług, ISSN 1896-382X, Politechnika Opolska, nr 122, s. 309-318, 2016.
- Kuriata A., Kordel Z.: Logistyka i transport. Teoria oraz praktyczne zastosowania, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-286-6, Warszawa, 2019.
- Kuska K.: System GPS. Rodzaje, historia, opis działania i przyszłość (<https://geex.x-kom.pl/wiadomosci/system-gps/>)
- Lewicki W.: Podstawy ekonomiki transportu i logistyki. Ekonomiczne, organizacyjne, techniczne determinanty rozwoju transportu intermodalnego i centrów logistycznych w Polsce, Wydawnictwo Naukowe Sophia, ISBN: 978-83-65929-64-8, Katowice, 2018.
- Łapko A., Wagner N.: Logistyka dystrybucji, Trendy - Wyzwania – Przykłady, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-516-4, Warszawa, 2021.

- Łącka I., Suproń B.: Polski transport drogowy ładunków w Unii Europejskiej. Stan obecny i perspektywy, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN 978-83-8102-348-1, Warszawa, 2020.
- Marciniak-Neider D., Neider J. (red.): Podręcznik spedytora: Transport, Spedycja, Logistyka, Polska Izba Spedycji i Logistyki, Tom 1 i 2, ISBN 978-83-924234-3-0, Gdynia, 2011.
- Marciszewska E. (red.): Wpływ implementacji regulacji w europejskim systemie transportowym na zmiany strukturalne na rynku usług, Szkoła Główna Handlowa Oficyna Wydawnicza, ISBN: 978-83-7378-833-6, Warszawa, 2013.
- Mikulski J.: Infrastruktura telematyczna w logistyce, Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, Nr 3, 2013.
- Mikulski J.: Telematyka – przyszłość transportu i logistyki, Logistyka, Nr 2, s. 36–37, 2010.
- Mindur L. (red.), Technologie transportowe, Wydawca: Instytut Technologii Eksploatacji, Warszawa-Radom 2014.
- Neider J.: Transport Międzynarodowy. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, ISBN: 978-83-208-2334-9, Warszawa, 2019.
- Neumann T.: Wykorzystanie systemów telematki na przykładzie wybranych przedsiębiorstw transportu drogowego, Autobusy, Nr 12, s. 605-612, 2017
- Nowacki G. (red.): Telematyka transportu drogowego, Wyd. Instytut Transportu Samochodowego, ISBN 978-83-60965-68-9, Warszawa, 2008.
- Palczewska A., Barwiński S., Borowiecki Ł.: Znaczenie Giełdy Transportowej dla współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych, transportowych i spedycyjnych na przykładzie giełdy Trans.eu, (w:) Czajkowska M., Malarski M. (red.): Funkcjonowanie e-biznesu, Zasoby, procesy, technologie, Seria Zarządzanie, <http://dx.doi.org/10.18778/8088-106-8.12>, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2015, s. 121-133, 2015.
- Paszkiwicz B.: Systemy giełdowe w logistyce - materiały szkoleniowe 2019 (<http://projekt-zpu.sggw.pl/wp-content/uploads/2019/01/Systemy-giełdowe-w-logistyce.pdf>)
- Prochowski L., Żuchowski A.: Technika transportu ładunków, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności sp. z o.o., ISBN: 978-83-206-1977-5, Warszawa, 2016.
- Regulation (EU) No 1315/2013 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2013 on Union guidelines for the development of the trans-European transport network and repealing Decision No 661/2010/EU Text with EEA relevance, OJ L 348, 20.12.2013, p. 1–128
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) NR 1072/2009 z dnia 21 października 2009 r. dotyczące wspólnych zasad dostępu do rynku międzynarodowych przewozów drogowych.
- Rucińska D. (red.): Rynek usług transportowych w Polsce, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2201-4, Warszawa, 2015.
- Rydzkowski W. (red.): Współczesna polityka transportowa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2282-3, Warszawa, 2017.
- Sadowska B.: Zrównoważony rachunek kosztów w społecznie odpowiedzialnej logistyce, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: 978-83-7972-476-5, Szczecin, 2021.
- Sałek R., Grondys K.: Uwarunkowania nowoczesnych technologii ICT wspierających działalność przewozową w transporcie drogowym, Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe, R.18, nr 12, str. 1592-1596, CD, 2017.
- Simiński P., Zubrycka M.: Transport dalekobieżny: Środki transportu i uwarunkowania pracy kierowców. Wyd. Ridero IT Solution, ISBN:978-83-8104-659-6, 2018
- Sosnowski J., Nowakowski Ł.: Innowacje kreujące nowe wartości w transporcie samochodowym, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN 978-83-8142-881-1, Łódź, 2020.
- Sosnowski J., Nowakowski Ł.: Systemy elektroniczne w transporcie drogowym, Wydawnictwo Difin S.A., ISBN: 978-83-8085-557-1, Warszawa, 2018.
- Strategia Rozwoju Transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030 roku. Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Warszawa 2013.
- Śmieszek M., Dobrzański P., Dobrzańska M.: Zastosowanie nowoczesnych technologii informacyjnych w transporcie, Instytut Logistyki i Magazynowania, (4), Poznań, 2015.

- Śmietana K.: Branża pokonała pandemię. Co przyniesie wojna? Transport i Logistyka, Dziennik Gazeta Prawna, Biznes, Nr 62 (5724), str. 4-6, 30 marca 2022 r.
- Tundys B., Rzczycki A., Drobiazgiewicz J.: Decyzje strategiczne w łańcuchach dostaw, Wydawnictwo edu-Libri, ISBN: 978-83-65648-53-2, Kraków-Legionowo, 2018.
- Wasiak M., Jacyna-Golda I.: Transport drogowy w łańcuchach dostaw. Wyznaczanie kosztów, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-18487-2, Warszawa, 2016.
- Wasielewska-Marszałkowska I.: Spedycja współczesnych łańcuchów dostaw, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN 978-83-7556-678-9, Warszawa, 2014.
- Wasilewski M.: Tańsza flota ciągników, Logistics manager, Nr 1, luty-kwiecień, str. 86-89, 2018.
- Waściński T., Zieliński P.: Efektywność procesu transportowego. Systemy Logistyczne Wojsk, nr 42, Warszawa, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.7166>, 2015.
- Wierzejski T., Kędzior-Laskowska M.: Transport i spedycja, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, ISBN 978-83-63041-74-8, Olsztyn, 2014.
- Wiszniewska M.: Przewóz ładunków, Organizacja i nadzorowanie transportu, Planowanie realizacji procesów transportowych, Difin S.A., Warszawa 2014.
- Wojewódzka-Król K. (red.): Innowacje w transporcie, Zrównoważony rozwój. Integracja gałęzi transportu, Sztuczna inteligencja. Wyd. Naukowe PWN SA, ISBN 978-83-01-21503-3, Warszawa, 2021.
- Wojewódzka-Król K., Rolbiecki R.: Infrastruktura transportu, Europa, Polska – teoria i praktyka, Wyd. Naukowe PWN SA, ISBN 978-83-01-19690-5, Warszawa, 2018.
- Wojewódzka-Król K., Załoga E. (red.): Transport. Tendencje zmian, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-22033-4, Warszawa, 2022.
- Wojewódzka-Król K., Załoga E. (red.): Transport. Nowe wyzwania, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-18462-9, Warszawa, 2016.
- Wroński M.: Transport drogowy na bardzo ostrym wirażu, Transport i Logistyka, Dziennik Gazeta Prawna, Biznes, Nr 82 (6247), str. 9, 25 kwietnia 2022 r.
- Wyrwich-Płotka S.: Wirtualna praca w łańcuchu dostaw, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8085-649-3, Warszawa, 2018.
- Wyrwińska K., Wyrwiński M.: Platformy internetowe, jako narzędzia ekonomii współdzielenia, Transformacje Prawa Prywatnego, ISSN 1641-1609, nr 2, s. 91-112, 2018.
- Załoga E., Liberacki B. (red.): Innowacje w transporcie. Korzyści dla użytkownika, Zeszyty Naukowe nr 603 Ekonomiczne Problemy Usług nr 59, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: ISSN 1640-6818, Szczecin, 2010.
- Załoga E. (red.) Europejska przestrzeń transportu. Wyzwania rynkowe, Zeszyty Naukowe nr 741. Problemy Transportu i Logistyki nr 18, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISBN: ISSN 1640-6818, Szczecin, 2012.

Adres do korespondencji: e-mail: slawomir.juscinski@up.lublin.pl

ORCID: Sławomir Juściński 0000-0002-2692-9083

ORCID: Wiesław Piekarski 0000-0001-6218-3090

ROZWÓJ EKO-TRANSPORTU W ASPEKCIE LOGISTYKI DYSTRYBUCJI ROWERÓW PRZEZ SKLEPY INTERNETOWE

Sławomir Juściński¹, Wiesław Piekarski², Dariusz Piekarski³, Paulina Rybak²

¹ Katedra Energetyki i Środków Transportu, Zakład Logistyki i Zarządzania Przedsiębiorstwem, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

² Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

³ Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wstęp

Historia rozwoju Internetu, jako środowiska wymiany informacji w Europie Środkowo-Wschodniej, to dopiero trzy dekady. Rzeczywista budowa ogólnodostępnej sieci Internet i następnie dynamiczny wzrost ilości jej użytkowników, miał początek w drugiej połowie ostatniej dekady XX wieku i na początku XXI wieku. Dzisiaj Internet jest już obecny w każdej dziedzinie życia od sfery biznesowej i ekonomicznej aż po społeczną i rozrywkową. Powszechny rozwój sieci Internet wzbudził zainteresowanie przedsiębiorców i szybko pojawiły się pomysły wykorzystania tego potencjału rynkowego do prowadzenia za jej pośrednictwem działalności biznesowej.^{1,2,3,4,5} Działania dużych grup społecznych w obszarze sieci były początkiem e-commerce, czyli działalności polegającej na kupowaniu lub sprzedawaniu produktów i usług przez Internet.⁶ Rynek e-commerce w Polsce od dekady rozwija się dynamicznie, wykazując stałą tendencję do rozszerzania oferty produktów dostępnych w sieci.

¹ Juściński S.: Platformy internetowe, jako system wspomaganie informatycznego w branży transport-spedycja-logistyka. [w:] Dzienniszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomaganie Komputerowego w Transportie i Logistyce. Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, Kraków, s. 125-154, 2021.

² Wyrwińska K., Wyrwiński M.: Platformy internetowe, jako narzędzia ekonomii współdzielenia, Transformacje Prawa Prywatnego, ISSN 1641-1609, , Nr 2, str. 91-112, 2018.

³ https://pl.wikipedia.org/wiki/Historia_Internetu

⁴ Bonek T.; Smaga M.: Biznes w Internecie, Praktyczny poradnik o marketingu, sprzedaży, public relations on-line o promocji w mediach społecznościowych, Oficyna Wolters Kluwer business, ISBN 978-83-264-5130-0, Warszawa, 2019.

⁵ Jeszka A. M.: Sektor usług logistycznych w teorii i praktyce. Warszawa, Difin, 2013.

⁶ Bartnik K. (red.): Sklep internetowy od A do Z, Wyd. e-Komercyjnie.pl, ISBN: 978-83-636-3506-0, Warszawa, 2013.

Należy podkreślić fenomen e-commerce, jako istotnego czynnika stymulującego rozwój gospodarki i będącego bardzo skutecznym narzędziem zdobywania pozycji rynkowej nie tylko dla liderów rynku, ale także małych i średnich przedsiębiorstw.^{7,8} Na każdym poziomie działalności gospodarczej podejmowane są próby otwierania nowych kanałów sprzedaży, jak również do inicjowania działalności na przykład, jako start-up. Mikroprzedsiębiorstwa tworzone są w celu poszukiwania optymalnego modelu biznesowego. Działalność handlowa w sieci umożliwiła rozwój produktu oraz osiąganie szybszego sukcesu finansowego.^{9,10,11,12,13}

Największą siłą napędową dystrybucji logistycznej jest dynamiczny rozwój handlu internetowego. Rozwój takiego handlu spowodował bardzo szybką rozbudowę sektora firm kurierskich. Do działalności Poczty Polskiej włączyły się In Post, krajowe firmy przewożące paczki oraz potentaci na rynkach międzynarodowych, tacy, jak: UPS DHL, FedEx i DPD.^{14,15,16,17,18} Wysoka dynamika w zapotrzebowaniu na dostawy drobnicowe w handlu internetowym była wspomagana przez liczną grupę firm brokerskich, świadczących usługi pośrednictwa na rzecz dużych firm kurierskich.^{19,20,21,22} Szeroka oferta w zakresie dostaw kupionych towarów spowodowała, że każdego roku coraz więcej osób wybiera zakupy w sklepach internetowych rezygnując z towarów oferowanych w sposób tradycyjny. Zaletą takich sklepów jest to, że ceny są zazwyczaj niższe, a większy jest jednocześnie wybór produktów. Obecnie w sklepach internetowych można kupić pełną gamę towarów: produkty

⁷ Dutko M.: Biblia e-biznesu 2. ISBN 978-83-283-2464-0, Helion, Gliwice, 2016.

⁸ Dutko M.: E-biznes, Poradnik praktykanta, Postaw na biznes w sieci, ISBN 978-83-283-2464-0, Helion, Gliwice, 2013.

⁹ Chodak G., Prałat E., Latus Ł.: Analiza dystrybucji w sklepach internetowych, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., Gospodarka Materiałowa i Logistyka, Wrocław, 5, s. 2-8, Wrocław, 2011.

¹⁰ Chodak G.: Wybrane zagadnienia logistyki w sklepach internetowych - modele, badania rynku, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, ISBN 978-83-7493-828-0, Wrocław 2014.

¹¹ Góra G., Matuszak Z., Żabińska I.: Charakterystyka wybranych zagadnień dystrybucji towarów, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Organizacja i zarządzanie, Szczecin, DOI 10.24136/atest.2018.551, str. 1063-1067, 2018.

¹² Cieśla M., Hat-Garncarz G., Opasiak T., Nowakowski P.: Logistyka w łańcuchach dostaw, Wybrane zagadnienia, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, ISBN: 978-83-7880-422-2, Gliwice, 2017.

¹³ Dobroszek J.: Koszty i wyniki w systemie controllingu w przedsiębiorstwach usług logistycznych, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN 978-83-808-8555-4, Łódź, 2017.

¹⁴ <https://about.ups.com/pl/pl/our-company/global-presence.html>

¹⁵ <https://gls-group.com/PL/pl/o-firmie>

¹⁶ <https://inpost.pl/o-inpost>

¹⁷ <https://businessinsider.com.pl/finanse/handel/rynek-kurierski-mocno-wzrosł-w-czasie-pandemii>

¹⁸ <https://www.dpd.com/pl/pl/>

¹⁹ Juściński S.: Rynek usług pocztowych i kurierskich, Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, ISBN 978-83-7259-336-8, Lublin, 2021.

²⁰ Juściński S.: Firmy brokerskie jako nowoczesny element rynku usług kurierskich, Logistyka, Nr 6, s. 170-176, 2015.

²¹ Gawryluk M.: Rozwój rynku przesyłek kurierskich, ekspresowych i paczkowych (KEP) w Polsce od 2014 r. do 2023 r., Poczta Polska, Warszawa 2019.

²² Gulc A.: Charakterystyka usług kurierskich w Polsce, Humanities and Social Science, vol. 22 (XXII), nr 24 (1), s. 61-75, 2017.

spożywcze, ubrania, kosmetyki, bilety komunikacyjne, a nawet meble i sprzęt elektroniczny. Jedną z opcji handlu w sieci jest również możliwość zakupu rowerów, gdyż większość stacjonarnych sklepów rowerowych decyduje się również na prowadzenie sprzedaży online.

E-logistyka to dział logistyki, który koncentruje się na zastosowaniu Internetu i systemów informatycznych do pogłębiania integracji i współpracy w łańcuchach oraz sieciach dostaw.^{23,24,25} Radiowe systemy automatycznej identyfikacji (RFID) wspomagają procesy planowania, realizowania i nadzorowania skutecznego przepływu materiałów, towarów oraz informacji.^{26,27} Monitorowanie zasobów sieci umożliwia bardziej dokładne prognozowanie popytu, składanie oraz realizację i odbieranie zamówień oraz nadzorowanie stanu globalnych zapasów w magazynach.²⁸ Upowszechnianie się e-commerce wykorzystującego nowoczesne technologie jest skorelowane z rozwojem e-logistyki. W łańcuchach dostaw żywności testowane są bezzałogowe statki powietrzne.²⁹ Skracaniu ulegają łańcuchy dostaw w wyniku szybkiego i szerokiego przeszukiwania rynku, a to umożliwiła redukcję pośredników w kanałach zaopatrzenia. Odpowiednio wdrożone techniki e-commerce są podstawą do opracowania krótszych łańcuchów dystrybucji dzięki czemu zostają zredukowane koszty powstające w drodze od producenta do nabywcy.^{30,31,32,33,34}

²³ Kozerska M.: Obsługa logistyczna obszaru e-commerce, Zeszyty Naukowe, Organizacja i Zarządzani, Politechnika Śląska, z. 86, str. 51-60, 2014.

²⁴ Kończak S.: Photoshop dla e-commerce i social media, Wyd. Helion, ISBN: 978-83-283-0180-1, Gliwice 2015.

²⁵ Kordel Z., Kuriata A.: Logistyka i transport w ujęciu systemowym, CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-138-8, Warszawa, 2018.

²⁶ Juściński S., Radiowe systemy automatycznej identyfikacji (RFID) użytkowane w logistyce, [w:] Logistyka dla regionu, ISBN 78-83-64377-27-3, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, s. 143-161, Kraków 2018.

²⁷ Brzeziński S.; Nabałek A.; Treścińska P.; Turek K.: The application of RFID system as the tool of e-logistics. Częstochowa, Advanced Logistic Systems, Vol. 8, No. 1, pp. 5-10, 2014.

²⁸ Juściński S.: Programy WMS, jako przykład kompleksowych systemów informatycznych do obsługi logistyki magazynowej i dystrybucyjnej. [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy Wspomagania Komputerowego w Transporcie i Logistyce, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, s. 155-180, 2021.

²⁹ Juściński S.: Analiza możliwości aplikacyjnych bezzałogowych statków powietrznych w innowacyjnych łańcuchach dostaw żywności, [w:] Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej: Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, s. 89-115, 2020.

³⁰ Dyczkowska J.: Marketing usług logistycznych, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-7930-240-6, Warszawa, 2014.

³¹ Karwatka P., Ejtmínowicz T., Engelmann M., et al.: Technologia w e-commerce, Teoria i praktyka Poradnik menedżera, Wydawnictwo Helion, ISBN: 978-83-246-7541-8, Gliwice 2013.

³² Komor A., Budzyńska K., Domańska K., Analiza porównawcza handlu tradycyjnego i elektronicznego, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego Nr 875, Problemy Zarządzania Finansów i Marketingu Nr 41, t.2, Szczecin, str. 484-487, 2015.

³³ Konopielko, Ł.: Handel elektroniczny. Rewolucja i perspektywy. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Uczelni Łazarskiego, 2016.

³⁴ Szpringer W.: E-commerce e-banking wyzwania globalizacji, Wyd. Difin S.A., ISBN: 83-7251-307-4, Warszawa, 2002.

Zalety i wady sprzedaży stacjonarnej i internetowej

O sukcesie przedsiębiorstwa na rynku o wysokim poziomie konkurencji w głównej mierze decyduje umiejętność wdrożenia nowoczesnych modeli zarządzania logistycznego, które są niezbędne do utrzymania wysokiego poziomu sprzedawanych produktów.^{35,36} Każde przedsiębiorstwo powinno dołożyć starań, aby ułatwiać zakup oferowanego towaru w dogodnej dla klienta formie, czasie oraz miejscu odpowiadającym jego potrzebom.^{37,38} Na rynku dominują dwa rodzaje sprzedaży: tradycyjna oraz internetowa. Handel tradycyjny jest formą pośrednią, ponieważ klient ma dostęp do towarów tylko za pośrednictwem sprzedawcy. Firma stacjonarna poprzez swoich pracowników, którzy mają wiedzę o produktach, prezentuje je w sklepach oraz przyjmuje zamówienia, a przy odbiorze zapłatę.³⁹ Zalety oraz wady handlu tradycyjnego przedstawia tabela 1. Handel elektroniczny, czyli kupowanie produktów i usług jest możliwe dzięki stronom użytkowanym przez firmy w sieci Internet. Okresem szczególnego wzrostu zainteresowania zakupami w sieci był okres pandemii, gdy istniały liczne ograniczenia zarówno po stronie kupujących, jak też logistyki dystrybucji.⁴⁰

Tabela 1. Zalety i wady handlu tradycyjnego

Handel tradycyjny	
Zalety	Wady
Bezpośredni kontakt z sprzedawcą	Możliwość odwiedzenia sklepu tylko w określonych godzinach
Możliwość uzyskania dodatkowych informacji od sprzedawcy	Brak możliwości porównania oferty kilku sklepów w tym samym momencie
Ocena organoleptyczna produktów	Zazwyczaj wyższe ceny
Brak kosztów dostawy	Czas poświęcony na zakupy (kolejki)
Brak czasu oczekiwania na dostarczenie produktu	
Bezpieczeństwo transakcji	

Źródło: Opracowanie własne

³⁵ Nowak E.: *Controlling w działalności przedsiębiorstwa*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, ISBN 978-83-208-1909-0, Warszawa, 2011.

³⁶ Strandhagen, J.O. : Vallandingham, L.R., Fracapane, G. et al.: *Logistics 4.0 and emerging sustainable business models*, *Advances in Manufacturing*, 5, s. 359–369, <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0198-1>, 2017.

³⁷ Piekarski W., Juściński S., Piekarski D., Ożga J.: *Innowacyjne technologie w procesie dystrybucji towarów a poziom obsługi klienta* [w:] *Dziesiętowski G., Kuboń M.: (red.): Procesy logistyczne w przemyśle*, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-55-6, s. 129-150, 2023.

³⁸ Skurpel, D.: *Obsługa logistyczna w handlu elektronicznym. Wartość dla klienta*. Łódź, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN 978-83-8142-652-7, 2019.

³⁹ Komor A., Budzyńska K., Domańska K.: *Analiza porównawcza handlu tradycyjnego i elektronicznego*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego Nr 875, Problemy Zarządzania Finansów i Marketingu Nr 41, t.2*, s. 484-487, 2015.

⁴⁰ Piekarski W., Juściński S., Piekarski D., Nestor Ł.: *Logistyczne aspekty funkcjonowania sklepu internetowego w czasie pandemii* [w:] *Dziesiętowski G., Kuboń M.: (red.): Procesy logistyczne w przemyśle*, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-55-6, s. 151-171, 2023.

Klienci sektora e-commerce mogą składać zamówienia w każdym miejscu i czasie 24/7/365 za pomocą smartfonów, komputerów, tabletów itp. urządzeń. Handel elektroniczny należy postrzegać przez pryzmat plusów i minusów takiej formy sprzedaży.⁴¹ Zalety oraz wady handlu internetowego przedstawia tabela 2. Ważnym wyróżnikiem handlu internetowego w stosunku do handlu tradycyjnego jest prezentacja towarów w środowisku wirtualnym. Na stronie internetowej sklepu towary są przedstawiane w szerokiej ofercie ilustracyjnej (zdjęcia i/lub filmy), z opisem kosztów oraz rodzaju i czasu dostawy. Taka forma przekazu umożliwia jednocześnie zapoznanie się z ofertą bardzo szerokiego gronu internatów. W tym samym czasie mogą oni nie tylko oglądać towary, porównywać je z innymi produktami w sieci, ale także w dogodny dla siebie sposób decydować o ich nabyciu. Sprzedawcy w sieci oferują różne formy dokonania opłaty za towary oraz różne formy dostawy, ale dominujący model to przesyłka kurierska.^{42,43,44,45,46}

Tabela 2. Zalety i wady handlu internetowego

Handel elektroniczny	
Zalety	Wady
Możliwość zakupu w dowolnym dniu o dowolnej godzinie i miejscu	Koszty dostawy zależne od odległości i wyboru metody dostawy
Konkurencyjne ceny	Oczekiwanie na dostarczenie produktu
Możliwość porównania kilku ofert w tym samym czasie	Brak możliwości oceny organoleptycznej produktu
Większa dostępność produktów	Bezpieczeństwo transakcji
Wygoda	
Opinie innych użytkowników	

Źródło: Opracowanie własne

Rynek rowerów w Polsce

W ostatnich latach rozwój techniki rowerowej jest bardzo dynamiczny. Na rozwój tego segmentu rynku i rosnącą sprzedaż rowerów wywierają wpływ różne zagadnienia. Istotna

⁴¹ Komor A., Budzyńska K., Domańska K., Analiza porównawcza handlu tradycyjnego i elektronicznego, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego Nr 875, Problemy Zarządzania Finansów i Marketingu Nr 41, t.2, s. 484-487, 2015.

⁴² Rutkowski K., Cichosz M., Pluta-Zaremba A., Nowicka K.: Branża przesyłek kurierskich, ekspresowych paczkowych wpływ na polską gospodarkę, Centrum Doradztwa i Ekspertyz Gospodarczych SGH sp. z o.o., Warszawa, 2011.

⁴³ Śliwczyński B., Koliński A.: Organizacja i monitorowanie procesów dystrybucji, Instytut Logistyki i Magazynowania, ISBN: 978-83-63186-64-7, Poznań, 2013.

⁴⁴ <https://www.rp.pl/Biznes/210219483-Rynek-uslug-kurierskich-2020--najwazniejsze-trendy.html>

⁴⁵ <https://biznes.wprost.pl/firmy-i-rynki/10325299/jak-epidemia-zmienia-branze-przesylek-kurierskich.html>

⁴⁶ Marcysiak A., Pieniak-Lenzion K., Lenzion M., Usługi kurierskie na rynku usług logistycznych w Polsce, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, Siedlce, Nr 96, Seria: Administracja i Zarządzanie, str. 29-38, 2013.

jest ogólnoswiatowa moda na prozdrowotny i aktywny styl życia oraz poprawa dostępności do infrastruktury rowerowej. Wzrost zainteresowania rowerami w oczywisty sposób wywiera wpływ na wielkość produkcji oraz rozbudowę oferty handlowej o kolejne modele i zastosowane w nich różne rozwiązania techniczne. Na rynku, który oferuje modele różnych producentów oprócz rozwiązań uniwersalnych dostępne są także m.in. rowery składane, szosowe, górskie, wieloosobowe, elektryczne, przeznaczone do akrobacji i rehabilitacyjne.

Jednoślady są w skali globalnej i europejskiej jednym z najbardziej rozpowszechnionych środków transportu. Wynika to z faktu, że koszty ich nabycia i eksploatacji są relatywnie niskie, a dostępność różnych modeli rowerów bardzo duża^{47,48,49,50,51}. Rozwój konstrukcji rowerów ma bogatą historię i jest reprezentowany przez systematycznie udoskonalane i modyfikowane ich wersje w poszczególnych segmentach. Pierwsze europejskie konstrukcje rowerów pojawiły się na przełomie XVIII i XIX stulecia. W XXI wieku rozpoczął się nowatorski etap rozwoju jednośladów, które wyposażono w napęd z akumulatorem, czyli powstał tak zwany e-bike. Polska w drugiej połowie XX wieku była znaczącym producentem rowerów w Europie Środkowo-Wschodniej. Przedsiębiorstwo „Romet” w szczytowym okresie rozwoju wytwarzało ponad 1 mln rowerów rocznie na rynek krajowy i na eksport.⁵² Do szerokiego użytkowania wprowadzone zostały również ogólnodostępne wypożyczalnie rowerów w większości dużych miast na terenie Polski, a w tym m.in. w Warszawie, Krakowie, Szczecinie, Poznaniu, Katowicach, Koninie i Lublinie oraz nastąpiła znacząca rozbudowa na terenach miejskich tras rowerowych.^{53,54,55,56,57,58,59} Zgodnie z przeprowadzonymi badaniami

⁴⁷ Kwiatkowski M.: Bike-sharing boom—Development of new forms of sustainable transport in Poland on the example of a public bicycle. *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 21(3), str. 60-69, 2018, DOI 10.4467/2543859XPKG.18.017.10142

⁴⁸ Shaheen, S.A.; Guzman, S.; Zhang, H.: Bikes sharing in Europe, the Americas and Asia: Past, Present and Future. *Transportation Research Record. J. Transp. Res. Board* 2010, 2143, 159–167.

⁴⁹ Banet K.: Ruch rowerowy jako element zrównoważonej mobilności, nr 7, str. 17-20, 2019.

⁵⁰ Goch K., Malasek J.: EuroVelo. Sieć europejskich dróg rowerowych na terenie Polski, *Transport Miejski i Regionalny*, nr 9, str. 4-8, 2013.

⁵¹ Jankowska-Karpa, D., Wnuk, A.: System roweru publicznego (Bike Sharing System—BBS) jako element polityki zrównoważonej mobilności na przykładzie Francji i Polski. *Logistyka - Nauka*, nr 6, str. 4803–4812, 2014.

⁵² <http://wrower.pl/historia/rower-w-polsce,5431.html>

⁵³ Juściński S., Stankiewicz A.: Lubelski Rower Miejski, jako element w systemie zrównoważonego transportu pasażerskiego, *Transport miejski i regionalny*, Nr 11-12, s. 3-10, 2023

⁵⁴ Bryniarska Z., Wilk N.: Ocena systemu wypożyczalni rowerów miejskich Wavelo w Krakowie, nr 10, str. 22-27, 2018.

⁵⁵ Ratajczak A., Zmuda-Trzebiatowski P., Walerjańczyk W.: Porównanie funkcjonowania rowerowych planerów podróży w aglomeracji poznańskiej, nr 3, str. 27-32, 2018.

⁵⁶ Brzeziński A., Jesionkiewicz-Niedzińska K.: Rower jako alternatywa dla samochodu w podróżach łączonych na przykładzie aglomeracji warszawskiej, nr 9, str. 4-9, 2014.

⁵⁷ Adamek A.: Konkurencyjność roweru jako środka transportu na przykładzie miasta Konin, nr 4, str. 23-26, 2021.

⁵⁸ Sołowij S.J.: Szczeciński rower miejski jako funkcja uzupełniająca komunikacji miejskiej, nr 10, str. 15-18, 2014.

⁵⁹ Kołkowska E.: Funkcjonowanie systemu rowerów miejskich w Katowicach, nr 7, str. 21-25, 2019.

mieszkańcy miast częściej korzystają z możliwości dojazdu do pracy i/ lub szkoły na rowerze niż mieszkańcy wsi.⁶⁰ Wybór roweru następuje częściej wówczas, gdy: stanowi on prywatną własność, istnieje infrastruktura rowerowa (ścieżki rowerowe) w pobliżu pracy lub szkoły lub dojazd do miejsca docelowego jest oddalony maksymalnie o 6 km. Eko-transport jest nie tylko sposobem na ograniczenie zanieczyszczeń, ale również na relaks i poprawę kondycji fizycznej. Szacuje się, że za ponad 60% emisji CO₂ pochodzącego z transportu drogowego odpowiadają samochody osobowe. Sposób przemieszczenia się ma niebagatelny wpływ na stan środowiska. Ideą eko-transportu jest podróżowanie tak, aby generować jak najmniej szkodliwych zanieczyszczeń.^{61,62,63,64}

Podróże rowerem pozwalają przemieszczać się po mieście szybko, wygodnie oraz ekologicznie. Ciągłe rośnie liczba miast, która dysponuje rozwiniętą infrastrukturą rowerową, dzięki której przemieszczanie się jednośladem jest komfortowe. Osoby podróżujące rowerem unikają stania w korkach, czyli oszczędzają czas oraz pieniądze. Podczas jazdy rowerem można również dostrzec walory otoczenia oraz zadbać o zdrowie i kondycję fizyczną. Działania takie generują także konieczność prac nad bezpieczeństwem i przepustowością infrastruktury szlaków rowerowych.^{65,66,67,68} Innym ekologicznym środkiem transportu jest hulajnoga. Hulajnogi są lekkie, tanie oraz zapewniają dużą swobodę przemieszczania po przygotowanych szlakach na terenie miast. Bez problemu mogą być przemieszczane na wybranych etapach podróży w metrze, autobusie lub tramwaju. Od kilku lat w ofercie rynkowej są modele z napędem elektrycznym oprócz napędzanych siłą mięśni. Zarówno rower, jak i hulajnoga z napędem elektrycznym pozwalają bez wysiłku i w szybkim tempie pokonywać nawet długie trasy.

Logistyka sprzedaży internetowej w aspekcie badań ankietowych

Dokonanie zakupu roweru w powszechnym odczuciu nie jest zadaniem, które może być trudnym wyzwaniem dla klienta. Jednak, gdy to stwierdzenie zostanie poddane wnikliwej ocenie, wówczas zakup pierwszego roweru dla osoby bez merytorycznego przygotowania stanowi źródło szeregu pytań i wątpliwości. W przypadku braku wiedzy na temat konstrukcji

⁶⁰ Wit H., Kowalski Ł.: Badanie sondażowe jako element uspołeczniania miejskiej polityki Rowerowej. *Transport Miejski i Regionalny*, nr 9, str. 9-13, 2013.

⁶¹ Macioszek, E.; Świerk, P.; Kurek, A.: The Bike-Sharing System as an Element of Enhancing Sustainable Mobility—A Case Study based on a City in Poland. *Sustainability*, nr 12, 3285, 2020, <https://doi.org/10.3390/su12083285>

⁶² https://pl.wikipedia.org/wiki/Publiczny_system_wypożyczania_rowerów

⁶³ <http://wrower.pl/miasto/historia-rowerowa-polski-miasta-dla-rowerow-maja-20-lat,6372.html>

⁶⁴ <https://mobilne-miasto.org/bike-sharing-czyli-rower-miejski/>

⁶⁵ Kieć M., Pogodzińska S.: Ocena prędkości rowerzystów na różnych typach infrastruktury rowerowej z wykorzystaniem danych GPS, nr 4, str. 20-24, 2018.

⁶⁶ Pogodzińska S.: Szacowanie natężenia ruchu rowerowego na podstawie danych z systemu rowerów miejskich, nr 1, str. 5-11, 2018.

⁶⁷ Pogodzińska S.: Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa ruchu rowerowego, nr 12, str. 6-12, 2016.

⁶⁸ Rogala A., Wiertel B.: Badania ruchu pieszego i rowerowego – analiza konfliktów, nr 8, str. 8-14, 2019.

i wyposażenia roweru, klient powinien decyzję zakupu poprzedzić wizytą w sklepie stacjonarnym i skorzystać z wiedzy i pomocy doświadczonego sprzedawcy.

Kupując rower powinniśmy zwrócić uwagę w pierwszej kolejności na jego typ. W sklepach rowerowych jest bardzo szeroka oferta, która obejmuje takie rodzaje, jak np. miejskie, crossowe, górskie, szosowe, trekkingowe itp. Następnym krokiem jest dopasowanie wielkości roweru (rozmiaru ramy) do wzrostu przyszłego użytkownika. W każdym sklepie rowerowym istnieje możliwość jazdy próbnej, co znacznie ułatwia nam wybór. Należy również zwrócić uwagę na szerokość opon oraz ich bieżnik. Wiele sklepów rowerowych posiada również serwis, gdzie nabywca może wykonywać w promocyjnych cenach przeglądy oraz ewentualne naprawy. Jest to działanie ukierunkowane na wygodę klientów, ponieważ nie muszą szukać serwisu, lecz korzystają z tego, gdzie został zakupiony rower.

Inną opcją tradycyjnego zakupu roweru jest nabycie używanego jednoślada. Ta opcja jest preferowana przez osoby, które już mają co najmniej podstawową wiedzę o rowerach i mogą same określić własne oczekiwania. Kupno używanego roweru jest atrakcyjne finansowo, ponieważ rynek wtórny jednośladów oferuje w wielu przypadkach zdecydowanie niższe, a nawet okazyjne ceny na rowery w idealnym stanie technicznym. Istnieją również aukcje, na których wystawiane są używane rowery. W takim przypadku kupujący kontaktuje się przez telefon lub wiadomość e-mail w celu ustalenia terminu i miejsca odbioru roweru.

Popyt na rowery i hulajnogi wzrósł podczas pandemii COVID-19, ponieważ ludzie unikali wówczas transportu publicznego w obawie przed zakażeniem. Częstszy wybór tych pojazdów wynika również ze wzrostu zainteresowania zrównoważoną mobilnością wśród mieszkańców miast oraz większą świadomością w kwestiach związanych z aktywnością fizyczną i wpływem takiego postępowania na zdrowie.

Gwałtowny rozwój sprzedaży internetowej wymusza konieczność stosowania coraz bardziej wydajnych technologii dostarczania towarów, które przy krótkim czasie realizacji zapewniają również optymalny poziom kosztów. Generalnie ceny produktów w Internecie są niższe od cen w sklepach stacjonarnych. Stąd opcja zakupu również rowerów przez Internet jest coraz częściej rozważana przez klientów. Standarem na rynku krajowym zaczyna być opcja równoczesnego prowadzenia przez podmioty gospodarcze jednocześnie sklepu stacjonarnego oraz sprzedaży internetowej. Sklepy prowadzące jednocześnie sprzedaż online i stacjonarnie z punktem serwisowym oferują możliwość odbioru złożonego pojazdu w serwisie. Inną opcją jest zamówienie wstępnie złożonego i poddanego regulacji roweru z dostawą do domu, gdzie następuje końcowe ustawienie do potrzeb klienta. Ostatnią możliwością jest zakup roweru w częściach do samodzielnego montażu.^{69,70}

Metodyka badań rynkowych obejmowała sporządzenie dwóch kwestionariuszy ankiet. Badania rynkowe zostały przeprowadzone w marcu 2023 r. Pierwszy kwestionariusz dotyczył preferowanych form zakupu towarów, natomiast drugi dotyczył wyłącznie sprzedaży akcesoriów i części rowerowych oraz rowerów.

W ramach Ankiety nr 1 dotyczącej oceny zakupu towarów w sklepach internetowych i tradycyjnych kolejne pytania obejmował zagadnienia:

- od jak dawna realizowane są przez respondenta zakupy w Internecie,
- miejsce zakupu żywności,

⁶⁹ <https://skiteam.pl/artykuly/kupno-roweru-przez-internet-i-skladanie-czy-warto--b317.html>

⁷⁰ <https://erharowery.pl/gdzie-kupic-rower/>

- miejsce zakupu odzieży i ubrań,
- miejsce zakupu asortymentu z kategorii zdrowie i uroda,
- miejsce zakupu artykułów elektronicznych,
- miejsce zakupu książek,
- miejsce zakupu zabawek i produktów dla dzieci,
- miejsce zakupu artykułów z kategorii sport i turystyka,
- miejsce zakupu artykułów motoryzacyjnych,
- miejsce zakupu artykułów z kategorii dom i ogród,
- zalety zakupów w sklepie internetowym,
- wady zakupów w sklepie internetowym,
- zalety zakupów w sklepie stacjonarnym,
- wady zakupów w sklepie stacjonarnym.

W ramach Ankiety nr 2 dotyczącej oceny zakupu rowerów, części i akcesoriów rowerowych w sklepach internetowych i tradycyjnych kolejne pytania obejmowały:

- sposób użytkowania roweru przez respondenta,
- deklarację sposobu nabycia roweru oraz preferencje w zakupie (nowy lub używany),
- ocenę deklarowanej opcji zakupu roweru,
- miejsce zakupu akcesoriów do roweru,
- miejsce zakupu części do roweru,
- ocenę sprzedaży internetowej rowerów.

Wyniki uzyskano poprzez przeprowadzenie ankiet wśród różnych grup klientów. Na pierwszą ankietę odpowiedziało 109 respondentów, a w tej grupie były osoby młode oraz starsze, zamieszkujące wioski oraz miasta.

Natomiast na drugą ankietę odpowiedziało 200 respondentów. Druga ankieta była skierowana głównie do osób jeżdżących na rowerach, dlatego ankiety zostały rozprowadzone na różnych portalach społecznościowych, zrzeszających sympatyków jazdy na rowerach oraz w wybranym do badań sklepie rowerowym.

Obiektem badań rynkowych w zakresie sprzedaży internetowej oraz stacjonarnej rowerów, części rowerowych oraz akcesoriów rowerowych na przestrzeni stycznia 2019 r. do grudnia 2022 r. była wybrana firma, prowadzące te dwie formy handlu na rynku krajowym.

Procedury składania zamówień internetowych, opłat i sposobów dostawy rowerów

Warunkiem złożenia zamówienia na stronie internetowej firmy zajmującej się sprzedażą rowerów jest posiadanie aktywnego konta poczty elektronicznej.

Sklep internetowy posiada dwie możliwości złożenia zamówienia:

- przez formularz zgłoszeniowy dostępny na stronie internetowej,
- za pomocą telefonu lub przesłania wiadomości poprzez pocztę elektroniczną.

Zamówienie poprzez formularz dostępny na stronie sklepu internetowego, zostaje złożone przez klienta w formie elektronicznej i stanowi ofertę zawarcia umowy sprzedaży. Następną czynnością jest przesłanie przez sprzedawcę potwierdzenia przyjęcia do realizacji zamówienia na adres poczty elektronicznej klienta. Z chwilą otrzymania wiadomości przez klienta zostaje zawarta umowa sprzedaży. Zamówienie dokonywane za pomocą rozmowy telefonicznej lub wiadomości elektronicznej może nastąpić tylko w dniach roboczych oraz

w godzinach wskazanych na stronie internetowej sklepu. Klient powinien podać dokładną nazwę towaru i jego ilość, wskazać sposób dostawy i formę płatności oraz podać swoje dane potrzebne do realizacji zamówienia (imię i nazwisko, numer telefonu, adres e-mail oraz miejsce zamieszkania). Następnie sprzedawca ma obowiązek przesłać potwierdzenie warunków założonego zamówienia, poinformować o całkowitej wartości zamówienia oraz o obowiązku zapłaty za zamówiony towar. Z chwilą, gdy klient potwierdzi zamówienie, zostaje zawarta umowa sprzedaży. Handel elektroniczny charakteryzuje się dwuetapowym procesem sprzedaży. Pierwszym etapem jest złożenie zamówienia przez klienta, następnym etapem jest realizacja zamówienia. Sekwencyjnie odbywa się proces sprzedaży, dzięki czemu realizujący ma czas na podjęcie określonych działań.

W przypadku, gdy towaru nie ma w magazynie, mogą być podjęte następujące działania:

- sprowadzenie towaru od producenta lub dostawcy hurtowego,
- dropshipping, czyli przekazanie zlecenia do dostawcy, aby zrealizował wysyłkę towaru bezpośrednio do klienta,
- detaliczny zakup towaru w cenie umożliwiającej zysk z powtórnej sprzedaży.

Łańcuch logistyczny w wybranym sklepie internetowym, posiadającym w swojej ofercie rowery, obejmuje:

- zakup rowerów, części rowerowych i akcesoriów u producenta,
- magazynowanie towaru,
- wystawienie oferty handlowej na firmowej stronie internetowej,
- przyjmowanie zamówień od klientów,
- kompletowanie zamówień do wysyłki,
- realizacja dostawy kurierem pod wskazany adres lub oczekiwanie na klienta, aby osobiście odebrał towar w salonie.

Proces składania zamówienia rozpoczyna się w momencie użycia przez klienta przycisku „kup” na stronie internetowej przy wybranym towarze. Przy dużej ilości zamówień firmy powinny korzystać z systemu zarządzania pojawiającymi się zamówieniami zatwierdzonymi przez klientów. Proces zarządzania zamówieniami obejmuje cały zakres czynności od momentu złożenia zamówienia przez klienta, a kończy, gdy klient otrzyma przesyłkę. Kluczowym elementem realizacji zamówień jest przetwarzanie zamówienia. Przetwarzanie zamówienia składa się z czterech etapów: kompletacji, sortowania, śledzenia oraz wysyłki.

Cykl zarządzania zamówieniami to kolejno wykonywane czynności:

- zamówienie złożone – klienci składają zamówienia z różnych miejsc w różnym czasie,
- otrzymane zamówienie – przekazywana jest informacja o złożeniu zamówienia do centrum realizacji zamówień, gdzie rozpoczyna się ich realizacja,
- zamówienie poddane kompletacji – przebiega zgodnie z listą wskazanych przez klienta pozycji asortymentowych, a realizowane jest przez pobieranie produktów z dostępnych zapasów i dostarczenie ich do stanowiska pakowania,
- pakowanie zamówienia – w strefie pakowania zamówienie podlega pakowaniu w sposób zapewniający odpowiednią ochronę produktom,
- wysyłka do klienta - firma zamawia przewoźnika, z którym współpracuje i nadaje paczkę, która ma przypisany indywidualny kod, który umożliwia jej śledzenie,
- dostarczenie zamówienia do klienta końcowego,

- kontakt z klientem po dostawie – wysłanie krótkiej ankiety, która jest pomocna w podejmowaniu działań mających na celu optymalizację procesu dostawy i ewentualne eliminowanie błędów.

Każdy klient sklepu internetowego ma indywidualne preferencje w zakresie sposobu dostawy zamówionych towarów. Firma oferując wiele możliwości dostawy do wyboru przez klienta podnosi szanse na to, że przekona klienta do podjęcia decyzji o zakupie. Generalnie w ofercie sklepu internetowego jest wybór opcji dostawy z określeniem ceny takiej usługi i deklarowanego czasu realizacji zlecenia wysyłkowego. W przypadku, gdy sklep oferuje tylko jedną lub dwie możliwości dostawy może to ujemnie wpływać na poziom sprzedaży.

Dostawa zamówionych towarów jest realizowana na adres wskazany przez klienta w trakcie składania zamówienia. Klient w sklepie objętym badaniami rynkowymi może wybrać jedną z formy dostawy zamówionych towarów: za pośrednictwem firmy kurierskiej, transport własny sprzedawcy lub odbiór osobisty u sprzedawcy.

Sprzedawca ma obowiązek w opisie towaru poinformować o liczbie dni roboczych potrzebnych do realizacji dostawy oraz o wysokości opłat za dostawę. Sprzedawca zgodnie z wolą klienta dostarcza wraz z towarem paragon lub fakturę VAT. Ceny sprzedawanych towarów podawane są w złotych polskich i zawierają wszystkie składniki, w tym podatek VAT, cła oraz inne opłaty, czyli ostateczny koszt transakcji.

Klient może wybrać następujące metody płatności w sklepie internetowym:

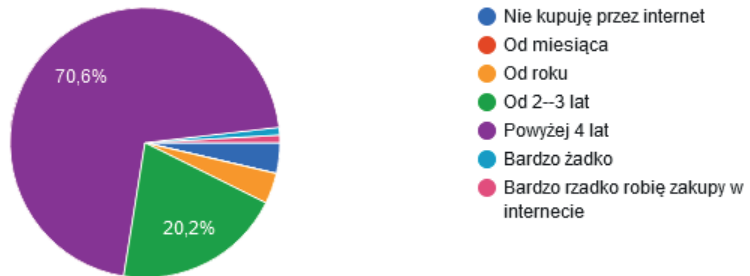
- przelew bankowy na rachunek bankowy sprzedawcy - w tym przypadku realizacja zamówienia rozpoczęta zostanie po przesłaniu klientowi przez sprzedawcę potwierdzenia przyjęcia zamówienia, zaś wysyłka dokonana zostanie niezwłocznie po wpływnięciu środków na rachunek bankowy sprzedawcy i skompletowaniu zamówienia,
- gotówką przy odbiorze osobistym, czyli płatność w punkcie odbioru osobistego sprzedawcy - w tym przypadku realizacja zamówienia zostanie dokonana niezwłocznie po przesłaniu klientowi przez sprzedawcę potwierdzenia przyjęcia zamówienia, zaś towar wydany zostanie w punkcie odbioru osobistego sprzedawcy,
- gotówką za pobraniem, czyli płatność przy dokonywaniu dostawy - w tym przypadku realizacja zamówienia i jego wysyłka zostanie rozpoczęta po przesłaniu klientowi przez sprzedawcę potwierdzenia przyjęcia zamówienia i skompletowaniu zamówienia.

Sprzedawca na stronach internetowych sklepu informuje klienta o terminie w jakim jest on zobowiązany dokonać płatności za zamówienie. W przypadku braku płatności przez klienta w oznaczonym terminie, sprzedawca po uprzednim bezskutecznym wezwaniu do zapłaty z wyznaczeniem stosownego terminu może odstąpić od umowy. Ostatecznym etapem transakcji zakupu po zawarciu umowy i opłaceniu towaru przez klienta jest dostawa zamówienia do odbiorcy.

Analiza wyników badań ankietowych

Na potrzeby badań opracowano dwa kwestionariusze ankiet. W miesiącu marcu 2023 r. zostały przeprowadzone badania rynkowe, które pozwoliły: wyznaczyć poziom zakupów w sklepach internetowych i stacjonarnych, opisać najbardziej istotne wady i zalety tych dwóch opcji transakcji oraz wykazać preferowane formy zakupu rowerów, części i akcesoriów rowerowych. Odpowiedzi na pytanie o okres w jakim realizowane są zakupy przez Internet zostały ocenione na podstawie 109 odpowiedzi od respondentów. W tej grupie tylko

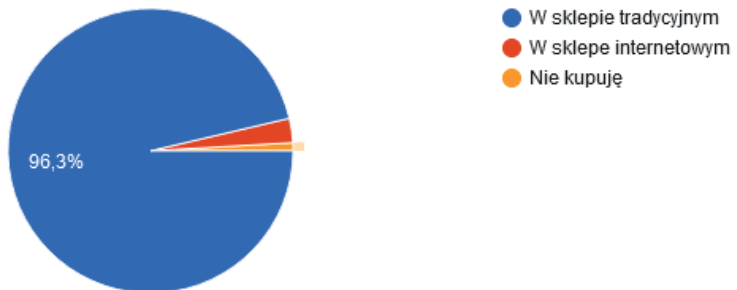
3,6% badanych zaznaczyło, że w ogóle nie dokonują zakupu towarów przez Internet. Natomiast 70,6% ankietowanych kupuje w Internecie już od ponad 4 lat. Natomiast 20,2% ankietowanych kupuje w okresie 2-3 lat, co oznacza, że początek tego rodzaju działań rozpoczął się, gdy zostały wprowadzone obostrzenia w handlu w związku z COVID-19. Decyzja o zmianie preferencji była efektem utrudnień w działalności sklepów stacjonarnych. Generalne zalecenia formułowane przez Ministerstwo Zdrowia dla społeczeństwa nakazywały wówczas ograniczenie do niezbędnego minimum przebywania w pomieszczeniach zamkniętych w obecności dużej grupy przypadkowych osób. Wszystkie warianty odpowiedzi na pytanie od kiedy dokonują Państwo zakupów w Internecie, przedstawia rysunek 1.



Rysunek 1. Czas korzystania z opcji zakupu towarów przez Internet

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie wyników z przeprowadzonej ankiety można sformułować wnioski, że są takie kategorie towarów, które duża grupa klientów kupuje wyłącznie przez Internet, natomiast istnieją również kategorie towarów, w odniesieniu do których zakupy są dokonywane tylko w sklepach stacjonarnych. Klasycznym przykładem jest nabywanie na przykład codzienne świeżej żywności w sklepach osiedlowych. Z przeprowadzonych badań wynika, że aż 96,3% ankietowanych kupuje żywność najczęściej w sklepie stacjonarnym (rys. 2).

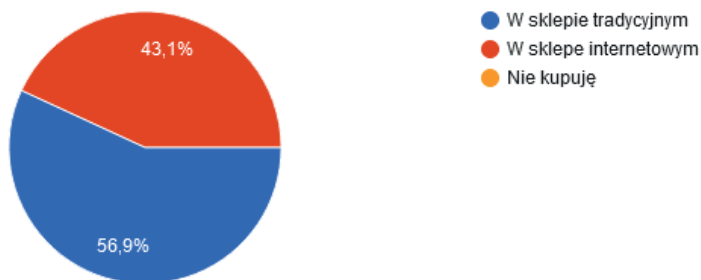


Rysunek 2. Sposób realizacji zakupów żywności

Źródło: Opracowanie własne

Taki wybór wynika wprost z faktu, że jest to najbardziej wygodna opcja dla kupujących. W takiej grupie towarów zamówienie określonych produktów ze sklepu internetowego z dostawą nawet pod adres domowy, to konieczność zdecydowanie dłuższego oczekiwania.

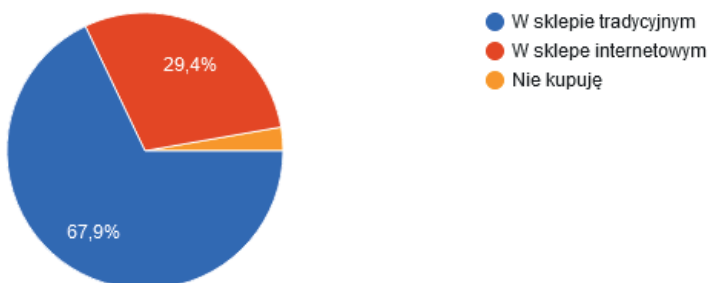
Odpowiedzi na pytanie, gdzie ankietowani najczęściej kupują odzież i obuwie przedstawiono na rysunku 3. W odpowiedziach są reprezentowane dwa podejścia, jednak większa ilość, czyli 56,9% klientów wybiera zakupy w sklepie stacjonarnym. Decyzja wynika głównie z faktu, że klienci wolą przymierzyć i sprawdzić, jak dane ubrania prezentują się na sylwetce i czy buty pasują do stopy. Pozostali ankietowani wolą zakupy w sklepie internetowym. Nowym trendem w tej kategorii jest odwiedzanie sklepów stacjonarnych w celu dokonania oceny organoleptycznej, a następnie zamawianie wybranego produktu w sieci, aby skorzystać z niższej ceny zakupu.



Rysunek 3. Sposób realizacji zakupów odzieży i obuwia

Źródło: Opracowanie własne

Preferowane formy zakupu produktów z kategorii zdrowie i uroda przedstawia rysunek 4. Na podstawie badań aż 67,9% ankietowanych wybiera zakup w sklepie tradycyjnym, a 29,4% w sklepie internetowym. Decyzja o tradycyjnym sposobie zakupów wynika głównie z faktu, że klienci wolą porównać oferowane produkty za pomocą zmysłów i rozstrzygnąć, czy na przykład zapach jest zgodny z ich preferencjami. Jest to szczególnie istotne na etapie rozpoznania oferty rynkowej i pierwszego zakupu.

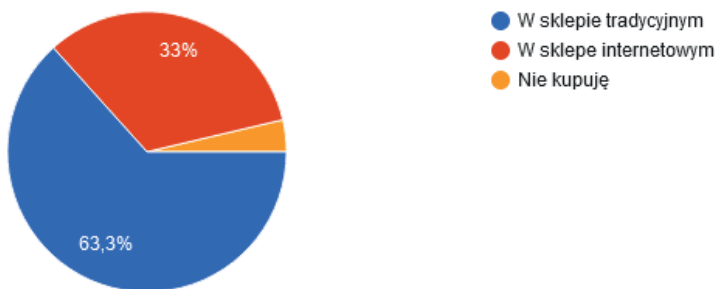


Rysunek 4. Sposób realizacji zakupów w kategorii zdrowie i uroda

Źródło: Opracowanie własne

Nowym trendem w tej kategorii zakupów jest także odwiedzanie sklepów stacjonarnych w celu dokonania oceny organoleptycznej, aby następnie zamówić dany produkt w sieci, korzystając z niższej ceny zakupu.

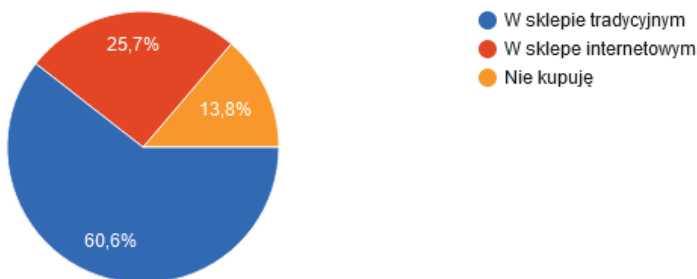
Ankietowani na pytanie, gdzie najczęściej kupują sprzęt elektroniczny, udzielili odpowiedzi z której wynika, że 63,3% respondentów dokonuje zakupu w sklepie internetowym, a 33% stacjonarnie (rys. 5). Pozostali nie kupują sprzętu elektronicznego. Wybór sklepu stacjonarnego przewyższa w tej kategorii ponieważ istnieje wówczas możliwość konsultacji i zadania pytań o poszczególne produkty i ich parametry techniczne oraz użytkowe. Na profesjonalną pomoc i obsługę klient może zawsze liczyć ze strony pracownika sklepu. Dodatkowo może uzyskać prezentację poszczególnych cech ocenianego modelu oraz porównanie z wyrobami innych producentów.



Rysunek 5. Sposób realizacji zakupów w kategorii elektronika

Źródło: Opracowanie własne

Odpowiedzi ankietowanych na pytanie, gdzie najczęściej kupują produkty z kategorii dom i ogród przedstawia rysunek 6. W tej kategorii również większa ilość ankietowanych, czyli 60,6% częściej dokonuje zakupów w sklepie tradycyjnym.

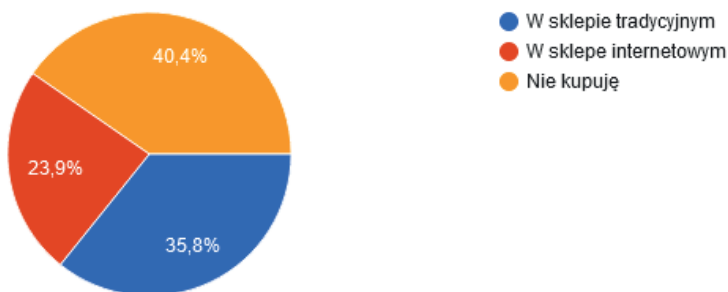


Rysunek 6. Sposób realizacji zakupów w kategorii dom i ogród

Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z odpowiedziami z ankiety 25,7% klientów zdecydowałoby się na zakup przez Internet, a 13,8% ankietowanych w ogóle nie kupuje towarów z tej kategorii. Wybór sklepu stacjonarnego przewyższa w tej kategorii ponieważ istnieje wówczas możliwość konsultacji i zadania pytań o poszczególne produkty i ich parametry techniczne oraz użytkowe.

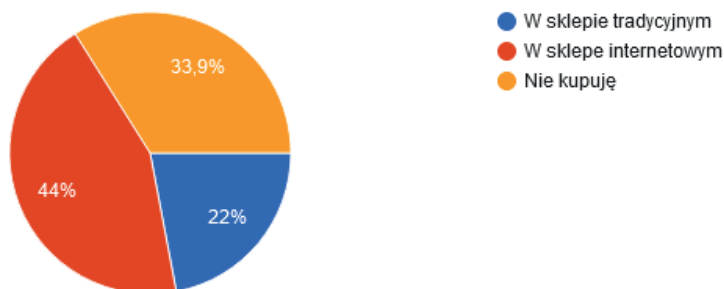
Preferowane formy zakupu artykułów motoryzacyjnych zostały przedstawione na rysunku 7. Z przeprowadzonych badań wynika, że 40,4% klientów w ogóle nie kupuje wyrobów z tej kategorii, 35,8% ankietowanych woli zakupy w sklepie stacjonarnym, natomiast pozostali wybierają sklep internetowy. Wybór sklepu stacjonarnego lub internetowego w tej kategorii uzależniony jest od rodzaju produktu. W przypadku zakupu identycznej części klienci korzystają z niższych cen w sieci, a gdy nie mają stosownej wiedzy oczekują wówczas konsultacji oraz możliwości zadania pytań o poszczególne produkty, a także ich parametry techniczne oraz użytkowe. Ważną rzeczą w tej kategorii jest także kwestia wymiany i/lub montażu, co często połączone jest z koniecznością korzystania z usług stacji serwisowej.



Rysunek 7. Sposób realizacji zakupów w kategorii artykuły motoryzacyjne

Źródło: Opracowanie własne

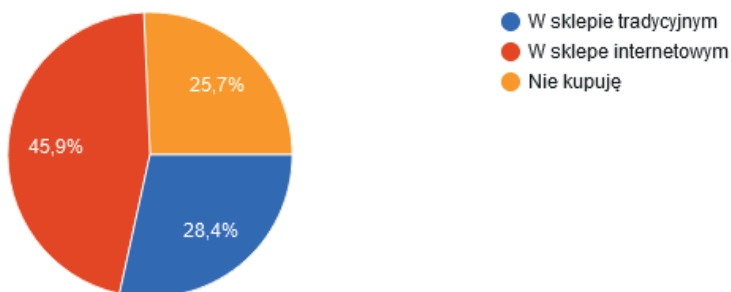
Ankietowani odpowiedzieli również na pytanie, gdzie najczęściej kupują książki (rys. 8). Z przeprowadzonych badań wynika, że 44% ankietowanych kupuje w sklepie internetowym, ponieważ tam ceny są niższe i można częściej korzystać ze znacznych promocji cenowych lub obniżek wynikających z zamówienia większej ilości książek np. w ofercie kup 3 w cenie 2. Na podstawie badań oszacowano, że tylko 22% ankietowanych nadal kupuje książki w sklepie tradycyjnym. Natomiast pozostała grupa respondentów, czyli 33,9% nie dokonuje zakupu książek.



Rysunek 8. Sposób realizacji zakupu książek

Źródło: Opracowanie własne

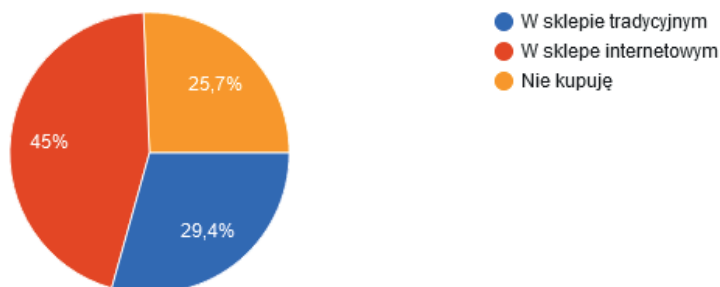
Najczęstsze formy zakupów w kategorii zabawki i artykuły dziecięce zaprezentowano na rysunku 9. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że 45,9% ankietowanych woli zakupy w sklepie internetowym, a 28,4% wybiera zakup w sklepie tradycyjnym. Pozostałe osoby stwierdziły, że nie kupują zabawek. Należy podkreślić, że w kategorii zabawki i artykuły dziecięce oferta w sklepach internetowych jest bardzo bogata i zdecydowanie przewyższa możliwości wyboru w pojedynczych sklepach stacjonarnych. Stąd wynika decyzja licznej grupy klientów o poszukiwaniu konkretnych zabawek i artykułów dziecięcych w sklepach internetowych, a następnie sprawdzaniu najbardziej korzystnej oferty cenowej.



Rysunek 9. Sposób realizacji zakupu zabawek i artykułów dziecięcych

Źródło: Opracowanie własne

Najczęściej wybierane formy zakupu z kategorii sport i turystyka zostały przedstawione na rysunku 10. Z przeprowadzonych badań wynika, że 45% ankietowanych decyduje się najczęściej na zakup w sklepach internetowych, a 29,4% jednak wybiera sklep tradycyjny. W kategorii sport i turystyka oferta w sklepach internetowych jest także bardzo bogata i zdecydowanie przewyższa możliwości wyboru w pojedynczych sklepach stacjonarnych dlatego uzyskała tak dużą popularność wśród klientów.



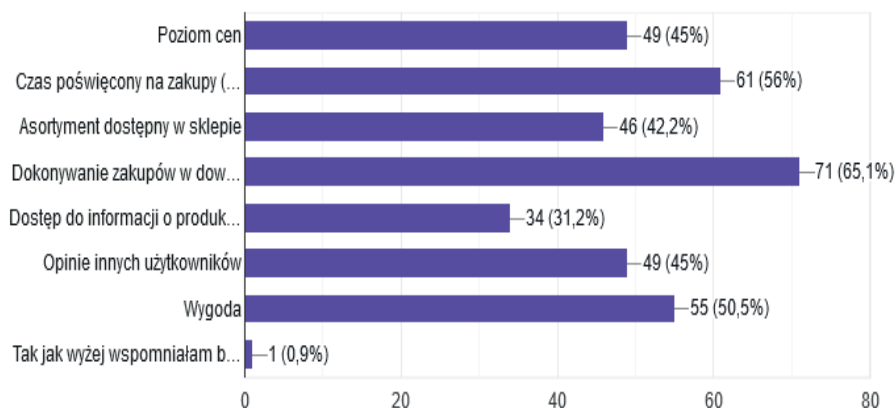
Rysunek 10. Struktura form zakupu towarów z kategorii sport i turystyka

Źródło: Opracowanie własne

Oceny uzyskane z pytań ankietowych (rys. 2-10) upoważniają do stwierdzenia, że są kategorie produktów, które klienci chętniej kupują w sklepach internetowych oraz takie, w odniesieniu do których chętniej wybierają zakupy w tradycyjny sposób. Zakupy w ramach e-commerce częściej są wybierane w odniesieniu do produktów, przy których nie występuje potrzeba oceny organoleptycznej, np. książki, akcesoria sportowe, zabawki itp. Są one zawsze zilustrowane przez zdjęcia i dokładnie opisane na stronach internetowych, co pozwala podjąć końcową decyzję o ich zakupie. Klienci wybierają wizytę w sklepie stacjonarnym, gdzie mają możliwość zmierzenia oraz przetestowania najważniejszych cech produktu lub skorzystania z bezpośredniej rozmowy ze sprzedawcą.

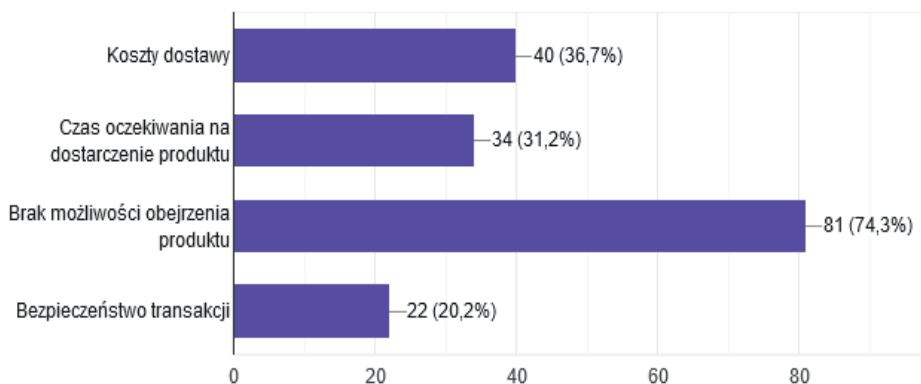
Zalety sklepów internetowych według odpowiedzi uzyskanych z ankiety zostały przedstawione na rysunku 11. Najważniejszą zaletą sklepu internetowego zdaniem respondentów jest możliwość dokonywania zakupów w dowolnym miejscu i o dowolnej godzinie (65,1%). Również duża ilość klientów doceniła redukcję czasu poświęconego na zakupy (56%). W sklepach internetowych nie ma kolejek oraz oferują one wygodę podczas wyboru dokonywanego na przykład w warunkach domowych (50,5%). Klienci doceniają również niższy poziom cen za produkty (45%), a także możliwość zapoznania się z opinią innych użytkowników, którzy wcześniej nabyli taki rodzaj produktów (45%).

Wady sklepu internetowego dostrzeżone przez uczestników biorących udział w ankiecie zostały zaprezentowane na rysunku 12. Zdecydowana większość ankietowanych (74,3%) stwierdziła, że największą wadą sklepu internetowego jest brak możliwości bezpośredniego obejrzenia produktu. Problem ten postrzegany jest w wielu sytuacjach za rozstrzygający na korzyść zakupu w sklepie stacjonarnym. Za istotne utrudnienie respondenci uważają również konieczność ponoszenia kosztów za dostawę zakupionych towarów (36,7%). W każdym przypadku kupujący musi liczyć się z dodatkowym czasem oczekiwania na dostarczenie zakupów, zarówno w przypadku dostawy kurierskiej, jak też dostawy do paczkomatu i konieczności osobistego odbioru w takim punkcie.



Rysunek 11. Zalety dokonywania zakupów przez Internet

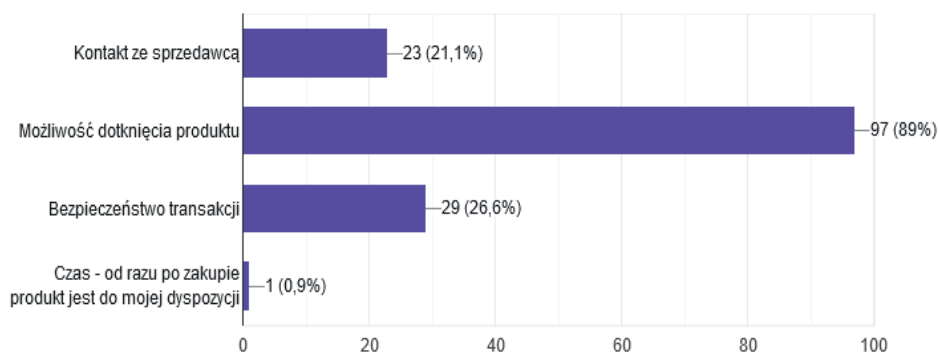
Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 12. Wady postrzegane przez klientów przy zakupach przez Internet

Źródło: Opracowanie własne

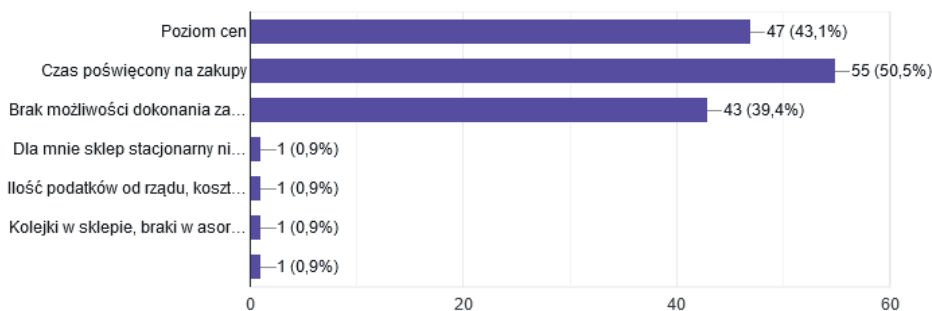
Zalety sklepu stacjonarnego wynikające z odpowiedzi na pytania w ankiecie prezentuje rysunek 13. Klienci zdecydowanie doceniają (89%) fakt, że istnieje możliwość rzeczywistego zapoznania się z produktem i dokonania jego oceny przed zakupem. Dla części klientów (26,6%) ważne jest także bezpieczeństwo realizowanej transakcji poprzez jednoczesną płatność i odbiór produktów oraz kontakt ze sprzedawcą (21,1%) w aspekcie odpowiedzi na pytania dotyczące na przykład cech użytkowych wyrobu.



Rysunek 13. Zalety dokonywania zakupów w sklepie stacjonarnym

Źródło: Opracowanie własne

Wady sklepów stacjonarnych postrzegane przez ankietowanych zostały przedstawione na rysunku 14. Analiza udzielonych odpowiedzi potwierdziła istnienie trzech głównych wad. Ponad połowa ankietowanych (50,5%) źle ocenia zbyt długi czas, który trzeba poświęcić na zakupy, czyli sumarycznie dojazd do sklepu, chodzenie w celu odszukania potrzebnych produktów oraz kolejki do kasy. Istotną wadą jest wyższy poziom cen (43,1%) oraz brak możliwości dokonania zakupów w dowolnym miejscu i o dowolnej porze w ciągu doby (39,4%).

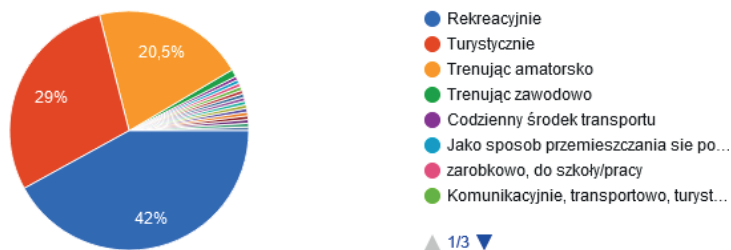


Rysunek 14. Wady zakupów w sklepach stacjonarnych wskazane przez klientów

Źródło: Opracowanie własne

Zarówno sklepy internetowe jak i stacjonarne w opinii uczestników ankiety mają swoje wady i zalety. Należy podkreślić, że pomimo iż sklep internetowy ma więcej zalet od sklepu stacjonarnego to ma jedną bardzo istotną ujemną cechę, która nadal wpływa na preferowanie zakupów w tradycyjnej formie. Klienci bardzo wysoko oceniają bezpośredni i rzeczywisty kontakt z produktem przed dokonaniem transakcji jego zakupu.

W ramach drugiej ankiety przeprowadzono równoległe badania rynkowe w zakresie preferencji klientów podczas dokonywania zakupu w sklepach rowerowych. Ankieta miała na celu ocenę poziomu preferowanych form zakupu rowerów, części rowerowych oraz akcesoriów przez respondentów. Ankieta została zrealizowana w sklepie rowerowym wybranej do badań firmy oraz na różnych grupach społecznościowych zrzeszających miłośników rekreacyjnej jazdy na rowerach oraz kolarstwa.



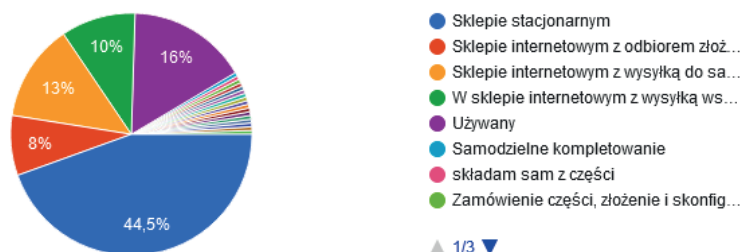
Rysunek 15. Motywacja zakupu rowerów przez klientów

Źródło: Opracowanie własne

Poszczególne motywy, jakie skłaniają respondentów do jazdy rowerami przedstawia rysunek 15. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że aż 42% ankietowanych jeździ rowerem rekreacyjnie, 29% turystycznie, 20,5% trenując ten rodzaj sportu amatorsko. Pozostali ankietowani trenują zawodowo lub używają rowerów wyłącznie, jako środka transportu w codziennych dojazdach.

Rysunek 16 obrazuje, jakie są bieżące preferencje grupy 200 ankietowanych osób w zakresie zakupu roweru. Najbardziej liczna grupa respondentów (44,5%) zadeklarowała, że zdecyduje się wyłącznie na zakup w sklepie stacjonarnym, a decyzję taką uzasadniła głównie potrzebą przetestowania i dopasowania roweru do własnych wymagań. Dużym atutem takiego wyboru jest również możliwość uzyskania porady doświadczonego sprzedawcy, który może odpowiedzieć na szereg pytań na etapie poszukiwań odpowiedniego modelu roweru. Łącznie 31% ankietowanych zdecydowałoby się na zakup w sklepie internetowym, ale z wyborem różnych metod odbioru. Na taki wybór mają wpływ niższe ceny tych samych produktów w zestawieniu do cen w sklepach stacjonarnych. Mniej liczna grupa osób (13%) zdecydowałaby się na zakup roweru przez sklep internetowy, ale z opcją do samodzielnego montażu. Wybór deklarowały w większości osoby mające umiejętności i doświadczenie w tym zakresie, które kupują profesjonalne rowery, a te z reguły są wysyłane wyłącznie do samodzielnego złożenia. Część osób z grupy dokonującej takiego wyboru uzasadniała to również rozwijaniem swoich zainteresowań w zakresie montażu rowerów, gdyż złożenie nowo zakupionych elementów do roweru traktują, jako relaks i przyjemność. Z przeprowadzonych badań wynika, że 10% ankietowanych zdecydowałoby się na zakup internetowy już wstępnie złożonego, pozostawiając do samodzielnego wykonania wyłącznie czynności w zakresie dopasowania roweru do indywidualnych upodobań, potrzeb i preferencji. Natomiast tylko 8% zdecydowałoby się na zakup roweru przez Internet z opcją do odbioru w serwisie sklepu. Ankietowani wybierali tę opcję, tylko wówczas, gdy w pobliżu ich miejsca zamieszkania funkcjonuje dobry serwis przy sklepie sprzedającym rowery. W opinii respondentów

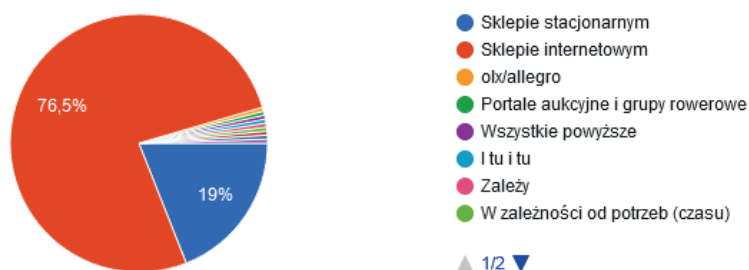
tego typu miejsc jest zdecydowanie zbyt mało w Polsce. Dla 16% ankietowanych zakup roweru używanego byłby najlepszym wyborem, ponieważ są to z reguły rowery tańsze, ale w dobrym stanie technicznym. Grupa 8,5 % ankietowanych zdecydowałoby się na samodzielne skompletowanie roweru. Taką opcję wybierali klienci mający wiedzę i chcący obniżyć koszt zakupu roweru. Generalnie jest to grupa osób łącząca sport i majsterkowanie, jako swoje hobby.



Rysunek 16. Preferowane formy zakupu przez klientów rowerów

Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 17 ilustruje preferencje w zakresie sposobu zakupu akcesoriów rowerowych. Zdecydowana większość respondentów, bo aż 76,5% wybrała opcję zakupu w sklepie internetowym. Decyzja taka wynika wprost z faktu, że akcesoria rowerowe są dużo łatwiej dostępne przez Internet. Ponadto w ofercie jest bardzo szeroka gama produktów różnych producentów w konkurencyjnych cenach. Dla grupy 19% ankietowanych wybór zakupów w sklepie stacjonarnym nadal jest najlepszą opcją, gdyż wolą tradycyjne formy wyboru i oceny produktów z możliwością ich natychmiastowego odbioru. Pozostała grupa 4,5% zadeklarowała, że wybór jednej lub drugiej opcji zależy od czasu i bieżących potrzeb. W przypadku konieczności szybkiej realizacji decydują się na zakup w sklepie stacjonarnym.

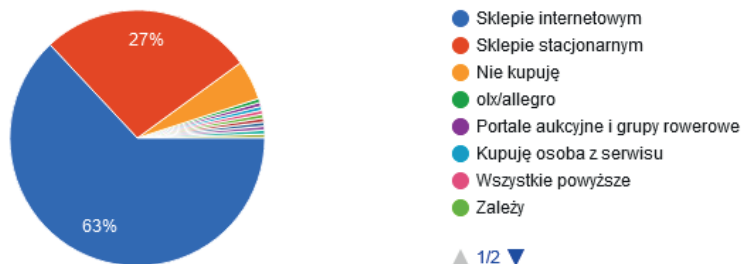


Rysunek 17. Najczęściej preferowane formy zakupu akcesoriów rowerowych

Źródło: Opracowanie własne

Ankietowani odpowiedzieli również na pytanie, gdzie kupują części do roweru (rys. 18). Najbardziej liczna grupa obejmująca 63% ankietowanych wybrała opcję zakupu w sklepie internetowym, natomiast 27% w sklepie stacjonarnym. Grupa 5% ankietowanych zadeklarowała, że nie kupuje części rowerowych, gdyż w przypadku awarii oddaje po prostu rower do

serwisu, gdzie pracownicy wykonują usługę, a opłata obejmuje łącznie zakup i montaż części. Kolejne 5% wśród respondentów, to osoby, które kupują części zarówno w sklepach internetowych, jak i stacjonarnych oraz tacy, którym to osoba z serwisu zamawia potrzebne części.

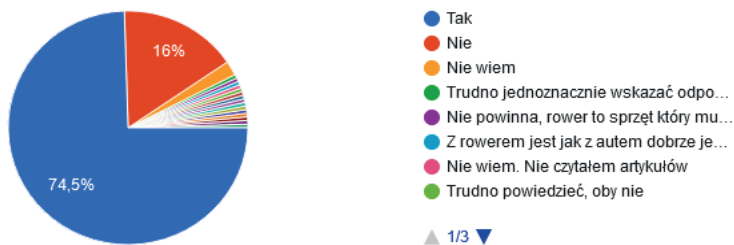


Rysunek 18. Najczęstsze sposoby zakupu części rowerowych

Źródło: Opracowanie własne

Odpowiedzi na pytanie czy rozwinie się sprzedaż internetowa rowerów zostały przedstawione na rysunku 19. Najbardziej liczna grupa (spośród 200 respondentów) obejmująca aż 74,5% uważa, że sprzedaż internetowa będzie się rozwijać i coraz więcej osób będzie korzystało z tej opcji zakupu. Natomiast 16% stanowią osoby, które uważają, że nie ma takiej możliwości, ponieważ aby kupić rower trzeba go obejrzeć i przetestować osobiście jego możliwości. Wskazywano również alternatywną wersję rozwoju rynku polegającą na tym, że tańsze modele rowerów będą bez problemu i w coraz większej ilości kupowane przez Internet. Natomiast modele droższe, których cena to wydatek rzędu 20 000 - 30 000 PLN przyszli nabywcy na pewno będą chcieli najpierw obejrzeć w sklepie stacjonarnym, dopasować do swoich potrzeb i ewentualnie alternatywnie wybrać realizację zamówienia przez Internet z dostawą do domu.

200 odpowiedzi



Rysunek 19. Szanse na rozwój sprzedaży internetowej rowerów

Źródło: Opracowanie własne

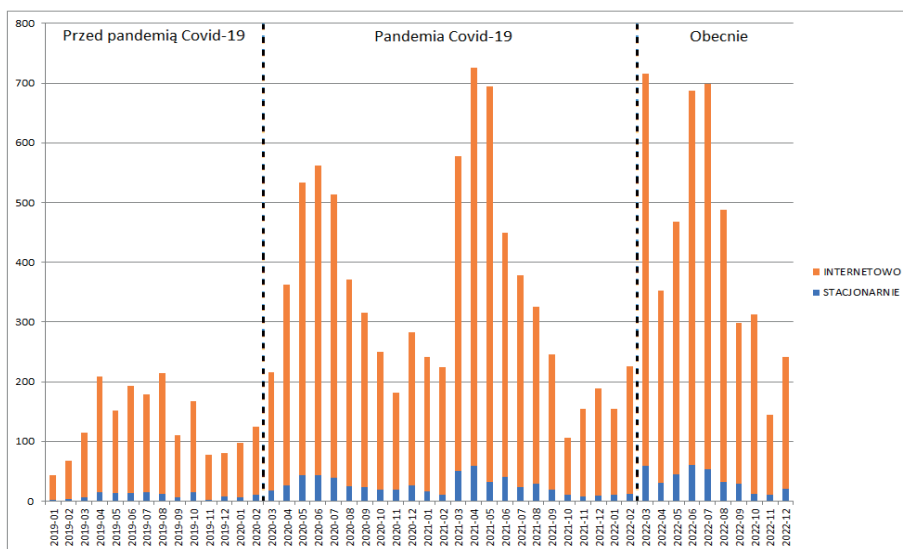
Badania rynkowe wielkości sprzedaży internetowej oraz stacjonarnej akcesoriów rowerowych i rowerów

Badania rynkowe wielkości sprzedaży internetowej oraz stacjonarnej akcesoriów rowerowych i rowerów zrealizowane zostały w wybranej firmie realizującej tego typu działalność. Uzyskano dane w układzie miesięcznym z okresu od stycznia 2019 r. do grudnia 2022 r. Taki układ czasowy wykonanych badań pozwolił na ocenę zmian, które miały miejsce przed pandemią COVID-19, w okresie pandemii oraz po jej zakończeniu.

W ocenie badań przyjęto okresy:

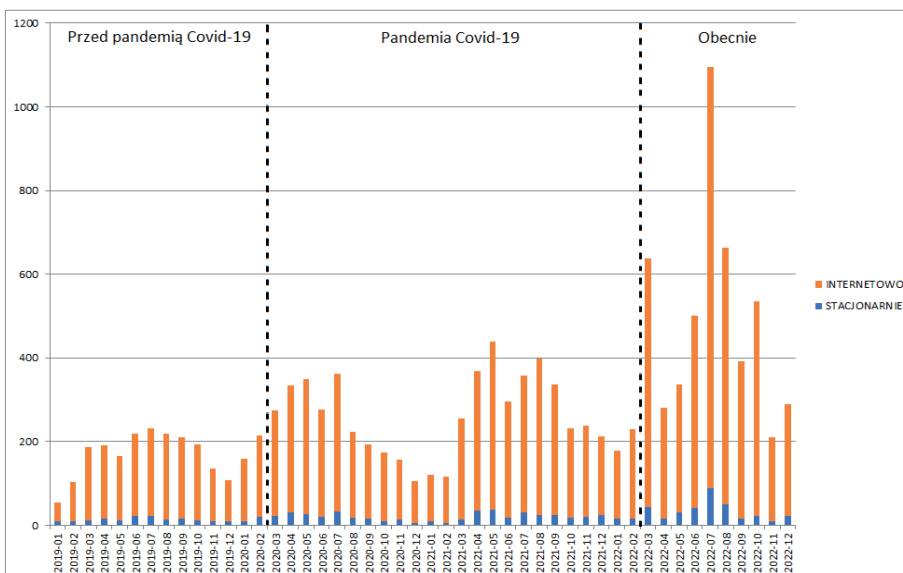
- 01.2019-03.2020 - jako okres przed pandemią COVID-19,
- 03.2020-03.2022 jako czas pandemii COVID-19,
- 03.2022 do 12.2022 jako okres po odwołaniu obostrzeń z okresu pandemii COVID-19.

Zestawienie sprzedaży od stycznia 2019 r. do grudnia 2022 r. akcesoriów rowerowych zostało przedstawione na rysunku 20. Stwierdzono, że występowała znacząca przewaga wielkości sprzedaży w sklepie internetowym nad zamówieniami w sklepie stacjonarnym we wszystkich miesiącach z okresu objętego badaniami. Przed pandemią sklep w sieci generował średnią miesięczną sprzedaż na poziomie około 100 szt. akcesoriów rowerowych. Podczas pandemii COVID-19 nastąpił istotny wzrost poziomu sprzedaży. Miesiące z ponad pięć razy wyższą sprzedażą to maj, czerwiec i lipiec w 2020 r. oraz marzec, kwiecień i maj w 2021 r. Należy podkreślić, że w rekordowym miesiącu, czyli kwietniu 2021 r. zrealizowano zamówienia na ponad 700 szt. akcesoriów. W okresie do grudnia 2022 r. sprzedaż kształtowała się nadal na znacznie wyższym poziomie w stosunku do poprzedniego ocenianego okresu. Rekordowe poziomy sprzedaży także rzędu 700 szt. zostały odnotowane w miesiącach marzec, czerwiec i lipiec 2022 r. Sprzedaż stacjonarna w sklepie, gdzie były prowadzone badania generalnie była na niskim poziomie, co przede wszystkim mogło być spowodowane jego lokalizacją. Klientom wygodniej jest zamówić akcesoria z dostawą kurierską do domu. Średnia miesięczna sprzedaż w sklepie stacjonarnym w badanym okresie to około 50 szt. akcesoriów rowerowych, ale odnotowano również szereg miesięcy z minimalną ilością kilkunastu takich zakupów. Internetową i stacjonarną sprzedaż części rowerowych w okresie od stycznia 2019 r. do grudnia 2022 r. przedstawia rysunek 21. Części rowerowe chętniej były kupowane przez klientów w sklepie internetowym. Sprzedaż stacjonarna stanowiła znikomy procent w zestawieniu ze sprzedażą internetową. Od 03.2022 r. zarejestrowano najwyższy poziom sprzedaży części. Mogło to być spowodowane zniesieniem obostrzeń z okresu pandemii i większą swobodą użytkowników, który postanowili wznowić użytkowanie rowerów, kupując części do ich naprawy. Zestawienie form zakupu rowerów od stycznia 2019 r. do grudnia 2022 r. przedstawia rysunek 22. Należy podkreślić, że sprzedaż rowerów generalnie wzrosła w czasie pandemii. W tamtym okresie społeczeństwo chętniej korzystało z rowerów, gdyż występowały liczne zakazy w kontaktach, a ponadto poszczególne osoby podejmowały samorzutnie ograniczenia w korzystaniu na przykład z miejskiej komunikacji zbiorowej. Dojazdy rowerami stanowiły wówczas wygodną alternatywę dla transportu miejskiego. W czasie, gdy obostrzenia zostały już anulowane w dalszym ciągu występował wysoki poziom sprzedaży rowerów. Rekordową sprzedaż na poziomie ponad 200 szt. odnotowano w maju 2022 r. Wysoki poziom sprzedaży wystąpił także w miesiącach marzec, czerwiec oraz kwiecień i lipiec. Taki poziom popytu można uzasadnić faktem, że są to typowe miesiące, w których występuje szczyt sezonu na wycieczki rowerowe.



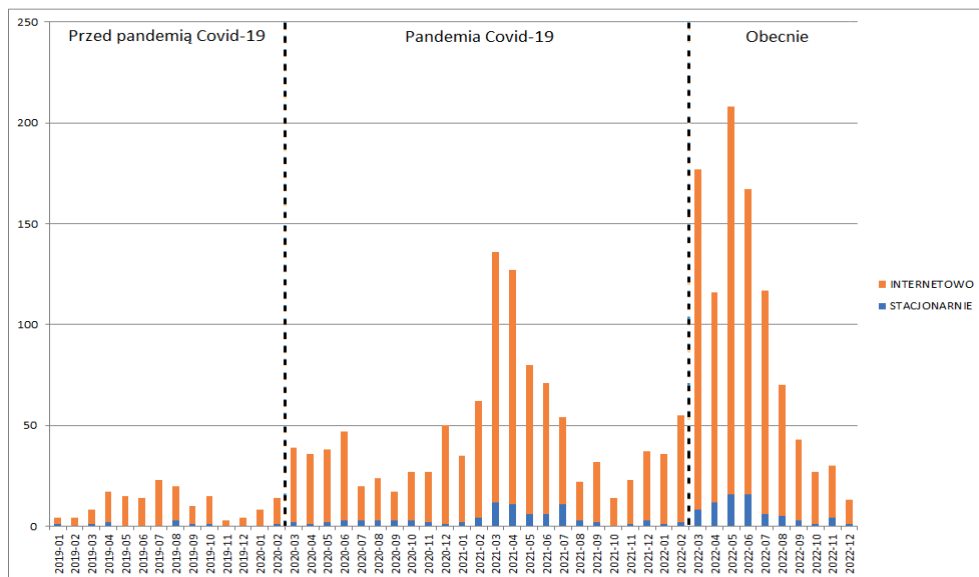
Rysunek 20. Sposób zakupu akcesoriów rowerowych w okresie od stycznia 2019 r. do grudnia 2022 r.

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 21. Sposób zakupu części rowerowych w okresie od stycznia 2019 r. do grudnia 2022 r.

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 22. Sposób zakupu rowerów w okresie od stycznia 2019 r. do grudnia 2022 r.

Źródło: Opracowanie własne

Należy podkreślić, że sprzedaż rowerów generalnie wzrosła w czasie pandemii. W tym okresie społeczeństwo chętniej korzystało z rowerów, gdyż występowały liczne zakazy w kontaktach, a nawet ograniczenia w korzystaniu z miejskiej komunikacji zbiorowej. Dojazd rowerami stanowiły wówczas wygodną alternatywę dla transportu miejskiego. Sprzedaż w sklepie internetowym przez cały badany okres była wyższa niż w sklepie stacjonarnym. Na podstawie poziomu sprzedaży należy podkreślić, że oferta firmy w sieci cieszy się dużą popularnością wśród klientów. Sklep zlokalizowany jest w Przemyślu, czyli na południowym wschodzie Polski. Ma to duży wpływ na niską sprzedaż stacjonarną ponieważ dla potencjalnych klientów z dalszych części Polski jedyną wygodną formą zakupu jest korzystanie z zamówień przez Internet.

Podsumowanie

Zainteresowanie klientów zakupem i użytkowaniem rowerów w Polsce stale wzrasta, ponieważ panuje moda na prozdrowotny i aktywny styl życia oraz została rozbudowana infrastruktura w postaci ścieżek rowerowych. W odpowiedzi na rosnący popyt nastąpiła dywersyfikacja form sprzedaży poprzez uruchomienie oferty sklepów internetowej równoległe do sklepów stacjonarnych z możliwością odbioru rowerów w serwisie tradycyjnego sklepu. Inną opcją było wysłanie wstępnie wyregulowanego roweru do klienta. Ostatnią możliwością dla osób posiadających stosowną wiedzę i umiejętności było wysłanie kupionego roweru w częściach do samodzielnego montażu.

Sklepy internetowe stosują różne rozwiązania w procesie sprzedaży:

- zamawiają asortyment od producentów, po czym go magazynują, wystawiają ofertę sprzedaży, a gdy pojawi się zamówienie od klienta, wysyłają posiadany na magazynach towar,
- wykorzystują tzw. dropshipping, czyli przekazują otrzymane zlecenie do dostawy bezpośrednio do klienta,
- kupują towary w ofercie detalicznej, a następnie odsprzedają w cenie pozwalającej uzyskać minimalny zysk.

Gwałtowny rozwój Internetu wpłynął na powstanie e-commerce, czyli działalności polegającej na kupowaniu lub sprzedawaniu z wykorzystaniem ofert zamieszczanych w sieci.

Na podstawie przeprowadzonych badań ankietowych można sformułować następujące wnioski:

- większość respondentów robi zakupy przez Internet od ponad 4 lat, natomiast pandemia w 2019 r. przyspieszyła proces rozwoju sprzedaży z wykorzystaniem sklepów internetowych i od tego czasu klienci, którzy rozpoczęli korzystanie z sieci chętnie do tej formy wracają,
- istnieją kategorie towarów dla których dużo wygodniej realizować jest zakupy w sklepach stacjonarnych, np. żywność, elektronika, produkty z kategorii dom i ogród, gdyż wartością dodaną jest szybkość lub możliwość skorzystania z pomocy i porady sprzedawcy,
- zgodnie z opinią ankietowanych czynnikami motywującymi do częstszego kupowania online są: możliwość zakupów o dowolnym czasie i miejscu, bogaty asortyment, niższe ceny niż w sklepach stacjonarnych,
- zgodnie z opinią ankietowanych problemy przy zakupach online, to: brak możliwości oceny organoleptycznej produktów, wysokie koszty dostawy i długie oczekiwanie na dostawę produktów,
- największą zaletą sklepów stacjonarnych jest możliwość oceny organoleptycznej produktów, bezpieczeństwo transakcji oraz kontakt ze sprzedawcą,
- wadami sklepów stacjonarnych według ankietowanych jest czas poświęcony na zakupy oraz poziom cen,
- respondenci częściej kupują w sklepie internetowym niż w sklepie stacjonarnym części rowerowe oraz akcesoria rowerowe, ponieważ ceny są niższe, a wybór większy,
- klienci o większym doświadczeniu w zakresie użytkowania rowerów mogą samodzielnie wybrać model roweru, natomiast dla początkujących zalecana jest wizyta w sklepie stacjonarnym, gdzie wykwalifikowana kadra pomoże w doborze odpowiedniego sprzętu.

Z analizy danych uzyskanych podczas realizacji badań w wybranej firmie zajmującej się sprzedażą rowerów, można wnioskować, że sklep zyskał na popularności w czasach pandemii COVID-19. Zwiększyła się wtedy sprzedaż internetowa zarówno rowerów, jak i części oraz akcesoriów rowerowych. Wyższa sprzedaż występuje również po zakończeniu pandemii w sklepie internetowym, natomiast sprzedaż stacjonarna jest nadal na zdecydowanie niższym poziomie, co wynika z faktu lokalizacji sklepu w małym mieście, z dala od większych aglomeracji.

Bibliografia

- Adamek A.: Konkurencyjność roweru jako środka transportu na przykładzie miasta Konin, nr 4, str. 23-26, 2021.
- Banet K.: Ruch rowerowy jako element zrównoważonej mobilności, nr 7, str. 17-20, 2019.
- Bartnik K. (red.): Sklep internetowy od A do Z, Wyd. e-Komercyjnie.pl, ISBN: 978-83-636-3506-0, Warszawa, 2013.
- Bonek T., Smaga M.: Biznes w Internecie, Praktyczny poradnik o marketingu, sprzedaży, public relations on-line o promocji w mediach społecznościowych, Oficyna Wolters Kluwer business, ISBN 978-83-264-5130-0, Warszawa, 2019.
- Bryniarska Z., Wilk N.: Ocena systemu wypożyczalni rowerów miejskich Wavelo w Krakowie, nr 10, str. 22-27, 2018.
- Brzeziński A., Jesionkiewicz-Niedzińska K.: Rower jako alternatywa dla samochodu w podróżach łączonych na przykładzie aglomeracji warszawskiej, nr 9, str. 4-9, 2014.
- Brzeziński S., Nabiałek A., Treścińska P., Turek K.: The application of RFID system as the tool of e-logistics. Częstochowa, Advanced Logistic Systems, Vol. 8, No. 1, pp. 5-10, 2014.
- Chodak G., Prałat E., Latus Ł., Analiza dystrybucji w sklepach internetowych, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., Gospodarka Materiałowa i Logistyka, Wrocław, 5, str. 2-8, Wrocław, 2011.
- Chodak G.: Wybrane zagadnienia logistyki w sklepach internetowych - modele, badania rynku, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, ISBN 978-83-7493-828-0, Wrocław 2014.
- Cieśla M., Hat-Garnarcz G., Opasiak T., Nowakowski P.: Logistyka w łańcuchach dostaw, Wybrane zagadnienia, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, ISBN: 978-83-7880-422-2, Gliwice, 2017.
- Dobroszek J.: Koszty i wyniki w systemie controllingu w przedsiębiorstwach usług logistycznych, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN 978-83-808-8555-4, Łódź, 2017.
- Dutko M.: Biblia e-biznesu 2. ISBN 978-83-283-2464-0, Helion, Gliwice, 2016.
- Dutko M.: E-biznes, Poradnik praktykanta, Postaw na biznes w sieci, ISBN 978-83-283-2464-0, Helion, Gliwice, 2013.
- Dyczkowska J.: Marketing usług logistycznych, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-7930-240-6, Warszawa, 2014.
- Gawryluk M.: Rozwój rynku przesyłek kurierskich, ekspresowych i paczkowych (KEP) w Polsce od 2014 r. do 2023 r., Poczta Polska, Warszawa 2019.
- Goch K., Malasek J.: EuroVelo. Sieć europejskich dróg rowerowych na terenie Polski, Transport Miejski i Regionalny, nr 9, str. 4-8, 2013.
- Góra G., Matuszak Z., Żabińska I.: Charakterystyka wybranych zagadnień dystrybucji towarów, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Organizacja i zarządzanie, Szczecin, DOI 10.24136/atest.2018.551, str. 1063-1067, 2018.
- Gulc A.: Charakterystyka usług kurierskich w Polsce, Humanities and Social Science, vol. 22 (XXII), nr 24 (1), s. 61-75, 2017.
- Jankowska-Karpa, D., Wnuk, A.: System roweru publicznego (Bike Sharing System - BBS) jako element polityki zrównoważonej mobilności na przykładzie Francji i Polski. Logistyka - Nauka, nr 6, str. 4803-4812, 2014.
- Jeszka A. M.: Sektor usług logistycznych w teorii i praktyce. Warszawa, Difin, 2013.
- Juściński S.: Analiza możliwości aplikacyjnych bezzałogowych statków powietrznych w innowacyjnych łańcuchach dostaw żywności, [w:] Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej: Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, s. 89-115, 2020.
- Juściński S.: Firmy brokerskie jako nowoczesny element rynku usług kurierskich, Logistyka, Nr 6, str. 170-176, 2015.
- Juściński S.: Platformy internetowe, jako system wspomaganie informatycznego w branży transport-spedycja-logistyka. [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W.: (red.): Systemy

- Wspomaganie Komputerowe w Transporcie i Logistyce, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, Kraków, s. 125-154, 2021.
- Juściński S.: Programy WMS, jako przykład kompleksowych systemów informatycznych do obsługi logistyki magazynowej i dystrybucyjnej. [w:] *Dziesiętowski G., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W. (red.): Systemy Wspomaganie Komputerowe w Transporcie i Logistyce*, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-49-5, Kraków, s. 155-180, 2021.
- Juściński S., Radiowe systemy automatycznej identyfikacji (RFID) użytkowane w logistyce, [w:] *Logistyka dla regionu*, ISBN 978-83-64377-27-3, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, str. 143-161, Kraków 2018.
- Juściński S.: Rynek usług pocztowych i kurierskich, Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, ISBN 978-83-7259-336-8, Lublin, 2021.
- Juściński S., Stankiewicz A.: Lubelski Rower Miejski, jako element w systemie zrównoważonego transportu pasażerskiego, *Transport miejski i regionalny*, Nr 11-12, str. 3-10, 2023.
- Karwatka P., Ejtminowicz T., Engelmann M., et al.: *Technologia w e-commerce, Teoria i praktyka* Poradnik menedżera, Wydawnictwo Helion, ISBN: 978-83-246-7541-8, Gliwice 2013.
- Kieć M., Pogodzińska S.: Ocena prędkości rowerzystów na różnych typach infrastruktury rowerowej z wykorzystaniem danych GPS, nr 4, str. 20-24, 2018.
- Kohler T., Best R.: *Electronic Commerce. Koncepcje, realizacje i wykorzystanie w przedsiębiorstwie*, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 83-87885-10-X, Warszawa, 2001.
- Kółkowska E.: Funkcjonowanie systemu rowerów miejskich w Katowicach, nr 7, str. 21-25, 2019.
- Komor A., Budzyńska K., Domańska K.: *Analiza porównawcza handlu tradycyjnego i elektronicznego*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego Nr 875, Problemy Zarządzania Finansów i Marketingu Nr 41, t.2, Szczecin*, str. 484-487, 2015.
- Konopielko Ł.: *Handel elektroniczny. Rewolucja i perspektywy*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Uczelni Łazarskiego, 2016.
- Kończak S.: *Photoshop dla e-commerce i social media*, Wyd. Helion, ISBN: 978-83-283-0180-1, Gliwice 2015.
- Kordel Z., Kuriata A.: *Logistyka i transport w ujęciu systemowym*, CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-138-8, Warszawa, 2018.
- Kozerska M.: *Obsługa logistyczna obszaru e-commerce*, *Zeszyty Naukowe, Organizacja i Zarządzanie, Politechnika Śląska*, z. 86, str. 51-60, 2014.
- Kwiatkowski M.: *Bike-sharing boom—Development of new forms of sustainable transport in Poland on the example of a public bicycle*. *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, 21(3), str. 60-69, 2018, DOI 10.4467/2543859XPKG.18.017.10142
- Macioszek, E.; Świerk, P.; Kurek, A. *The Bike-Sharing System as an Element of Enhancing Sustainable Mobility—A Case Study based on a City in Poland*. *Sustainability*, nr 12, 3285, 2020, <https://doi.org/10.3390/su12083285>
- Marcysiak A., Pieniak-Lendzion K., Lendzion M.: *Usługi kurierskie na rynku usług logistycznych w Polsce*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, Siedlce*, Nr 96, Seria: Administracja i Zarządzanie, str. 29–38, 2013.
- Nowak E.: *Controlling w działalności przedsiębiorstwa*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, ISBN 978-83-208-1909-0, Warszawa, 2011.
- Piekarski W., Juściński S., Piekarski D., Nestor Ł.: *Logistyczne aspekty funkcjonowania sklepu internetowego w czasie pandemii* [w:] *Dziesiętowski G., Kuboń M. (red.): Procesy logistyczne w przemyśle*, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-55-6, s. 151-171, 2023.
- Piekarski W., Juściński S., Piekarski D., Ożga J.: *Innowacyjne technologie w procesie dystrybucji towarów a poziom obsługi klienta* [w:] *Dziesiętowski G., Kuboń M. (red.): Procesy logistyczne w przemyśle*, Wyd. Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-55-6, s. 129-150, 2023.
- Pogodzińska S.: *Szacowanie natężenia ruchu rowerowego na podstawie danych z systemu rowerów miejskich*, nr 1, str. 5-11, 2018.
- Pogodzińska S.: *Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa ruchu rowerowego*, nr 12, str. 6-12, 2016.

- Ratajczak A., Zmuda-Trzebiatowski P., Walerjańczyk W.: Porównanie funkcjonowania rowerowych planerów podróży w aglomeracji poznańskiej, nr 3, str. 27-32, 2018.
- Rogala A., Wiertel B.: Badania ruchu pieszego i rowerowego – analiza konfliktów, nr 8, str. 8-14, 2019.
- Rutkowski K., Cichosz M., Pluta-Zaremba A., Nowicka K.: Branża przesyłek kurierskich, ekspresowych paczkowych wpływ na polską gospodarkę, Centrum Doradztwa i Ekspertyz Gospodarczych SGH sp. z o.o., Warszawa 2011.
- Shaheen S.A.; Guzman S.; Zhang H.: Bikesharing in Europe, the Americas and Asia: Past, Present and Future. Transportation Research Record. J. Transp. Res. Board, 2143, 159–167, 2010.
- Skurpel D.: Obsługa logistyczna w handlu elektronicznym. Wartość dla klienta. Łódź, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN 978-83-8142-652-7, 2019.
- Sołowij S.J.: Szczeciński rower miejski jako funkcja uzupełniająca komunikacji miejskiej, nr 10, str. 15-18, 2014.
- Strandhagen J.O.: Vallandingham, L.R., Fragapane, G. et al. Logistics 4.0 and emerging sustainable business models, Advances in Manufacturing, 5, s. 359–369, <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0198-1>, 2017.
- Szpringer W.: E-commerce e-banking wyzwania globalizacji, Wyd. Difin S.A., ISBN: 83-7251-307-4, Warszawa, 2002.
- Śliwczyński B., Koliński A.: Organizacja i monitorowanie procesów dystrybucji, Instytut Logistyki i Magazynowania, ISBN: 978-83-63186-64-7, Poznań, 2013.
- Wit H., Kowalski Ł.: Badanie sondażowe jako element uspołeczniania miejskiej polityki Rowerowej, Transport Miejski i Regionalny, nr 9, str. 9-13, 2013.
- Wyrwińska K., Wyrwiński M.: Platformy internetowe, jako narzędzia ekonomii współdzielenia, Transformacje Prawa Prywatnego, ISSN 1641–1609, , Nr 2, str. 91-112, 2018.
- <http://wrower.pl/historia/rower-w-polsce,5431.html>
- <http://wrower.pl/miasto/historia-rowerowa-polski-miasta-dla-rowerow-maja-20-lat,6372.html>
- <https://about.ups.com/pl/pl/our-company/global-presence.html>
- <https://businessinsider.com.pl/finanse/handel/rynek-kurierski-mocno-wzroslo-w-czasie-pandemii/>
- <https://erharowery.pl/gdzie-kupic-rower/>
- <https://gls-group.com/PL/pl/o-firmie>
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Historia_Internetu
- <https://inpost.pl/o-inpost>
- <https://mobilne-miasto.org/bike-sharing-czyli-rower-miejski/>
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Publiczny_system_wypożyczenia_rowerów
- <https://www.dpd.com/pl/pl/>
- <https://www.rp.pl/Biznes/210219483-Rynek-uslug-kurierskich-2020--najwazniejsze-trendy.html>
- <https://biznes.wprost.pl/firmy-i-rynki/10325299/jak-epidemia-zmienia-branze-przesylek-kurierskich.html>
- <https://skiteam.pl/artykuly/kupno-roweru-przez-internet-i-skladanie-czy-warto--b317.html>

Adres do korespondencji: e-mail: slawomir.juscinski@up.lublin.pl

ORCID: Sławomir Juściński 0000-0002-2692-9083

ORCID: Wiesław Piekarski 0000-0001-6218-3090

WIELOKRYTERIALNA OCENA RYZYKA PRACY KIEROWCY ZAWODOWEGO

Ireneusz Kaczmar¹, Elżbieta Radochońska-Wasiewicz¹, Michał Garbalski²

¹ Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Dyplomant w Instytucie Nauk Technicznych PANS w Przemysłu

Wstęp

W pracy przedstawiono zadania i obowiązki kierowców, które obejmują prowadzenie pojazdu, dbanie o bezpieczeństwo ładunku lub pasażerów, kontrolę rozmieszczenia towaru, nadzór nad załadunkiem i rozładunkiem, prowadzenie dokumentacji przewozowej oraz sprzedaż biletów. Praca kierowcy wiąże się z wieloma zagrożeniami zdrowotnymi, zarówno fizycznymi (hałas, wibracje, długotrwałe siedzenie) jak i psychologicznymi (stres, odpowiedzialność za pojazd i ładunek). Kierowcy często cierpią na nadciśnienie i schorzenia narządów ruchu. W pracy podkreślono również wymagania stawiane kandydatom na kierowców, takie jak dobra sprawność wzroku i słuchu, zdolność samokontroli oraz odporność na stres. Celem pracy była identyfikacja ryzyka i zagrożeń w pracy kierowcy zawodowego oraz ocena tych czynników przez wybraną grupę kierowców. Badania miały na celu ustalenie predyspozycji wymaganych od kierowców różnych typów pojazdów.

Charakterystyka badanego obszaru

Zawód kierowcy zawodowego to kluczowy element transportu i logistyki, mimo że wciąż brakuje pracowników w tej dziedzinie. Analiza czynników ryzyka w pracy kierowcy zawodowego ma na celu wyjaśnienie, dlaczego zainteresowanie tym zawodem jest niskie. Kierowcy są narażeni na wiele zagrożeń zdrowotnych i psychologicznych, takich jak: długie godziny pracy, hałas, wibracje, stres oraz długotrwała rozłąka z rodziną. Kierowcy międzynarodowi często pracują w systemie 2/1 (2 tygodnie pracy, 1 tydzień wolnego) lub 3/1 (3 tygodnie pracy, 1 tydzień wolnego), co może prowadzić do pytań o wartość wynagrodzenia w kontekście rozłąki z bliskimi.

Definicja kierowcy zawodowego obejmuje osoby, których głównym narzędziem pracy jest pojazd. Badania ankietowe wśród pracowników branży TSL wskazują, że kierowcami

zawodowymi są wszyscy, którzy zarabiają na życie dzięki pracy za kierownicą, w tym kierowcy ciężarówek, autobusów oraz busów przewożących towary i ludzi¹.

Kierowcami zawodowymi są nie tylko kierowcy ciężarówek, ale także kierowcy pojazdów specjalnych, autobusów miejskich, pojazdów do 3,5 tony, karettek transportowych i taksówek. Charakterystyka pracy kierowcy zależy od warunków otoczenia i rodzaju pojazdu. Kierowcy międzynarodowi pracują w różnych porach dnia i nocy, muszą przestrzegać przepisów dotyczących czasu pracy i dbać o odpowiednie zabezpieczenie ładunku. Często skarżą się na warunki higieniczne na Miejscach Obsługi Podróżnych. Kierowcy karettek muszą być odporni na stres i zachować wzmożoną uwagę na drodze. Pomimo edukacji, wypadki z udziałem pojazdów uprzywilejowanych nadal się zdarzają. Kierowcy pojazdów specjalnych, takich jak śmieciarki i betoniarki, pracują zazwyczaj lokalnie, co zmniejsza problem rozłąki z rodziną, ale wiąże się z innymi wyzwaniami, jak manewrowanie w wąskich uliczkach. Wszystkich kierowców łączy stres i obciążenie psychiczne związane z prowadzeniem pojazdu.

W tabeli 1 zostały przedstawione możliwe zagrożenia, przyczyny zagrożeń oraz możliwe skutki w pracy kierowcy.

Tabela 1. Zagrożenia w pracy na stanowisku kierowcy

Możliwe zagrożenia	Przyczyny zagrożeń/czynniki	Możliwe skutki
Wypadki drogowe/kolizje	Nieprzestrzeganie przepisów ruchu drogowego, zmęczenie	Śmierć, uszczerbek na zdrowiu, straty materialne
Skaleczenia	Prowadzenie drobnego serwisu pojazdu	Rana cięta
Wibracje	Drgania wywołane pracą silnika	Choroby kręgosłupa
Hałas	Dźwięk pracy silnika, odgłosy ruchu ulicznego	Problemy ze słuchem
Bóle barków	Wymuszona pozycja ciała	Choroby kręgosłupa szyjnych
Bóle głowy i oczu	Długotrwały czas pracy	Uciążliwy ból głowy
Kradzież, napad	Spanie w pojeździe na parkingu	Utrata życia, straty materialne

Źródło: Opracowanie własne²

W pracy wymieniono liczne czynniki ryzyka związane z zawodem kierowcy zawodowego, w tym zagrożenie życia, jak w przypadku polskiego kierowcy zamordowanego w Berlinie w 2016 roku. Kierowcy często cierpią na problemy zdrowotne, takie jak problemy ze wzrokiem, słuchem czy kręgosłupem, które mogą być trwałe.

Pomimo dobrych warunków finansowych, branża boryka się z deficytem kierowców, szacowanym na około 150 tysięcy specjalistów. Koszty uzyskania niezbędnych uprawnień są

¹ Pałgan B.: Proces stawania się kierowcą zawodowym. Na podstawie badań przeprowadzonych wśród kierowców pojazdów ciężarowych, Łódź, 2008.

² Siwiec D., Czerwińska K., Pacan A.: Analiza i ocena ryzyka zawodowego na stanowisku kierowcy, Autobusy 6, 2018.

wysokie, a brak szacunku ze strony współpracowników, takich jak spedytorzy i magazynierzy, dodatkowo zniechęca do pracy.

Kierowcy międzynarodowi muszą korzystać z miejsc obsługi podróżnych, których standard często pozostawia wiele do życzenia. Stres związany z pracą kierowcy zawodowego jest powszechny i może wpływać na zdrowie i bezpieczeństwo zarówno kierowcy, jak i innych użytkowników dróg. Kierowcy muszą radzić sobie z długimi godzinami pracy, napiętymi harmonogramami i presją czasu. Stres w pracy kierowcy zawodowego może być wywołany różnymi bodźcami, reakcjami emocjonalnymi oraz relacjami między czynnikami zewnętrznymi a właściwościami człowieka. Kierowcy powinni dbać o swoje zdrowie psychiczne i fizyczne, aby zapewnić bezpieczeństwo na drodze.

Samotność jest także istotnym czynnikiem stresogennym dla kierowców zawodowych, zwłaszcza tych pracujących na trasach międzynarodowych i krajowych. Kierowcy ciężarówek często pracują samotnie i nie zawsze mogą liczyć na pomoc innych kierowców w trudnych sytuacjach³. Podobne wyzwania dotyczą kierowców taksówek, którzy mogą być narażeni na napady ze strony pasażerów. Wysoki poziom stresu w pracy kierowcy zawodowego może prowadzić do zmiany pracy, chorób psychosomatycznych lub nadużywania substancji psychoaktywnych.

Tabela 2 przedstawia czynniki stresu kierowców oraz przykładowe ich wskaźniki.

Tabela 2. Czynniki stresu kierowców zawodowych oraz przykładowe wskaźniki

Czynniki stresu kierowców zawodowych oraz przykładowe wskaźniki	Awersja do pracy	Poczucie niebezpieczeństwa	Zmęczenie
Nieodpowiednie zachowanie na drodze innych uczestników ruchu	Poczucie odpowiedzialności za pojazd oraz bezpieczeństwo ruchu	Pośpiech spowodowany dostarczeniem ładunku w określonym czasie	Długi czas pracy
Ponaglenie ze strony spedytora	Nieodpowiednie wynagrodzenie za pracę	Korzystanie z MOP-ów	Wiele zadań dla kierowcy
Problemy z dotarciem na czas	Rozłąka z rodziną	Brak wiedzy na temat pasażerów	
Nieodpowiednie zachowanie pasażerów	Nienormalny czas pracy	Duża wartość pojazdu oraz ładunku	

Źródło: Opracowanie własne

Rozważania nad bezpieczeństwem kierowców wskazują, że głównym czynnikiem wpływającym na ich bezpieczeństwo jest sam kierowca, a najistotniejszym problemem jest zmęczenie. Zmęczenie kierowców, spowodowane długotrwałą jazdą, brakiem odpoczynku i krótkim snem, prowadzi do senności, obniżenia koncentracji i wydłużenia czasu reakcji, co zwiększa ryzyko wypadków drogowych. Szacuje się, że zmęczenie jest przyczyną 10-15% wypadków drogowych.

³ Łuczak A.: Czynniki stresogenne i sytuacje trudne oraz ich związek z emocjonalnym i nawykowym przejadaniem się i jego konsekwencjami w grupie kierowców samochodów ciężarowych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Wydział Nauk Społecznych, 2016.

Przepisy wymagają, aby kierowcy odpoczywali po 4 godzinach i 30 minutach jazdy, ale często są one łamane⁴.

Kierowcy mogą również paść ofiarami napaści lub rozboju, szczególnie podczas nocnych przerw. Aby przeciwdziałać tym zagrożeniom, zaleca się odpowiednią organizację pracy, szkolenia z zarządzania ryzykiem i stresem oraz wsparcie zdrowego stylu życia.

W Polsce ryzyko zawodowe definiowane jest jako prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanych zdarzeń związanych z pracą. Ocena ryzyka według normy PN-N-18002 obejmuje pięć etapów: opis pracy, identyfikację zagrożeń, oszacowanie ryzyka, wyznaczenie maksymalnego ryzyka oraz wnioski z oceny. Najważniejszym etapem jest oszacowanie ryzyka, gdzie określa się ilość i częstotliwość czynników ryzyka. Norma PN-N-18002 prezentuje wyniki oszacowanego ryzyka zawodowego za pomocą trójstopniowej skali, która ocenia częstotliwość występowania czynników ryzyka oraz ciężkość ich następstw. Skala ta dzieli następstwa na małe (np. skaleczenia), średnie (np. oparzenia) i duże (np. amputacje), a prawdopodobieństwo na mało prawdopodobne, prawdopodobne i wysoce prawdopodobne.

Kandydaci na kierowców zawodowych muszą spełniać określone wymagania psychologiczne i fizyczne. Ważne cechy to odporność na stres, zdolność do samokontroli, dobry wzrok i słuch oraz koordynacja wzrokowo-ruchowa. Niektóre choroby, jak daltonizm czy choroby psychiczne, wykluczają możliwość wykonywania tego zawodu. Kierowcy zawodowi są narażeni na wiele chorób zawodowych z powodu długotrwałej pracy w pozycji siedzącej. Choroby zawodowe to te, które są bezspornie uznane za wywołane czynnikami szkodliwymi w miejscu pracy. Regularne badania zdrowotne są kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa w ruchu drogowym⁵.

Grupa kierowców zawodowych jest w znacznym stopniu narażona na ryzyko wystąpienia chorób zawodowych, a co za tym idzie zwiększone ryzyko wystąpienia chorób cywilizacyjnych. Do czynników potęgujących wystąpienie wymienionych chorób zalicza się charakterystyczne wykonywanie obowiązków przez kierowców takie jak: długi czas spędzony w pozycji siedzącej (około 9 godzin dziennie), pracę w godzinach nocnych, oraz małą aktywność fizyczną⁶.

Metodyka badań

Ryzyko zawodowe definiuje się jako szczegółową kontrolę i ocenę czynników mogących zaszkodzić pracownikowi podczas wykonywania obowiązków. Proces ten obejmuje identyfikację zagrożeń, możliwość ich eliminacji oraz szkolenia BHP, co ma na celu ochronę życia pracowników i eliminację strat materialnych⁷.

⁴ Gil L., Kruszyńska-Szadzińska M., Erd A., Pieniak D., Walczak A.: Odpoczynek w pracy kierowcy zawodowego, *Autobusy* 12, 2017.

⁵ Świątkowska B., Hanke W., Szeszenia-Dąbrowska N.: *Choroby zawodowe w Polsce w 2019 roku*, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera Centralny Rejestr Chorób Zawodowych, Łódź, 2020.

⁶ Czerwińska M., Hołowko J., Stachowska E.: *Występowanie wybranych czynników ryzyka związanych ze specyfiką pracy zawodowych kierowców*, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Zakład Biochemii i Żywienia Człowieka, Szczecin, 2016.

⁷ Kowalczyk C.: *Jak ocenić ryzyko zawodowe?*, Główny Inspektorat Pracy, 2010.

Standardowe metody oceny ryzyka zawodowego dzielą się na trzy etapy: obserwacja, analiza i ekspertyza⁸.

W ocenie ryzyka w pracy kierowcy zastosowano metodę AHP (Analityczny Proces Hierarchiczny), która dekomponuje problem na mniejsze części, ocenia je osobno, a następnie integruje w celu podjęcia decyzji. Metoda ta obejmuje identyfikację problemu, podanie możliwych rozwiązań, ocenę i wybór najlepszego rozwiązania oraz ocenę skutków wdrożenia⁹.

AHP wykorzystuje strukturę hierarchiczną do rozłożenia problemu na kryteria i czynniki, a następnie porównuje je parami, co pozwala na wybór optymalnej decyzji. Za pomocą formuły numer 1 reprezentowana jest macierz porównań parami badanych czynników, którym przypisywane są wagi liczbowe, niezbędne do dokonania obliczeń wektorów ocen badanych czynników.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Rysunek 1. Wzór numer 1, pozwalający obliczyć macierz

Źródło: Opracowanie własne

Następnie, dzięki obliczonym macierzom zostały wyznaczone wektory preferencji kryteriów oraz wpływających na nie czynników. Wektory te mają postać taką, jaka została zaprezentowana za pomocą ogólnej formuły (...).

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$$

Rysunek 2. Wektor preferencji

Źródło: Opracowanie własne

Przeprowadzone obliczenia pozwoliły ustalić ranking czynników mających największy i najmniejszy wpływ na problemy decyzyjne oraz najbardziej i najmniej pożądaną aspekty pracy kierowcy zawodowego. Badania obejmowały 12 doświadczonych kierowców zawodowych różnych typów pojazdów. Opinie zebrano za pomocą kwestionariusza i zagregowano metodą konsensusu, a następnie wprowadzono do modelu komputerowego w celu obliczenia priorytetów wpływu.

⁸ Bogdan A.: Ocena ryzyka zawodowego w aspekcie stresu cieplnego w pomieszczeniach zamkniętych, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, 2011.

⁹ Prusak A., Stefanów P.: Badania nad właściwościami operacyjnymi metody AHP, Oficyna Wydawnicza AFM, 2011.

Analiza czynników ryzyka w pracy kierowcy uwzględniała cztery kryteria: psychofizyczne (np. stres, choroby układu oddechowego), fizyczne (np. hałas, wypadki drogowe), biologiczno-chemiczne (np. choroby zakaźne) oraz społeczne (np. mobbing, rozłąka z rodziną). Każde z tych kryteriów zawierało subkryteria wpływające na ocenę ryzyka.

W tabeli 3 zostały zaprezentowane kryteria - czynniki ryzyka oraz subkryteria, czyli aspekty, które wywołują postawione czynniki.

Tabela 3. Schemat czynników ryzyka, w pracy kierowcy zawodowego

Psychofizyczne	Fizyczne	Biologiczno-chemiczne	Społeczne
Presja czasu	Niebezpieczne zdarzenie drogowe np. wypadek, kolizja, utrudnienia w ruchu	Choroby zakaźne	Problemy z trudnym klientem
Przeciążenie informacyjne	Hałas/drgania	Paliwa i płyny eksploatacyjne	Nieprzestrzeganie przepisów i procedur
Obciążenie wzroku	Obciążenia statyczno-dynamiczne	Pył i kurz	Rozłąka z rodziną
Senność i monotonia	Stan techniczny lub wiek pojazdu	Spaliny samochodowe	Stres podczas prowadzenia pojazdu
Odpowiedzialność materialna	Ładunek i opakowanie np. czynności z obsługą ładunku	Zagrożenia biol-chem wywołane przewożonym ładunkiem	Nieregularność pracy np. czas pracy, odżywianie

Źródło: Opracowanie własne

W kryterium czynników psychofizycznych wyróżniono subkryteria takie jak: presja czasu, przeciążenie informacyjne, obciążenie wzroku, senność i monotonia oraz odpowiedzialność materialna. Te czynniki wpływają na stres i koncentrację kierowców.

W kryterium czynników fizycznych uwzględniono: niebezpieczne zdarzenia drogowe, hałas i drgania, obciążenia statyczne i dynamiczne, stan techniczny pojazdu oraz obsługę ładunku. Te czynniki mogą prowadzić do wypadków i urazów.

W kryterium czynników biologiczno-chemicznych wyróżniono: choroby zakaźne, paliwa i płyny eksploatacyjne, pył i kurz, spaliny samochodowe oraz zagrożenia związane z przewożonym ładunkiem. Te czynniki mogą wpływać na zdrowie kierowców, szczególnie w kontekście kontaktu z innymi osobami i materiałami niebezpiecznymi.

W kryterium czynników społecznych wyróżniono: kontakt z trudnym klientem, nieprzestrzeganie przepisów i procedur, rozłąka z rodziną, stres podczas prowadzenia pojazdu, nieregularność pracy. Te czynniki przyczyniają się do różnych chorób zawodowych.

Budowa modelu hierarchicznego

W celu zaprojektowania modelu hierarchicznego wykorzystano kryteria oraz subkryteria wymienione w powyższej części pracy. Obliczenia zaczerpnięte od grupy ekspertów zostały

opracowane w programie komputerowym Super Decision. W tym też programie został stworzony schemat zaprezentowany na rysunku 3.

Metoda AHP to metoda ekspercka, stosowana w badaniach przeprowadzonych w grupie doświadczonych kierowców różnych pojazdów. Charakterystyka tych pojazdów obejmuje:

Kierowca do 3,5t:

Kurier: Dostarcza przesyłki w powiecie przemyskim, narażony na kontakt z klientami i kolizje. Pojazd: Fiat Ducato (2009).

Lokalna dystrybucja: Zaopatruje małe sklepy, pracuje wcześniej rano, narażony na senność i urazy. Pojazd: Iveco Daily (2014).

Międzynarodowy: Pracuje w systemie 3/1, narażony na senność, monotonię i rozłąkę z rodziną. Pojazd: Renault Master (2020).

Pojazd komunalny:

Obsługuje rejon Przemysła, wykonuje wiele manewrów, narażony na kolizje. Pojazdy: Man TGS (2012) i Scania P230 (2010).

Taksówka:

Przewozi pasażerów na krótkich dystansach, narażony na kontakt z trudnymi klientami. Pojazd: Opel Zafira (2008).

Ciężarowy pojazd międzynarodowy:

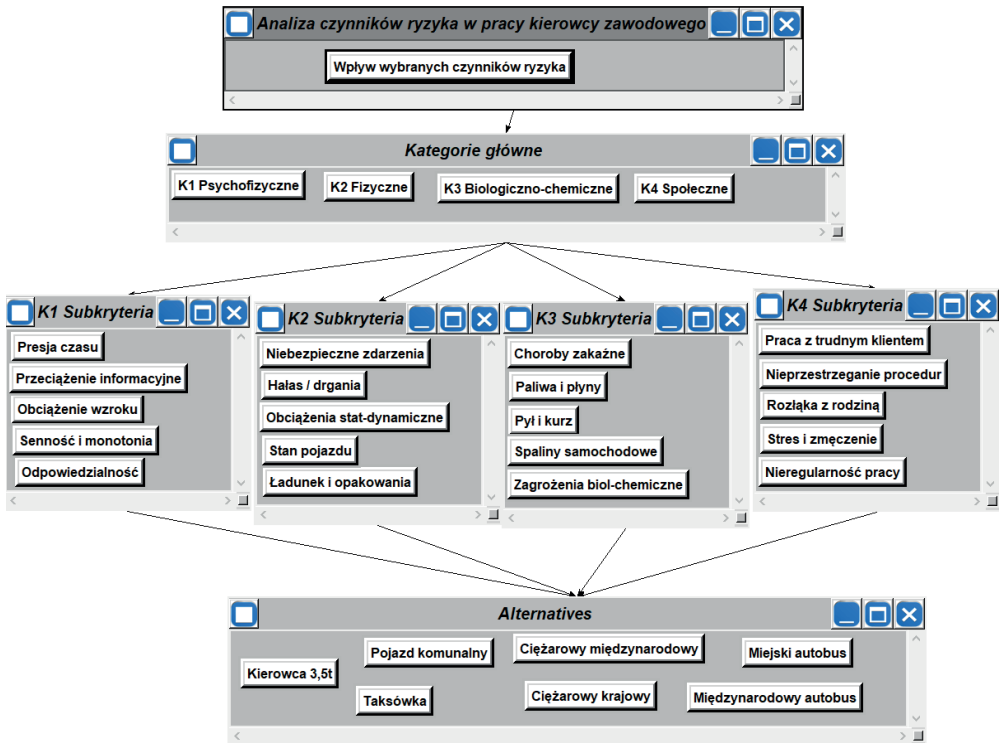
Pracuje w systemie 3/1 lub 2/1, narażony na kradzieże i włamania.

Pojazdy: Mercedes Actros (2016, 2018).

Ciężarowy pojazd krajowy:

Pracuje w kraju, narażony na podobne ryzyka jak kierowcy międzynarodowi. Pojazd: Daf XF95 (2006).

Kierowca wyjeżdża w trasę na 5 dni, a weekendy spędza z rodziną.



Rysunek 3. Model hierarchiczny analizy czynników ryzyka w pracy kierowcy

Źródło: Opracowanie własne

Autobus międzynarodowy:

Kierowca spędza większość czasu poza domem, szczególnie w sezonie wakacyjnym, kiedy wraca na 2-3 dni w miesiącu.

Pracuje w 3-osobowej załodze, korzysta z hoteli, nie śpi w pojazdach.

Ryzyka: duży kontakt z pasażerami, którzy mogą być roszczeniowi, zwłaszcza przy opóźnieniach.

Zalety: dobre zaplecze sanitarne, nowoczesny pojazd (Setra 2021).

Autobus miejski:

Dwóch kierowców obsługuje pasażerów w mieście, sprzedaje bilety, otwiera i zamyka drzwi.

Praca w godzinach szczytu zwiększa ryzyko kolizji.

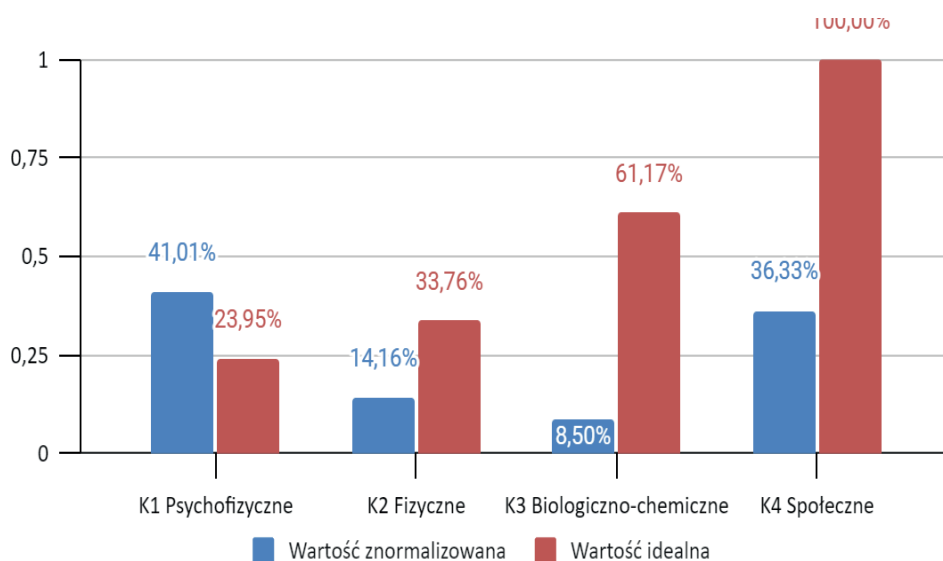
Narażeni na hałas i spaliny z powodu częstego otwierania drzwi.

Pojazdy: Solaris Urbino 12 (2015).

Grupa ekspertów składała się z 12 kierowców. Dane z ankiet wprowadzono do programu Super Decision, a współczynnik niespójności odpowiedzi wyniósł poniżej 0,1, co oznacza, że wyniki są wiarygodne.

Obliczanie priorytetów wpływu

Po dokonanych obliczeniach za pomocą super macierzy porównań parami otrzymano wyniki dla kryteriów głównych i szczegółowych. Wyniki te to wartości znormalizowane oraz idealne. Na rysunku 4 zostały zaprezentowane graficznie obliczone wagi zagrożeń. Największy udział czynników ryzyka ma kryterium czynników psychofizycznych i jest najważniejsze czyli niosące najwięcej zagrożeń (40,01%), drugie miejsce zajmuje kryterium czynników społecznych (36,33%), następnie kryterium fizyczne (14,16%), ostatnie miejsce zajmuje kryterium czynników biologiczno-chemicznych (8,5%).



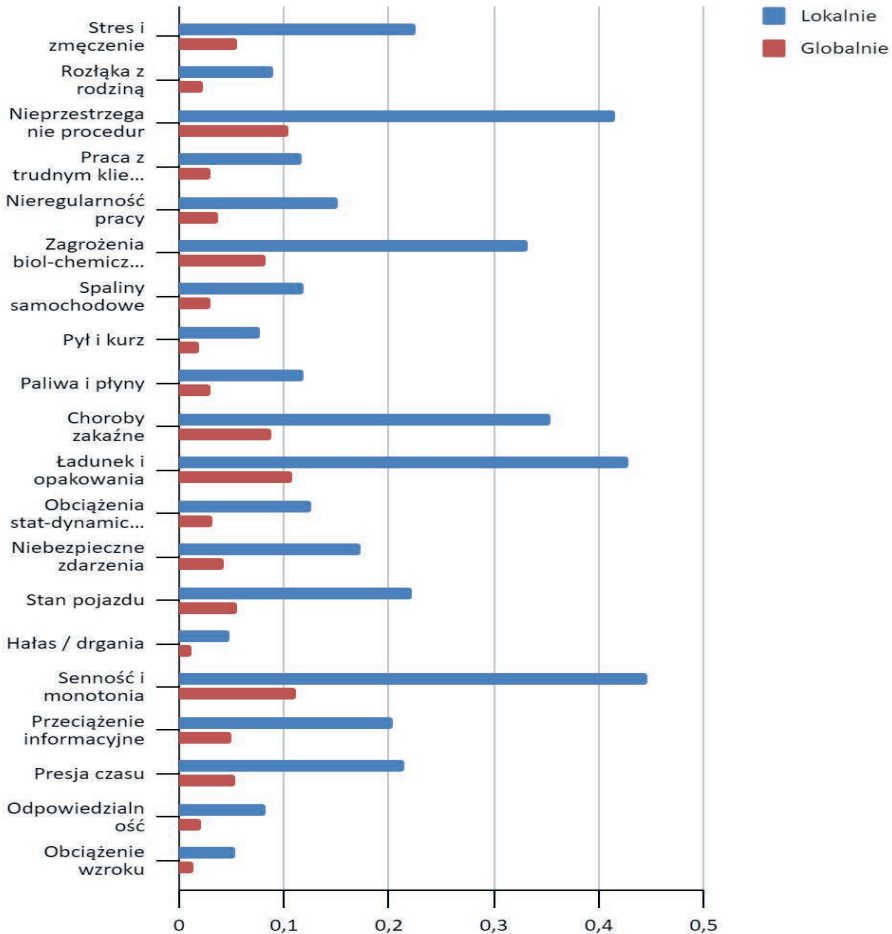
Rysunek 4. Obraz graficzny udziału kryteriów głównych

Źródło: Opracowanie własne

Przeprowadzone badania wskazują, że najważniejsze czynniki ryzyka zawodowego wywołują czynniki z grupy psychofizycznych oraz społecznych. Różnica w udziale tych kryteriów w odniesieniu do problemu głównego wynosi około 4%. Pozostałe grupy, czyli czynniki fizyczne oraz biologiczno-chemiczne mają dużo mniejszy procentowy udział.

Uporządkowany ranking czynników ryzyka w pracy kierowcy

Dzięki przeprowadzonym obliczeniom udało się określić udział konkretnego czynnika szczegółowego w odniesieniu do wartości lokalnej (w obrębie danego kryterium) oraz do wartości globalnej, czyli w odniesieniu do wszystkich 20 badanych czynników. Dokonane obliczenia pozwoliły ustalić, który czynnik ryzyka ma największy globalny udział w badanym problemie, a który najmniejszy. Ranking tych czynników został zaprezentowany na rysunku 5.



Rysunek 5. Ranking czynników ryzyka w pracy kierowcy

Źródło: Opracowanie własne

Wartości globalne można ukazać w następującej kolejności w sposób uszeregowany:

- senność i monotonia (11,17%),
- ładunek i opakowanie (10,7%),
- nieprzestrzeganie procedur (10,4%),
- choroby zakaźne (8,87%),
- zagrożenia biologiczno-chemiczne (8,3%),
- stres i zmęczenie (5,62%),
- stan pojazdu (5,56%),
- presja czasu (5,36%),
- przeciążenie informacyjne (5,07%),
- niebezpieczne zdarzenia drogowe (4,35%),
- nieregularność pracy (3,79%),
- obciążenia statyczno-dynamiczne (3,17%),
- paliwa i płyny eksploatacyjne (2,96%),
- spaliny samochodowe (2,95%),
- praca z trudnym klientem (2,93%),
- rozłąka z rodziną (2,26%),
- odpowiedzialność materialna (2,08%),
- pył i kurz (1,92%),
- obciążenie wzroku (1,32%),
- hałas/drgania (1,22%).

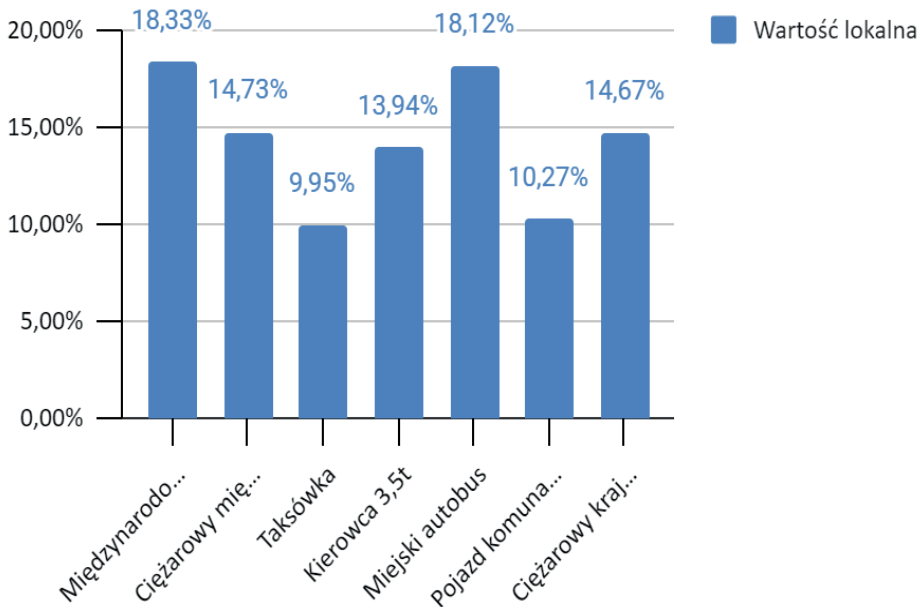
Jak możemy odczytać z powyższej kolejności na podium czynników ryzyka mających największy wpływ na badany problem w skali globalnej mają: senność i monotonia, ładunek i opakowanie oraz nieprzestrzeganie procedur. Średnia wartość tych czynników wynosi 10,75%. Czynniki te znacznie wyróżniają się w skali pozostałych znaczącą przewagą wpływu na postawiony problem badawczy.

Do trzech czynników ryzyka, które mają najmniejszy procentowy udział w przeprowadzonych badaniach należą: hałas/drgania, obciążenie wzroku, pył i kurz. Średni udział tych czynników wynosi 1,48%.

Dane te pozwalają ukazać czynniki ryzyka mające znaczący wpływ na bezpieczeństwo kierowców oraz ładunku lub pasażerów oraz czynniki mające wpływ najmniejszy.

Ocena końcowa ryzyka w pracy na wybranych stanowiskach pracy

Po dokonanej analizie czynników ryzyka oprócz dokładnej charakterystyki poszczególnych kryteriów szczegółowych udało się również wskazać alternatywy obarczone największym ryzykiem zawodowym. Wyniki przeprowadzonych badań ukazały, iż alternatywy zostały połączone w grupy pod względem ogólnego udziału czynników ryzyka. Zależności te zostały pokazane na rysunku 6.



Rysunek 6. Ranking alternatyw pod względem ryzyka zawodowego

Źródło: Opracowanie własne

Wyniki przedstawione na rysunku pokazują, że najbardziej narażoną grupą kierowców są kierowcy autobusów z wynikiem ponad 18%. Zachodzi niewielka różnica między ryzykiem w pracy kierowcy autobusu międzynarodowego, a kierowcą autobusu miejskiego.

Drugą grupą kierowców są kierowcy samochodów ciężarowych, zarówno pracujących w transporcie międzynarodowym, jak i krajowym oraz kierowcy pojazdów dostawczych o DMC do 3,5t. Udział tego typu kierowców w ogólnym rankingu wpływu oscyluje na poziomie około 14,3%.

Ostatnią grupą są kierowcy pojazdów komunalnych oraz taksówek. Wyniki natężenia ryzyka w tych grupach kierowców plasują się na poziomie około 10%.

Podsumowanie i wnioski

Po analizie czynników ryzyka w pracy kierowców zawodowych, najważniejszym czynnikiem okazała się senność i monotonia. Ekspert potwierdził, że jest to zgodne ze stanem faktycznym. Senność jest niebezpieczna i trudna do przezwyciężenia, głównie z powodu nieregularnego trybu pracy kierowców. Zaleca się krótkie, 15-minutowe drzemki, aby zredukować senność. Inne istotne czynniki to ładunek i opakowanie oraz nieprzestrzeganie procedur, które również wpływają na bezpieczeństwo pracy kierowców. Ważne jest przestrzeganie

przepisów dotyczących prędkości i mocowania ładunku. Najważniejsze predyspozycje kierowców zawodowych to: odporność na stres, odpowiedzialność, umiejętność zachowania spokoju, umiejętność przewidywania konsekwencji, powściągliwość oraz opanowanie.

Kierowcy zawodowi są narażeni na wiele czynników ryzyka. Człowiek jest kluczowym elementem w pracy kierowcy, zarówno jako kierowca, jak i pasażer. Edukacja w zakresie radzenia sobie ze zmęczeniem i stresem jest kluczowa. Rozwój pojazdów autonomicznych może pomóc w redukcji ryzyka.

Cel pracy został osiągnięty, wskazano ważność i wpływ czynników ryzyka oraz predyspozycje kierowców. W pracy ukazano rozkład ważności czynników ryzyka i stworzono ranking stanowisk pracy najbardziej narażonych na ryzyko zawodowe. Mocną stroną analizy jest precyzyjny rozkład ważności czynników ryzyka, a słabą stroną mała próba badawcza. W pracy zostały określone główne oraz szczegółowe czynniki ryzyka, a także został określony ich procentowy udział w odniesieniu do zagrożeń, jakie występują na stanowisku kierowcy zawodowego.

Bibliografia

- Bem M.: Czynniki Psychospołeczne, Informator dla kierowców, Państwowa Inspekcja Pracy, 2018.
- Bogdan A.: Ocena ryzyka zawodowego w aspekcie stresu cieplnego w pomieszczeniach zamkniętych, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, 2011.
- Czerwińska M., Hołowko J., Stachowska E.: Występowanie wybranych czynników ryzyka związanych ze specyfiką pracy zawodowych kierowców, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Zakład Biochemii i Żywienia Człowieka, Szczecin, 2016.
- Gil L., Kruszyńska-Szadziewska M., Erd A., Pieniak D., Walczak A.: Odpoczynek w pracy kierowcy zawodowego, *Autobusy* 12, 2017.
- Kowal E., Rybakowski M., Dudarski G.: Subiektywna ocena ergonomiczności stanowiska pracy kierowcy zawodowego, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Zakład Inżynierii Środowiska Pracy, 2013.
- Kowalczyk C.: Jak ocenić ryzyko zawodowe?, Główny Inspektorat Pracy, 2010.
- Łuczak A., Tarnowski A.: Dobór zawodowy kierowców – selekcja pozytywna czy negatywna, *Wojewódzki Instytut Medycyny Lotniczej*, 2011.
- Łuczak A.: Czynniki stresogenne i sytuacje trudne oraz ich związek z emocjonalnym i nawykowym przejadaniem się i jego konsekwencjami w grupie kierowców samochodów ciężarowych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Wydział Nauk Społecznych, 2016.
- Mądrowska K., Rosochacki W.: Ocena czynników ryzyka w ruchu drogowym przez kierowców pojazdów uprzywilejowanych, 2016.
- Pałgan B.: Proces stawiania się kierowcą zawodowym. Na podstawie badań przeprowadzonych wśród kierowców pojazdów ciężarowych, Łódź, 2008.
- Pocica R., Ziętek-Okońska B.: Dokumentacja oceny ryzyka zawodowego wykonana metodą trójstopniową wg PN - N - 18002, Członek zespołu ratownictwa medycznego, Katowice, 2019.
- Prusak A., Stefanów P.: Badania nad właściwościami operacyjnymi metody AHP, Oficyna Wydawnicza AFM 2011.
- Sasin P., Cieślak W.: Bezpieczeństwo pracy kierowców w transporcie drogowym: ryzyko zawodowe, *Przegląd Naukowo-Metodyczny. Edukacja dla Bezpieczeństwa* nr 1, 111-128, 2014.
- Siwiec D., Czerwińska K., Pacan A.: Analiza i ocena ryzyka zawodowego na stanowisku kierowcy, *Autobusy* 6, 2018.

- Sojda A., Wolny M.: Zastosowanie metody AHP w ocenie projektów inwestycyjnych kopalni węgla kamiennego, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2014.
- Stanisławska P., Krajewska-Kułak E., Śmigiełska-Kuzia J.: Dolegliwości bólowe kręgosłupa w kontekście zawodu kierowcy, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku, 2021.
- Świątkowska B., Hanke W., Szeszenia-Dąbrowska N.: Choroby zawodowe w Polsce w 2019 roku, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera Centralny Rejestr Chorób Zawodowych, Łódź, 2020.
- Walendzik M., Nowacki G.: Brak zawodowych kierowców zagrożeniem dla przedsiębiorstw transportu drogowego, Autobusy 12, 2017.
- Wojtas A., Szkoda M.: Analiza wybranych czynników wpływających na bezpieczeństwo w ruchu drogowym, Autobusy 6, 2018.
- Wojtyto D., Knapiński M., Pałęga M.: Identyfikacja zagrożeń w środowisku pracy oraz ocena ryzyka zawodowego kierowcy pojazdu ciężarowego, Instytut Przeróbki Plastycznej i Inżynierii Bezpieczeństwa Politechnika Częstochowska, Częstochowa, 2014.

*Adres do korespondencji: e-mail: i.kaczmar@ pansp.pl
e.radochonska-wasiewicz@pansp.pl*

ORCID: Ireneusz Kaczmar 0000-0002-5394-1168
ORCID: Elżbieta Radochońska-Wasiewicz 0000-0001-9939-5978

ANALIZA STOPNIA KONCENTRACJI UWAGI KIEROWCY I PASAŻERA W CZASIE JAZDY MIEJSKIEJ

Paweł Kielbasa¹, Dariusz Baran¹, Szymon Kupiec²

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

² Student Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wstęp

Praca jest istotnym czynnikiem rozwoju człowieka oraz elementem organizującym około 66% czasu dorosłego życia¹. Pracę dzielimy na fizyczną (związaną z pracą mięśni), którą zajmuje się fizjologia pracy oraz umysłową (związaną z pracą mózgu), którą zajmuje się psychologia pracy². Przedmiotem badań psychologii pracy jest ustalenie najkorzystniejszych i najefektywniejszych warunków funkcjonowania układu człowiek – praca³. Wg normy ISO 10075 - „zmęczenie jest to lokalna lub ogólnoustrojowa, nie będąca stanem patologicznym, manifestacja skutków oddziaływania nadmiernego obciążenia, która jest całkowicie usuwalna poprzez odpoczynek”. Obciążenie psychiczne pracą definiuje się jako koszt związany z ograniczonymi, indywidualnymi możliwościami przetwarzania informacji, ponoszony przez pracownika w celu utrzymania odpowiedniego poziomu jakości wykonywanych zadań⁴. Sheridan⁵ definiuje obciążenie psychiczne pracą jako: obciążenie umysłowe – wynikające z angażowania procesów poznawczych i struktur składających się w sumie na wiedzę jednostki oraz obciążenie emocjonalne – wynikające z wyłączenia możliwości redukcji napięcia emocjonalnego. Do lepszego zrozumienia zjawiska zmęczenia może być pomocne wyróżnienie jego dwóch głównych form - fizycznej i umysłowej. Zmęczenie umysłowe dotyczy funkcji psychicznych, podczas gdy zmęczenie fizyczne jest synonimem zmęczenia

¹ Wróblewska M.: Ergonomia skrypt dla studentów. Opole, Wyd. Politechniki Opolskiej. ISSN 1427-9932, 2004.

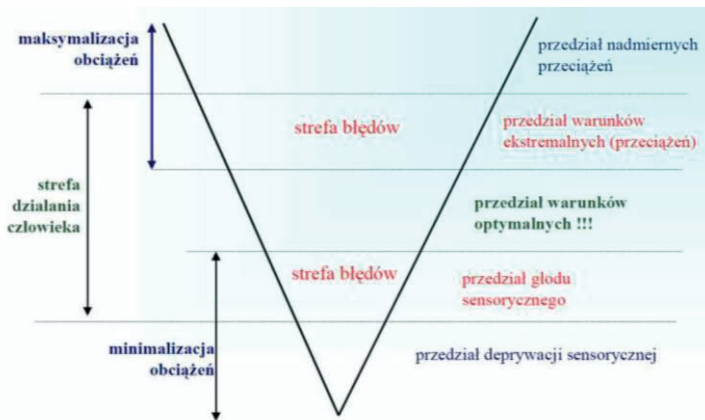
² Olszewski J.: Podstawy ergonomii i fizjologii pracy. Poznań, Wyd. Akademii Ekonomicznej. ISBN 83-85530-90-8, 1997.

³ Dudek B.: Psychiczne obciążenie pracą. Pomiar – czynniki warunkujące – skutki. Łódź, Instytut Medycyny Pracy. 1992.

⁴ Gopher D., Donchin E.: Workload – An examination of the concept. Boff K.R., Kaufman L., Thomas J.P. (red). Handbook of Perception and Human Performance. Volume 2. Cognitive Processes and Performance. New York, John Wiley and Sons. 1986.

⁵ Sheridan T.B., Stassen H.G.: Definitions, models and measures of human workload. Moray N. (red.) Mental workload: Its theory and measurement. New York, Plenum Press, 1979.

mięśniowego. Kielbasa i in.⁶ określili wzajemne relacje między długością i rodzajem czynności związanej z pracą umysłową a stopniem znużenia psychicznego i wskaźnikiem rezerwy tętna. Badania przeprowadzono na grupie 25 osób, które realizowały poszczególne etapy procesu szkolenia dotyczącego obsługi współczesnych ciągników rolniczych. Podobne badania przeprowadzono w przypadku pracy informatyków konfigurując rotacje pracowników w obrębie wykonywanych czynności⁷. Popęlnianie błędów może być skutkiem różnych sytuacji np.: z powodu presji czasu, nieadekwatnej oceny sytuacji, ale również przez wpływ zbyt dużej ilości bodźców jakie oddziałują na kierowcę. W pracy kierowca zmagają się często z wieloma zadaniami nie związanymi z prowadzeniem samochodu np. rozplanowywanie pracy na cały dzień, stały kontakt z klientami lub pracodawcą, rozmowy przez telefon komórkowy, odczytywanie i pisanie sms-ów, itp. Model niezawodności człowieka na podstawie modelu stresu Niebylicyna w adaptacji Franusa (rys. 1) w którym grube linie ułożone w kształcie litery V obrazuje liczbę bodźców działających na człowieka. W środkowym przedziale znajduje się przedział warunków optymalnych, czyli ilość i typ bodźców, do którego człowiek jest przyzwyczajony i w którym najlepiej funkcjonuje. Powyżej i poniżej tego przedziału znajdują się strefy błędów spowodowane oddziaływaniem zbyt dużej lub zbyt małej ilości bodźców.



Rysunek 1. Model niezawodności człowieka na podstawie modelu stresu Niebylicyna w adaptacji Franusa⁸

Źródło: (<https://docplayer.pl>)

⁶ Kielbasa P., Juliszewski T., Rusnak J., Pikul K.: Impact of the mental activity type on the mental fatigue and degree of physiological workload. *Agricultural Engineering*. 4(152), 2014.

⁷ Kielbasa P., Juliszewski T., Kądzioła D.: Wpływ rodzaju czynności umysłowej związanej z pracą informatyka na zmęczenie psychiczne i stopień obciążenia fizjologicznego pracą. *Technika Transportu Szynowego*, nr 12, 2015.

⁸ <https://docplayer.pl/44382488-Temat-procesy-poznawcze-i-intelektualne-osob-kierujacych-pojazdami-oraz-metody-ich-badania-stosowane-w-psychologii-transportu.html>

Jedną z najprostszych klasyfikacji metod badania aktywności mózgu jest podział na metody inwazyjne, częściowo inwazyjne i nieinwazyjne, przy czym najczęściej wykorzystywaną metodą w obecnie prowadzonych badaniach aktywności mózgu jest metoda nieinwazyjna - elektroencefalografia (EEG). Wyróżnia się wiele cech charakterystycznych sygnałów mierzonych za pomocą EEG, które można wykorzystywać w interfejsach mózg-komputer urządzeń technicznych. Przy projektowaniu takiego systemu, należy brać pod uwagę przeszkody i problemy, z jakimi można się zetknąć, aby stworzyć funkcjonalny system. Należą do nich szumy i odchylenia, bardzo rozbudowane wektory cech, informacje o czasie komunikacji i jej niestacjonarność⁹. Należy pamiętać, że elektryczny sygnał mózgowy jest sygnałem indywidualnym dla każdej osoby oraz ulega znacznym zmianom w zależności od czynników działających na daną osobę w danej chwili. W analizie tych sygnałów brane są pod uwagę dwa parametry amplituda i częstotliwość. Klasyfikacja ze względu na częstotliwość wyróżnia pasma związane z określonymi stanami lub bodźcami, których granic i funkcji, nie można precyzyjnie określić, ponieważ są silnie skorelowane z cechami osobniczymi, a wciąż wiele aspektów działania mózgu jest nieznanymi. Wyróżnia się następujące specyficzne fale EEG - gamma (powyżej 40 Hz) - towarzyszą działaniu i funkcjom motorycznym; - beta (od 12 Hz do ok. 28 Hz) – występują w czasie koncentracji oraz obrazują zaangażowanie kory mózgowej w aktywność poznawczą. Pojawiają się w płatach czołowych, a ich aktywność narasta w stanie senności i w pierwszym stadium snu; - alfa (od 8 Hz do 13 Hz) - są związane ze stanem relaksu i obniżonym poziomem aktywności poznawczej. Najsilniej są one odbierane z okolic potylicy. Pojawienie się fal alfa związane jest z zasypianiem, dlatego podkreśla się ich związek ze spadkiem koncentracji u kierowców; - mu (od ok. 8 Hz do 12 Hz); - theta (od 4 Hz do 7 Hz) - ich aktywność jest związana ze stanami hipnotycznymi oraz lekkim senem, a także z pierwszym i drugim stadium snu NREM. Odmienny rodzaj fal theta jest związany z uwagą i procesami pamięciowymi. Fale te obserwuje się głównie w przyśrodkowej przedniej części mózgu; - delta (od ok. 0,5 Hz do 3 Hz) – obserwowane głównie w trzecim stadium snu NREM^{10,11}. W 2023 r. w strukturze pojazdów zaliczanych do środków transportu drogowego, tak jak w 2022 r. 87,9% stanowiły pojazdy samochodowe. Do pozostałych środków transportu drogowego, niezaliczanych do grupy pojazdów samochodowych, należą: motorowery, ciągniki rolnicze oraz pojazdy bezsilnikowe, tj. przyczepy i naczepy; ich liczba według stanu na dzień 31 grudnia 2023 r. wyniosła 4652,3 tys. (o 2,5% więcej niż w roku poprzednim). Liczba pojazdów zarejestrowanych po raz pierwszy na terytorium kraju (pojazdy nowe i używane sprowadzone z zagranicy) była o 8,1% wyższa niż przed rokiem. Liczba zarejestrowanych samochodów osobowych w końcu 2023 r. wyniosła 27,2 mln i była większa o 2,9% niż przed rokiem. Na 1000 mieszkańców przypadały 723 samochody osobowe (w 2022 r. – 701), w tym samochodów w wieku do 30 lat było 579 (w 2022 r. – 568). Udział samochodów osobowych w wieku do 5 lat w ogólnej liczbie tych pojazdów wyniósł

⁹ Lotte F., Congedo M., Lécuyer A., Lamarche F., Arnaldi B.: A review of classification algorithms for EEG-based Brain- Computer Interfaces. *Journal of Neural Engineering*, Vol. 4, No. 2, 2007.

¹⁰ Kołodziej M.: Przetwarzanie, analiza i klasyfikacja sygnału EEG na użytek interfejsu mózg-komputer. Praca doktorska, Politechnika Warszawska, 2011.

¹¹ Gast H., Schindler K., Rummel C., Herrmann U.S., Roth C., Hess C.W., Mathis J.: EEG correlation and power during maintenance of wakefulness est after sleep-deprivation. *Clin. Neurophysio. N.* 122, 2011.

w 2023 r. 10,1%. Na koniec 2023 r. liczba zarejestrowanych samochodów ciężarowych (łącznie z ciężarowo-osobowymi) wyniosła 3,8 mln szt., tj. o 2,5% więcej niż przed rokiem. Struktura samochodów ciężarowych pod względem wieku była zbliżona jak w roku poprzednim – 10,7% stanowiły pojazdy do 5 lat, a 38,8% – w przedziale wiekowym 16–30 lat. Udział zarejestrowanych samochodów ciężarowych powyżej 30 lat zwiększył się z 23,5% do 24,3% w 2023 r. Pod względem ładowności w strukturze samochodów ciężarowych odnotowano wzrost udziału samochodów o ładowności poniżej 1,5 tony (o 0,2% do 80,3% w 2023 r.) oraz o ładowności 10 ton i więcej – o 4,3%. W ogólnej liczbie samochodów ciężarowych dominowały pojazdy z silnikami wysokoprężnymi stanowiące 70,9% (w 2022 r. – 70,3%)¹².

Cel i zakres badań

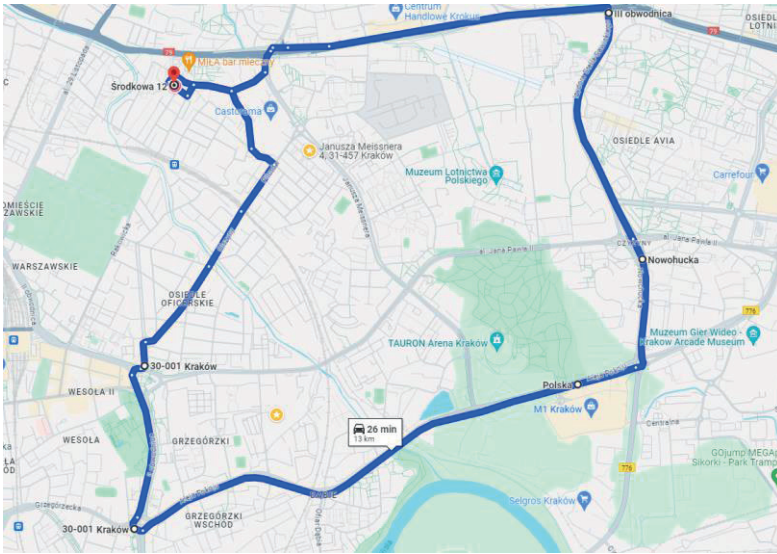
Celem badań była ocena wielkości oraz struktury obciążenia kierowcy i pasażera w czasie jazdy miejskiej samochodem osobowym w różnych strumieniach ruchu miejskiego. Kierowca w czasie realizacji procesu dokonywał typowych czynności sterowniczych wymuszonych charakterystyką odcinka pomiarowego oraz zachowaniem pozostałych użytkowników ruchu. Zakres badań obejmował sporządzenie chronometrażu czynności sterowniczych kierowcy w czasie poruszania się po drodze miejskiej z uwzględnieniem wielkości strumienia ruchu pojazdów. Obciążenie psychiczne zostało wyznaczone na podstawie prądów czynnościowych mózgu kierowcy i pasażera w czasie jazdy na zaplanowanej trasie wykorzystując aparaturę Opaska EEG Muse InteraXon 2 oraz stosowne oprogramowanie. Przeprowadzona analiza porównawcza pozwoliła wyodrębnić relacje między rodzajem wykonywanego manewru sterowniczego a wielkością obciążenia psychicznego.

Metodyka badań

Badaniom poddano grupę 4 kierowców w wieku 22 lat, którzy posiadali uprawnienia do prowadzenia pojazdów osobowych minimum od 5 lat. Należy zaznaczyć, że dwóch z nich stanowiło grupę pomiarową w roli pasażera. Poruszali się wcześniej wyznaczoną trasą 3 razy w ciągu dnia pojazdem osobowym marki Renault, model Megane, typu sedan. Godziny zostały wyznaczone biorąc pod uwagę natężenie ruchu w godzinach porannych, popołudniowych oraz w nocy (godziny startowe to: poranna -10:00, popołudniowa -16:00, nocna-22:00). Wyznaczona trasa ma łącznie 13 kilometrów (rys. 2). Trasa przejazdu była tak zaplanowana aby zawierać możliwie dużo różnych elementów infrastruktury drogowej m.in.: przejazd tramwajowy, skrzyżowanie o ruchu okrężnym składające się z 3 pasów, skrzyżowania równorzędne, droga w strefie zamieszkania, fragment trasy znajdował się w remoncie. Wybrana trasa charakteryzowała się dużym natężeniem ruchu w godzinach szczytu komunikacyjnego. Przejazd pomiarowy trwał ok. 30 minut. W badaniach wykorzystano trzy urządzenia, opaskę EEG Muse InteraXon 2, telefon komórkowy z zainstalowaną aplikacją „Mind monitor”. Opaska EEG Muse Interaxon 2 to urządzenie medytacyjne, wyposażone w wieloczuJNIKOWĄ technologię, dostarczające w czasie rzeczywistym informacje zwrotne dotyczące

¹² <https://portalstatystyczny.pl/samochody-w-polsce/>

aktywności mózgu, częstości akcji serca, oddechu oraz ruchów ciała. Wykorzystuje zaawansowane przetwarzanie sygnałów do interpretacji aktywności umysłowej. Opaska jest wyposażona w 7 czujników EEG, z których 2 umieszczone są na czole, 2 za uszami, a pozostałe 3 to czujniki referencyjne, umożliwiające precyzyjne monitorowanie i pomiar aktywności mózgu. Dodatkowo, Muse 2 posiada czujniki PPG i pulsoksymetryczne do pomiaru aktywności oddechowej i serca, rozmieszczone z przodu po prawej stronie czola. Czujniki ciała, oparte na żyroskopie i akcelerometrze, znajdują się z kolei za uszami.

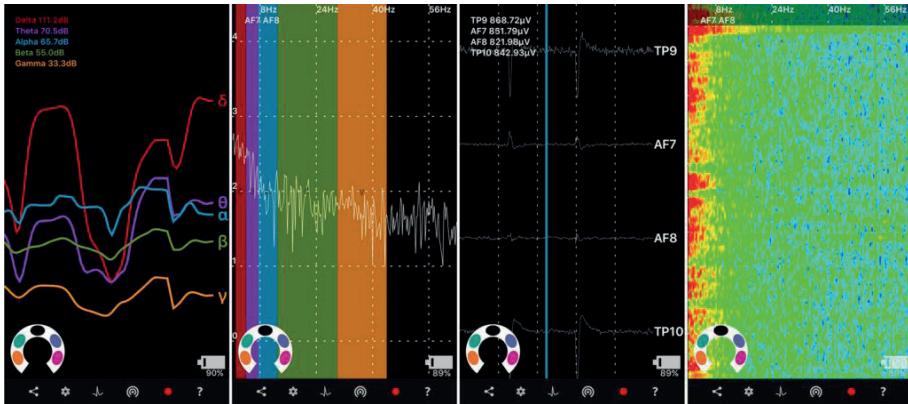


Rysunek 2. Przebieg odcinak pomiarowego drogi miejskiej¹³

Źródło: (<https://www.google.com/maps>)

Dzięki temu urządzeniu możemy śledzić i analizować różnorodne aspekty swojej aktywności fizycznej i psychicznej. Opaska umożliwia śledzenie zmian 5 pasm aktywności mózgu (alfa, beta, gamma, delta oraz theta). Urządzenie Muse InteraXon 2 zostało połączone z aplikacją mobilną „Mind monitor” (rys. 3) umożliwiającą archiwizację danych, konwertowanie ich w odpowiedni format oraz przedstawianie w postaci graficznej w czasie rzeczywistym. Aplikacja umożliwia zapisywanie danych w postaci plików „csv”, a następnie przesłanie ich do dysku w chmurze. Pliki te można edytować za pomocą aplikacji Excel.

¹³ <https://www.google.com/maps>



Rysunek 3. Sygnał generowany przez urządzenie pomiarowe¹⁴

Źródło: (<https://www.luxuriousmagazine.com/mind-monitor>)

Wyniki badań

W tabeli 1 przedstawiono kody dla poszczególnych czynności kierowcy a tym samym zachowanie pojazdu w trakcie pokonywania odcinka testowego. Kodowanie czynności było koniecznością wynikającą z zastosowanej analizy statystycznej i wizualizacji wyników na rysunkach, gdzie długie nazwy uniemożliwiają czytelność wizualizacji danych.

Tabela 1. Wyodrębnione czynności w trakcie prowadzenia samochodu osobowego na odcinku testowym

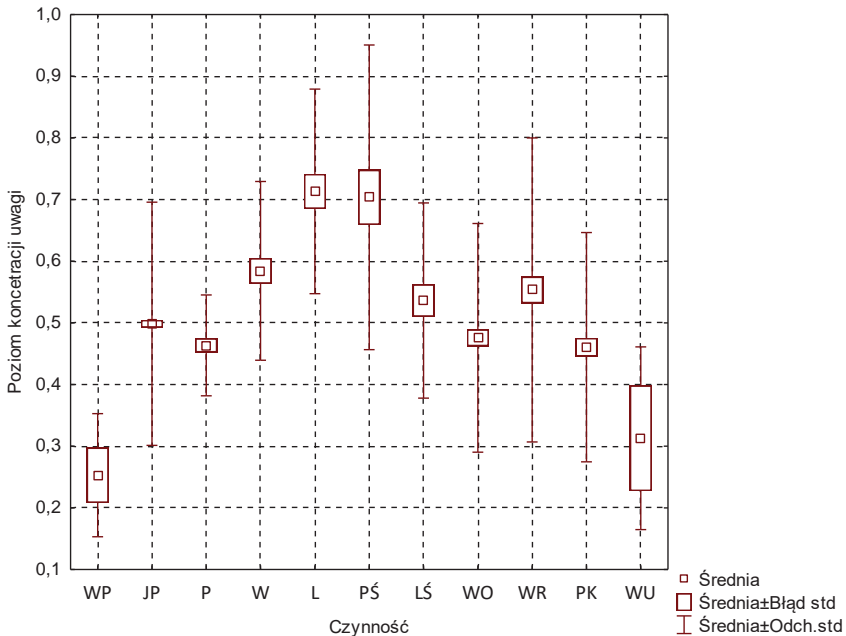
Czynności	Skróty
Włączenie urządzeń pomiarowych	WP
Wyłączenie urządzeń pomiarowych	WU
Skręt w prawo	P
Skręt w lewo	L
Skręt w prawo na światłach	PŚ
Skręt w lewo na światłach	LŚ
Włączenie do ruchu na skrzyżowaniu o ruchu okrężnym	WO
Włączenie do ruchu na skrzyżowaniu równoległym	WR
Postój w korku	PK
Wymijanie	W
Jazda prosto	JP

Źródło: (Opracowanie własne)

¹⁴ <https://www.luxuriousmagazine.com/mind-monitor>

Do analizy wybrano sygnał w zakresie częstotliwości od 12Hz do 33Hz, które są związane są z aktywnością umysłową, skupieniem uwagi i procesami poznawczymi z uwagi na istotność tego sygnału na obciążenie psychiczne kierowcy. Na rysunku 4 przedstawiono charakterystykę statystyczną wartości aktywności mózgu pasażera w obrębie częstotliwości fal mózgowych beta dla wyodrębnionych czynności realizowanych przez kierowcę. Najwyższą wartością koncentracji uwagi u pasażera wynoszącą 0,7 odnotowano w czasie operacji skrętu w lewo, której zakres zmienności wyrażony współczynnikiem zmienności wynosił 28%. Najniższym poziom skupienia pasażera charakteryzował się odcinek czasowy w którym samochód poruszał się w korku, wartość ok 0,45 podobnie jak w przypadku skrętu w prawo. Należy jednak zaznaczyć, że poziom skupienia pasażera samochodu w czasie jazdy w korku charakteryzował się znacznie wyższym zróżnicowaniem w stosunku do zróżnicowania odnotowanego w przypadku skrętu w prawo. Zróżnicowanie to, można tłumaczyć charakterystyką i specyfiką jazdy w korku, która wymusza chwilowy ruch, hamowanie a następnie pewien czas oczekiwania, którego interwał czasowy był przypadkowy i mało przewidywalny, co nie mało miejsca w przypadku manewru kierowcy skręcania w prawo samochodem.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki analizy różnic przy użyciu testu Scheffego, między poziomem skupienia pasażerów w czasie jazdy testowej samochodem osobowym a realizowanymi czynnościami sterowniczymi przez kierowcę pojazdu.



Rysunek 4. Charakterystyka statystyczna poziomu skupienia pasażera w trakcie jazdy na odcinku testowym

Źródło: (Opracowanie własne)

Zaobserwowano jedenaście statystycznie istotnych różnic poziomu skupienia pasażera między wyodrębnionymi w doświadczeniu czynnościami kierowcy pojazdu. Należy zwrócić uwagę, że sześć z nich dotyczy skrętu w lewo bez sygnalizacji świetlnej (sześć różnic) a pozostałe pięć również dotyczą skrętu w lewo, ale w tym przypadku operacja ta odbywała się przy wykorzystaniu sygnalizacji świetlnej stanowiącej infrastrukturę techniczną odcinka testowego (tab. 2).

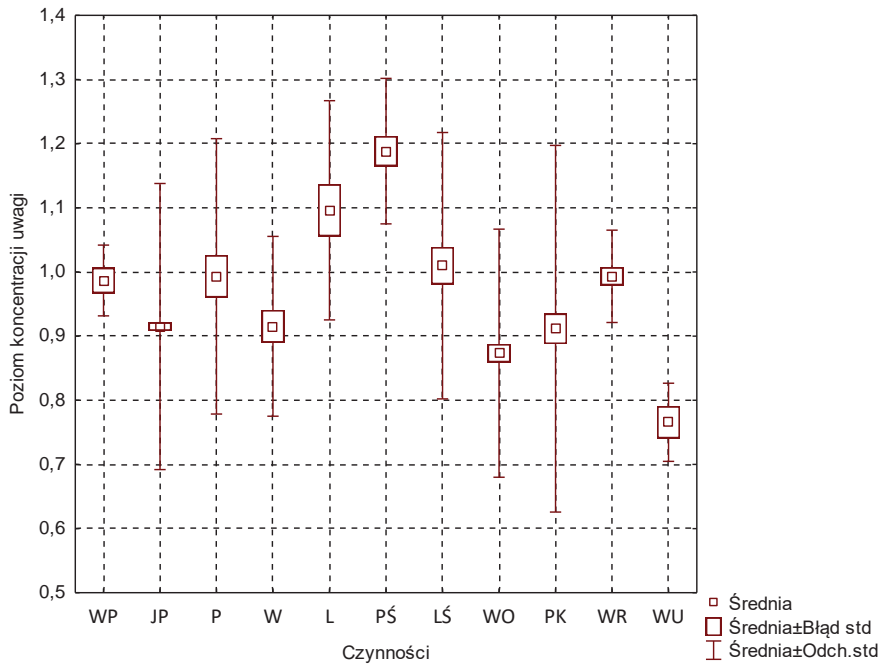
Na rysunku 5 przedstawiono charakterystykę statystyczną wartości aktywności mózgu kierowcy (poziomu koncentracji) podczas wykonywania przejazdu pomiarowego. Odnotowano znacznie wyższe wartości poziomu koncentracji w stosunku do poziomu koncentracji pasażera pojazdu. Podobne spostrzeżenie dotyczy stopnia zmienności poziomu skupienia kierowcy w stosunku tej wielkości odnotowanej u pasażera pojazdu. Zaobserwowano, że najwyższe wartości odnotowywano w przypadku skrętu pojazdem na światłach w prawo, natomiast najniższe wartości poziomu skupienia odnotowywano w przypadku wjazdu na skrzyżowanie o ruchu okrężnym. Należy zaznaczyć, że w przypadku poziomu skupienia kierowcy wyodrębnione czynności charakteryzowały się niewielką zmiennością a wartości poziomu skupienia mieściły się w przedziale od 0,89 do 1,19 z wyjątkiem czynności wyłączania samochodu i aparatury.

Tabela 2. Wyniki testu Scheffego dla zbadania istotności statystycznej różnic poziomu aktywności mózgu pasażera samochodu osobowego między realizowanymi przez kierowcę pojazdu operacjami sterowniczymi na odcinku pomiarowym

Czynność	Test Scheffe; Zmienna: Beta										
	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
WP {1}	xxx										
JP {2}		xxx									
P {3}			xxx								
W {4}				xxx							
L {5}	*	*	*		xxx						
PŚ {6}	*	*	*			xxx					
LŚ {7}							xxx				
WO {8}					*	*		xxx			
WR {9}					*				xxx		
PK {10}					*	*				xxx	
WU {11}											xxx

* - różnice statystycznie istotne ($p=0,05$)

Źródło: (Opracowanie własne)



Rysunek 5. Charakterystyka statystyczna poziomu skupienia kierowcy w trakcie jazdy na odcinku testowym

Źródło: (Opracowanie własne)

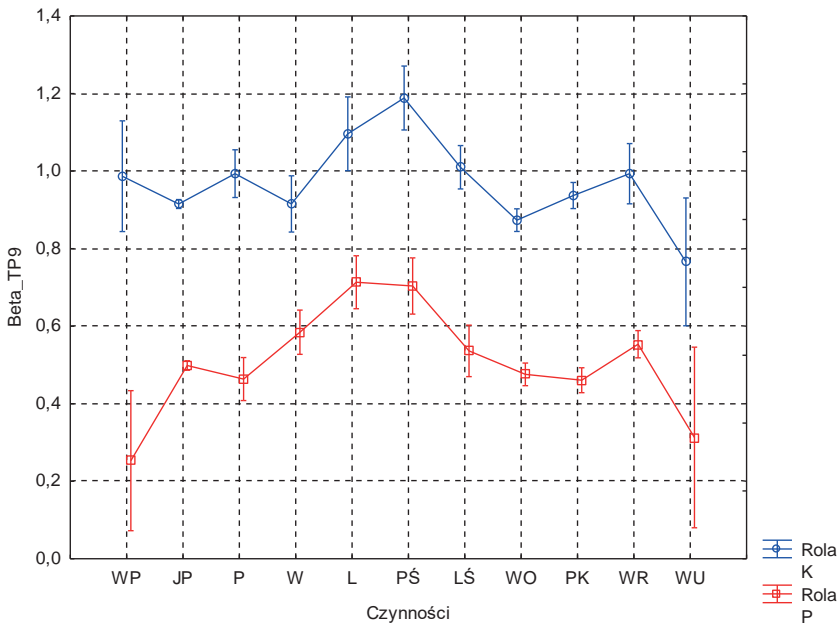
W tabeli 3 przedstawiono wyniki analizy różnic przy użyciu testu Scheffego, między poziomem skupienia kierowców pojazdu w czasie jazdy testowej samochodem osobowym a realizowanymi czynnościami sterowniczymi. Zaobserwowano cztery statystycznie istotne różnice poziomu skupienia kierowców między wyodrębnionymi w doświadczeniu czynnościami kierowcy pojazdu: między czynnością skręcania w prawo na światłach (6) a jazdą prosto (2), wymijaniem (4), włączeniem do ruchu na skrzyżowaniu o ruchu okrężnym (8) oraz jazdą w korku (9).

Na rysunku 6 przedstawiono charakterystykę statystyczną wpływu czynności sterowniczych na aktywność mózgu (poziom koncentracji uwagi) pasażera oraz kierowcy podczas wykonywanego przejazdu pomiarowego, rejestrowanym czujnikiem umieszczonym po lewej stronie głowy osoby badanej (Beta_TP9). Kolorem niebieskim oznaczono poziom skupienia kierowcy a kolorem czerwonym poziom skupienia pasażera. Analizując cały okres pomiaru poziomu skupienia przedmiotowym sensorem można zaobserwować pewne podobieństwo między kierowcą a pasażerem, czynności skręcania w lewo oraz skręcania w prawo na światłach wyróżniają się nieznacznym skokiem średniej aktywności mózgu dla obu pomiarów. Główne zróżnicowanie wartości poziomu skupienia badanych osób jest zakres oscylacji poziomów koncentracji uwagi, średnia aktywność mózgu u pasażera mieściła w zakresie od około 0,2 do 0,7, natomiast u kierowcy aktywność mózgu była w przedziale od 0,78 do 1,2.

Tabela 3. Wyniki testu Scheffego dla zbadania istotności statystycznej różnic poziomu aktywności mózgu kierowcy samochodu osobowego między realizowanymi przez niego operacjami sterowniczymi na odcinku pomiarowym

Czynności	Test Scheffe; Zmienna: Beta										
	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
WP {1}	xxx										
JP {2}		xxx									
P {3}			xxx								
W {4}				xxx							
L {5}					xxx						
PŚ {6}		*		*		xxx					
LŚ {7}							xxx				
WO {8}						*		xxx			
PK {9}						*			xxx		
WR {10}										xxx	
WU {11}											xxx

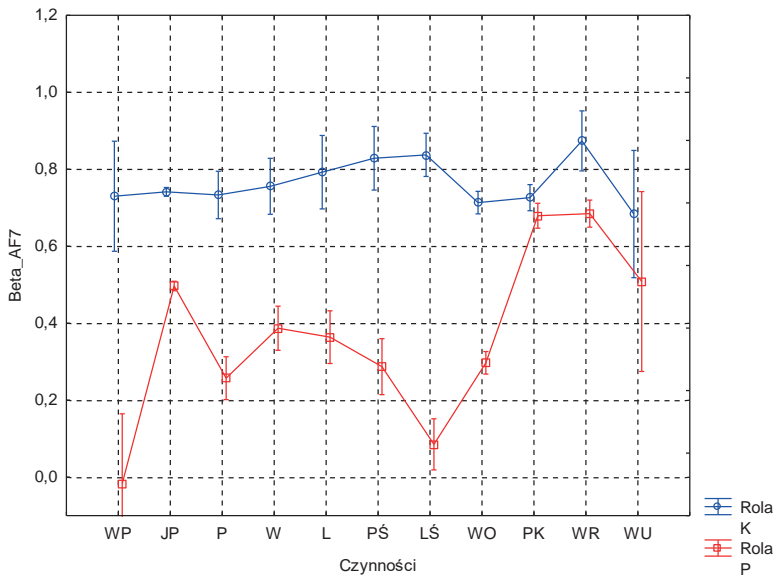
* - różnice statystyczne istotne ($p=0,05$)
 Źródło: (Opracowanie własne)



Rysunek 6. Charakterystyka statystyczna poziomu koncentracji uwagi pasażera oraz kierowcy, czujnik beta TP9

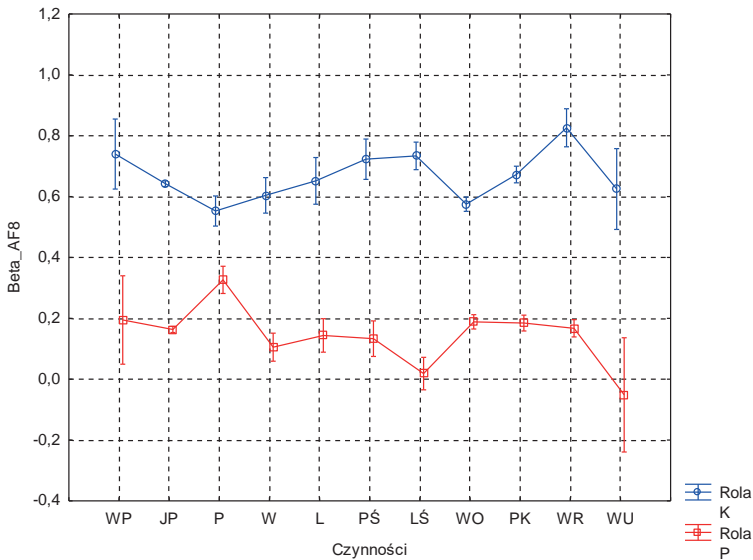
Źródło: (Opracowanie własne)

Na rysunku 7 przedstawiono charakterystykę statystyczną wartości aktywności mózgu kierowcy oraz pasażera mierzonych czujnikiem umieszczonym na lewej części czoła osoby badanej (beta_AF7). Analizując cały interwał wykonywania pomiaru zauważono, że wyniki poziomu koncentracji uwagi u kierowcy charakteryzowały się większą wartością średnią w stosunku do wyników odnotowywanych dla pasażera oraz zaobserwowano, że poziom koncentracji uwagi był znacznie stabilniejszy w stosunku do tej wielkości zmierzonej u pasażera. Zakres wartości poziomu koncentracji u kierowcy mieścił się w przedziale od około 0,69 do 0,88 natomiast u pasażera średnia aktywność mózgu oscylowała w przedziale od -0,01 do 0,7. Natomiast na rysunku 8 przedstawiono charakterystykę statystyczną wartości aktywności mózgu dla pasażera oraz kierowcy, mierzonych czujnikiem umieszczonym na prawej części czoła osoby badanej (beta_AF8). W tym przypadku czynność włączania się do ruchu na skrzyżowaniu równoległym charakteryzowała się największą średnią aktywnością mózgu wynoszącą 0,82 u kierowcy. Natomiast u pasażera najwyższą wartość koncentracji uwagi odnotowano podczas skręcania w prawo, gdzie wynosiła 0,35 jednostek, z kolei u kierowcy czynność ta charakteryzowała się najmniejszą aktywnością mózgu, której wartość nie przekraczała 0,56 jednostek. Zaobserwowano, że zarówno w przypadku pasażerów oraz kierowców zmienność wewnątrzgrupowa jest niewielka, która w pewnym sensie odwzorowana przedziałem ufności charakteryzuje się niewielkim rozrzutem wartości.



Rysunek 7. Charakterystyka statystyczna wartości poziomu koncentracji uwagi pasażera oraz kierowcy, czujnik beta_AF7

Źródło: (Opracowanie własne)

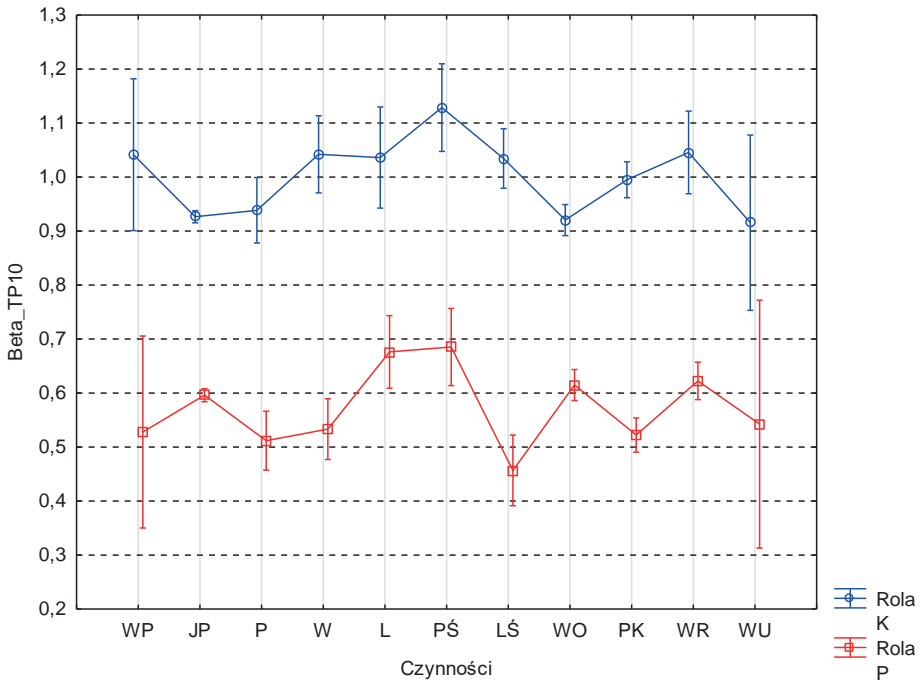


Rysunek 8. Charakterystyka statystyczna wartości poziomu koncentracji uwagi pasażera oraz kierowcy, czujnik beta_AF8

Źródło: (Opracowanie własne)

W przypadku sensora umieszczonego po prawej stronie głowy w okolicy ucha (rys. 9) zaobserwowano, że pomimo różnic w wartościach bezwzględnych poziomu koncentracji uwagi pasażera i kierowcy pojazdu istnieje pewna symetryczność w rozkładzie przebiegu w/w reakcji organizmu człowieka. Wyjątek stanowi tutaj relacja między pierwszą a drugą czynnością, gdzie w przypadku kierowcy odnotowano spadek a w przypadku pasażera wzrost koncentracji uwagi. Należy również zaznaczyć, że przedział ufności w przypadku pasażera jest większy w stosunku do przedziału ufności zaobserwowanego poziomu koncentracji uwagi kierowcy. Podobnie jak w przypadku wcześniej analizowanych relacji poziom koncentracji uwagi kierowcy jest znacznie wyższy w stosunku do poziomu koncentracji pasażera, co jest w pełni uzasadnione, ale również może świadczyć o przewidywalnym i bezpiecznym wykonywaniu manewrów przez kierowcę pojazdu.

Zakres wartości koncentracji uwagi odnotowywanych dla kierowcy mieścił się w przedziale od 0,9 do 1,12 jednostek, natomiast u pasażera od 0,47 do 0,7 jednostek. Różnica względna między najwyższą wartością poziomu koncentracji uwagi u kierowcy a najwyższą wartością koncentracji uwagi u pasażera to ok 40%.



Rysunek 9. Charakterystyka statystyczna wartości poziomu koncentracji uwagi pasażera oraz kierowcy, czujnik beta_TP10

Źródło: (Opracowanie własne)

Podsumowanie

Odnotowano znacznie wyższe zróżnicowanie wewnątrzgrupowe aktywności mózgu dotyczącej skupienia uwagi i procesów poznawczych (fale β) u pasażera pojazdu osobowego niż u kierowcy tego pojazdu bez względu na miejsce umieszczenia czujnika. Stwierdzenie to dotyczy zróżnicowania wszystkich wyodrębnionych czynności sterowniczych realizowanych przez kierowcę.

Odnotowano wyższy stopień skupienia uwagi u kierowcy w czasie jazdy (fale β) bez względu na rodzaj wykonywanego manewru w stosunku do tej wielkości odnotowanej w przypadku pasażera, biorąc pod uwagę wartości średnie przedmiotowego parametru. Należy zaznaczyć, że najwyższy poziom skupienia u kierowcy odnotowywano podczas skrętu w prawo na światłach, co może wynikać z ruchu pieszych oraz skrętu w lewo co wiąże się z ustąpieniem pierwszeństwa przejazdu i krótkiego czasu kierowcy na reakcję. Stwierdzono, że poziom koncentracji uwagi kierowcy nie przekraczał jego 70% maksymalnych możliwości, co jest wielkością akceptowalną i nie wymagającą działań korygujących.

Bibliografia

- Dudek B.: Psychiczne obciążenie pracą. Pomiar – czynniki warunkujące – skutki. Łódź, Instytut Medycyny Pracy, 1992.
- Gast H., Schindler K., Rummel C., Herrmann U.S., Roth C., Hess C.W., Mathis J.: EEG correlation and power during maintenance of wakefulness est after sleep-deprivation. Clin. Neurophysio. N. 122, 2011.
- Gopher D., Donchin E.: Workload – An examination of the concept. Boff K.R., Kaufman L., Thomas J.P. (red). Handbook of Perception and Human Performance. Volume 2. Cognitive Processes and Performance. New York, John Wiley and Sons, 1986.
- Kiełbasa P., Juliszewski T., Kądzioła D.: Wpływ rodzaju czynności umysłowej związanej z pracą informatyka na zmęczenie psychiczne i stopień obciążenia fizjologicznego pracą. Technika Transportu Szynowego, 12, 2015.
- Kiełbasa P., Juliszewski T., Rusnak J., Pikul K.: Impact of the mental activity type on the mental fatigue and degree of physiological workload. Agricultural Engineering. 4(152), 2014.
- Kołodziej M.: Przetwarzanie, analiza i klasyfikacja sygnału EEG na użytek interfejsu mózg–komputer. Praca doktorska, Politechnika Warszawska, 2011.
- Lotte F., Congedo M., Lécuyer A., Lamarche F., Arnaldi B.: A review of classification algorithms for EEG-based Brain- Computer Interfaces. Journal of Neural Engineering, Vol. 4, No. 2, 2007.
- Olszewski J.: Podstawy ergonomii i fizjologii pracy. Poznań, Wyd. Akademii Ekonomicznej. ISBN 83-85530-90-8, 1997.
- Sheridan T.B., Stassen H.G. Definitions, models and measures of human workload. Moray N. (red.) Mental workload: Its theory and measurement. New York, Plenum Press, 1979.
- Wróblewska M.: Ergonomia skrypt dla studentów. Opole, Wyd. Politechniki Opolskiej. . ISSN 1427-9932, 2004
- <https://docplayer.pl/44382488-Temat-procesy-poznawcze-i-intelektualne-osob-kierujacych-pojazdami-oraz-metody-ich-badania-stosowane-w-psychologii-transportu.html>
- <https://portalstatystyczny.pl/samochody-w-polsce/>
- <https://www.google.com/maps>
- <https://www.luxuriousmagazine.com/mind-monitor>

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

ORCID: Paweł Kiełbasa 0000-0003-0249-8626

ORCID: Dariusz Baran 0000-0001-7548-3180

WYBRANE ASPEKTY ZASTOSOWANIA WODORU JAKO ŹRÓDŁA ENERGII W POJAZDACH KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

Andrzej Kuranc¹, Piotr Golubiewski²

¹ Katedra Energetyki i Środków Transportu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

² Dyplomant w Katedrze Energetyki i Środków Transportu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wstęp

Zmiany klimatu, które są konsekwencją nieodpowiedzialnej działalności człowieka powodują rozległe i niebezpieczne zmiany w przyrodzie, a tym samym wpływają na życie ludzi na całym świecie. Działania podejmowane w kierunku ograniczenia zmian klimatu są fragmentaryczne i niewystarczające. Typowe zmiany to długotrwałe fale upałów, powódzie naprzemiennie z suszą, wzrost temperatury wody w oceanach, topnienie lodu, przez co podnosi się globalny średni poziom morza^{1,2}. Te modyfikacje klimatu zdecydowanie przekraczają progi tolerancji zmian w życiu roślin, zwierząt i człowieka, co spowoduje z czasem pojawienie się nowych chorób i masową śmiertelność pewnych gatunków. Bardzo często takie ekstremalne zjawiska pogodowe występują jednocześnie, powodując następujące po sobie nieodwracalne skutki. Rozwój ludzkości może zostać mocno zaburzony, gdyż konsekwencje zmian klimatycznych są jednocześnie ściśle związane między innymi z nie zrównoważonym wykorzystaniem zasobów naturalnych, rosnącą urbanizacją czy też stratami spowodowanymi zdarzeniami losowymi³.

W celu ograniczenia dalszych zmian klimatu w 2015 roku opracowano Porozumienie Paryskie⁴, które określa poszczególne działania mające na celu ograniczenie średniego wzrostu globalnej temperatury. Średnie roczne globalne emisje gazów cieplarnianych (GHG) - do

¹ Xiong J., Yang Y.: Climate Change and Hydrological Extremes. *Curr Clim Change Rep* t.11, no 1, 2025. <https://doi-10.1007/s40641-024-00198-4>.

² Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Water Cycle changes, in climate change 2021 – the physical science basis: working group I contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 1055-1210, 2023.

³ Kabir, M.E., Serrao-Neumann, S.: Climate Change Effects on People's Livelihood. In: Leal Filho, W., Azul, A.M., Brandli, L., Özuyar, P.G., Wall, T. (eds) *Climate Action. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Springer, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95885-9_7.

⁴ United Nations. Paris agreement. *United Nations Treaty Collection*, Chapter XXVII 7, 2015.

których zalicza się między innymi: dwutlenek węgla, metan, tlenki azotu - osiągnęły najwyższy poziom w historii ludzkości w latach 2010-2019. W związku z tym Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change) stwierdził, że aby założone w Paryżu cele mogły zostać osiągnięte, należy konsekwentnie, i jak najszybciej, realnie ograniczyć emisję gazów cieplarnianych we wszystkich sektorach^{5,6}. Badania wskazują jednoznacznie, że zdecydowana większość gazów, które powinny być zredukowane pochodzi z sektora energetycznego i sektora transportu⁷.

Emisja CO₂ w sektorze transportowym

Sektor transportu stoi przed dużym wyzwaniem redukcji emisji gazów, podczas gdy w tym samym, czasie popyt na transport rośnie. Transport drogowy jest drugim, co do wielkości, źródłem emisji CO₂ w Unii Europejskiej (UE), odpowiadającym za około jedną czwartą całkowitej emisji. Blisko 94% zapotrzebowania UE na energię w transporcie jest obecnie pokrywane za pomocą ropy naftowej. W ramach działań pozwalających na redukcję emisji CO₂, co ma na celu osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 r., zgodnie z Europejskim Zielonym Ładem, do 2050 r. musimy ograniczyć emisje gazów cieplarnianych o 90%, w porównaniu z poziomami z 1990 roku⁸. Spalanie paliw ropopochodnych - benzyny i oleju napędowego, które zasilają światowe systemy transportowe odpowiada za 14% globalnych emisji gazów cieplarnianych, jak wskazano w Piątym Raporcie Oceniającym IPCC⁹. Natomiast w USA według raportu EPA sektor transportu jest największym emitentem gazów cieplarnianych (28%). Dwutlenek węgla jest głównym emitowanym gazem, Spalanie tych paliw uwalnia przede wszystkim CO₂, ale także niewielkie ilości metanu i podtlenku azotu. Ponadto klimatyzacja pojazdów i transport chłodniczy uwalniają gazy fluorowane¹⁰.

Samochody osobowe i ciężarowe odpowiadają za ponad połowę emisji dwutlenku węgla związanej z transportem. Emisje ze spalania benzyny i oleju napędowego ze wszystkich form transportu drogowego, w tym samochodów osobowych, ciężarowych, autobusów i motocykli to około 12%. Sześćdziesiąt procent emisji gazów z transportu drogowego pochodzi z samochodów osobowych, autobusów i motocykli, a pozostałe ilości to transport drogowy towarów (samochody ciężarowe i ciężarówki). Oznacza to, że gdybyśmy mogli zelektryfikować cały sektor transportu drogowego to zmniejszylibyśmy globalne emisje o około 12%.

⁵ IPCC Working Group III. The evidence is clear: the time for action is now. We can halve emissions by 2030. IPCC, 2022.

⁶ IPCC: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151, 2014.

⁷ Eggleston H.S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, t.2, Energy, 2006.
[//www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_0_Cover.pdf](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_0_Cover.pdf).

⁸https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/ex-pert/2019/10/story/20190926STO62270/20190926STO62270_pl.pdf

⁹ <https://climate-adapt.eea.europa.eu/pl/metadata/publications/ipcc-fifth-assessment-report-synthesis-report>

¹⁰ <https://www.epa.gov/ghgreporting/ghgrp-2021-reported-data>

Jeśli wziąć pod uwagę lotnictwo to emisje gazów zajmują 1,9% w skali całości wydzielanych GHG. Transport pasażerów powoduje, że do atmosfery wydostają się gazy w ilości 81% wszystkich emitowanych gazów z lotnictwa, pozostała ilość pochodzi z transportu towarów. W przypadku lotnictwa pasażerskiego 60% emisji pochodzi z transportu międzynarodowego, a 40% z transportu krajowego. Gazy wydzielane ze spalania benzyny lub oleju napędowego na statkach zarówno pasażerskich, jak i towarowych dają 1,7% emisji, natomiast te pochodzące z transportu kolejowego pasażerów i towarów to tylko 0,4%¹¹.

Liczne badania^{12,13,14} wskazują, że sektor transportu jest trudny do dekarbonizacji. Obecnie transport jest najmniej zróżnicowanym sektorem końcowego wykorzystania energii, przy czym około 93% sektora było w roku 2015 zasilane produktami ropopochodnymi. W Piątym Raportcie Oceniającym IPCC stwierdzono, że „dekarbonizacja sektora transportu prawdopodobnie będzie trudniejsza niż w przypadku innych sektorów, biorąc pod uwagę ciągły wzrost globalnego popytu, na szybsze środki transportu w gospodarkach rozwijających się i wschodzących oraz brak postępu do tej pory w spowalnianiu wzrostu globalnych emisji transportu w wielu krajach OECD¹⁵. Istotne wydaje się zatem przejścia sektora transportu na niskoemisyjny model rozwoju, co powinno być kluczowym podejściem nowoczesnej polityki transportowej. Niestety jest to niemożliwe bez stworzenia skutecznego systemu monitorowania i prognozowania emisji gazów cieplarnianych przez poszczególne rodzaje transportu, a przede wszystkim przez transport drogowy. Taki system rejestrowania emisji GHG z danego regionu lub państwa można stworzyć, stosując matematyczne metody modelowania oparte na wdrożeniu zasad metodologicznych IPCC, które uwzględniają emisje gazów cieplarnianych przede wszystkim z pojazdów mobilnych. W takich obliczeniach początkowo wskaźniki i parametry można określić wykorzystując modele szacowania charakterystyki przepływów ruchu. Oprócz emisji gazów cieplarnianych przez mobilne środki transportu drogowego, dość dużo gazów cieplarnianych emitują obiekty infrastruktury transportu drogowego. Zaliczyć tutaj można sieć obsługi samochodów, obiekty zaplecza produkcyjnego i technicznego, a także sieć drogową.

Koncepcja gospodarki wodorowej

Przyszłość zerowej emisji w systemach transportowych wymaga bardziej fundamentalnych transformacji, które są możliwe do wykonania dzięki nowym technologiom pojazdów.

¹¹ <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

¹² Shafiei E., Davidsdottir B., Leaver J., Stefansson H.: Energy, economic, and mitigation cost implications of transition toward a carbon-neutral transport sector: a simulation-based comparison between hydrogen and electricity. *Journal of Cleaner Production*, t.141, pp. 237-247, 2017.

¹³ Sims R., Schaeffer R., Creutzig F., Cruz-Núñez X., D'Agosto M., Dimitriu D., et al.: Transport. In *Climate Change 2014: mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* pp. 599–670, 2014.

¹⁴ Pietzcker R.C., Longden T., Chen W., Fu S., Krieglner E., Kyle P., Luderer G.: Long-term transport energy demand and climate policy: alternative visions on transport decarbonization in energy-economy models. *Energy*, t.64, supplement C, pp. 95-108, 2014.

¹⁵ PPMC 2015. Renewable energy and transport-decarbonising fuel in the transport sector. <http://www.ppmc-transport.org/wp-content/uploads/2015/08/Renewable-Energy-and-Transport-Decarbonising-Fuel-in-the-Transport-Sector.pdf>.

Paliwa wodorowe dają taką możliwość w sektorze transportu, zwłaszcza w połączeniu ze źródłami energii elektrycznej o zerowej emisji w łańcuchu produkcyjnym.

Koncepcja „gospodarki wodorowej” została zaproponowana już w latach 70 ubiegłego wieku. Opisywała ona różne rozwiązania i analizy, w której wodór byłby otrzymywany w procesie elektrolizy wody i rurociągami dostarczany do fabryk, domów i stacji paliw, gdzie byłby przekształcany z powrotem w energię elektryczną w ogniwach paliwowych na miejscu. Na przykład Japonia przedstawiła plany „społeczeństwa wodorowego”, w którym wodór jest głównym składnikiem krajowych ram energii wtórnej zilustrowanych w ich Strategicznym Planie Energetycznym¹⁶. Naukowcy z Narodowego Laboratorium Energii Odnawialnej Departamentu Energii Stanów Zjednoczonych zaproponowali projekt, w którym wodór został włączony do sektorów takich jak energetyka sieciowa, transport i przemysł, a także zapewnić bezpieczeństwo energetyczne¹⁷.

Zgodnie z Europejską Strategią Wodorową liczne kraje członkowskie w Europie opracowały sprecyzowane plany dotyczące H₂ jako nośnika energii. Przewiduje się, że wodór wkrótce będzie mógł napędzać pociągi, ciężarówki i statki. Niewątpliwie mogłyby ustabilizować sieć elektryczną i zdekarbonizować procesy ciężkiego przemysłu. Jednak, aby tak się stało, jego produkcja musi zostać znacznie zwiększona, co można będzie uznać za czyste i zrównoważone tylko wtedy, gdy podczas wytwarzania nie będą emitowane gazy cieplarniane. Obecnie 95% wytwarzanego wodoru na świecie pochodzi z reformingu parowego metanu (SMR), a tylko 5% z bezpośredniego rozkładu wody w procesie elektrolizy. Zielony wodór to obiecująca technologia, która zyskuje na popularności w ostatnich latach jako potencjalne rozwiązanie wyzwań związanych z przejściem na zrównoważoną przyszłość energetyczną. Koncepcja zielonego wodoru odnosi się do procesu produkcji gazu wodorowego poprzez elektrolizę, przy użyciu odnawialnych źródeł energii, takich jak energia słoneczna, wiatrowa lub hydroelektryczna.

Otrzymywanie wodoru

Wodór to najbardziej rozpowszechniony pierwiastek we wszechświecie. Jest nośnikiem energii, który może przekształcić zależną od paliw kopalnych gospodarkę i zapewnić bezemisyjne (produkt uboczny to para wodna) paliwo transportowe. Charakteryzuje się najniższą masą cząsteczkową i bardzo małą gęstością, co sprzyja laminarnym przepływom nawet przy dużych prędkościach. Wodór ma wysoki współczynnik przewodzenia ciepła i dużą wartość ciepła właściwego, jest bezbarwny i bezwonny, a w temperaturze pokojowej jest gazem nieaktywnym chemicznie. Jest paliwem wysokoenergetycznym (33,3 kWh·kg⁻¹), a silnik, który spala czysty wodór, nie wytwarza praktycznie zanieczyszczeń, co czyni go pożądanym źródłem energii.

W atmosferze w czystej postaci wodór występuje tylko w śladowym stężeniu, natomiast stanowi on składnik gazu ziemnego, produktów ropopochodnych, węgla, biomasy, a jego największe zasoby są zmagazynowane w wodzie. Wyzwanie polega na tym, by pozyskać go z minimalnym wpływem na środowisko i klimat.

¹⁶ https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/strategic_energy_plan.pdf

¹⁷ Pivovar B.: Hydrogen at Scale (H₂@Scale): Key to a Clean, Economic, and Sustainable Energy System, Electrochem. Soc. Interface t.27, pp. 47-52, 2018.

Wodór można otrzymywać za pomocą wielu metod wykorzystując różne surowce. Wymienić można reforming zasobów kopalnych (gaz ziemny, ropa naftowa, węgiel), a także zastosowanie biomasy oraz rozszczepianie wody poprzez elektrolizę z wykorzystaniem energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych lub bezpośrednio przez fotokatalizę. Do jego produkcji można stosować różne procesy, w tym chemiczne, biologiczne, elektrolityczne, fotolityczne i termochemiczne^{18,19,20}.

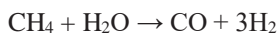
Metody otrzymywania wodoru:

- reforming węglowodorów (głównie metanu) parą wodną,
- gazyfikacja węgla lub koksu,
- gazyfikacja biomasy,
- elektroliza,
- fotoelektroliza,
- procesy biologiczne.

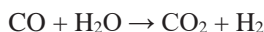
Proces reformingu parowego z zastosowaniem paliw kopalnych jest najlepiej poznaną, przebadaną i opłacalną metodą produkcji wodoru na skalę przemysłową. Ponad połowę światowej produkcji tego gazu stanowi konwersja metanu lub innego krótkołańcuchowego węglowodoru²¹. Niestety nie jest to strategia przyszłościowa, ponieważ nie zakłada odpowiedzialnych działań odnośnie przyszłych pokoleń. Wymienić można kilka przeszkód, przez które ta metoda nie będzie miała przyszłości:

- zmniejszająca się ilość gazu ziemnego spowodowana zwiększającym się światowym popytem,
- wysokie koszty zaprojektowania i wybudowania infrastruktury wodorowej,
- brak finansowania nowych technologii wychwytywania i składowania CO₂,
- duże ilości wydzielanych gazów cieplarnianych.

Reakcja metanu z parą wodą jest przeprowadzana w rurkach ceramicznych, w wysokiej temperaturze (700°C-1300°C), przy ciśnieniu 3 bar-25 bar i w obecności katalizatora niklowego ma postać:



W konwektorze z powstałego gazu syntezowego (CO i H₂) w wyniku kolejnej reakcji następuje dalszy wzrost ilości H₂:



¹⁸ Abdin Z., Zafaranloo A., Rafiee A., Mérida W., Lipiński W., Khalilpour K.R.: Hydrogen as an energy vector, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, t.120, pp. 109620-109632, 2020.

¹⁹ Holladay J.D., J. Hu, D.L. King, Y. Wang: An overview of hydrogen production technologies, *Catalysis Today*, t.139, no 4, pp. 244-260, 2009.

²⁰ Oliveira A.M., Beswick R.R., Yan Y.: A green hydrogen economy for a renewable energy society, *Current Opinion in Chemical Engineering*, t.33, pp. 100701-100715, 2021.

²¹ Boyano A., T. Morosuk, A.M. Blanco-Marigorta, G. Tsatsaronis: Conventional and advanced exergoenvironmental analysis of a steam methane reforming reactor for hydrogen production, *Journal Cleaner Products*, t. 20, pp. 152-160, 2012.

Powstający CO₂ oddziela się od wodoru odmywając go wodą pod ciśnieniem. Sprawność konwersji metanu dochodzi do 90%. Niestety reakcja metanu z parą wodną jest silnie egzotermiczna i wymaga dużej ilości energii. Używa się także innych substratów w celu otrzymania wodoru: propanu, metanolu, etanolu, glicerolu i biogazu^{22,23}. Ilość otrzymanego produktu zmienia się w zależności od warunków procesu. Zwiększenie ciśnienia prowadzi do wyższych wydajności w wyższej temperaturze, przy czym metan osiąga maksimum przy 20 barach, a metanol przy 40 barach, oba przy 1000°C. Przeprowadzona analiza wykazała, że propan, glicerol i biogaz wykazują najwyższe całkowite zapotrzebowanie na ciepło, co jest skorelowane z największą całkowitą ilością wydzielonego CO₂. Jednak zastosowanie propanu w reformingu parowym prowadzi również do najwyższej produkcji wodoru w tych samych warunkach. Najlepszy kompromis między ilością uzyskanego wodoru, potrzebnym ciepłem a emisją CO₂ osiągnięto przy zastosowaniu metanu i metanolu. Ze względu jednak na koszty – najczęściej wykorzystuje się CH₄. Z tego powodu wytwarzanie wodoru ze źródeł odnawialnych wydaje się być przyszłościowym rozwiązaniem. Technologie takie są niestety nadal w fazie wstępnych badań pilotażowych i na chwilę obecną są bardzo kosztowne²⁴.

Gazyfikacja węgla lub koksu to całokształt przemian prowadzących do konwersji paliwa stałego do postaci gazowej. W procesie tym wykorzystywany jest czynnik utleniający - najczęściej powietrze, para wodna, tlen lub dwutlenek węgla. Efektem procesu jest mieszanina gazów: H₂, CO, CH₄, CO₂, N₂ w różnych ilościach procentowych w zależności od zastosowanej metody. Przy zastosowaniu powietrza uzyskuje się 12%-19% wodoru, natomiast używając tlenu i pary wodnej ilość pozyskanego wodoru sięga około 40% H₂, 4%-8% CH₄, 10%-13% CO₂²⁵.

Gazyfikacja biomasy to przyszłościowa technologia wykorzystania tego surowca. Biomasa to obiecujące źródło energii ze względu na jej dużą ilość zasobów, zdolność magazynowania, szerokie rozpowszechnienie i wysoką wartość opałową²⁶. W procesach zgazowania biomasy wykorzystywane są najczęściej reaktory ze złożem stałym, stosowane w instalacjach małej mocy (< 10MW) oraz ze złożem fluidalnym stosowanym w instalacjach dużej mocy (>10MW). W porównaniu z gazem naturalnym, który zawiera prawie 25% (wagowo) wodoru, w biomacie stanowi on 6%-6,5%. Dwutlenek węgla, będący produktem ubocznym,

²² Bepari S., Kuila D.: Steam reforming of methanol, ethanol and glycerol over nickel-based catalysts-A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, t. 45, no 36, pp. 18090-18113, 2020.

²³ Pal D.B., Singh A., Bhatnagar A.: A review on biomass based hydrogen production technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, t. 47, no 3, pp. 1461-1480, 2022.

²⁴ Di Nardo A., Portarapillo M., Russo D., Di Benedetto A., Hydrogen production via steam reforming of different fuels: thermodynamic comparison, *International Journal of Hydrogen Energy*, t. 55, pp. 1143-1160, 2024.

²⁵ Boruah A., Phukan A., Singh S.: Utilization of coal for hydrogen generation. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, pp. 1-22, 2024. <https://doi.org/10.1080/19392699.2024.2387651>

²⁶ Valizadeh S., Hakimian H., Farooq A., Jeon B.H., Chen W.H., Lee, S.H., Park Y.K.: Valorization of biomass through gasification for green hydrogen generation: a comprehensive review, *Bioresource technology*, t. 365, pp. 128143-128156, 2022.

z punktu widzenia efektu cieplarnianego jest gazem „neutralnym”, gdyż rośliny na plantacjach, z których pochodzi biomasa zaabsorbują go w następnym roku²⁷.

Otrzymywanie wodoru w procesie elektrolizy wody to metoda ekologiczna i przyszłościowa. Polega na wymuszeniu reakcji chemicznych w elektrolizerze pod wpływem przyłożonego napięcia. W wyniku tego procesu możliwe jest uzyskanie gazowego wodoru i tlenu, bez zbędnych zanieczyszczeń i produktów ubocznych. Podczas elektrolizy wody na anodzie zachodzi utlenianie, gdzie wydziela się tlen, a redukcja na katodzie z otrzymaniem wodoru. Zużycie energii podczas takiego tradycyjnego procesu z użyciem najlepszych elektrolizerów to nawet około 60 kW energii do uzyskania 1 kg wodoru. Dlatego, jeśli otrzymywanie wodoru jako paliwa miałyby być opłacalne, to należałoby obniżyć to zużycie energii poniżej 40 kW²⁸.

Czysty wodór można wytwarzać poprzez elektrolizę wody przy użyciu dowolnego źródła energii elektrycznej, w tym energii sieciowej, energii wiatrowej, wodnej lub jądrowej. Ponadto dużą nadzieją jest energia słoneczna, która jest postrzegana jako najbardziej zrównoważona spośród odnawialnych źródeł energii. Fotowoltaika (PV), fotokataliza (PC) i fotoelektrochemia (PEC) to trzy główne metody produkcji wodoru z energii słonecznej^{29,30}.

Pomimo faktu, że dzięki elektrolizie wody otrzymujemy czysty wodór to jej zastosowania są często ograniczone do małej skali. Niestety to gaz ziemny jest głównym źródłem produkcji wodoru, stanowiącym ponad 50% całkowitego udziału, na drugim miejscu (30%) jest ropa naftowa, następnie węgiel (18%). Elektroliza to jedynie 4% całkowitego udziału w produkcji, ponieważ jest uważana za metodę intensywnie wykorzystującą energię. Trwają prace nad poprawą wydajności elektrolizerów³¹.

W zależności od procesów przemysłowych stosowanych do jego produkcji, wodór może być różnie oznaczany. W zależności do sposobu wytwarzania wyróżniamy trzy typy: szary wodór jest otrzymywany z paliw kopalnych z zastosowaniem reformingu parowego metanu; niebieski wodór otrzymujemy w podobny procesie, a dodatkowo powstające CO₂ jest zatrzymywany i magazynowany w celu zmniejszenia emisji. Zielony wodór, pozyskiwany poprzez elektrolizę wody przy użyciu energii odnawialnej, jest uznawany za kluczowy w globalnych staraniach na rzecz dekarbonizacji z kilku istotnych powodów. Po pierwsze, jest bardzo wydajnym paliwem dzięki wysokiej wartości opałowej. Ponadto wytwarzanie wodoru przy użyciu odnawialnych źródeł energii nie generuje emisji CO₂. Termin "kolorowy wodoru" został

²⁷ Mudhoo A., Torres-Mayanga P.C., Forster-Carneiro T., Sivagurunathan P., Kumar G., Komilis D., Sánchez A.: A review of research trends in the enhancement of biomass-to-hydrogen conversion. *Waste Management*, t. 79, pp. 580-594, 2018.

²⁸ Amin M.: Hydrogen Production Through Renewable and Non-Renewable Energy Processes and Their Impact on Climate Change, *International Journal of Hydrogen Energy*, t. 47, no 77, pp. 33112-33134, 2022.

²⁹ Acar C., Dincer I. Comparative assessment of hydrogen production methods from renewable and non-renewable sources. *International Journal of Hydrogen Energy*, t.39, no 1, pp. 1-12, 2014.

³⁰ Qureshi F., Tahir M.: Photoelectrochemical water splitting with engineering aspects for hydrogen production: Recent advances, strategies and challenges, *International Journal of Hydrogen Energy*, t. 69, pp. 760-776, 2024.

³¹ Balat M. Potential importance of hydrogen as a future solution to environmental and transportation problems. *International journal of hydrogen energy*, t.33, no 15, pp. 4013-4029, 2008.

wprowadzony w celu zobrazowania różnic w metodach produkcji tego gazu oraz ich wpływu na środowisko^{32,33}.

Zbiorniki ciśnieniowe i inne metody magazynowania wodoru

Magazynowanie wodoru i jego transport są przedmiotem intensywnych badań ze względu na charakterystyczną dla wodoru małą gęstość. Istnieją 3 możliwe rozwiązania:

- systemy dostarczania wodoru za pomocą przyczepy z cysterną ze sprężonym wodorem,
- cysterny ze skroplonym wodorem,
- sprężony gaz płynący rurociągami.

Konwersja nadmiaru energii na wodór i jego magazynowanie jest istotnym zagadnieniem w temacie przyszłościowego zastosowania tego nośnika energii na dużą skalę. Wybór technologii zależy od ilości gazu i konkretnych warunków operacyjnych. Stosuje się też różne techniki magazynowania, od podziemnego magazynowania wodoru w kawernach, po innowacyjne małoskalowe technologie przechowywania w stanie stałym. Przy znacznie obniżonym ciśnieniu wodór można magazynować w postaci skroplonej, jednak tylko w temperaturze -253°C , co wymaga stałego chłodzenia³⁴.

Często wodór (CGH_2) w postaci gazowej jest sprężany i przechowywany w specjalnych zbiornikach ciśnieniowych. Ta metoda magazynowania jest dobra przy przechowywaniu w zbiornikach pojazdów, np. w samochodach i innych pojazdach użytkowych. W samochodach osobowych gaz jest sprężony pod ciśnieniem 700 barów, a w autobusach - pod ciśnieniem 350 bar.



Rysunek 1. Zbiornik wysokociśnieniowy

Źródło: (<https://freenergy.prv.pl/html/wodor.html>)

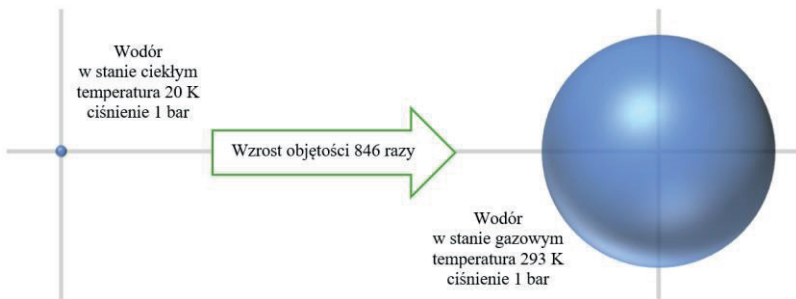
³² Cetinkaya E., I. Dincer, G.F. Naterer: Life cycle assessment of various hydrogen production methods, International Journal of Hydrogen Energy, t.37, no 3, pp. 2071-2080, 2012.

³³ Oni O.A., K. Anaya, T. Giwa, G. Di Lullo, A. Kumar: Comparative assessment of blue hydrogen from steam methane reforming, autothermal reforming, and natural gas decomposition technologies for natural gas producing regions, Energy Conversion and Management, t.254, pp. 115245-115261, 2022.

³⁴ Yangyiming R., Shunyi C., Chengjun L., Xi C., Lin X., Jianye C., Rui L.: Techno-economic analysis of hydrogen storage and transportation from hydrogen plant to terminal refueling station, International Journal of Hydrogen Energy, t. 52, pp. 547-558, 2024.

Zbiornik wysokociśnieniowy - najczęściej stosowana jest konstrukcja, w której wewnętrzna warstwa wykonana jest z aluminium lub stali (20% całkowitej masy) zalana od zewnątrz tworzywem kompozytowym. Taki rodzaj zbiornika cechuje się wysoką odpornością na uszkodzenia mechaniczne oraz stosunkowo małą masą w porównaniu do innych zbiorników.

Rysunek 1 przedstawia konstrukcję zbiornika, w którym wewnętrzny cylinder wykonany jest z aluminium. Wewnętrzny cylinder powleczony jest heliakalnie skręconymi włóknami węglowymi. Do spojenia włókien stosuje się żywice epoksydowe. Zewnętrzna warstwa dodatkowo jest pokryta włóknami w kształcie obręczy. Kompozyt nadaje zbiornikowi elastyczność, zwiększając przez to odporność na uszkodzenia mechaniczne. Wewnętrzna warstwa zrobiona jest z polimeru^{35,36}.



Rysunek 2. Warianty objętości wodoru

Źródło: (opracowanie własne)

Stacje tankowania pojazdów wykorzystują często podziemne zbiorniki wysokociśnieniowe do przechowywania paliwa lub wodoru. Stacje tankowania wodoru (*Hydrogen Refueling Station*) są kluczowe dla wdrażania pojazdów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi. Są one zaprojektowane do przechowywania i dozowania wodoru do zbiorników pojazdów, zazwyczaj przy użyciu wysokociśnieniowych systemów magazynowania, co powinno zapewnić szybkie i wydajne tankowanie. Stacje tankowania wodoru zawierają sprężarki, zbiorniki magazynowe, chłodziarki i dystrybutory do zarządzania wodorem pod ciśnieniem do 900 barów i temperaturach do -40°C . Ostatnie ramy regulacyjne w Europie nakazały instalację stacji tankowania co 100 km wzdłuż głównych sieci, mając na celu kompleksowe pokrycie do roku 2027.

Wodór może być również przechowywany w stanie ciekłym, przy znacznie większej gęstości w temperaturze -253°C (rys. 2). Ponieważ ta metoda magazynowania jest tańsza w przypadku większych ilości gazu, wykorzystuje się ją do transportu poza siecią na duże

³⁵ <https://freenergy.prv.pl/html/wodor.html>

³⁶ Hai T., Ali M.A., Zeki F.M., Chauhan B.S., Metwally A.S. M., Ullah M.: Optimal design of inter-state hydrogen fuel cell vehicle fueling station with on-site hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, t. 52, pp. 733-745, 2024.

odległości, np. w cysternach lub w cysternach kolejowych. Wadą jest to, że ciekły wodór może parować w wyniku ogrzewania i dlatego wymaga dobrej izolacji i stałego chłodzenia³⁷.

Kawerny solne to jedna z niewielu zielonych technologii, która pozwala przechowywać długoterminowo nadwyżki wytworzonego wodoru. Kawerny z odpowiednimi modyfikacjami mogą być przyszłościową alternatywą. Kluczowym zagadnieniem jest zaprojektowanie i wykonanie kawern w pobliżu potencjalnych miejsc jego wykorzystania. Na świecie istnieją 4 duże zbiorniki podziemne magazynujące wodór, jeden w Wielkiej Brytanii i trzy w USA. W Stanach Zjednoczonych funkcjonuje też specjalny rurociąg wodorowy o długości ponad 300 mil, łączący kawerny magazynujące wodór z jego producentami i użytkownikami³⁸.

Uwarunkowania wykorzystania zielonego napędu wodorowego w komunikacji miejskiej

W świetle rosnących obaw o środowisko, konieczności ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i konieczności zmniejszenia zależności od paliw kopalnych, ośrodki miejskie na całym świecie poszukują nowoczesnych i przyjaznych dla środowiska rozwiązań w zakresie transportu publicznego. Pojazdy napędzane wodorem, w tym autobusy i pociągi, nie emitują szkodliwych substancji do atmosfery, jedynym produktem ubocznym ich źródeł napędu jest para wodna. Co więcej, wodór jako paliwo oferuje znaczną przewagę nad tradycyjnymi źródłami energii, umożliwiając stosunkowo szybkie tankowanie i duży zasięg, co czyni go atrakcyjnym dla transportu miejskiego. Wprowadzenie tej technologii w miastach nie tylko zmniejsza negatywny wpływ transportu na środowisko, ale także stanowi krok w kierunku budowy nowoczesnych i zrównoważonych aglomeracji miejskich w przyszłości^{39,40}.

Jedną z podstawowych kwestii przy ocenie ekonomicznej opłacalności transportu publicznego zasilanego wodorem jest wpływ finansowy na operatorów. Szacując średnie zużycie 8 kg wodoru na 100 km przez autobusy wodorowe należy liczyć się z miesięcznymi kosztami paliwa w wysokości około 36 000 PLN, przy założeniu dziennego przebiegu ok. 250 km. W oparciu o dane uzyskane z jednego z przedsiębiorstw komunikacji miejskiej w porównaniu do autobusów elektrycznych i spalinowych, koszty eksploatacji autobusów wodorowych są znacznie wyższe⁴¹.

Autobusy spalinowe (Diesel):

- średnie zużycie paliwa: 35 litrów na 100 km,

³⁷ Genovese M., Cigolotti V., Jannelli, E., Fragiaco P.: Hydrogen refueling process: theory, modeling, and in-force applications. *Energies*, t.16, no 6, pp. 2890-2921, 2023.

³⁸ Liu W., Y. Dong, Z. Zhang, L. Li, D. Jiang, J. Fan, J. Chen, X. Zhang, J. Wan, Z. Li: Optimization of operating pressure of hydrogen storage salt cavern in bedded salt rock with multi-interlayers, *International Journal of Hydrogen Energy*, t.58, pp. 974-986, 2024.

³⁹ Kuśnierz, S., Zientek, I.: Prognoza konkurencyjności zastosowania paliw alternatywnych w transporcie miejskim względem pojazdów elektromobilnych. *Journal of TransLogistics*, t. 5 no 1, 2019.

⁴⁰ Pyza D., Gołda P., Sendek-Matysiak E.: Use of hydrogen in public transport systems, *Journal of Cleaner Production*, t. 335, 130247-130259, 2022.

⁴¹ Materiały MPK Lublin, 2024.

- koszt na kilometr: 2,1 PLN,
- miesięczny koszt paliwa: 15 750 PLN.

Autobusy elektryczne:

- średnie zużycie energii: 1,2 kWh·km⁻¹,
- koszt na kilometr: 0,96 PLN,
- miesięczny koszt energii: 7 200 PLN.

Autobusy wodorowe:

- średnie zużycie paliwa: 8 kg na 100 km,
- koszt na kilometr: 4,8 PLN,
- miesięczny koszt paliwa: 36 000 PLN.

Autobusy wodorowe wyróżniają się brakiem emisji lokalnych, generując jedynie parę wodną podczas eksploatacji. Jednakże, całkowite emisje w cyklu życia zależą od metody produkcji wodoru:

- Produkcja wodoru z odnawialnych źródeł energii (elektroliza): Emisje bliskie zeru.
- Produkcja z gazu ziemnego: Emisja CO₂ wynosząca około 7,2 kg na 1 km.

W przypadku autobusów elektrycznych emisje zależą od źródła energii elektrycznej. W krajach z dużym udziałem węgla w miksie energetycznym, emisje wynoszą około 0,84 kg CO₂/km, co jest porównywalne z emisjami autobusów spalinowych (0,92 kg CO₂/km)³⁷.

Tabela 1. Zestawienie wybranych cech napędów autobusowych

Rodzaj napędu autobusu	Koszt paliwa na 1 km (PLN)	Emisja CO ₂ (kg·km ⁻¹)	Czas tankowania/ładowania	Środowiskowy wpływ lokalny
Diesel	2,1	0,92	Krótki	Wysoki
Elektryczny	0,96	0,84	Długi	Brak
Wodorowy	4,8	0 - 7,2	Krótki	Brak

Zaprezentowane wyżej wyliczenia to przykład oceny opłacalności inwestycji w autobusy miejskie napędzane paliwem wodorowym. Oczywiście przedstawione kalkulacje nie zawierają wszystkich kosztów związanych z wdrażaniem nowej technologii, a obecnie paliwo wodorowe i pojazdy nim napędzane są relatywnie drogie. Należy jednak założyć, że technologia ta w miarę upowszechniania będzie bardziej przystępna. Co do jej walorów środowiskowych raczej nie powinno być wątpliwości. Poszukując jednak źródeł zielonego wodoru na potrzeby przedsiębiorstwa komunikacyjnego należy wybrać zielony sposób produkcji wodoru. Dobrym rozwiązaniem wydaje się być farma fotowoltaiczna. Dlatego na potrzeby niniejszego opracowania dokonano szacunkowej kalkulacji związanej z produkcją zielonego wodoru na potrzeby przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej.

Z wcześniejszych informacji wynika, że jeden autobus napędzany ogniwami wodorowymi o dziennym przebiegu ok. 250 km będzie miał zapotrzebowanie na wodór na poziomie

ok. 30 kg na dobę. Zakładając, że w przedsiębiorstwie transportowym mamy 400 pojazdów i początkowo chcielibyśmy wymienić tylko 40 z nich (10%) wówczas dobowe zapotrzebowanie na wodór w przedsiębiorstwie wyniesie ok. 1200 kg. Należy zatem oszacować energię elektryczną niezbędną do otrzymania takiej ilości wodoru. Proces elektrolizy wody wymaga znacznych ilości energii elektrycznej. Przyjmuje się, że minimalne teoretyczne zapotrzebowanie energii na elektrolizę wody wynosi około 39,4 kWh na 1 kg wodoru. W praktyce należy dodatkowo uwzględnić sprawność elektrolizerów (typowe wartości wynoszą 60–70%), wówczas zapotrzebowanie wzrasta do 50–55 kWh na 1 kg wodoru. Jeżeli zatem przyjmiemy, że zapotrzebowanie energetyczne na 1 kg wodoru wynosi 55 kWh, wówczas dobowe zapotrzebowanie na energię elektryczną niezbędną do uzyskania 1200 kg wodoru wyniesie ok. 66 MWh.

Dla porównania można rozważyć dobowe zapotrzebowanie energetyczne miasta o liczbie mieszkańców ok. 400 tys. osób. Z danych statystycznych wynika, że średnie roczne zużycie energii elektrycznej na osobę w Polsce wynosi około 1500–1800 kWh (zależnie od regionu i stylu życia). Zatem dla miasta wyniesie ono rocznie ok. 720 GWh, co w przeliczeniu na dobę daje średnio 1,97 GWh. Gospodarstwa domowe stanowią zazwyczaj około 40–50% całkowitego zużycia energii elektrycznej w miastach, resztę przypisuje się sektorowi przemysłowemu, usługom i infrastrukturze publicznej. Zatem szacunkowe zużycie energii elektrycznej miasta wyniesie około 3,94 GWh na dobę. Z tych rozważań wynika, że zapotrzebowanie energetyczne taboru wodorowego 40 szt. pojazdów wynosi ok. 1,67 % zapotrzebowania energetycznego miasta. Może się to wydawać niewielkim udziałem, ale nadal jest to 66 MWh energii elektrycznej.

Idąc dalej w kierunku zielonego wodoru należy założyć, że paliwo to będzie produkowane w oparciu o energię pozyskiwaną z farmy fotowoltaicznej. Dla przykładu można rozważyć farmę zabudowaną na powierzchni 1 ha. Średnio na powierzchni 10000 m² można, w zależności od rodzaju i rozmieszczenia, zainstalować panele fotowoltaiczne o łącznej mocy ok. 1 MWp (megawat szczytowy).

Na podstawie własnych doświadczeń autorów średnioroczna produktywność paneli fotowoltaicznych na Lubelszczyźnie wynosi około 900–1200 kWh na 1 kWp. Oczywiście należy mieć na uwadze sezonowość takiej produkcji i to, że produkcja energii w lecie może być 3–4 razy wyższa niż zimą. Niemniej przyjmując, że będzie to średnio 1000 kWh na 1 kWp rocznie, na jeden dzień przypada średnio produkcja 2,74 kWh energii elektrycznej. Wracając zatem do farmy o powierzchni 1 ha należy zauważyć, że można z niej uzyskać średnio na dobę ok. 2,74 MWh energii elektrycznej, co przekłada się na otrzymanie ok. 50 kg wodoru, a to stanowiłoby zaledwie 4% dziennego zapotrzebowania dla 40 pojazdów. Aby otrzymać wodór na potrzeby wszystkich 40 pojazdów należałoby zwiększyć powierzchnię zabudowy fotowoltaiką do 25 ha. Dla przykładu powierzchnia zajmowana przez przedsiębiorstwo komunikacji miejskiej (400 pojazdów) powinna wynosić ok 10 ha, a więc przy jej całkowitej zabudowie (np. na dachu) pozwoliłaby na wytwarzanie około 40% wymaganej energii elektrycznej.

Na podstawie zaprezentowanych szacunkowych analiz można zauważyć, jak istotne wyzwania stoją przed przedsiębiorstwami komunikacji miejskiej i innymi przedsiębiorstwami transportowymi, które planują wprowadzenie floty pojazdów opartej o ogniwa wodorowe. Zapotrzebowanie na wodór będzie duże, a jego dostępność ograniczona. W rozważaniach pominięto sprawy związane z infrastrukturą systemową w przedsiębiorstwie, ze sprzężaniem i lokalnym magazynowaniem oraz późniejszym tankowaniem wodoru do pojazdów.

Przykładowo, dla tankowania jednego autobusu należy przyjąć czas ok. 15 minut na jeden pojazd, zakładając ok. 10 minut na pełne tankowanie i kilka minut na odstawienie pojazdu i podjechanie następnym. Przy 40 pojazdach czas potrzebny na zatankowanie wszystkich przy zastosowaniu jednego stanowiska to ok. 10 godzin.

Reasumując, autobusy wodorowe stanowią innowacyjne rozwiązanie dla miejskiego transportu publicznego, szczególnie w regionach, w których niezbędne są podróże na duże odległości i w miarę szybkie tankowanie. Jednak wysoki koszt wodoru i zależność od konkretnych metod jego otrzymywania oraz brak stosownej infrastruktury ograniczają ich szerokie wykorzystanie.

Podsumowanie

Jako alternatywne paliwo w sektorze transportu, wodór stanowi dobrą odpowiedź na globalne wyzwania związane ze zmianami klimatu, emisją gazów cieplarnianych i zależnością od paliw kopalnych. Jego wysoka wartość opałowa, zdolność do bezemisyjnego spalania i szeroki zakres zastosowań sprawiają, że jest on szczególnie atrakcyjną opcją dla przyszłości transportu.

Niemniej jednak, powszechne przyjęcie wodoru jako paliwa jest uzależnione od rozwiązania wyzwań technologicznych, w szczególności tych związanych z wydajną i zrównoważoną produkcją (zwłaszcza zielonego wodoru), magazynowaniem i infrastrukturą tankowania. Potencjał wodoru, szczególnie w kontekście transportu miejskiego, pociągów, statków i ciężarówek, oferuje sposób na zmniejszenie emisji CO₂ i budowę zrównoważonych systemów transportowych.

Jak wskazują szacunkowe analizy przeprowadzone przez autorów na przykładzie przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej inwestycja w napędy wodorowe w autobusach jest bardzo kosztowna, a zapewnienie zielonego wodoru do wykorzystania w pojazdach wysoce energochłonne. Niemniej może to być właściwa droga mając na uwadze dążenie do neutralności klimatycznej.

Niektórzy uważają, że wodór posłuży jako podstawowa technologia magazynowania energii, paliwo do centralnego ogrzewania i wiodące paliwo transportowe. Natomiast przeciwnicy tego stanowiska twierdzą, że wodór nie będzie miał praktycznego zastosowania, ze względu na wysokie koszty produkcji i nieefektywność jego konwersji na energię elektryczną podkreślają, że wysiłki powinny koncentrować się bezpośrednio na energii odnawialnej i technologiach akumulatorowych, eliminując wodór jako pośrednika. Istnieje jednak duża ilość procesów produkcyjnych, gdzie energii odnawialnej nie można bezpośrednio zastosować. Wodór niesie duże nadzieje, aby wypełnić luki w wysiłkach na rzecz dekarbonizacji, ponieważ posiada wiele zastosowań jako substancja chemiczna oraz jako nieemisyjny nośnik energii^{42,43}.

⁴² Clark W.W., Rifkin J.: A green hydrogen economy, *Energy Policy*, t.34, no 17, pp. 2630-2639, 2006.

⁴³ Al-Breiki M., Bicer Y.: Investigating the technical feasibility of various energy carriers for alternative and sustainable overseas energy transport scenarios, *Energy Conversion and Management*, t.209, pp.112652-112664, 2020.

Europejska Strategia Wodorowa zakłada uruchomienie produkcji zielonego wodoru na poziomie 40 GW do 2030 roku. Realizacja tych celów, według ekspertów może być jednak opóźniona⁴⁴. Wskazuje to zatem konieczność dalszych badań i stopniowych inwestycji w technologię wodorową. Rozwój metod otrzymywania ekologicznego wodoru i rozwój infrastruktury związanej z jego powszechnym dystrybuowaniem mają kluczowe znaczenie dla wykorzystania potencjału wodoru i osiągnięcia neutralnej dla klimatu przyszłości.

Bibliografia

- Abdin Z., Zafaranloo A., Rafiee A., Mérida W., Lipiński W., Khalilpour K.R.: Hydrogen as an energy vector, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, t.120, pp. 109620-109632, 2020.
- Acar C., Dincer I.: Comparative assessment of hydrogen production methods from renewable and non-renewable sources. *International journal of hydrogen energy*, t.39, no 1, pp. 1-12, 2014.
- Al-Breiki M., Bicer Y.: Investigating the technical feasibility of various energy carriers for alternative and sustainable overseas energy transport scenarios, *Energy Conversion and Management*, t.209, pp.112652-112664, 2020.
- Balat M.: Potential importance of hydrogen as a future solution to environmental and transportation problems. *International journal of hydrogen energy*, t.33, no 15, pp. 4013-4029, 2008.
- Balat M.: Current alternative engine fuels. *Energy Sources*, t.27, no 6, pp. 569-577, 2005.
- Balat M.: Potential importance of hydrogen as a future solution to environmental and transportation problems, *International Journal of Hydrogen Energy*, t.33, no 15, pp. 4013-4029, 2008.
- Cetinkaya E., I. Dincer, G.F. Naterer: Life cycle assessment of various hydrogen production methods, Cipriani G., Di Dio V., Genduso F., La Cascia D., Liga R., Miceli R., Galluzzo G.R.: Perspective on hydrogen energy carrier and its automotive applications, *International Journal of Hydrogen Energy*, t.39, no 16, pp. 8482-8494, 2014.
- Clark W.W., Rifkin J.: A green hydrogen economy, *Energy Policy*, t.34, no 17, pp. 2630-2639, 2006.
- Eggleston H.S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, t.2, *Energy* //www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_0_Cover.pdf.
- Genovese M., Cigolotti V., Jannelli E., Fragiacomano P.: Hydrogen refueling process: theory, modeling, and in-force applications. *Energies*, t.16, no 6, pp. 2890-2921, 2023
- Holladay J.D., J. Hu, D.L. King, Y. Wang, An overview of hydrogen production technologies, *Catalysis Today*, t.139, no 4, pp. 244-260, 2009.
- <https://climate-adapt.eea.europa.eu/pl/metadata/publications/ipcc-fifth-assessment-report-synthesis-report>
- <https://ourworldindata.org/co2-emissions>
- https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/strategic_energy_plan.pdf
- <https://www.epa.gov/ghgreporting/ghgrp-2021-reported-data>
- https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/ex-pert/2019/10/story/20190926STO62270/20190926STO62270_pl.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Water Cycle changes, in climate change 2021 – the physical science basis: working group I contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 1055-1210, 2023.
- International Journal of Hydrogen Energy*, t.37, no 3, pp. 2071-2080, 2012.

⁴⁴ Vivanco-Martín B., Iranzo A.: Analysis of the European Strategy for Hydrogen: A Comprehensive Review, *Energies*, t.16, no 9, pp. 3866-3880, 2023.

- IPCC Working Group III. The evidence is clear: the time for action is now. We can halve emissions by 2030. IPCC, 2022.
- IPCC: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151, 2014.
- Kabir, M.E., Serrao-Neumann, S.: Climate Change Effects on People's Livelihood. In: Leal Filho, W., Azul, A.M., Brandli, L., Özuyar, P.G., Wall, T. (eds) Climate Action. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95885-9_7
- Liu W., Y. Dong, Z. Zhang, L. Li, D. Jiang, J. Fan, J. Chen, X. Zhang, J. Wan, Z. Li: Optimization of operating pressure of hydrogen storage salt cavern in bedded salt rock with multi-interlayers, International Journal of Hydrogen Energy, t.58, pp. 974-986, 2024.
- Oliveira A.M., Beswick R.R., Yan Y.: A green hydrogen economy for a renewable energy society, Current Opinion in Chemical Engineering, t.33, pp. 100701-100715, 2021.
- Oni O.A., K. Anaya, T. Giwa, G. Di Lullo, A. Kumar: Comparative assessment of blue hydrogen from steam methane reforming, autothermal reforming, and natural gas decomposition technologies for natural gas producing regions, Energy Conversion and Management, t.254, pp. 115245-115261, 2022.
- Pietzcker R.C., Longden T., Chen W., Fu S., Kriegler E., Kyle P., Luderer G.: Long-term transport energy demand and climate policy: alternative visions on transport decarbonization in energy-economy models. Energy, t.64, supplement C, pp. 95-108, 2014.
- Pivovar B.: Hydrogen at Scale (H2@Scale): Key to a Clean, Economic, and Sustainable Energy System, Electrochem. Soc. Interface t.27, pp. 47-52, 2018.
- PPMC 2015. Renewable energy and transport-decarbonising fuel in the transport sector. <http://www.ppmc-transport.org/wp-content/uploads/2015/08/Renewable-Energy-and-Transport-Decarbonising-Fuel-in-the-Transport-Sector.pdf>.
- Shafiei E., Davidsdottir B., Leaver J., Stefansson H.: Energy, economic, and mitigation cost implications of transition toward a carbon-neutral transport sector: a simulation-based comparison between hydrogen and electricity. Journal of Cleaner Production, t.141, pp. 237-247, 2017.
- Sims R., Schaeffer R., Creutzig F., Cruz-Núñez X., D'Agosto M., Dimitriu D., et al.: Transport. In Climate Change 2014: mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change pp. 599-670, 2014.
- United Nations. Paris agreement. United Nations Treaty Collection, Chapter XXVII 7, 2015.
- Vivanco-Martín B., Iranzo A.: Analysis of the European Strategy for Hydrogen: A Comprehensive Review, Energies, t.16, no 9, pp. 3866-3880, 2023.
- Wulf C., Zapp P.: Assessment of system variations for hydrogen transport by liquid organic hydrogen carriers. International journal of hydrogen energy, t.43, no 26, pp. 11884-11895, 2018.
- Xiong J., Yang Y.: Climate Change and Hydrological Extremes. Curr Clim Change Rep t.11, no 1, 2025. <https://doi-org-1q5avpvq40f34.han.bg.up.lublin.pl/10.1007/s40641-024-00198-4>

Adres do korespondencji: andrzej.kuranc@up.lublin.pl

ORCID: Andrzej Kuranc 0000-0001-6033-6380

WYBRANE ASPEKTY ZARZĄDZANIA ŁAŃCUCHEM DOSTAW W PRZEDSIĘBIORSTWACH PRZETWÓRSTWA ROLNO-SPOŻYWCZEGO W WOJEWÓDZTWIE MAŁOPOLSKIM

Piotr Kuźniar¹, Mateusz Fołta², Grażyna Gajdek¹, Józef Gorzelany¹, Miłosz Zardzewiały¹

¹ Zakład Inżynierii Produkcji Rolno-Spożywczej, Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Rzeszowski

² Absolwent kierunku logistyka w sektorze rolno-spożywczym, Uniwersytet Rzeszowski

Wstęp

Sektor rolno-spożywczy jest kluczowym elementem agrobiznesu i stanowi bliskie otoczenie rolnictwa. Jego głównym celem jest przetwarzanie nietrwałych surowców roślinnych i zwierzęcych na trwałe i bezpieczne produkty spożywcze. Relacje między sektorem rolno-spożywczym a rolnictwem stanowią ważne kryteria oceny poziomu rozwoju i nowoczesności agrobiznesu¹. Sektor rolno-spożywczy stanowi istotną gałąź gospodarki w wielu krajach na całym świecie. Chociaż rozwój gospodarczy większości państw przyczynia się do zmniejszenia znaczenia tego sektora w ramach gospodarek krajowych, wartość produkcji w tym sektorze nadal rośnie. Ponadto, zmienia się także relacja między wynikami osiąganymi w rolnictwie i przemyśle spożywczym². Istotnym aspektem w kontekście analizy łańcucha dostaw żywności jest to, że w polskim przetwórstwie rolno-spożywczym miały miejsce głębokie przemiany, które obejmują procesy restrukturyzacji i konsolidacji przedsiębiorstw. Procesy te zachodzą w różnym tempie, w zależności od branży³. Bardzo duży nacisk na sektor rolno-spożywczy ma agrologistyka, czyli kompleksowa działalność obejmująca organizację, planowanie, kontrolę i realizację przepływu towarów rolno-spożywczych od miejsca

¹ Matwiejczuk R., Tłuczak A.: Wpływ koncepcji logistyki na rozwój krótkich łańcuchów dostaw w sektorze rolno-spożywczym, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, 52(11), 13-19, 2020.

² Szczepanowski A.E.: Zmiany w sektorze rolno-żywnościowym w Polsce i polskich regionach po akcesji do Unii Europejskiej, W: *Instytucjonalne i strukturalne aspekty rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich*. Księga poświęcona pamięci dr hab. Adama Sadowskiego Profesora Uniwersytetu w Białymstoku, R. Przygodzka, E. Gruszewska. (red.), Wyd. Wyższa Szkoła Finansów i Zarządzania w Białymstoku, Białystok, 257-285, 2020.

³ Jarzębowski S., Klepacki B.: Łańcuchy dostaw w gospodarce żywnościowej. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie - Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, 103, 107-116, 2013.

produkcji surowców rolnych (takich jak gospodarstwa i przedsiębiorstwa rolnicze) poprzez związane z nimi kanały skupu, magazynowania (handel rolny), produkcji (szczególnie przemysłu rolno-spożywczego) oraz dystrybucji, aż do ostatecznego konsumenta (odbiorcy żywności). Głównym celem agrologistyki jest zaspokojenie wymagań konsumentów przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa żywnościowego, minimalnych kosztów i minimalnego zaangażowania kapitału⁴.

W organizacji wymiaru koncepcji logistyki, istotną kwestią jest integracja logistyki z systemem zarządzania przedsiębiorstwem oraz tworzenie optymalnej struktury organizacyjnej dla działu logistyki⁵. Łańcuch dostaw odnosi się do procesu przepływu materiałów, informacji i środków pieniężnych pomiędzy wszystkimi elementami łańcucha. Działania podejmowane przez przedsiębiorstwo w celu wytwarzania i dostarczania produktów ostatecznym odbiorcom mają na celu zapewnienie wysokiego poziomu obsługi klienta przy ustalonej wielkości sprzedaży i zysku oraz osiągnięcie odpowiedniej przewagi konkurencyjnej. Te działania wykraczają poza granice jednego przedsiębiorstwa⁶, ponieważ wymagają ścisłej współpracy z dostawcami (w ramach procesu zaopatrzenia), kooperantami (w ramach procesu produkcji) oraz dystrybutorami lub odbiorcami końcowymi (w ramach procesu dystrybucji). Zarządzanie łańcuchem dostaw obejmuje natomiast uwzględnienie różnych aspektów, takich jak: identyfikacja źródeł surowców i dostawców, ustalanie polityki zakupu i gromadzenia surowców, kontrola przepływu materiałów wewnątrz firmy oraz organizacja procesów przechowywania wyrobów gotowych, dystrybucji, magazynowania i transportu⁷. Skuteczne zarządzanie procesami w łańcuchach logistycznych, uwzględniające specyfikę sektora agrobiznesu, może przynieść wiele korzyści, w tym m.in. optymalizację kosztów i zapewnienie klientom wyższego poziomu obsługi. Wszystkie te działania mogą przyczynić się do zwiększenia konkurencyjności przedsiębiorstw agrobiznesu w Polsce⁸. Analizując poszczególne przedsiębiorstwa z sektora przemysłu rolno-spożywczego można dostrzec ścisłą integralność z funkcjonowaniem całego sektora agrobiznesu, który jako część polskiej gospodarki narodowej wpływa na stan, poziom modernizacji i wyposażenia jednostek gospodarczych w przemyśle spożywczym. Wpływ ten rozpoczyna się od gospodarstw rolnych, które dostarczają surowce, a następnie obejmuje jednostki zajmujące się skupem, magazynowaniem, hurtowym handlem i dystrybucją produktów rolnych, aż po przedsiębiorstwa przetwórstwa rolnego i sprzedaż detaliczną. Przedsiębiorstwa te stanowią kluczowe elementy rynku rolniczego, na którym odbywa się bezpośrednia sprzedaż produktów rolniczych. Przedsiębiorstwa rynku rolniczego mają szeroki zakres działalności, obejmujący produkcję, przetwarzanie, magazynowanie, uszlachetnianie surowców rolnych oraz wytwarzanie różnego rodzaju wyrobów. Ich działania koncentrują się na obróbce surowców pochodzenia

⁴ Klepacki B., Wicki L. (red.): Systemy logistyczne w funkcjonowaniu przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego, Wyd. SGGW, Warszawa, 7-18, 2014.

⁵ Baran J.: Logistyka w przedsiębiorstwach agrobiznesu. *Logistyka*, 3, 17-22, 2011.

⁶ Szymańska E.J., Bórawski P., Żuchowski I.: Łańcuchy dostaw na wybranych rynkach rolnych w Polsce, Wyd. SGGW, Warszawa, 9-23, 2018.

⁷ Piocha S.: Dyczkowska J. Zarządzanie łańcuchem dostaw – logistyka zaopatrzenia, *Logistyka*, 5, 734-740, 2012.

⁸ Baran J.: Zarządzanie łańcuchami dostaw w przedsiębiorstwach przetwórstwa rolno-spożywczego. *Journal of Modern Science*, 4(39), 217-23, 2018.

rolniczego, takich jak: zboże, owoce, warzywa, mięso czy mleko, w celu stworzenia gotowych produktów. Przedsiębiorstwa te angażują się w procesy przetwarzania surowców rolnych, aby uzyskać wysokiej jakości wyroby, które spełniają wymagania rynku i preferencje konsumentów⁹.

Definicję łańcucha dostaw można interpretować z kilku różnych perspektyw. W ogólnym kontekście jest to zbiór podmiotów, które wspólnie pracują nad zaspokojeniem potrzeb określonych klientów. Łańcuch dostaw obejmuje zarówno przepływy fizyczny (materiałów, surowców, półproduktów, gotowych produktów itp.) jak i przepływy informacji pomiędzy uczestnikami, którzy utrzymują relacje dostawczo-odbiorcze. W ramach działań realizowanych przez różne ogniwa łańcucha dostaw można wyróżnić przede wszystkim: rozwijanie produktów, produkcję, sprzedaż, obsługę klienta, dostarczanie, zarządzanie zasobami oraz funkcje wspierające proces¹⁰. Łańcuch dostaw działa „jako sieć powiązań i współzależnych organizacji, które współpracując, razem kontrolują, kierują i poprawiają przepływy rzeczowe i informacyjne od dostawców do końcowych użytkowników”¹¹. Łańcuch dostaw rozpoczyna się od pozyskania surowców i prowadzi aż do finalnej konsumpcji, a następnie kontynuowany jest przez procesy recyklingu, które umożliwiają ponowne wykorzystanie materiałów i produktów¹².

Cel i zakres pracy

Celem pracy było przeprowadzenie analizy stanu zarządzania łańcuchem dostaw przedsiębiorstw z sektora przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie małopolskim. Badania wyjaśniają jak przedsiębiorstwa oceniają różne elementy zarządzania łańcuchem dostaw, takie jak:

- 1) popyt na produkty,
- 2) relacje z dostawcami,
- 3) relacje z klientami,
- 4) proces zamówień.

Ocenę zarządzania łańcuchem dostaw w przedsiębiorstwach przetwórstwa spożywczego w województwie małopolskim przeprowadzono na podstawie wielkości przedsiębiorstwa (mikro, małe, średnie, duże) oraz branży przetwórstwa rolno-spożywczego (np. branża mięsna, mleczarska, olejarska, owocowo-warzywna, paszowa, piekarnicza, tytoniowa, zbożowa, inna spożywcza). Dane niezbędne do przeprowadzenia analizy pozyskano za pomocą badań ankietowych.

⁹ Firlej K.: Ocena konkurencyjności i szans rozwoju Przedsiębiorstw Przemysłu rolno-spożywczego w warunkach unijnych. Rozwój przemysłu rolno-spożywczego w sektorze agrobiznesu i jego determinanty. Wyd. UE w Krakowie, Kraków, 163-164, 2008.

¹⁰ Michalczyk J.: Zrównoważone łańcuchy dostaw żywności. Wybrane inicjatywy. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 523, 222-239, 2018.

¹¹ Michalczyk J.: Rola procesów globalizacji i integracji europejskiej w kształtowaniu się łańcuchów dostaw żywności. *Ekonomia XXI wieku*, 3(15), 33-51, 2017.

¹² Kos B.: Znaczenie łańcuchów dostaw we współczesnej gospodarce. *Problemy Zarządzania, Finansów i Marketingu. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego*, 29, 73-88, 2013.

Materiały i metody badań

W celu uzyskania potrzebnych danych przygotowano kwestionariusz, który zawierał pytania jednokrotnego i wielokrotnego wyboru. Kwestionariusz został stworzony za pomocą aplikacji MS Forms, a link do niego został wysłany do przedsiębiorstw prowadzących działalność w sektorze rolno-spożywczym na terenie województwa małopolskiego. Dane firm zostały uzyskane z bazy Regon udostępnionej przez Urząd Statystyczny. Kwestionariusz został przesłany do 951 przedsiębiorstw, z których odpowiedzi udzieliło 60 firm. Badanie ankietowe zostało przeprowadzone anonimowo w drugiej połowie 2023 roku. Dzięki temu badaniu uzyskano informacje dotyczące wielkości przedsiębiorstw (mikro 1-9 osób, małe 10-49 osób, średnie 50-249 osób, duże powyżej 249 osób) oraz branży, w której działają (np. branża spożywcza, mięsna, mleczarska, olejarska, owocowo-warzywna, paszowa, piekarnicza, tytoniowa i zbożowa).

W zarządzaniu ogniwami całego łańcucha dostaw wprowadzono podział na siedem grup procesów:

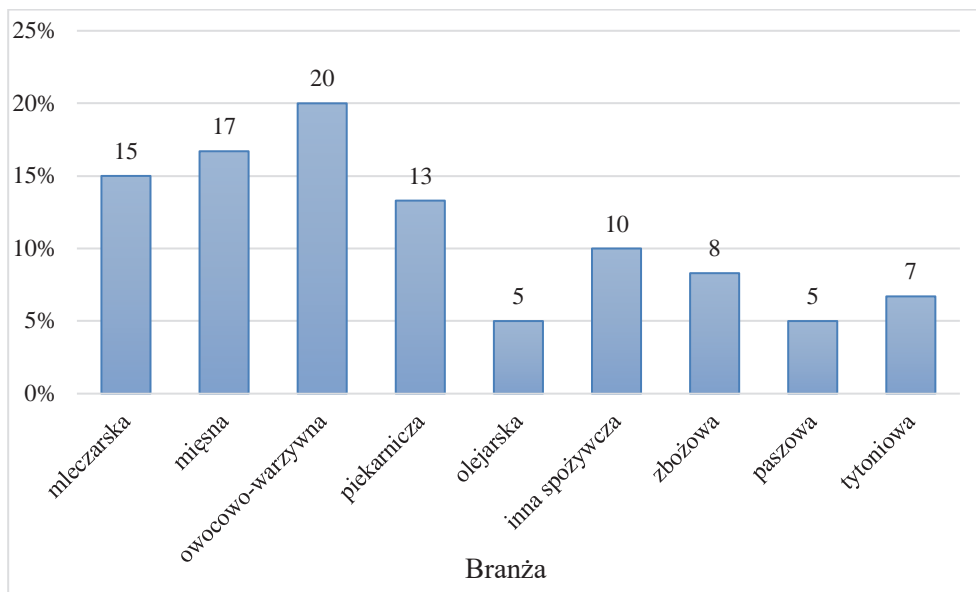
1. zarządzanie relacjami z klientem,
2. zarządzanie relacjami z dostawcami,
3. zarządzanie obsługą klienta,
4. zarządzanie popytem,
5. realizacja zamówień,
6. zarządzanie przepływem produkcji,
7. zarządzanie zwrotami.

Przedsiębiorców zapytano o następujące kwestie:

- 1) rodzaj branży, w której prowadzą działalność,
- 2) wielkość firmy i ilość osób jaką zatrudniają,
- 3) strukturę, oraz ilość dostawców i odbiorców,
- 4) szacowane koszty logistyki,
- 5) źródła informacji wykorzystywane do planowania produkcji,
- 6) czynniki jakimi kierują się przedsiębiorstwa podczas łańcucha dostaw,
- 7) relacje z dostawcami i klientem.

Wyniki badań

Wśród badanych przedsiębiorstw największy udział miały firmy zajmujące się branżą owocowo-warzywną (20%) i mięsną (17%) (rys. 1). Najmniejszy zaś udział stanowiły przedsiębiorstwa branży olejarskiej i paszowej po (5%).



Rysunek 1. Struktura branżowa badanych przedsiębiorstw

Źródło: opracowanie własne

Najczęstszymi podmiotami, którzy dostarczali surowce do produkcji (rys. 2) byli rolnicy indywidualni (30%), oraz duże gospodarstwa rolne i spółdzielnie (23%). Najrzadziej przedsiębiorstwa korzystały z usług firm przetwórstwa pierwotnego (10%), a także firm skupujących (17%).

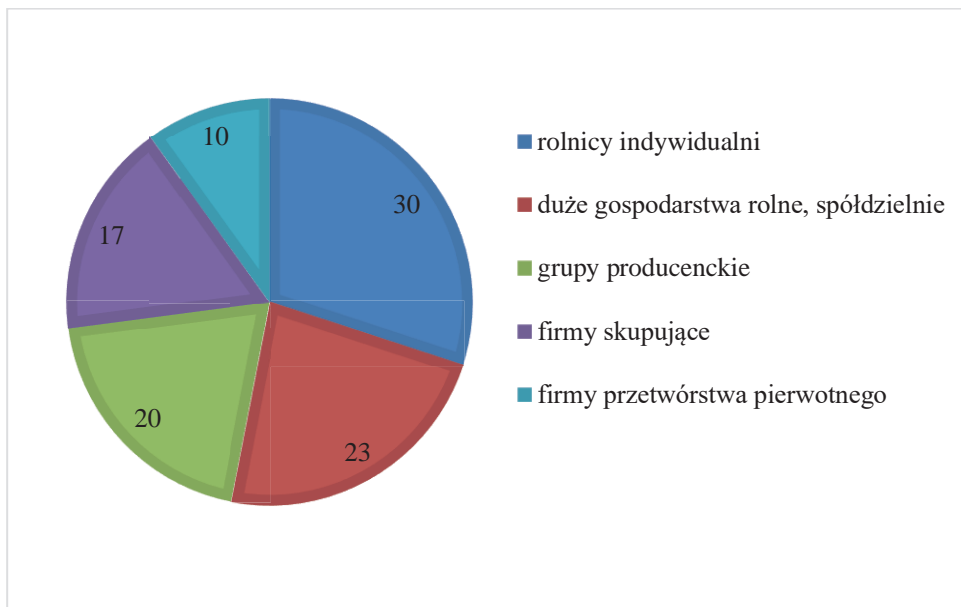
Porównując z badaniami Klepackiego i Wickiego¹³, aż 88% dostawców to rolnicy indywidualni, i zaledwie 2% grupy producenckie.

Znaczna większość przedsiębiorstw mleczarskich i z grupy innych spożywczych (67%) (tab. 1), korzystały głównie z dostaw bezpośrednio od rolników indywidualnych. Przedsiębiorstwa z branży olejarskiej najchętniej wykorzystywały usługi dużych gospodarstw i spółdzielni (67%). Grupy producenckie, a także firmy skupujące były wybierane jako dostawcy przez połowę przedsiębiorstw z branży piekarniczej. Firmy przetwórstwa pierwotnego były wybierane na dostawców w co trzecim przedsiębiorstwie mleczarskim i olejarskim.

Struktura dostawców w sektorze rolno-spożywczym sugeruje, że główne źródła dostaw dla branż mięsnej, mleczarskiej oraz zbożowej to głównie firmy specjalizujące się w skupie surowców. Natomiast w branży owocowo-warzywniej kluczową rolę pełnią rolnicy, a także przedsiębiorstwa rolnicze i grupy producenckie¹⁴.

¹³Klepacki B., Wicki L.: op. cit., 7-18, 2014.

¹⁴Baran J.: op. cit., 217-230. 2018.



Rysunek 2. Struktura dostawców surowców do produkcji (%)

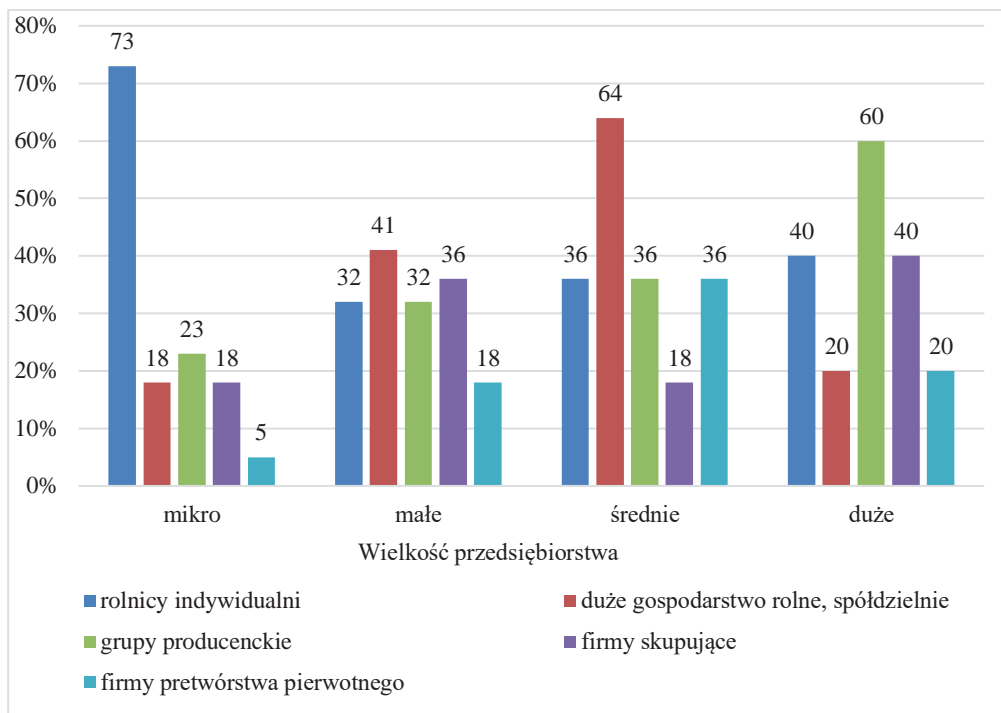
Źródło: opracowanie własne

Tabela 1. Branża przetwórstwa i udział dostawców (%)

Branża	Rodzaje dostawców				
	rolnicy indywidualni	duże gospodarstwa rolne spółdzielnie	grupy producenckie	firmy skupujące	firmy przetwórstwa pierwotnego
Mleczarska	67	44	33	0	33
Mięsna	40	50	30	20	10
Owocowo-warzywna	50	33	25	25	17
Piekarnicza	25	50	50	50	25
Olejarska	0	67	33	0	33
Inna spożywcza	67	17	17	33	0
Zbożowa	60	40	40	20	20
Paszowa	33	33	33	33	0
Tytoniowa	50	0	25	25	0

Źródło: opracowanie własne

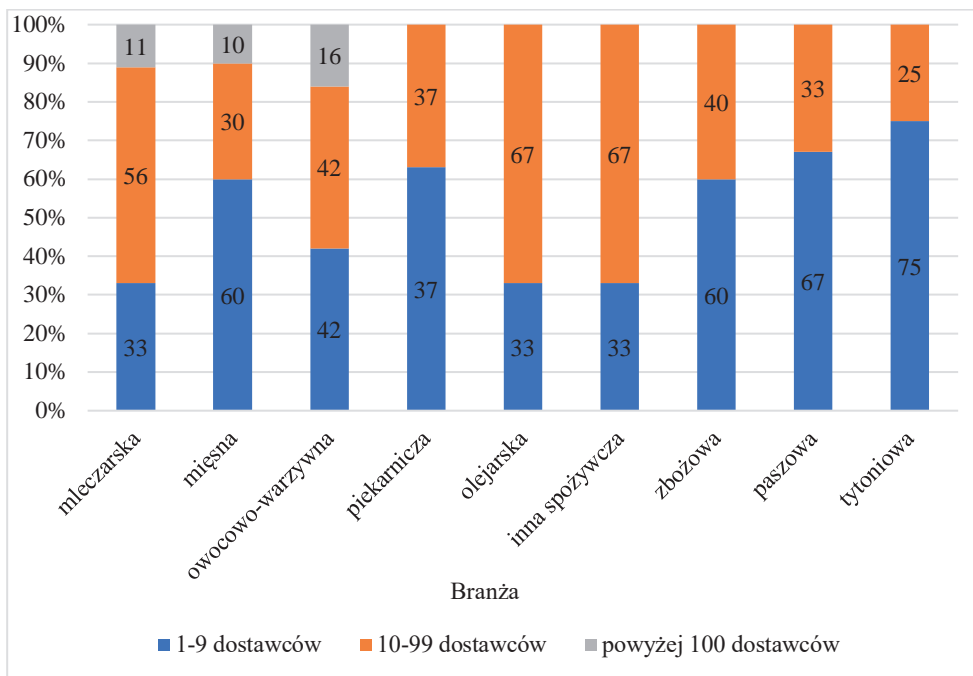
W największym stopniu z dostaw surowców (rys. 3) od rolników indywidualnych korzystały firmy mikro (73%). Najrzadziej firmy mikro korzystały z usług firm przetwórstwa pierwotnego (5%). Małe i średnie przedsiębiorstwa w największym stopniu byli odbiorcami surowców od dużych gospodarstw rolnych, spółdzielni, zaś w najmniejszym stopniu dla firm małych były to firmy przetwórstwa pierwotnego, a dla średnich firmy skupujące (18%). W dużych przedsiębiorstwach dominowały grupy producenckie (60%). Najrzadziej były to duże gospodarstwa rolne, oraz firmy przetwórstwa pierwotnego.



Rysunek 3. Wielkość przedsiębiorstwa a rodzaje dostawców

Źródło: opracowanie własne

Firmy z branż tytoniowej (75%), paszowej (67%), piekarniczej (63%), mięsnej (60%) zbożowej (60%) korzystały w większości z najmniejszej liczby dostawców (1-9 dostawców) (rys. 4). Przedsiębiorstwa, które korzystały najczęściej z większej ilości dostawców (10-99 dostawców) były z branż olejarskiej i z grupy innej spożywczej (67%). Firm, które korzystały z więcej niż 100 dostawców było najmniej, gdyż były to tylko branże owocowo-warzywna (16%), mleczarska (11%), a także mięsna (10%).

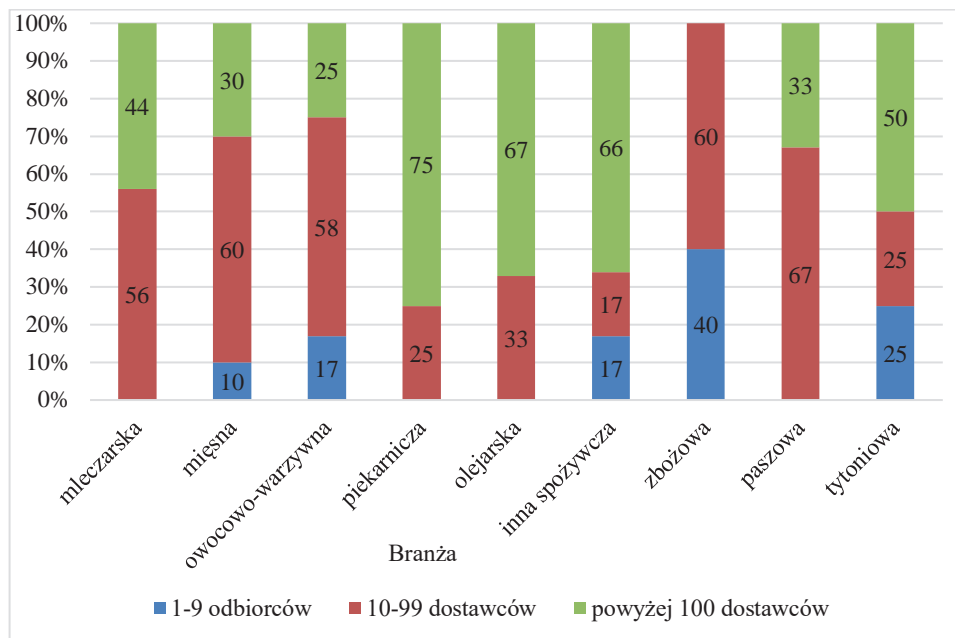


Rysunek 4. Liczba dostawców a branża przedsiębiorstwa

Źródło: opracowanie własne

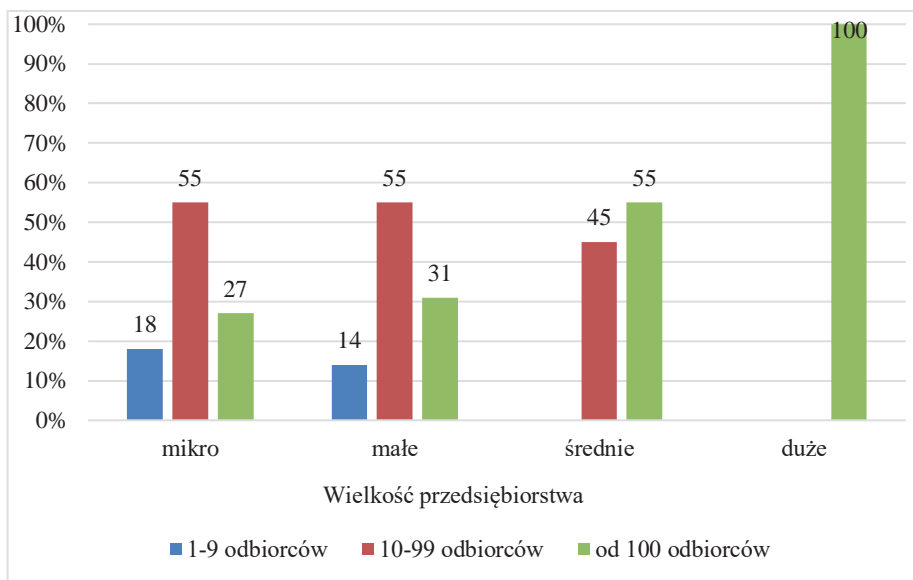
Prawie wszystkie przedsiębiorstwa kierowały swoje produkty (rys. 5) do odbiorców powyżej 100 za wyjątkiem branży zbożowej. Największym odsetkiem charakteryzowały się branże: piekarnicza (75%), olejarska (67%) oraz inna spożywcza (66%). Wśród branż, które najczęściej dostarczały produkty dla odbiorców w przedziale 10-99 były to branże: paszowa (67%), zbożowa (67%) i mięsna (67%). Firm, które sprzedawały swoje wyroby dla odbiorców poniżej 10 było zdecydowanie najmniej. W tej kwestii dominowały przedsiębiorstwa z branży zbożowej (40%).

Duże przedsiębiorstwa (100%) dostarczały swoje produkty dla więcej niż 100 odbiorców (rys. 6). Im mniejsza grupa wielkościowa przedsiębiorstw tym ta tendencja spadała. Stosunkowo na podobnym poziomie utrzymywały się ilości odbiorców między 10-99 dla pozostałych grup wielkości firm od 45% dla średnich do 55% dla mikro i małych przedsiębiorstw. Udział odbiorców od 1-9 stanowiły najmniejszą wartość wśród wszystkich grup. Największą charakteryzowały się przedsiębiorstwa mikro (18%).



Rysunek 5. Ilość odbiorców produktów a branża przedsiębiorstwa

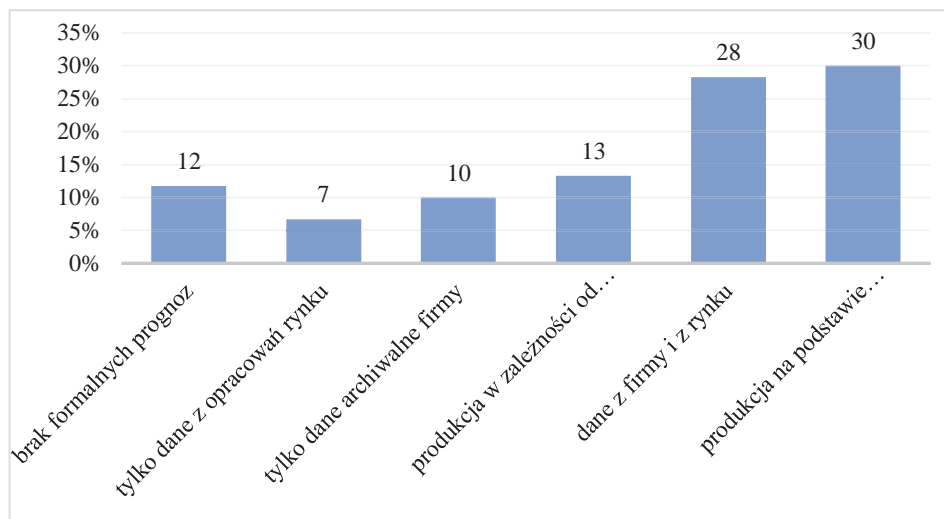
Źródło: opracowanie własne



Rysunek 6. Wielkość przedsiębiorstw a ilość odbiorców

Źródło: opracowanie własne

Najwięcej informacji dotyczących planowania wielkości produkcji (rys. 7) przedsiębiorstwa pobierają z produkcji na podstawie otrzymywanych zamówień (30%), a także dzięki danym z firm i z rynku (28%).



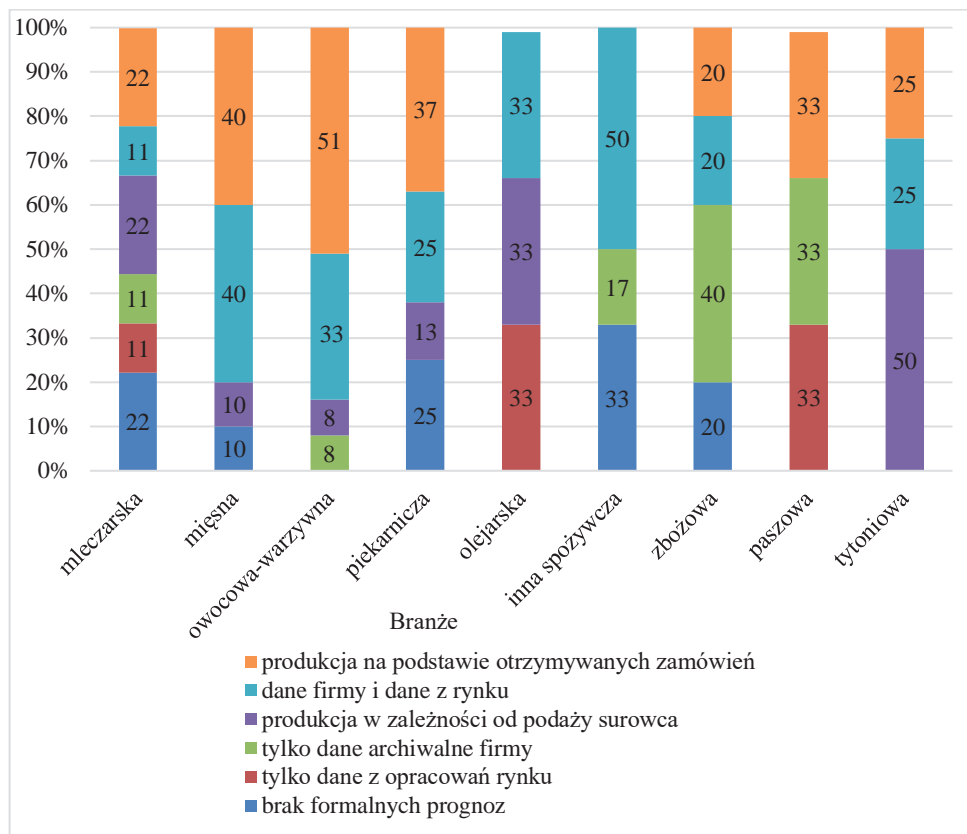
Rysunek 7. Źródła pobierania informacji do planowania wielkości produkcji

Źródło: opracowanie własne

Ponad połowa przedsiębiorstw owocowo-warzywnych (51%) opierała swoją produkcję na podstawie otrzymywanych zamówień (rys. 8). Dokładnie połowa badanych przedsiębiorstw z grupy innej spożywczej deklarowała pobieranie informacji do planowania wielkości produkcji z danych firm i rynku. Również połowa firm, tym razem z branży tytoniowej, dostosowała wielkość produkcji w zależności od podaży surowca. W branży zbożowej najczęściej firmy uzyskiwały informacje tylko z danych archiwalnych firmy (40%). Natomiast w branży mięsnej w 40% firmy wskazały na pobieranie danych z firmy i danych z rynku, oraz produkcji na podstawie otrzymywanych zamówień.

Stwierdzono, że w łańcuchach dostaw żywności produkcja jest aktywowana głównie w momencie złożenia zamówienia przez klienta. Planowanie ilości produkcji w przedsiębiorstwach przetwórstwa sektora rolno-spożywczego opiera się głównie na dostępnych danych¹⁵.

¹⁵ Baran J.: op. cit., 217-230, 2018.



Rysunek 8. Branża a źródła informacji do planowania wielkości produkcji

Źródło: opracowanie własne

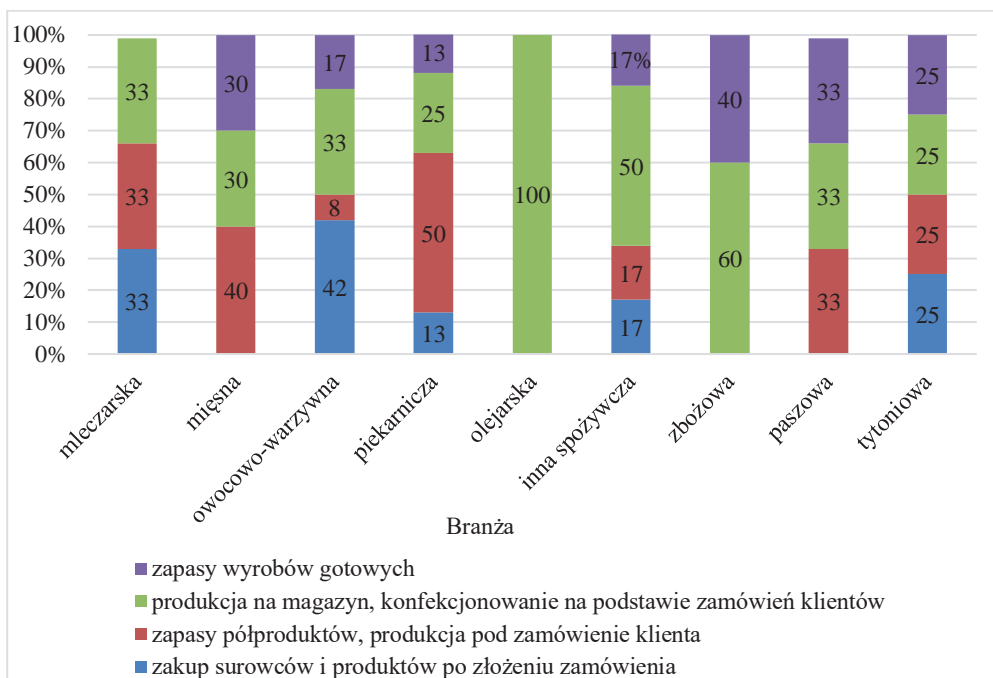
Najwięcej przedsiębiorstw realizowało zamówienia (rys. 9) poprzez produkcję na magazyn, konfekcjonowanie na podstawie zamówień klientów (39%). Natomiast najmniej firmy realizowały zakup surowców i produktów po złożeniu zamówienia i własne zapasy wyrobów gotowych (18%).

Produkcję na magazyn, konfekcjonowanie na podstawie zamówień klientów stanowiło 100% firm z branży olejarskiej (rys.10), 60% w branży zbożowej i 50% w grupie innej spożywczej. W firmach piekarniczych (50%) i mięsnych (40%) najczęściej przedsiębiorstwa gromadziły zapasy półproduktów, oraz produkowały pod zamówienie klienta. Natomiast zakup surowców i produktów po złożeniu zamówienia stosowały przedsiębiorstwa owocowo-warzywne.



Rysunek 9. Sposoby realizacji zamówień w badanych przedsiębiorstwach (%)

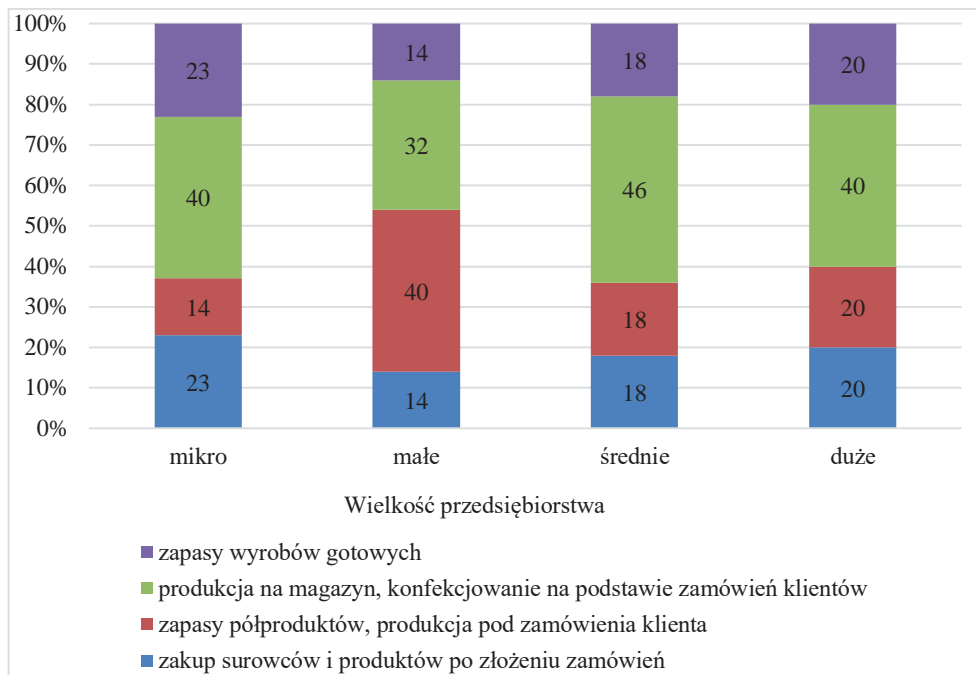
Źródło: opracowanie własne



Rysunek 10. Branża a sposoby realizacji zamówień

Źródło: opracowanie własne

W przedsiębiorstwach średnich (46%), mikro (40%) i dużych (40%), najczęściej przedsiębiorstwa realizowały zamówienia poprzez produkcję na magazyn i konfekcjonowanie na podstawie klientów (rys. 11). Natomiast w firmach małych największy udział stanowiły zapasy półproduktów, produkcja pod zamówienia klienta.



Rysunek 11. Wielkość przedsiębiorstwa, a sposoby realizacji zamówień

Źródło: opracowanie własne

Wnioski

1. Rolnicy indywidualni stanowią największą grupę dostawców surowców (30%), w tym głównie firm mikro (73%).
2. Średnie przedsiębiorstwa preferują współpracę z dużymi dostawcami surowców gospodarstwami rolnymi i spółdzielniami (67%). Duże przedsiębiorstwa korzystają z usług grup producenckich (60%).
3. Przedsiębiorstwa mleczarskie głównie korzystają z dostaw bezpośrednich od rolników indywidualnych (67%). Branża olejarska preferuje dostawy od dużych gospodarstw i spółdzielni (67%).
4. Firmy z branży tytoniowej (75%) i paszowej (67%) przeważnie korzystają z mniejszej liczby dostawców (1-9). Natomiast przedsiębiorstwa olejarskie i z grupy innej spożywczej (67%) najczęściej korzystają z co najmniej 100 dostawców.

5. Im większe przedsiębiorstwo tym wyższa liczba odbiorców. Analizowane duże przedsiębiorstwa dostarczają produkty dla 100 odbiorców lub więcej.

Bibliografia

- Baran J.: Logistyka w przedsiębiorstwach agrobiznesu. *Logistyka*, 3, 17-22, 2011.
- Baran J.: Zarządzanie łańcuchami dostaw w przedsiębiorstwach przetwórstwa rolno-spożywczego. *Journal of Modern Science*, 4(39), 217-230, 2018.
- Firlej K.: Ocena konkurencyjności i szans rozwoju Przedsiębiorstw Przemysłu rolno-spożywczego w warunkach unijnych. *Rozwój przemysłu rolno-spożywczego w sektorze agrobiznesu i jego determinanty*. Wyd. UE w Krakowie, Kraków, 163-164, 2008.
- Jarzębowski S., Klepacki B.: Łańcuchy dostaw w gospodarce żywnościowej. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie - Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, 103, 107-116, 2013.
- Klepacki B., Wicki L. (red.): *Systemy logistyczne w funkcjonowaniu przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego*, Wyd. SGGW, Warszawa, 7-18, 2014.
- Kos B.: Znaczenie łańcuchów dostaw we współczesnej gospodarce. *Problemy Zarządzania, Finansów i Marketingu*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 29, 73-88, 2013.
- Matwiejczuk R., Thuczak A.: Wpływ koncepcji logistyki na rozwój krótkich łańcuchów dostaw w sektorze rolno-spożywczym, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, 52(11), 13-19, 2020.
- Michalczyk J.: Rola procesów globalizacji i integracji europejskiej w kształtowaniu się łańcuchów dostaw żywności. *Ekonomia XXI wieku*, 3(15), 33-51, 2017.
- Michalczyk J.: Zrównoważone łańcuchy dostaw żywności. Wybrane inicjatywy. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 523, 222-239, 2018.
- Piocha S.: Dyczkowska J.: Zarządzanie łańcuchem dostaw – logistyka zaopatrzenia, *Logistyka*, 5, 734-740, 2012.
- Szczepanowski A.E.: Zmiany w sektorze rolno-żywnościowym w Polsce i polskich regionach po akcesji do Unii Europejskiej, W: *Instytucjonalne i strukturalne aspekty rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich*. Księga poświęcona pamięci dr hab. Adama Sadowskiego Profesora Uniwersytetu w Białymstoku, R. Przygodzka, E. Gruszewska. (red.), Wyd. Wyższa Szkoła Finansów i Zarządzania w Białymstoku, Białystok, 257-285, 2020.
- Szymańska E.J., Bórawski P., Żuchowski I.: Łańcuchy dostaw na wybranych rynkach rolnych w Polsce, Wyd. SGGW, Warszawa, 9-23, 2018.

Adres do korespondencji: mzardzewialy@ur.edu.pl

ORCID: Piotr Kuźniar 0000-0002-6607-6636

ORCID: Grażyna Gajdek 0000-0002-6565-1184

ORCID: Józef Gorzelany 0000-0002-1028-097X

ORCID: Miłosz Zardzewialy 0000-0002-8843-2814

WYBRANE ASPEKTY ZARZĄDZANIA TRANSPORTEM W PRZEDSIĘBIORSTWACH PRZETWÓRSTWA ROLNO- -SPOŻYWCZEGO W WOJEWÓDZTWIE MAŁOPOLSKIM

Piotr Kuźniar¹, Hubert Zema², Grażyna Gajdek¹, Józef Gorzelany¹,
Miłosz Zardzewiały¹

¹ Zakład Inżynierii Produkcji Rolno-Spożywczej, Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Rzeszowski

² Absolwent kierunku logistyka w sektorze rolno-spożywczym, Uniwersytet Rzeszowski

Wstęp

Transport jest kluczowym elementem, który integruje się z innymi procesami logistycznymi, z tego względu optymalizacja tego procesu wymaga szczególnej uwagi, aby podjąć właściwe decyzje dotyczące jego wykorzystania. Wiele czynników wpływa na optymalizację oraz organizację transportu w przedsiębiorstwach agrobiznesu jak np. zasięg geograficzny rynków zaopatrzenia i zbytu^{1,2,3,4}.

Transport jest konieczny ze względu na różnorodne rozmieszczenie bogactw naturalnych, produkcji materialnej, działalności naukowej, kulturalnej, rekreacyjnej oraz osadnictwa ludności⁵. Jest wymagany w całym procesie produkcyjnym i stanowi jego integralną część od wytwarzania, dostawy, aż po konsumentów końcowych.

Transport jest jednym z głównych czynników kształtujących całkowite koszty logistyczne. Ocenia się, że koszty transportu w Polsce mogą wynosić około 40-50% ogólnych kosztów logistycznych⁶. Głównym kosztem w zarządzaniu transportem są koszty paliwa. Podczas ostatniego dziesięciolecia zarządzanie transportem staje się coraz trudniejsze ze

¹ Baran J., Wicki L., Jałowiecki P.: Systemy logistyczne w funkcjonowaniu przedsiębiorstw przetwórstwa rolno spożywczego. Raport z 1 etapu badań. Wydział Nauk Ekonomicznych. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Warszawa, 2011.

² Klepacki B., Rokicki T.: Stan i perspektywa rozwoju transportu w Polsce, *Logistyka*, 3, 1-10, 2010.

³ Klepacki B.: Agrobiznes i agrologistyka - pojęcie i specyfika. *Journal of Modern Science*, 4(39), 103-118, 2018.

⁴ Malesa A.: Kwestie optymalizacji decyzji w procesach transportowych doktryna a praktyka. W: *Transport i logistyka w przedsiębiorstwie, mieście i regionie. Wybrane zagadnienia*. Rogaczewski R., Zimniewicz S., Zimny A. (red.), Wydawnictwo Naukowe Sophia, Katowice, 2017.

⁵ Majewska M.: Prawne aspekty polityki transportowej Unii Europejskiej. *Transport i jego znaczenie dla Unii Europejskiej*. Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok, 2016.

⁶ Rokicki T.: Rola i znaczenie portów morskich. *Logistyka*, 3, 1-11, 2010.

względu na gwałtowne zmiany i wahania cen paliw oraz innych czynników jak np. brak kierowców czy ekspansja dostawców 3PL/4PL, itp. Wiele firm decyduje się na korzystanie z outsourcingu, ponieważ koszty własnego transportu są głównym ogniwem całych kosztów w przedsiębiorstwie^{7,8}. Outsourcing pozwala przedsiębiorstwom na zmniejszenie własnego ryzyka przez przełożenie go na wyspecjalizowanego operatora logistycznego^{9,10}.

Przedsiębiorstwa sektora rolno-spożywczego są bardzo zróżnicowane, zwłaszcza jeżeli mówi się o rodzaju używanych środków transportu, stosowanych magazynów, a także okresu przechowywania¹¹. Jedną z istotnych trudności w agrobiznesie jest sezonowość, która szczególnie dotyczy przedsiębiorstw przetwórstwa owoców i warzyw¹².

Aby firma transportowa mogła skutecznie prosperować we współczesnym świecie, gdzie konkurencyjność rynku jest duża oraz gdzie sam rozwój jest napędzany przez konkurencję, kluczowe jest przyjęcie otwartości na innowacje oraz nowoczesne technologie. Aby w pełni zaspokoić rosnące oczekiwania klientów, niezbędne jest inwestowanie w systemy umożliwiające sprawną komunikację między wszystkimi elementami łańcucha dostaw. Taki krok nie tylko usprawnia procesy wewnętrzne przedsiębiorstwa, ale także pozwala na lepszą reakcję na dynamiczne zmiany rynkowe oraz skuteczniejsze dostosowanie się do nowych wyzwań branżowych^{13,14,10}.

Rosnące zapotrzebowanie na żywność wywołane przez wzrost populacji na świecie sprzyja również wzmocnieniu konkurencyjności polskich producentów. W szczególności przemysł rolno-spożywczy na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat bardzo umocnił swoją pozycję wśród innych sektorów, a przedsiębiorcy starają się go modernizować i lepiej wykorzystywać, aby wpłynąć na jego koszty, czas i jakość.

Z tych względów w pracy podjęto próbę dokonania analizy zarządzania transportem na przykładzie przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie małopolskim.

⁷ Mazurkiewicz G.: Transport i spedycja w handlu międzynarodowym. Wydawnictwo Społecznej Akademii Nauk, Łódź, 2022.

⁸ Sukiennik K.: Koszty logistyki w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie, 4, 131-139, 2011.

⁹ Odzimek T.: Aspects of transport management with respect to the problems of logistics. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie, 4, 107-123, 2011.

¹⁰ Budzyńska K.: Outsourcing usług logistycznych w przemyśle spożywczym. Logistyka, 4, 871-877, 2012.

¹¹ Baran J.: Skala działania a rozwiązania w zakresie magazynowania i transportu w przedsiębiorstwach przetwórstwa mleka. Logistyka, 2, 343-352, 2012.

¹² Klepacki B.: Specyfika agrologistyki i zaawansowanie przedsiębiorstw agrobiznesu w jej stosowaniu. Problemy Drobnych Gospodarstw Rolnych, 4, 39-49, 2018.

¹³ Michalska J., Kubiczek A.: Zintegrowane systemy zarządzania transportem drogowym na podstawie firmy Piomar. Journal of TransLogistics, 3(2), 83-93, 2017.

¹⁴ Firlej K.: Ocena konkurencyjności i szans rozwoju przedsiębiorstw przemysłu rolno-spożywczego w warunkach unijnych. Roczniki Ekonomiczne Kujawsko-Pomorskiej Szkoły Wyższej w Bydgoszczy, 3:163-175, 2010.

Cel i zakres pracy

Celem pracy była analiza zarządzania transportem jako elementu funkcjonalnego logistyki w przedsiębiorstwach przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie małopolskim. Analizę zarządzania transportem wykonano na podstawie badań ankietowych w zależności od skali działania przedsiębiorstw (mikro, małe, średnie, duże) oraz branż przetwórstwa rolno-spożywczego (mięsna, owocowo-warzywna, mleczarska, zbożowa, piekarnicza, olejarska, tytoniowa, paszowa, inna spożywcza). Pytania dotyczyły takich elementów zarządzania transportem jak:

- wyodrębnienie działu zajmującego się transportem,
- oddzielna ewidencja kosztów transportu,
- posiadanie pojazdów specjalnych,
- racjonalizowania transportu poprzez odpowiedni dobór tras przejazdu i odpowiednie wykorzystanie ładowności środka transportu,
- rodzaj gałęzi transportu wykorzystywanych w przedsiębiorstwie,
- wspomaganie informatyczne transportu,
- zamierzenia na przyszłość dotyczące transportu.

Materiały i metody badań

Badania ankietowe zostały przeprowadzone anonimowo w drugiej połowie 2023 roku za pomocą aplikacji MS Forms. Link do ankiety wysłano e-mailem do 951 przedsiębiorstw prowadzących działalność w obrębie sektora rolno-spożywczego w woj. małopolskim, których listę uzyskano z bazy REGON zakupionej w GUS (działy: PKD 10- produkcja artykułów spożywczych, PKD 11- produkcja napojów, PKD 12- produkcja wyrobów tytoniowych).

W badaniu wzięło udział 60 przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego z województwa małopolskiego, zatem poziom zwrotu ankiet wynosił zaledwie 6,31%.

Odpowiedzi z ankiet zostały zebrane i przeanalizowane w programie Statistica 13.3, a wyniki zostały przedstawione w formie graficznej i w tabelach.

Zarządzanie i planowanie transportu w przedsiębiorstwie

Koncepcja zarządzania ewoluowała na przestrzeni wielu wieków, a podstawy naukowe uzyskała dopiero na przełomie XIX i XX wieku co zaowocowało powstaniem nowych technologii, metod, narzędzi i technik zarządzania. Zmiany te miały doniosły wpływ na rozwój metod organizacji pracy, ukierunkowując je na bardziej efektywne i nowoczesne rozwiązania¹⁵. Zarządzanie transportem stanowi kluczową funkcję w działalności każdego przedsiębiorstwa czy systemu transportowego. Sprawne kierowanie nim umożliwia rozpoznanie obecnych trudności w obszarze transportu i nakłada konieczność wprowadzenia

¹⁵ Sepiolo J., Olszowy J., Kucwaj A.: Koncepcje zarządzania współczesnym przedsiębiorstwem – teoria i praktyka. W: Współczesne wyzwania w naukach ekonomicznych, finansach i zarządzaniu. Olszowy J., Sepiolo J. (red.), Wydawnictwo Naukowe ArchaeGraph, Łódź, 31-42, 2022.

skutecznych rozwiązań, które przyczynią się do maksymalizacji korzyści dla przedsiębiorstwa¹⁶.

Efektywne zarządzanie transportem wymaga analizy własnych potrzeb oraz ofert firm zewnętrznych, umiejętności korzystania z metod jakościowych i ilościowych. Z uwagi na znaczący udział kosztów transportu w ogólnych wydatkach na dystrybucję, transport jest kluczowy przy tworzeniu strategii funkcjonowania firm. Optymalizacja kosztów transportu stanowi kluczowy element redukcji kosztów, szczególnie gdy trafność decyzji ekonomicznych opiera się na dokładnych informacjach o kosztach. Firmy muszą podejmować decyzje dotyczące transportu, wybierając między zleceniem zewnętrznej firmie, samodzielnym przewozem, a także połączeniem obu tych opcji¹⁷.

Z biegiem lat zwiększa się liczba firm operujących w sektorze transportu i spedycji, poszukujących strategii poprawy jakości zarządzania oraz zwiększenia efektywności działań. W wyniku tego trendu zauważalne staje się zapotrzebowanie na efektywne kierowanie transportem zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju^{18,19}. Proces zarządzania transportem obejmuje różne fazy, różniące się od standardowego modelu zarządzania. Warto zaznaczyć, że różni autorzy przedstawiają etapy zarządzania transportem inaczej jak np. Kaup i Chmielewska-Przybysz²⁰, którzy wskazują na takie etapy jak:

- planowanie i projektowanie procesu transportowego,
 - realizacja procesu transportowego,
 - analiza i ocena procesu transportowego.
- Z kolei Wróbel i Wojda²¹ wyróżniają więcej etapów:
- zaplanowanie procesu związanego z przemieszczaniem towaru,
 - przygotowanie ładunku do transportu,
 - zorganizowanie procesu przemieszczania towaru,
 - przemieszczanie towaru pod względem fizycznym,
 - elementy prawno-finansowe operacji transportowej,
 - analiza kosztów,
 - jakość procesu transportowego.

Większość metod wyznaczania etapów procesu zarządzania transportem różni się między sobą, z wyjątkiem jednego elementu, który często się powtarza i jest nim planowanie. To zjawisko jest zrozumiałe, ponieważ wyniki planowania wpływają na decyzje dotyczące

¹⁶ Rokicki T.: The organisation of transport in the agribusiness sector in the research of the faculty of economic sciences of WULS-SGGW in the 21st century. *Economic Sciences for Agribusiness and Rural Economy*, 2, 347-352, 2018.

¹⁷ Budzik A., Budzik T.: Management of animal transport with special attention to animal welfare. *Humanitas University's Research Papers Management*, 3, 147-163, 2019.

¹⁸ Topolska K.: Model systemu telematycznego w zarządzaniu transportem wewnętrznym przedsiębiorstwa. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 19(6), 964-967, 2018.

¹⁹ Nedeliaková E., Stasiak-Betlejewska R.: Transport management in Polish cities in the context of the European sustainable transport concept. *Transportation Research Procedia*, 40, 1150-1157, 2019.

²⁰ Kaup M., Chmielewska-Przybysz M.: Rola i znaczenie technologii informatycznych w organizacji i zarządzaniu transportem. *Logistyka*, 6, 846-856, 2012.

²¹ Wróbel M., Wojda P.: Możliwości optymalizacji procesu transportowego z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. *Journal of TransLogistics*, 4(1), 197-204, 2018.

celów, polityk, strategii i konkretnych planów, które następnie są wdrożone w rzeczywistej działalności biznesowej²².

Planowanie może być rozumiane jako ogólny termin, który obejmuje różnorodne metody, zastosowane w różnych sytuacjach i dziedzinach związanych z teoriami planowania²³. W kontekście procesu planowania w transporcie, inicjowanie tego procesu zaczyna się dopiero od momentu zrozumienia kontekstów społeczno-demograficznych, zagospodarowania terenów oraz otoczenia gospodarczego, w ramach którego funkcjonuje zarządzanie transportem²⁴. Proces planowania transportu to etap, w ramach którego przewoźnicy dokonują kluczowych decyzji dotyczących tego, jakie elementy zostaną przetransportowane, za pomocą jakiego środka transportu oraz w jakim harmonogramie odbędzie się ich realizacja. Trudność sprawia precyzyjne wyselekcjonowanie optymalnych opcji spośród licznych dostępnych alternatyw, mając na celu osiągnięcie najwyższej efektywności dostaw przy jednoczesnym minimalizowaniu kosztów operacyjnych dla danego przedsiębiorstwa²⁵. Efektywne planowanie transportu to klucz dla firm transportowych, pozwala na prognozowanie korzyści finansowych i wspiera długoterminowy rozwój. Zaspokajanie rosnącego zapotrzebowania klientów na usługi transportowe jest kluczowe dla generowania zysków. Skrupulatne planowanie i efektywna organizacja procesów przewozowych przyczyniają się do zwiększenia korzyści finansowych przedsiębiorstwa²⁶. Planowanie procesów transportu w przedsiębiorstwie jest związane z różnymi aspektami transportu oraz elementami przedsiębiorstwa. Proces transportu obejmuje dostarczanie towarów z punktu wysyłki do miejsca przeznaczenia określonego przez klienta i składa się z kilku etapów. Aby zapewnić terminową dostawę zgodnie z oczekiwaniami klienta, wszystkie działania związane z transportem muszą być starannie zaplanowane. Aby skutecznie zaplanować proces transportu, należy uwzględnić następujące aspekty²⁷:

- optymalizacja tras dla skrócenia czasu trwania procesu transportu. W razie potrzeby należy również uwzględnić ciągłość i elastyczność transportu lub produktów,
- wybór najlepszej trasy i pojazdu zgodnie z wymaganiami klienta, unikając pustych przebiegów, co przyczynia się do ograniczenia kosztów transportu.

Dodatkowo, planowanie usprawnia proces podejmowania decyzji, umożliwiając identyfikację różnorodnych opcji dotyczących przyszłych działań i selekcję tych, które są korzystne i optymalne²⁸.

²² Dimić S., Pamucar D., Ljubojević S., Dorović B.: Strategic Transport Management Models—The Case Study of an Oil Industry. *Sustainability*, 8(9), 954, 2016.

²³ Russo F., Rindone C.: Logical framework approach in transportation planning: the passenger services in the Messina Strait. *Transportation Research Procedia*, 69, 855-862, 2022.

²⁴ Meyer D.M.: *Transportation planning handbook*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2016.

²⁵ Trimble. *Transport & Logistics*. <https://www.trimbletl.com/pl/slowniczek/planowanie-transportu/>, dostęp w dniu 20.05.2023.

²⁶ Wojtynek L., Kulińska E., Masłowski D., Dendera-Gruszka M., Juranek K.: Planowanie organizowanie i koordynowanie transportu ponadgabarytowego w przedsiębiorstwie. *Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją*, Opole, 108-117, 2017.

²⁷ Stajniak M.: *Transport management in enterprises*. *Logistics Management – Modern Development Trends*, 4, 57-72, 2016.

²⁸ Stadler, H., Kilger, C., Meyr, H.: *Supply chain management and advance planning: Concepts, Models, Software and Case Studies*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2015.

W kontekście ogólnym planowania transportu można wyróżnić dwa główne procesy, generujące różne produkty. Pierwszy z nich to proces związany z przyjęciem jednolitego planu produktu transportowego natomiast drugi dotyczy postępu między różnymi etapami planowania z których każdy jest zdefiniowany przez konkretne plany produktowe²⁹. Należy zaplanować działania tak, aby proces, od momentu wypłynięcia zlecenia transportowego, aż do jego końcowej realizacji był płynny i przebiegał bez opóźnień³⁰. Co za tym idzie osoby odpowiedzialne za zarządzanie transportem powinny zawsze wybierać jak najbardziej korzystne rozwiązania dla danego przedsiębiorstwa co łączy się z tym, że osoby pracujące w tym sektorze logistyki powinny mieć ogromną wiedzę w powyższym zakresie a także z innych zbliżonych dziedzin. Dodając do tego odpowiedzialność za sposób w jaki procesy transportowe są organizowane w przedsiębiorstwie ponieważ ma to bezpośredni wpływ na przyszłe partnerstwa^{31,32}.

Systemy telematyczne poprawiają bezpieczeństwo transportu, koncentrując się na infrastrukturze i pojazdach, które za pomocą inteligentnych systemów transportowych, wpływają na zachowanie uczestników ruchu. Ich głównym celem jest nadawanie infrastrukturze transportowej parametrów, które współpracując z zaawansowanymi technicznie środkami transportu, kształtują odpowiednie zachowanie uczestników ruchu, wspierając ich i umożliwiając podejmowanie właściwych decyzji³³.

Informatyczne systemy zarządzania w transporcie

Rozwój sieci światłowodowej i bezprzewodowej korzystnie wpłynął na wzrost prędkości transmisji, co z kolei zatarło granice między tradycyjnymi a internetowymi usługami. Usługi te, stając się globalne, zaczęły charakteryzować się większą dostępnością. Wykorzystanie sieci światłowodowych i IP przyczyniło się do standaryzacji technologicznych rozwiązań, prowadząc do podziału rynku na obszar transportu i usług³⁴.

Mówiąc o sieciach światłowodowych i bezprzewodowych, nie sposób pominąć termin Internet rzeczy IoT (Internet of Things), który został wprowadzony przez Kevina Ashtona w 1999 roku. IoT opisuje sytuację, gdzie przedmioty i zjawiska komunikują się ze sobą, tworząc globalną sieć w czasie rzeczywistym. Od około 2009 roku kiedy liczba urządzeń podłączonych do globalnej sieci przewyższyła liczbę ludzi na Ziemi, termin IoT nabrał

²⁹ Russo F., Rindone C.: Logical framework approach in transportation planning: the passenger services in the Messina Strait. *Transportation Research Procedia*, 69, 855-862, 2022.

³⁰ Wojtynek L., Kulińska E., Masłowski D., Dendera M., Juranek K.: Planowanie organizowanie i koordynowanie transportu ponadgabarytowego w przedsiębiorstwie. *Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją*, Opole, 108-117, 2017.

³¹ Muras K.: Zarządzanie transportem samochodowym towarów na przykładzie firmy Röhlig Suus Logistics. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Służby Pożarniczej*, 77(1), 73-93, 2021.

³² Stajniak M., Koliński A.: The impact of transport processes standardization on supply chain efficiency. *LogForum*, 12(1), 37-49, 2016.

³³ Kopczewski R., Nowacki G.: Wykorzystanie inteligentnych systemów transportowych do monitorowania pojazdów przewożących towary niebezpieczne. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 20(10-11), 64-74, 2019.

³⁴ Kruk S., Pasek M., Broda M.: Rola Internetu w usługach logistycznych. W: *Przedsiębiorczość i zarządzanie*. Brzozowska M., Janczewska D., Kolasińska-Morawska K. (red.), Wydawnictwo Społecznej Akademii Nauk, Łódź, 21(3), 49-56, 2019.

większego znaczenia³⁵. Internet rzeczy to zaawansowana technologia integrująca informacje i technologie komunikacyjne, rozwiązująca różnorodne problemy inżynierskie. Obejmuje szerokie spektrum czujników, od nano do mikro, zbierających dane, które są przesyłane do chmury za pośrednictwem technologii bezprzewodowych. Dzięki temu użytkownik może analizować różne parametry i ich wzajemne oddziaływanie, umożliwiając podejmowanie decyzji w celu zoptymalizowania działania systemu. Kumar i Dash³⁶ podają także, że funkcje IoT w transporcie to:

- usługi P2P (Peer to Peer – Każdy z Każdym),
- system opłat drogowych i rezerwacji biletów,
- śledzenie nawigacji i mapowanie GIS,
- inteligentne aplikacje w pojazdach,
- rozrywka dla pasażerów,
- rozwiązania do zarządzania łańcuchem dostaw,
- aplikacje handlowe,
- rozwiązania inwentaryzacyjne,
- systemy sterowania i naprowadzania,
- aplikacje logistyczne,
- rozwiązania z zakresu telematyki i zarządzania flotą,
- bezpieczeństwo i nadzór.

Optymalne wykorzystanie systemów satelitarnych i sieci bezprzewodowych wymaga specjalistycznego oprogramowania. Aktualnie jest wiele platform internetowych, które są oferowane przez firmy zewnętrzne lub tworzone przez przedsiębiorstwa transportowo-spedycyjne, z każdym dostawcą starającym się wyróżnić unikalne cechy swojej platformy^{35,37}.

W ciągu ostatnich kilkunastu lat świat dynamicznie zmierza ku pełnej informatyzacji. Systemy informatyczne oferują przedsiębiorstwom szerokie możliwości rozwoju i zwiększania zysku, co ma zastosowanie także w obszarze transportu³⁸. W przedsiębiorstwach transportowych powszechnie stosuje się systemy klasy ERP (Enterprise Resource Planning – Planowanie Zasobów Przedsiębiorstwa) z modułami transportowymi, które usprawniają zarządzanie oraz dedykowane systemy dostosowane do specyfiki branży transportowej³⁹.

System ERP to połączenie nowoczesnych, zaawansowanych technologii informatycznych i koncepcji systematycznego zarządzania opartych na koncepcjach zarządzania

³⁵ Janiak R., Motykiewicz M., Prosół H., Lehnhardt E.: Nowoczesne systemy wspomagania procesów transportu i spedycji w międzynarodowych łańcuchach dostaw. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, 6(7), 105-116, 2017.

³⁶ Kumar M. N., Dash A.: Internet of Things: An opportunity for transportation and logistics. *Proceeding of the International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI 2017)*, 23rd to, 194-197, 2017.

³⁷ Gołąb-Kobylińska I., Sztangret I.: Standaryzacja zakresu danych osobowych w zastosowaniach telematyki w transporcie jako metoda ochrony przed skutkami ryzyka naruszeń RODO. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, 19(3), 403-420, 2018.

³⁸ Michalska J., Kubiczek A.: Zintegrowane systemy zarządzania transportem drogowym na podstawie firmy Piomar. *Journal of TransLogistics*, 3(2), 83-93, 2017.

³⁹ Borowiak J., Jaśkiewicz K., Wąsowicz A.: Informatyka w zarządzaniu przedsiębiorstwem transportowym. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 19 (6), 1021-1025, 2018.

zorientowanych na łańcuchach dostaw (integrowanie odpowiednich części i ich różnych powiązań w swoje operacje). ERP to kompletny system, który może gromadzić wszystkie wewnętrzne zasoby organizacji oraz realizować efektywne planowanie i kontrolę w celu osiągnięcia maksymalnych korzyści. Jego celem jest poprawa informacji, logistyki, przepływu kapitału, przepływu wartości i przepływu biznesu poprzez wykorzystanie programowania i kontroli jako punktu odniesienia oraz wykorzystanie sieci i technologii informatycznych jako platformy do integracji marketingu, sprzedaży i klientów oraz poprawy zadowolenia klientów⁴⁰. ERP to zestaw oprogramowania, który składa się z różnych modułów, rozwiniętych głównie z klasycznego systemu planowania zasobów przedsiębiorstwa. Głównym celem ERP jest harmonizacja kluczowych procesów organizacyjnych, takich jak zamawianie, produkcja, zakupy, zobowiązania, płace i zarządzanie zasobami ludzkimi. Technologia planowania zasobów przedsiębiorstwa stanowi zintegrowane narzędzie informatyczne, wykorzystywane przez najważniejsze przedsiębiorstwa na świecie w celu usprawnienia swojej efektywności. W ten sposób ERP pełni rolę zarówno systemu planowania, jak i systemu informacyjnego⁴¹.

Systemy ERP są bardzo elastyczne i konfigurowalne, co pozwala na łatwą adaptację specyficzne wymagania różnych organizacji, ponieważ są to funkcjonalności biznesowe zaprojektowane jako niezależne komponenty, które mogą funkcjonować oddzielnie. System pozwala na zdefiniowanie dostępu użytkowników dla poszczególnych pracowników tylko do zasobów, które są powiązane z obowiązkami służbowymi^{42,43}.

Oprogramowanie klasy TMS (Transportation Management System – System Zarządzania Transportem) pomaga w sprawnym podejmowaniu decyzji planistycznych na poziomie operacyjnym, służąc jako codzienne wsparcie dla pracowników, którzy zajmują się planowaniem tras, monitoringiem ich realizacji oraz rozliczaniem zrealizowanych przewozów. Dodatkowo wyniki opracowane przez te systemy stanowią materiał porównawczy do podejmowania decyzji przez menedżerów na poziomie taktycznym, a nawet strategicznym w kontekście ustalania warunków współpracy z potencjalnymi i obecnymi klientami⁴⁴. System TMS to system ułatwiający interakcję w obszarze transportu, monitorujący, koordynujący i terminowo realizujący zlecenia oraz kompleksowo zarządzający przewozem towarów. Dzięki usprawnionemu śledzeniu i komunikacji, użytkownicy korzystają z danych w czasie rzeczywistym, podejmują precyzyjne decyzje i planują optymalne strategie transportowe^{45,46}.

⁴⁰ Qingping L., Guoqiang W.: ERP system in the logistics information management system of supply chain enterprises. *Mobile Information Systems*, 1, 1-11, 2021.

⁴¹ Fauzi H.F.: Impact of enterprise resource planning systems on management control systems and firm performance. *Uncertain Supply Chain Management*, 9(3), 745-754, 2021.

⁴² Brząkała M.: Zarządzanie logistyczną obsługą klienta w kontekście zastosowania systemów informatycznych – ERP, CRM oraz ECR. *Academy of Management*, 7(3), 273-292, 2023.

⁴³ Woźniakowski T., Jałowiecki P., Zmarzłowski K., Nowakowska M.: ERP systems and warehouse management by WMS. *Information Systems in Management*, 7(2), 141-151, 2018.

⁴⁴ Kalbarczyk-Guzek E., Józwiak A.: Decyzje taktyczne firm w zakresie ustalania warunków dystrybucji towarów. *Systemy Logistyczne Wojsk*, 49(2), 112-123, 2018.

⁴⁵ Sattayathamrongthian M., Vanpetch Y.: Business's transportation management system technology adoption in Nakhon Pathom. *Transportation Research Procedia*, 63, 2449-2457, 2022.

Dobrze zdefiniowany i skonfigurowany system TMS współpracujący z urządzeniami IoT, które potocznie nazywamy „Inteligentnym TMS”, stanowi kluczowy element podnoszący jakość podejmowania decyzji przez zarządzanie oraz sprawia, że SCM (Supply Chain Management – Zarządzanie Łańcuchem Dostaw) staje się coraz bardziej elastyczny i efektywny w bardzo bliskiej przyszłości, prowadząc do pełnej operacji Logistyki 4.0⁴⁷.

Na rynku jest jeszcze wiele systemów zarządzania które w mniejszym lub większym stopniu różnią się od siebie. Przykładowo można wymienić takie oprogramowania jak: PSITms, WinSped, Qguar TMS, InterLAN SPEED^{48,49,50,51,52,53,54,55}.

Wyniki

Badane przedsiębiorstwa w województwie małopolskim są firmami z dłuższym doświadczeniem rynkowym, ponieważ aż 40,0% z nich prowadzi działalność ponad 10 lat (rys. 1). 26,7% przedsiębiorstw jest na rynku od 3-5 lat, a 20,0% działa od 5-10 lat. Tylko 8,3% przedsiębiorstw funkcjonuje 1-3 lata a 5,0% mniej niż rok.

⁴⁶ Nerć-Pelka A.: Współczesne wyzwania logistyczne wobec zarządzania transportem. Zeszyty Naukowe. Problemy Transportu i Logistyki/Uniwersytet Szczeciński, 739(17), 151-160, 2012.

⁴⁷ Barreto L., Amaral A., Pereira T.: Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturin*, 13, 1245-1252, 2017.

⁴⁸ Borowiak J., Jaśkiewicz K., Wąsowicz A.: Informatyka w zarządzaniu przedsiębiorstwem transportowym. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 19(6), 1021-1025, 2018.

⁴⁹ PSI. Zarządzanie transportem (TMS). <https://www.psi.pl/pl/nasza-oferta/logistyka/zarządzanie-transportem-tms/>, dostęp w dniu 30.12.2023

⁵⁰ LIS Polska. TMS WinSped®. Oprogramowanie do zarządzania transportem. <https://www.lis.eu/pl/software/winsped/>, dostęp w dniu 30.12.2023.

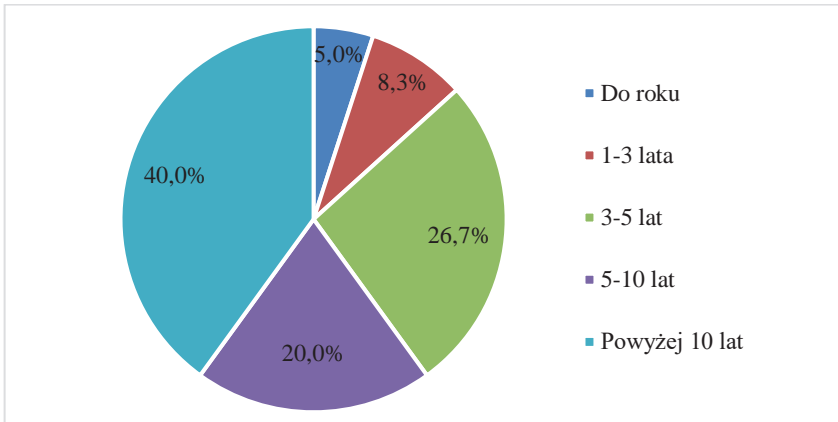
⁵¹ Strulak-Wójcikiewicz R.: Analysis of computer-aided tools for the freight transport options on selected examples. *Procedia Computer Science*, 225, 4588-4597, 2023.

⁵² Quantum. System TMS Qguar. <https://quantum-software.com/system-tms-qguar/>, dostęp w dniu 30.12.2023.

⁵³ Kulińska E., Rut J.: System interLAN SPEED jako narzędzie usprawniające funkcjonowanie przedsiębiorstw transportowych. *Logistyka*, 4(2), 2059-2068, 2014.

⁵⁴ Łatuszyńska M., Strulak-Wójcikiewicz R.: Komputerowe wspomaganie wyboru środka transportu i trasy w przewozie ładunków. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Studia Informatica*, 27, 21-32, 2011.

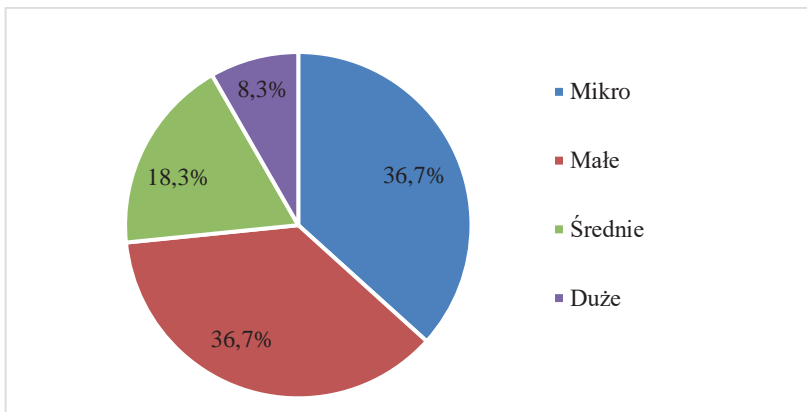
⁵⁵ interLAN. System TMS interLAN SPEED. <https://www.interlan.pl/>, dostęp w dniu 30.12.2023



Rysunek 1. Struktura długości prowadzenia działalności przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie małopolskim

Źródło: Opracowanie własne

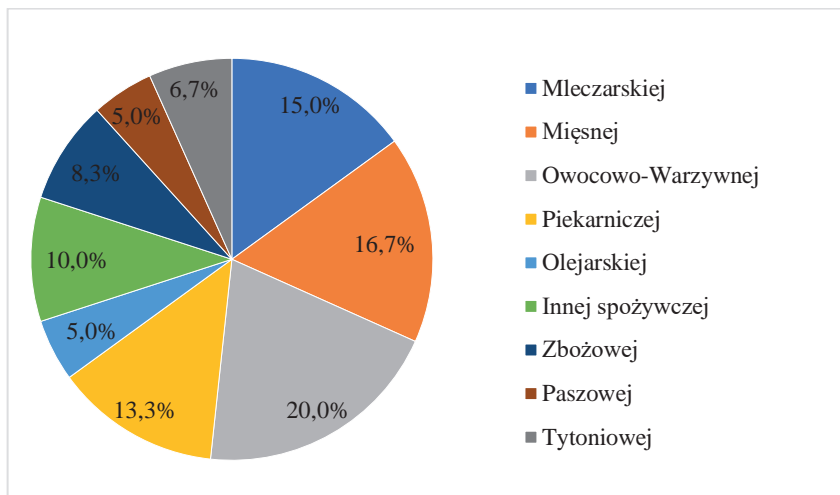
Zdecydowana większość ankietowanych przedsiębiorstw – po 36,7% (rys. 2) to firmy mikro (zatrudniające od 1-9 osób) i małe (zatrudniające 10 do 49 osób). Natomiast najmniej, gdyż jedynie 8,3%, było dużych przedsiębiorstw, które zatrudniają powyżej 249 osób.



Rysunek 1. Struktura wielkościowa ankietowanych przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie małopolskim

Źródło: Opracowanie własne

Spośród badanych przedsiębiorstw największą ilość stanowiły firmy z branży owocowo-warzywnej – 20,0%, mięsnej – 16,7% i mleczarskiej – 15,0% (rys. 3). Natomiast najmniej przedsiębiorstw prowadziło działalność w branży olejarskiej i paszowej - po 5,0% i tytoniowej 6,7%.



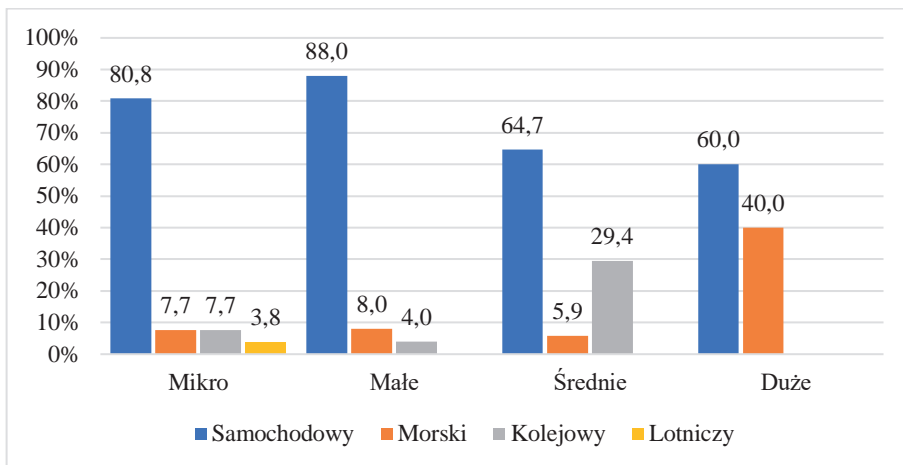
Rysunek 3. Struktura branżowa ankietowanych przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie małopolskim

Źródło: Opracowanie własne

Wszystkie badane przedsiębiorstwa, niezależnie od wielkości, najczęściej wykorzystują transport samochodowy. Natomiast wraz z wielkością przedsiębiorstwa spada jego udział. Jak wskazują Baran i in.⁵⁶, istnieje kilka przyczyn tego zjawiska. Udział transportu samochodowego dla badanych mikro przedsiębiorstw to 80,8%, dla małych 88,0%, w średnich przedsiębiorstwach 64,7%, oraz dużych 60,0%. Duże przedsiębiorstwa wykorzystują również transport morski (40,0%). Średnie przedsiębiorstwa wykorzystują także w znacznej mierze (29,4%) transport kolejowy. Mikro przedsiębiorstwa wykorzystują również transport lotniczy i stanowi on 3,8% (rys. 4).

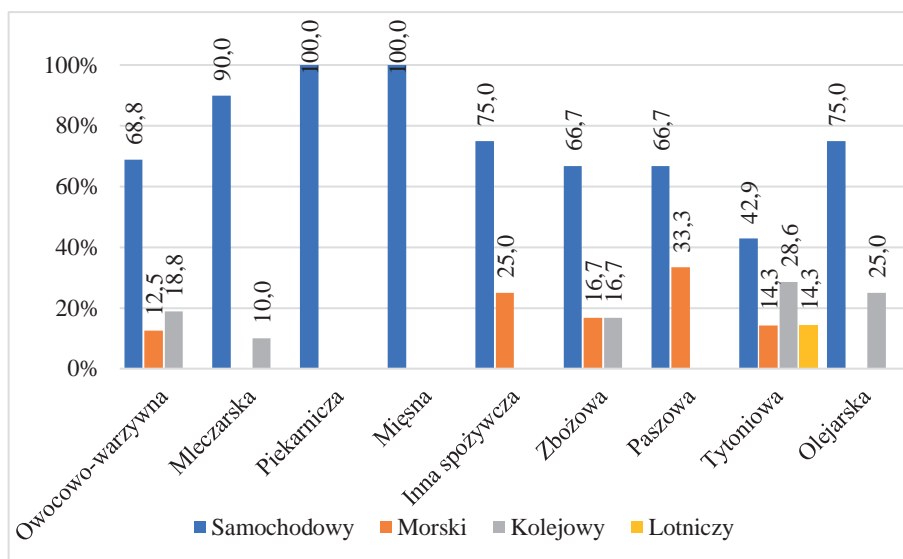
Przedsiębiorstwa w branży piekarniczej oraz mięsnej używają tylko transportu samochodowego (rys. 5). Przedsiębiorstwa inne spożywcze oraz paszowe używają transportu samochodowego oraz transportu morskiego, gdzie dla innych spożywczych to 25,0%, a paszowych 33,3%. Firmy branży zbożowej oraz owocowo-warzywnej korzystają z trzech gałęzi transportu: samochodowego, morskiego i kolejowego. Dla przedsiębiorstw owocowo-warzywnych transport morski wynosi 12,5%, a kolejowy 18,8%, natomiast dla zbożowych transport morski oraz kolejowy wynosi po 16,7%. Przedsiębiorstwa branży mleczarskiej oraz olejarskiej natomiast używają transportu samochodowego oraz kolejowego, gdzie dla mleczarskiej transport kolejowy wynosi 10,0%, a olejarskiej 25,0%. Wszystkie typy transportu występują w branży tytoniowej, dla której transport samochodowy wynosi 42,9%, transport morski 14,3%, transport kolejowy 28,6%, oraz transport lotniczy 14,3%.

⁵⁶ Baran J., Wicki L., Jałowiecki P.: Systemy logistyczne w funkcjonowaniu przedsiębiorstw przetwórstwa rolno spożywczego. Raport z 1 etapu badań. Wydział Nauk Ekonomicznych. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Warszawa, 2011.



Rysunek 4. Wykorzystywane gałęzie transportu a wielkość przedsiębiorstwa

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 5. Wykorzystywane gałęzie transportu a branża przetwórstwa

Źródło: Opracowanie własne

Wyodrębniony dział zajmujący się transportem to efektywna i sprawna organizacja procesów przewozowych przyczyniająca się do zwiększenia korzyści finansowych przedsiębiorstwa. Wśród badanych przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie małopolskim 55% wskazało, że posiada odrębny dział zajmujący się transportem. Widoczna jest zależność, że wraz ze wzrostem przedsiębiorstwa zwiększa się ilość posiadania odrębnego działu zajmującego się transportem (tab. 1). Wśród przedsiębiorstw mikro aż 77,3% nie posiadało tego odrębnego działu, a małych 45,5%. Natomiast każde z badanych średnich i dużych przedsiębiorstw posiadało odrębny dział zajmujący się transportem. Podobną zależność wykazał w swoich badaniach Rokicki⁵⁷ oraz Kuźniar i in.⁵⁸

Odpowiedzi respondentów z woj. małopolskiego wykazały, że występuje zależność pomiędzy prowadzeniem oddzielnej ewidencji kosztów transportu, a wielkością przedsiębiorstwa. Wraz ze wzrostem liczby zatrudnionych pracowników częściej sporządzana jest w niej oddzielna ewidencja. Tylko 18,2% przedsiębiorstw mikro prowadziło taką ewidencję, 72,7% małych, aż 90,9% dużych i 100% średnich (tab.1).

Tabela 1. Wybrane elementy zarządzania transportem (%) wg wielkości przedsiębiorstwa

Wyszczególnienie	Wielkość przedsiębiorstwa				Średnia
	Mikro	Małe	Średnie	Duże	
Oddzielny dział zajmujący się transportem	22,7	54,5	100	100	55
Oddzielna ewidencja kosztów transportu	18,2	72,7	100	90,9	58,3
Korzystanie z pojazdów specjalnych	36,4	59,1	81,8	60,0	55,0
Optymalizacja trasy przejazdów	40,9	72,7	81,8	40,0	60,0
Optymalizacja ładowności pojazdu	59,1	72,7	81,8	60,0	70,0
Wsparcie informatyczne transportu	31,8	50,0	63,6	80,0	48,3
Planowany zakup środków transportu	72,7	54,5	72,7	40,0	63,3
Planowany outsourcing transportu	27,3	45,5	27,3	60,0	36,7

Źródło: opracowanie własne

Ze względu na różnorodność produktów i warunków ich transportu w branży rolno-spożywczej często wymagane jest przestrzeganie specyficznych warunków, które muszą być spełnione, aby podczas transportu nie doszło do niekorzystnych zmian w transportowanych towarach, np. przez zmiany temperatury, poziomu wilgotności itp. Użycie wyspecjalizowanych środków transportu pozwala temu zapobiec.

Najczęściej w woj. małopolskim wyposażone w pojazdy specjalne były średnie przedsiębiorstwa (81,8%), natomiast najrzadziej występowały one w mikro podmiotach (36,4%), co przedstawiono w tabeli 1.

Transport można racjonalizować za pomocą doboru jak najbardziej korzystnej trasy przejazdów oraz pełnego wykorzystywania ich ładowności, co wpływa na wolniejsze tempo eksploatacji pojazdów, koszty paliw oraz minimalizuje szkody ekologiczne.

⁵⁷ Rokicki T.: Organizacja transportu w przedsiębiorstwach agrobiznesu. Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej. T.2, Feliks J., Karkula M. (red.), Wydawnictwa AGH, Kraków, 309-322, 2013.

⁵⁸ Kuźniar P., Piątek P., Gorzelany J., Matłok N., Zardzewiały M.: Wybrane aspekty zarządzania transportem w przedsiębiorstwach przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie podkarpackim. W: Uwarunkowania produkcji żywności. Cz.3, Grażyna G., Puchalski Cz. (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, 81-95, 2022.

Racjonalizacja transportu w badanych podmiotach pod względem ładowności części jest stosowana niż racjonalizacja pod względem tras przejazdu jedynie w przedsiębiorstwach mikro (o 18,2%) i dużych (o 40,0%). Małe i średnie przedsiębiorstwa nie różnią się między sobą ze względu na sposób racjonalizacji transportu i czynią to z dużym wykorzystaniem – ponad 70% (tab. 1).

Wdrożenie rozwiązań informatycznych do funkcjonowania transportu może pozwolić nie tylko usprawnić procesy transportowe, lecz również zredukować koszty. Wspomaganie informatyczne transportu wykorzystywane jest we wszystkich badanych przedsiębiorstwach z tym że w najmniejszym stopniu w mikro (31,8%) z rosnącą wartością w miarę wzrostu skali działania, osiągając 80% w dużych podmiotach (tab. 1). Z badań w woj. podkarpackim wynika że transport wspierany informatycznie występował tylko w 8% mikroprzedsiębiorstw, w połowie dużych i małych oraz 88% średnich firm⁵⁹.

W woj. małopolskim, w planach mikroprzedsiębiorstwa deklarowały chęć zakupu środków transportu w 72,7%, natomiast dla dużych podmiotów to outsourcing transportu przeważał i wynosił 60%. Przedsiębiorstwa małe, w porównaniu do mikro, zmniejszyły swoje zamierzenia co do zakupu środków transportu (54,5%), a w średnich następuje wzrost chęci zakupu środków transportu do poziomu mikroprzedsiębiorstw (tab.1). Z badań Kuźniara i in.⁶⁰, wynika że w miarę wzrostu rozmiarów działalności maleje zainteresowanie zakupem środków transportowych, a rośnie planowany outsourcing transportu.

Oddzielny dział zajmujący się transportem występował we wszystkich zakładach branży olejarskiej i znacznej części branży mleczarskiej (88,9%). Przedsiębiorstwa branży mięsnej posiadały odrębne działy transportu w 70,0%, a paszowe w 66,7%. Tylko co czwarty zakład branży tytoniowej i piekarniczej posiadał taki dział, a także warto wspomnieć o przedsiębiorstwach owocowo-warzywnych, gdzie aż połowa nie posiadała odrębnego działu transportu. Podobną tendencję wskazał Rokicki⁶¹, zaznaczając, że przedsiębiorstwa branży mleczarskiej posiadały najwięcej oddzielnych działów transportu, natomiast najmniej piekarniczej. Natomiast w badaniach Kuźniara i in.⁶² przeprowadzonych w woj. podkarpackim oddzielny dział zajmujący się sprawami transportu występował tylko w połowie przedsiębiorstw o działalności mięsnej, w pozostałych branżach wyodrębniony był znacznie rzadziej, w tym najbardziej sporadycznie w branży zbożowej (17%).

Oddzielna ewidencja kosztów transportu, która pozwala na analizę, a następnie optymalizację kosztów i jest prowadzona we wszystkich przedsiębiorstwach branży olejarskiej oraz w 77,8% przedsiębiorstw branży mleczarskiej, większości przedsiębiorstw o profilu działalności mięsnym, piekarniczym i owocowo-warzywnym. Tylko co piąty zakład przetwórstwa zbóż i co czwarty branży tytoniowej korzysta z takiej metody kontroli kosztów (tab. 2).

⁵⁹ Kuźniar P., Piątek P., Gorzelany J., Matłok N., Zardzewiały M.: Wybrane aspekty zarządzania transportem w przedsiębiorstwach przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie podkarpackim. W: Uwarunkowania produkcji żywności. Cz.3, Grażyna G., Puchalski Cz. (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, 81-95, 2022.

⁶⁰ Kuźniar i in. op.cit.

⁶¹ Rokicki T.: Transport policy at enterprises of the agribusiness sector. *Annals of The Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists*, 13(6), 211-216, 2011.

⁶² Kuźniar i in. op.cit.

Tabela 2. Wybrane elementy zarządzania transportem (%) wg branży przedsiębiorstwa

Wyszczególnienie	Branża przetwórstwa								
	Owocowo-warzywna	Mleczarska	Piekarnicza	Mięsna	Inna spożywcza	Zbożowa	Paszowa	Tytoniowa	Olejarska
Oddzielny dział zajmujący się transportem	50,0	88,9	25,0	70,0	33,3	40,0	66,7	25,0	100
Oddzielna ewidencja kosztów transportu	66,7	77,8	62,5	60,0	50,0	20,0	33,3	25,0	100
Korzystanie z pojazdów specjalnych	58,3	100	25,0	80,0	16,7	20,0	33,3	25,0	100
Optymalizacja trasy przejazdów	91,7	77,8	75,0	40,0	16,7	60,0	33,3	25,0	66,7
Optymalizacja ładowności pojazdu	91,7	77,8	62,5	60,0	66,7	60,0	-	75,0	100
Wsparcie informatyczne transportu	33,3	55,6	37,5	60,0	66,7	20,0	33,3	75,0	66,7
Planowany zakup środków transportu	75,0	66,7	62,5	60,0	66,7	80,0	66,7	75,0	66,7
Planowany outsourcing transportu	25,0	33,3	37,5	40,0	33,3	20,0	33,3	25,0	33,3

Źródło: opracowanie własne

Pojazdy specjalne występują we wszystkich przedsiębiorstwach mleczarskich i olejarskich oraz w 80% wyposażona jest w nie branża mięsna co jest spowodowane tym, że są w nich transportowane znacznie wrażliwsze produkty niż w pozostałych. Najbardziej pojazdy specjalne występowały w branży innej spożywczej (16,7%), i 20% w zbożowej (tab. 2). Podobne wyniki w swoich badaniach wykazał Rokicki⁶² oraz Kuźniar i in.⁶³

Uzyskane wyniki dla przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie małopolskim wskazują, że przedsiębiorstwa te częściej racjonalizowały transport pod względem ładowności środka transportu, w każdej branży ponad 60% wskazań, a w olejarskiej wszystkie podmioty. Jedynym wyjątkiem była branża paszowa, gdzie żaden podmiot nie optymalizował tras z wykorzystaniem ładowności pojazdu, natomiast 33,3% podmiotów uwzględniło optymalizację tras przejazdu Przedsiębiorstwa które racjonalizowały swój transport pod względem zarówno tras przejazdu jak i ładowności środka transportu, prowadziły swoją działalność w branży owocowo-warzywniej (91,7%), mleczarskiej z wynikiem 77,8%, oraz zbożowej z wynikiem 60,0% (tab. 2). W swoich badaniach Janczewski (2016) wskazał, że przedsiębiorstwa rolno-spożywcze najczęściej racjonalizowały oba rodzaje transportu. Natomiast w badaniach Kuźniara i in.⁶³ przedsiębiorstwa prowadzące swoją działalność w branży zbożowej w pełni zadeklarowały wykorzystywanie obu powyższych sposobów optymalizacji przejazdu, a z branży mleczarskiej najmniej zwracały uwagę na ten aspekt zarządzania firmą.

W woj. małopolskim przedsiębiorstwami najczęściej korzystającymi z informatycznego wspomaganie transportu są przedsiębiorstwa branży tytoniowej (75,0%), oraz olejarskiej, innej spożywczej i mięsnej z wartościami powyżej 60%. Ponad połowa (55,6%) przedsiębiorstw mleczarskich używa informatycznego wspomaganie transportu, a najrzadziej korzystają z niego firmy branży zbożowej, zaledwie 20% (tab. 2). W woj. podkarpackim wspomaganie informatyczne transportu wykorzystywane było we wszystkich przedsiębiorstwach mleczarskich, w połowie mięsnych, nieco ponad 40% firm z branży owocowo-warzywnej i piekarniczej oraz w 17% firm zajmujących się przetwórstwem zboża⁶³.

W planach dotyczących przyszłości w zakresie transportu w analizowanych branżach zdecydowanie dominował zakup środków transportu (tab. 2). Jedyne firmy prowadzące działalność paszową i inną spożywczą w 66,7% deklarowały korzystanie z transportu zewnętrznego.

Wnioski

1. Przedsiębiorstwa przetwórstwa rolno-spożywczego w woj. małopolskim są firmami z dłuższym doświadczeniem rynkowym, aż 40,0% z nich prowadzi działalność ponad 10 lat, a 46% funkcjonuje ponad 3 lata.
2. W strukturze wielkościowej ankietowanych przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie małopolskim dominują podmioty mikro i małe z udziałem po 36,7%. Natomiast w strukturze branżowej największy udział miała branża owocowo-warzywna (20%), mięsna (16,7%) i mleczarska (15%).
3. W badanych przedsiębiorstwach dominuje transport samochodowy po 100% w branży mięsnej i piekarniczej, natomiast w mikro przedsiębiorstwach i w branży tytoniowej wykorzystywany jest każdy rodzaj transportu.
4. 55% badanych przedsiębiorstw posiada odrębny dział zajmujący się transportem a 58% prowadzi oddzielną ewidencję kosztów transportu. Widoczna jest zależność, że im większy podmiot tym częściej posiada oddzielny dział i sporządzana jest oddzielna ewidencja kosztów. Jedyne w branży olejarskiej we wszystkich podmiotach był odrębny dział transportu i ewidencja kosztów.
5. Wykorzystanie pojazdów specjalnych dominowało w średnich podmiotach i w pełni wyposażone były w nie branża olejarska i mleczarska, a najrzadziej występowały w branży innej spożywczej (16,7%) i zbożowej (20,0%).
6. Przedsiębiorstwa częściej racjonalizowały transport pod względem ładowności środka transportu, w każdej branży ponad 60% wskazań, w olejarskiej wszystkie podmioty, a w paszowej żaden. Małe i średnie przedsiębiorstwa nie różnią się między sobą ze względu na sposób racjonalizacji transportu.
7. Ze wsparcia informatycznego korzystały najczęściej duże przedsiębiorstwa i działające w branży tytoniowej i innej spożywczej.
8. W planowaniu przyszłości w zakresie transportu duże firmy stawiają na outsourcing środków transportowych (60%), a mikro na zakup, natomiast plany outsourcingu miała większość firm z branży innej spożywczej i paszowej.

Bibliografia

- Baran J., Wicki L., Jałowiecki P.: Systemy logistyczne w funkcjonowaniu przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego. Raport z 1 etapu badań. Wydział Nauk Ekonomicznych. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Warszawa, 2011.
- Baran J.: Skala działania a rozwiązania w zakresie magazynowania i transportu w przedsiębiorstwach przetwórstwa mleka. *Logistyka*, 2, 343-352, 2012.
- Barreto L., Amaral A., Pereira T.: Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252, 2017.
- Borowiak J., Jaśkiewicz K., Wąsowicz A.: Informatyka w zarządzaniu przedsiębiorstwem transportowym. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 19 (6), 1021-1025, 2018.
- Brząkała M.: Zarządzanie logistyczną obsługą klienta w kontekście zastosowania systemów informatycznych – ERP, CRM oraz ECR. *Academy of Management*, 7(3), 273-292, 2023.
- Budzik A., Budzik T.: Management of animal transport with special attention to animal welfare. *Humanitas University's Research Papers Management*, 3, 147-163, 2019.
- Budzyńska K.: Outsourcing usług logistycznych w przemyśle spożywczym. *Logistyka*, 4, 871-877, 2012.
- Dimić S., Pamucar D., Ljubojević S., Dorović B.: Strategic Transport Management Models—The Case Study of an Oil Industry, Sustainability, 8(9), 954, 2016.
- Fauzi H.F.: Impact of enterprise resource planning systems on management control systems and firm performance. *Uncertain Supply Chain Management*, 9(3), 745-754, 2021.
- Firlej K.: Ocena konkurencyjności i szans rozwoju przedsiębiorstw przemysłu rolno-spożywczego w warunkach unijnych. *Roczniki Ekonomiczne Kujawsko-Pomorskiej Szkoły Wyższej w Bydgoszczy*, 3:163-175, 2010.
- Gołąb-Kobylińska I., Sztangret I.: Standaryzacja zakresu danych osobowych w zastosowaniach telematyki w transporcie jako metoda ochrony przed skutkami ryzyka naruszeń RODO. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, 19(3), 403-420, 2018..
- interLAN. System TMS interLAN SPEED. <https://www.interlan.pl/>, dostęp w dniu 30.12.2023.
- Janczewski J.: Logistyka w mikro i małym przedsiębiorstwie. W: *Zarządzanie innowacyjne w gospodarce i biznesie*. Ślusarczyk Z., Janczewski J. (red.), 1(22) 113-126, 2016.
- Janiak R., Motykiewicz M., Prośół H., Lehnhardt E.: Nowoczesne systemy wspomagania procesów transportu i spedycji w międzynarodowych łańcuchach dostaw. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, 6(7), 105-116, 2017.
- Kalbarczyk-Guzek E., Józwiak A.: Decyzje taktyczne firm w zakresie ustalania warunków dystrybucji towarów. *Systemy Logistyczne Wojsk*, 49(2), 112-123, 2018.
- Kaup M., Chmielewska-Przybysz M.: Rola i znaczenie technologii informatycznych w organizacji i zarządzaniu transportem. *Logistyka*, 6, 846-856, 2012.
- Klepacki B.: Specyfika agrologistyki i zaawansowanie przedsiębiorstw agrobiznesu w jej stosowaniu. *Problemy Drobnych Gospodarstw Rolnych*, 4, 39-49, 2018.
- Klepacki B.: Agrobiznes i agrologistyka - pojęcie i specyfika. *Journal of Modern Science*, 4(39), 103-118, 2018.
- Klepacki B., Rokicki T.: Stan i perspektywa rozwoju transportu w Polsce. *Logistyka*, 3, 1-10, 2010.
- Kopczewski R., Nowacki G.: Wykorzystanie inteligentnych systemów transportowych do monitorowania pojazdów przewożących towary niebezpieczne. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 20(10-11), 64-74, 2019.
- Kruk S., Pasek M., Broda M.: 2019. Rola Internetu w usługach logistycznych. W: *Przedsiębiorczość i zarządzanie*. Brzozowska M., Janczewska D., Kolasińska-Morawska K. (red.), Wydawnictwo Społecznej Akademii Nauk, Łódź, 21(3), 49-56, 2019.
- Kulińska E., Rut J.: System interLAN SPEED jako narzędzie usprawniające funkcjonowanie przedsiębiorstw transportowych. *Logistyka*, 4(2), 2059-2068, 2014.

- Kumar M. N., Dash A.: Internet of Things: An opportunity for transportation and logistics. *Proceeding of the International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI 2017)*, 23rd to, 194-197, 2017.
- Kuźniar P., Piątek P., Gorzelany J., Matłok N., Zardzewiały M.: Wybrane aspekty zarządzania transportem w przedsiębiorstwach przetwórstwa rolno-spożywczego w województwie podkarpackim. W: *Uwarunkowania produkcji żywności. Cz.3*, Grażyna G., Puchalski Cz. (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, 81-95, 2022.
- LIS Polska. TMS WinSped®. Oprogramowanie do zarządzania transportem. <https://www.lis.eu/pl/software/winsped/>, dostęp w dniu 30.12.2023.
- Łatuszyńska M., Strulak-Wójcikiewicz R.: Komputerowe wspomaganie wyboru środka transportu i trasy w przewozie ładunków. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Studia Informatica*, 27, 21-32, 2011.
- Majewska M.: Prawne aspekty polityki transportowej Unii Europejskiej. *Transport i jego znaczenie dla Unii Europejskiej*. Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok, 2016.
- Malesa A.: Kwestie optymalizacji decyzji w procesach transportowych doktryna a praktyka. W: *Transport i logistyka w przedsiębiorstwie, mieście i regionie. Wybrane zagadnienia*. Rogaczewski R., Zimniewicz S., Zimny A. (red.), Wydawnictwo Naukowe Sophia, Katowice, 2017.
- Mazurkiewicz G.: Wydawnictwo Społecznej Akademii Nauk, Łódź, 2022.
- Meyer D.M.: *Transportation planning handbook*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2016.
- Michalska J., Kubiczek A.: Zintegrowane systemy zarządzania transportem drogowym na podstawie firmy Piomar. *Journal of TransLogistics*, 3(2), 83-93, 2017.
- Muras K.: Zarządzanie transportem samochodowym towarów na przykładzie firmy Röhlig Suus Logistics. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Służby Pożarniczej*, 77(1), 73-93, 2021.
- Nedeliaková E., Stasiak-Betlejewska R.: Transport management in Polish cities in the context of the European sustainable transport concept. *Transportation Research Procedia*, 40, 1150-1157, 2019.
- Nerć-Pelka A.: Współczesne wyzwania logistyczne wobec zarządzania transportem. *Zeszyty Naukowe. Problemy Transportu i Logistyki/Uniwersytet Szczeciński*, 739(17), 151-160, 2012.
- Odzimek T.: Aspects of transport management with respect to the problems of logistics. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie*, 4, 107-123, 2011.
- PSI. Zarządzanie transportem (TMS). <https://www.psi.pl/pl/nasza-oferta/logistyka/zarządzanie-transportem-tms/>, dostęp w dniu 30.12.2023.
- Qingping L., Guoqiang W.: ERP system in the logistics information management system of supply chain enterprises. *Mobile Information Systems*, 1, 1-11, 2021.
- Quantum. System TMS Qguar. <https://quantum-software.com/system-tms-qguar/>, dostęp w dniu 30.12.2023.
- Rokicki T.: Rola i znaczenie portów morskich. *Logistyka*, 3, 1-11, 2010.
- Rokicki T.: Transport policy at enterprises of the agribusiness sector. *Annals of The Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists*, 13(6), 211-216, 2011.
- Rokicki T. Organizacja transportu w przedsiębiorstwach agrobiznesu. *Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej*. T.2, Feliks J., Karkula M. (red.), Wydawnictwa AGH, Kraków, 309-322, 2013.
- Rokicki T.: The organisation of transport in the agribusiness sector in the research of the faculty of economic sciences of WULS-SGGW in the 21st century. *Economic Sciences for Agribusiness and Rural Economy*, 2, 347-352, 2018.
- Russo F., Rindone C.: Logical framework approach in transportation planning: the passenger services in the Messina Strait. *Transportation Research Procedia*, 69, 855-862, 2022.
- Sattayathamrongthian M., Vanpetch Y.: Business's transportation management system technology adoption in Nakhon Pathom. *Transportation Research Procedia*, 63, 2449-2457, 2022.
- Sepioło J., Olszowy J., Kucwaj A.: Koncepcje zarządzania współczesnym przedsiębiorstwem – teoria i praktyka. W: *Współczesne wyzwania w naukach ekonomicznych, finansach i zarządzaniu*. Olszowy J., Sepioło J. (red.), Wydawnictwo Naukowe ArchaeGraph, Łódź, 31-42, 2022.

- Stadtler, H., Kilger, C., Meyr, H.: Supply chain management and advance planning: Concepts, Models, Software and Case Studies. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2015.
- Stajniak M.: Transport management in enterprises. Logistics Management – Modern Development Trends, 4, 57-72, 2016.
- Stajniak M., Koliński A.: The impact of transport processes standardization on supply chain efficiency. LogForum, 12(1), 37-49, 2016.
- Strulak-Wójcikiewicz R.: Analysis of computer-aided tools for the freight transport options on selected examples. Procedia Computer Science, 225, 4588-4597, 2023.
- Sukiennik K.: Koszty logistyki w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie, 4, 131-139, 2011.
- Topolska K.: Model systemu telematycznego w zarządzaniu transportem wewnętrznym przedsiębiorstwa. Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 19(6), 964-967, 2018.
- Trimble. Transport & Logistics. <https://www.trimbletl.com/pl/slowniczek/planowanie-transportu/>, dostęp w dniu 20.11.2023.
- Wojtynek L., Kulińska E., Masłowski D., Dendera-Gruszka M., Juranek K.: Planowanie organizowanie i koordynowanie transportu ponadgabarytowego w przedsiębiorstwie. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 108-117, 2017.
- Woźniakowski T., Jałowiecki P., Zmarzłowski K., Nowakowska M.: ERP systems and warehouse management by WMS. Information Systems in Management, 7(2), 141-151, 2018.
- Wróbel M., Wojda P.: Możliwości optymalizacji procesu transportowego z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Journal of TransLogistics, 4(1), 197-204, 2018

Adres do korespondencji: ggajdek@ur.edu.pl

ORCID Piotr Kuźniar, 0000-0002-6607-6636

ORCID Grażyna Gajdek 0000-0002-6565-1184

ORCID Józef Gorzelany 0000-0002-1028-097X

ORCID Miłosz Zardzewiały 0000-0002-8843-2814

EFEKTYWNOŚĆ PROCESÓW PRZEWOZOWYCH NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH KANAŁÓW TRANSPORTOWYCH

Katarzyna Kwaśniewska¹, Elżbieta Olech², Dariusz Kwaśniewski², Rafał Kornas²,
Maciej Kuboń^{2,3}

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

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

³ Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu

Wstęp

Głównym problemem podmiotów gospodarczych jest utrzymanie ich konkurencyjności w stosunku do innych uczestników rynku. Koncepcja zarządzania logistycznego coraz częściej uważana jest za narzędzie efektywności prowadzonych działań i zasadniczą strategię podmiotu gospodarczego. Nie ma możliwości prowadzenia działalności gospodarczej bez pomiaru jej efektywności.^{1,2} Efektywność procesów logistycznych jest bardzo istotnym aspektem w kontekście zarządzania w logistyce i łańcuchem dostaw, a co za tym idzie również procesów transportowych.³ Pomimo konieczności wykonywania kompleksowych analiz efektywności w praktyce gospodarczej, stopień ich wykorzystania jest nadal niezadowalający. Analiza efektywności procesów transportowych w aspekcie ekonomicznym powinna umożliwiać analizę wszystkich czynników wpływających na realizację procesu transportowego.⁴

¹ Dmuchowski R.: Sposoby oceny sprawności procesów logistycznych, KNUV, 4(62), 2019.

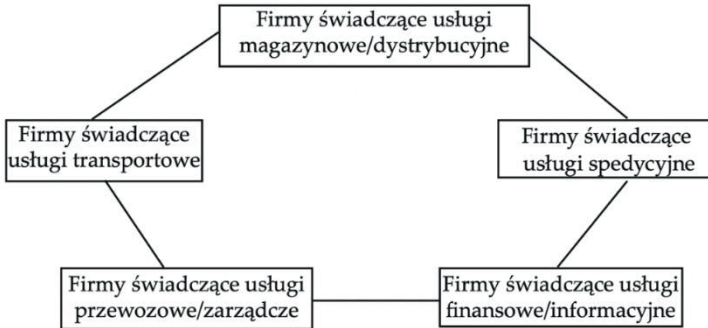
² Milewski D.: Poprawa wydajności procesów transportowych jako sposób na obniżenie kosztów zewnętrznych, Gospodarka materiałowa i logistyka, LXXII, 1, 2020.

³ Waściński T., Zieliński P.: Efektywność procesu transportowego, Systemy Logistyczne Wojsk, 42, 2015.

⁴ Stajniak M., Koliński A.: Analiza efektywności procesów transportowych w łańcuchu dostaw, Logistyka, 3, 2014.

Redukcja kosztów stanowi bardzo aktualny temat w kontekście krajowej i światowej gospodarki. Dotychczas minimalizacja kosztów koncentrowała się jedynie na redukcji kosztów procesów wytwórczych i świadczeniu usług na rzecz klientów.⁵

Równocześnie zaczęły powstawać przedsiębiorstwa outsourcingowe, które oferowały przejęcie obsługi tychże działań a firmy koncentrować się miały jedynie na kluczowych dla siebie działaniach. Przykładem takich zewnętrznych firm są np. przedsiębiorstwa świadczące specjalistyczne usługi transportowe.⁶



Rysunek 1. Rodzaje zewnętrznych usługodawców logistycznych

Źródło: Opracowanie własne na podstawie⁷

Transport jest jednym z kluczowych ogniw łańcucha dostaw. Jest on ściśle związany z wykorzystaniem określonych środków transportu, a także infrastruktury oraz z występowaniem podmiotów gospodarczych, które świadczą usługi transportowe uzyskując w wyniku takiej działalności korzyści finansowe. Transport jest związany ze świadczeniem usług opartych na dostarczaniu różnego rodzaju ładunków i usług dodatkowych bezpośrednio z tym związanych.⁸

Transport jest postrzegany jako proces produkcyjny, w którym kluczowym założeniem jest ograniczoność dostępnych zasobów. Z tego powodu pojawia się konieczność ich przemieszczania do różnych miejsc, aby zaspokoić bieżące potrzeby i pragnienia ludzi. Ta definicja jest uważana za nowoczesną, ponieważ integruje różne elementy, takie jak zasoby, ich

⁵ Vierth I., Sowa V, Cullinane K.: Evaluating the external costs of trailer transport: a comparison of sea and Road. Palgrave Macmillan; International Association of Maritime Economists (IAME), 21(1), 2018.

⁶ Brzozowska, M.: Wpływ rozwoju usług dodatkowych świadczonych przez operatorów logistycznych na wzrost konkurencyjności tych przedsiębiorstw. W: K. Kolańska-Morawska, (red.), Zarządzanie logistyczne (1-287). Łódź. Społeczna Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Zarządzania, 2010.

⁷ Leończuk D., Golubiewska W.: Kierunki rozwoju usługodawców logistycznych i ich wpływ na funkcjonowanie współczesnych łańcuchów dostaw, Akademia Zarządzania 5(3), 2021.

⁸ Krom, J., Puchacz, D., Wiśniewska, I.: Logistyka i transport. Przegląd Naukowo-Metodyczny. Edukacja dla Bezpieczeństwa, 10(34), 2017.

ograniczonosc oraz ludzki czynnik, czyli potrzeby i pragnienia, które są spełniane dzięki transportowi.⁹

Powyższe definicje dotyczące transportu kładą nacisk na różnego rodzaju aspekty. Pierwsze dwie skupiają się przede wszystkim na aspekcie zarobkowym, natomiast ostatnia na ograniczoności zasobów i zaspokojeniu potrzeb człowieka.

Względem transportu można dokonać wiele różnego rodzaju podziałów w zależności od przyjętego kryterium.¹⁰ Jedną z podstawowych klasyfikacji transportu, często spotykaną w literaturze, jest podział na układy. W ramach tej klasyfikacji wyróżnia się układ pionowy i poziomy. Na podstawie pierwszego z tych kryteriów można wyróżnić następujące rodzaje transportu:¹¹

- lądowy na który składają się transport samochodowy oraz kolejowy,
- wodny, który odbywa się przy wykorzystaniu statków, barek, tankowców czy promów,
- powietrzny, odbywający się przy użyciu samolotów.

Transport można również podzielić ze względu na drogę przewozu i środek służący do przemieszczania. Według Kautscha¹² jest to: kolejowy, samochodowy, lotniczy, rurociągowy, wodny oraz śródlądowy.

Według Janczewskiej¹³ wspomniany powyżej transport poziomy można podzielić również ze względu na: przewożony podmiot, długość trasy, terytorium, sposób organizowania oraz cechy środka służącego do przewozu.

Według Garnarcz¹⁴ transport pełni również pewne ściśle określone funkcje gospodarcze takie jak:

- jest on swoistym narzędziem wymiany dóbr i usług warunkującym handel między poszczególnymi ogniwami,
- ma on znaczący i pozytywny wpływ na PKB,
- transport jest czynnikiem miasto- a także regionotwórczym poprzez tworzenie nowych oraz rozwój już istniejących sieci transportowych.

Według danych EUROSTATU branża transportowa w Polsce zatrudniała 747 000 osób w 2022 roku.¹⁵

Wydajność transportu ma kolosalny wpływ na funkcjonowanie firm produkcyjnych a w efekcie na gospodarkę. Globalizacja, wzrost handlu międzynarodowego, ale też krajowego wpłynął nieodzownie na rozwój branży transportowej.

Transport ładunków może odbywać się za pomocą pojazdów silnikowych oraz bezsilnikowych. Pojazdy silnikowe ciężarowe o nadwoziu uniwersalnym przeznaczone są do

⁹ Siderska J.: Robotic Process Automation — a driver of digital transformation? *Engineering Management in Production and Services*, 12(2), 2020.

¹⁰ Urbanyi-Popiołek I.: *Ekonomiczne i organizacyjne aspekty transportu*. Bydgoszcz, Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Gospodarki w Bydgoszczy, 2013.

¹¹ Jaworska K., Nowacki G.: *Transport kolejowy w systemie logistycznym Polski*, TTS Technika Transportu Szynowego, 26, 4, 2019.

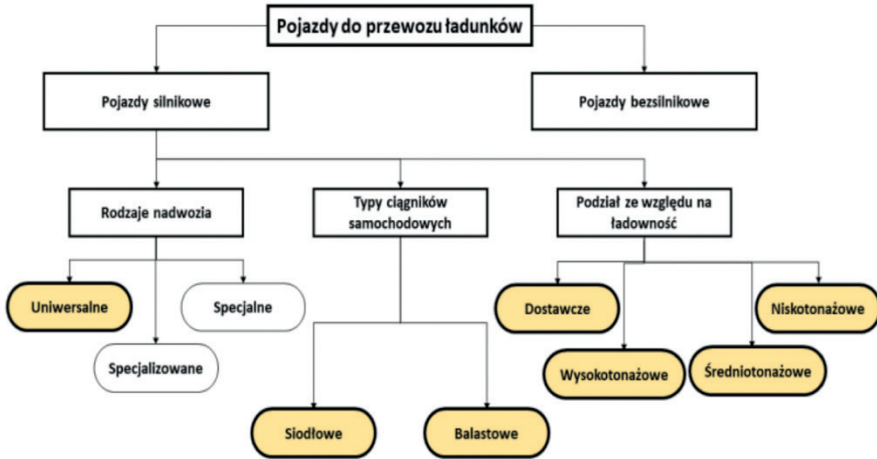
¹² Kautsh A.: *Organizacja transportu oraz obsługa klientów i kontrahentów*. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2018.

¹³ Janczewska D.: *Uwarunkowania usługi transportowej w łańcuchach dostaw*. Zarządzanie innowacyjne w gospodarce i biznesie, 1(24), 2017.

¹⁴ Garnarcz P.: *Sytuacja branży transportowej w Polsce*. *Journal of Trans Logistics*, 1(1), 2015.

¹⁵ Zając K. Eurostat podsumował transport drogowy. 2024.

większości ładunków, które nie wymuszają od przewoźnika specjalnych warunków transportu lub typu środka lokomocji dostosowanego do przewozu materiałów. Samochody ciężarowe dzielone są ze względu na różne typy nadwozi na przykład: skrzyniowe kryte plan-deką lub furgony, o nadwoziu specjalizowanym, z nadwoziem specjalnym (cysterna).¹⁶



Rysunek 2. Podział pojazdów do przewozu ładunków

Źródło: (Fajczak- Kowalska i Kacprzak, 2022)

Dokładne planowanie tras przewozowych poprzez poszukiwanie tych optymalnych pozwala na znaczne ograniczenie wydatków całkowitych. Innym bardzo ważnym aspektem jest terminowość dostawy. Dostarczenie towaru w określonym czasie jest kluczowe dla zachowania ciągłości dostaw i często priorytetowe dla klienta.¹⁷

Z transportem relatywnie mocno powiązana jest logistyka, w której odgrywa on kluczową rolę. Jej główne zadanie polega na odpowiednim planowaniu przepływu różnego rodzaju ładunków, takich jak surowce, półprodukty czy gotowe produkty, za pomocą różnych środków transportu.¹⁸

Logistyka to dziedzina zarządzania, która koncentruje się na planowaniu, organizowaniu, sterowaniu i kontrolowaniu procesów zapewniających sprawny, ekonomicznie efektywny i nieprzerwany przepływ materiałów, produktów oraz powiązanych z nimi informacji w całym łańcuchu dostaw. Jest to systemowe i zintegrowane podejście, mające na celu optymalizację zarządzania łańcuchem dostaw, zwiększenie efektywności, obniżenie kosztów oraz stałe doskonalenie jakości obsługi klienta.¹⁹

¹⁶ Fajczak-Kowalska A.; Kacprzak, Z.: System wyboru transportu drogowego. W: A. Fajczak-Kowalska, (red.), Problemy i wyzwania współczesnej logistyki. Poznań. Wydawnictwo Rys, 2022.

¹⁷ Wyszomirski O.: Transport miejski. Gdańsk, Uniwersytet Gdański, 2007.

¹⁸ Gołemska U. Logistyka w gospodarce światowej. Warszawa, C. H. Beck, 2009.

¹⁹ Mroczko F.: Logistyka. Wałbrzych. Wyższa Szkoła Zarządzania i Przedsiębiorczości z siedzibą w Wałbrzychu, 2016.

Procesy zarządzania usługami transportowymi tworzą system transportowo-logistyczny. Na efektywność zarządzania tymi procesami znacząco wpływa prognozowanie i planowanie zgodności przepływów ładunków oraz dystrybucja zasobów. W warunkach kształtowania się rynku usług transportowych na system transportowo-logistyczny wpływa wiele jego podmiotów i obiektów, niepewność popytu na usługi transportowe oraz subiektywne postrzeganie środowiska wewnętrznego. Wszystko to prowadzi do braku równowagi w rytmie świadczenia usług transportowych i w rezultacie wpływa na ich skuteczność. Zarządzanie procesami jakościowymi wymaga optymalizacji. Osiągnięcie pozytywnego wyniku optymalizacji jest możliwe poprzez ukształtowanie metod zarządzania transportem i logistyką usług transportowych.²⁰

Cel i zakres pracy oraz metodyka obliczeń

Celem pracy była ocena efektywności procesów transportowych realizowanych w wybranej firmie transportowej dysponującej flotą pojazdów do przewozu ładunków drobnicowych, masowych, oraz żywnościowych.

Zakresem pracy objęto wybrane procesy transportowe zrealizowane w roku 2023. Analizy dokonano dla najczęściej przewożonych grup ładunków, w różnych kanałach transportowych (kierunek zachodni, południowy oraz północno-wschodni). Odbiorcami tych ładunków były firmy w Hiszpani, Grecji, Estonii oraz Polski. Dla określenia efektywności procesów transportowych wykorzystano odpowiednie mierniki i wskaźniki logistyczne.

Badania opierały się na analizie wybranych zleceń transportowych w maju i czerwcu 2023 roku. Do realizacji głównych założeń wykorzystano dane dotyczące trzech rodzajów ładunków: mrożonki, materiały drobnicowe oraz materiały budowlane.

Zebrane informacje umożliwiły obliczenie efektywności procesów transportowych w wybranej firmie. Kluczowe dane, które umożliwiły realizację założeń były następujące:

- numery zleceń,
- miejsce załadunku oraz rozładunku,
- masa ładunku (t),
- ładowność środka transportowego (t),
- liczba kilometrów (km),
- liczba ładownych kilometrów powrotnych (km),
- fracht przewoźnika (EUR),
- czas załadunku (h),
- czas jazdy (h),
- czas rozładunku (h),
- postoje (h),
- rzeczywisty czas realizacji zlecenia (h),
- zakładany czas realizacji zlecenia (h).

²⁰ Sirina N.; Zubkov V. (2021). Transport Services Management on Transport and Logistic Methods. Transportation Research Procedia, 54

W celu określenia efektywności procesów transportowych, na podstawie literatury zostały wybrane następujące mierniki i wskaźniki logistyczne:²¹

1. Współczynnik wykorzystania czasu operacyjnego (-)

$$K_{02} = \frac{\text{czas jazdy pojazdu (h)}}{\text{czas jazdy} + \text{czas załadunku} + \text{czas rozładunku}}$$

2. Współczynnik wykorzystania czasu roboczego (-)

$$K_{04} = \frac{\text{czas jazdy pojazdu (h)}}{\text{czas operacyjny} + \text{czas obsługi technicznej} + \text{czas usuwania usterek}}$$

3. Współczynnik wykorzystania czasu eksploatacyjnego (-)

$$K_{07} = \frac{\text{czas jazdy pojazdu (h)}}{\text{ogólny czas pracy}}$$

4. Praca przewozowa (tkm)

$$P_p = \text{masa przewiezonego ładunku (t)} * \text{długość drogi (km)}$$

5. Koszt transportu na tonę (EUR·t⁻¹)

$$K_{tt} = \frac{\text{koszt transportu}}{\text{masa przewiezonego ładunku}}$$

6. Koszt transportu na kilometr (EUR·km⁻¹)

$$K_{tk} = \frac{\text{koszt transportu}}{\text{długość drogi}}$$

7. Koszt transportu na tonokilometr (EUR·tkm⁻¹)

$$K_{ttk} = \frac{\text{koszt transportu}}{\text{praca przewozowa}}$$

8. Koszt transportu na przewóz (EUR)

$$K_{tp} = \frac{\text{koszt transportu}}{\text{liczba wykonanych przewozów}}$$

9. Prędkość techniczna (km·h⁻¹)

$$V_t = \frac{\text{długość drogi (km)}}{\text{czas jazdy pojazdu}}$$

10. Prędkość eksploatacyjna (km·h⁻¹)

²¹ Twarog J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne. Poznań. EAN. 2003.

$$V_e = \frac{\text{długość drogi (km)}}{\text{czas pracy pojazdu}}$$

11. Liczba wozokilometrów ($w \cdot km^{-1}$)

$$L_{wkm} = \text{długość drogi (km)} * \text{liczba wykonanych kursów} * \text{liczba pojazdów}$$

12. Wydajność transportowa w czasie rzeczywistym ($t \cdot h^{-1}$)

$$W_{trz} = \frac{\text{masa przewiezonego ładunku (t)}}{\text{rzeczywisty czas pracy pojazdu (h)}}$$

13. Wydajność transportowa w czasie zakładanym ($t \cdot h^{-1}$)

$$W_{tz} = \frac{\text{masa przewiezonego ładunku (t)}}{\text{zakładany czas pracy pojazdu (h)}}$$

Przedmiot badań

Firma, z której zostały pozyskane dane zajmuje się zarówno spedycją krajową jak i międzynarodową oraz posiada niezbędne licencje do przewozu materiałów niebezpiecznych (ADR). Jednym z kluczowych powodów pozyskania danych z wybranej firmy jest fakt, że jej nadrzędnym celem jest zaspokojenie potrzeb klientów na najwyższym poziomie oraz wysoka jakość i wszechstronność świadczonych usług. Ciągły rozwój firmy pozwala jej coraz lepiej dostosowywać się do wymagającego w dzisiejszych czasach rynku na przykład poprzez otwarcie nowego oddziału w kolejnym mieście, którym jest Gdynia. Otwarcie nowej placówki pozwoliło na rozwój i wzbogacenie zakresu usług o transport morski, lotniczy, kolejowy oraz chłodniczy. Dopełnieniem całego projektu jest uzyskanie certyfikatów systemu zarządzania jakością ISO 9001 oraz bezpieczeństwa łańcucha dostaw ISO 28000.

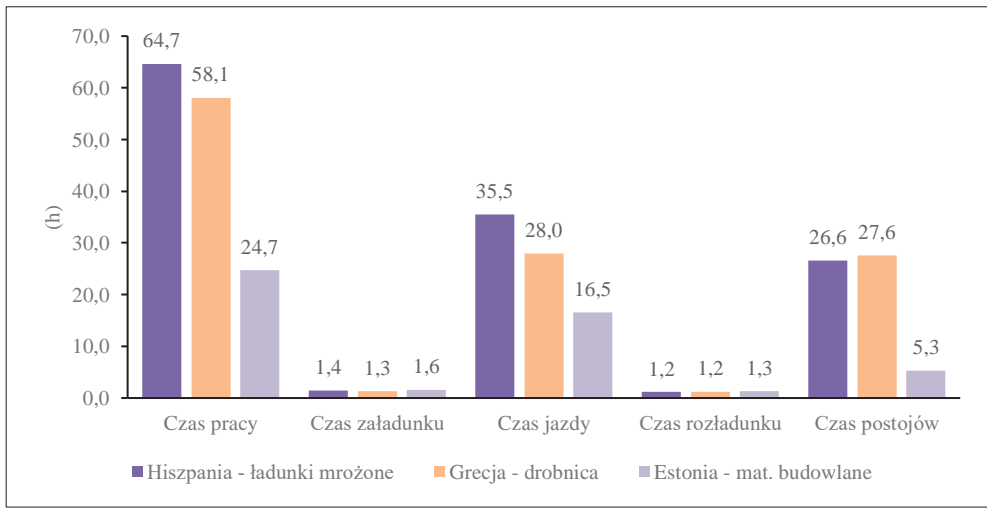
Ogółem zakres usług firmy opiera się na transporcie: drogowym, lotniczym, chłodniczym, morskim (kontenerów własną flotą) oraz kolejowym i intermodalnym.

Firma posiada liczne certyfikaty potwierdzające jej profesjonalizm i umiejętności w zakresie transportu i spedycji krajowej oraz międzynarodowej takie jak: ISO 9001:2015.

Wszystkie samochody w firmie wyposażone są w system GPS, który informuje o aktualnym położeniu pojazdów. W celu ułatwienia komunikacji między spedytorami a kierowcami, firma korzysta z aplikacji „MySMS”. Aplikacja ta pozwala na otrzymywanie przez kierowcę informacji dotyczącej zlecenia na dany dzień w której zawarte są dane określające miejsce oraz godzinę załadunku. Firma korzysta również z programu interlan speed, który usprawnia zarządzanie zleceniami oraz flotą, optymalizuje planowanie tras, a także kontroluje koszty. Reasumując, korzystanie ze wspomnianych wyżej aplikacji i programów znacząco przyspiesza i ułatwia prace zarówno spedytorów, jak i kierowców.

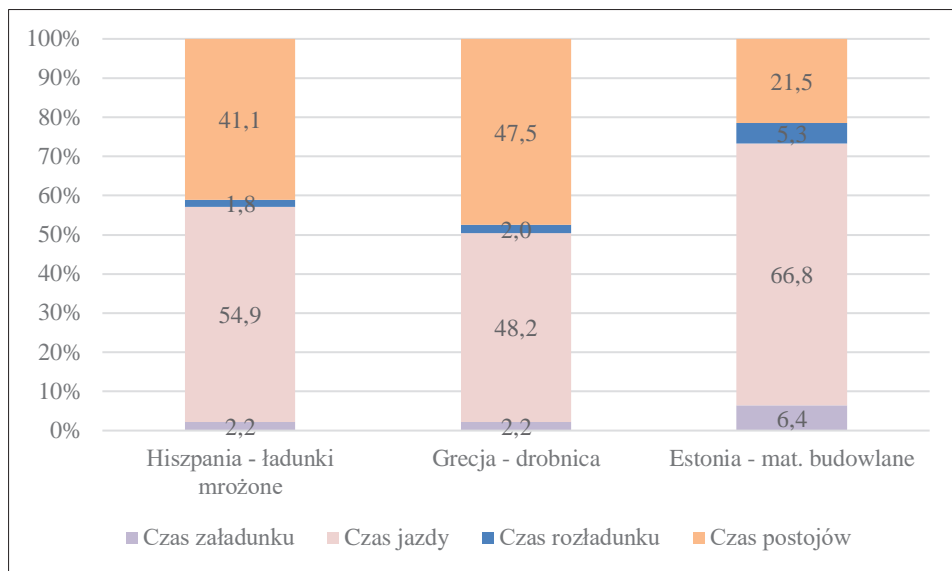
Wyniki badań

Pierwszy z podstawowych parametrów procesów transportowych, który został omówiony to: czas pracy środka transportowego, w tym czas czynności ładunkowych oraz postojów. Średni czas wykonywanych czynności w ramach procesu transportowego dla wybranych ładunków został przedstawiony na rysunku 3, struktura czasu pracy na rysunku 4. Jak można zauważyć, średni czas pracy środków transportowych był najdłuższy przy przewozie ładunków mrożonych (Hiszpania) zaś najkrótszy przy przewozach materiałów budowlanych (Estonia). Było to głównie spowodowane odległością, która była pokonywana przez kierowcę.



Rysunek 3. Średni czas wykonywanych czynności w ramach procesu transportowego dla wybranych ładunków

Średnia długość trasy jaka została pokonana przez kierowcę podczas przewozu mrożonek to 2867,1 km, natomiast podczas przewozu materiałów budowlanych wynosiła połowę mniej - 1124,6 km. Średni czas załadunku oraz rozładunku dla przewożonych ładunków był zbliżony, co mogło być spowodowane podobnym tonażem oraz zbliżoną technologią załadunku. Najdłuższy załadunek odnotowano przy materiałach budowlanych zaś najkrótszy dla drobnicy. Natomiast czas rozładunku był taki sam zarówno dla mrożonek, jak i materiałów drobnicowych, jednakże nieco dłuższy dla materiałów budowlanych.



Rysunek 4. Struktura czasu pracy w wybranych kierunkach jazdy

W strukturze czasu pracy przeważa czas jazdy, co jest bardzo pozytywnym zjawiskiem. W przypadku przewozu mrozonek i ładunków drobnicowych czas postojów, związany z organizacją czasu pracy kierowców jest zbliżony do czasu jazdy, natomiast w przypadku przewozów materiałów budowlanych był on 3-krotnie krótszy od czasu jazdy.

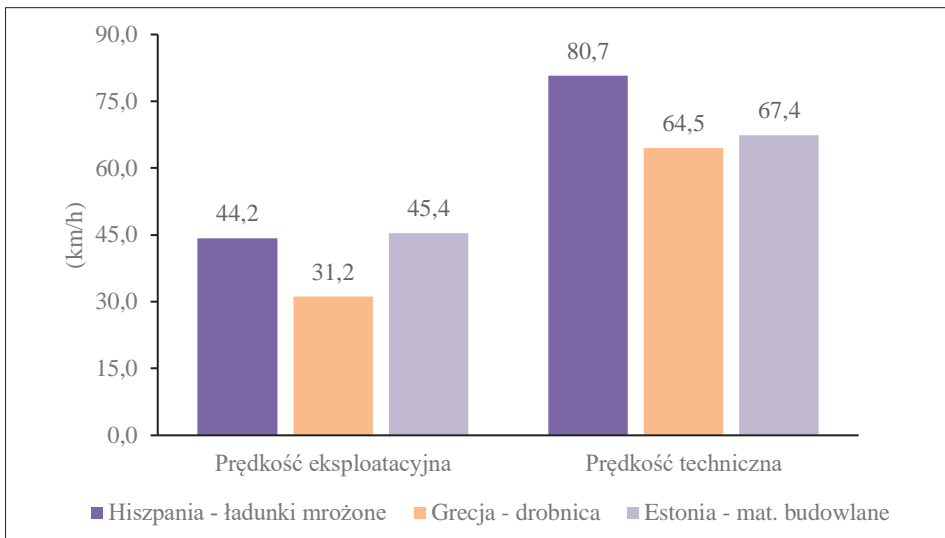
W tabeli 1 przedstawione zostały współczynniki efektywności zrealizowanych procesów transportowych. Posłużono się współczynnikiem wykorzystania czasu operacyjnego, roboczego oraz eksploatacyjnego. Najwyższe wartości współczynników K_{02} , K_{04} i K_{07} odnotowano przy przewozie ładunków drobnicowych a najniższe przy przewozach mrozonek. Podczas transportu materiałów drobnicowych wskaźniki były najwyższe w porównaniu z pozostałymi grupami ładunków, ponieważ udział czasu jazdy był wyższy niż w pozostałych przypadkach. Najmniej korzystne wielkości odnotowano przy przewozie ładunków mrożonych względem współczynników K_{04} i K_{07} (0,6 oraz 0,5). Należy dodać, że firma wykonuje usługi transportowe na bardzo wysokim poziomie i w sposób dobrze zaplanowany, co pozwala na uzyskanie dobrych wskaźników efektywności realizowanych usług przewozowych.

Tabela 1. Współczynniki efektywności realizacji procesu transportowego

Kierunek - rodzaj ładunku	Współczynniki wykorzystania czasu		
	K_{02}	K_{04}	K_{07}
Hiszpania – ładunki mrożone	0,9	0,6	0,5
Grecja – ładunki drobnicowe	0,9	0,9	0,8
Estonia – materiały budowlane	0,9	0,9	0,7

Źródło: opracowanie własne

Kolejnymi parametrami charakteryzującymi proces transportowy są prędkość eksploatacyjna oraz techniczna (rys. 5). Prędkość eksploatacyjna dotyczy przejazdu, który uwzględnia np. postoje środków transportowych. Najwyższe i zarazem zbliżone wielkości dla tego wskaźnika zostały osiągnięte przy przewozie ładunków mrożonych i materiałów budowlanych. Prędkość techniczna jest natomiast wskaźnikiem w przypadku którego przestoje nie były brane pod uwagę. Najwyższą średnią tego wskaźnika odnotowano podczas przewozów korytarzami na zachód Europy (ładunki mrożone), natomiast relatywnie niższe i zbliżone co do wielkości w kierunku południowym (ładunki drobnicowe) i północno-wschodnim (materiały budowlane). Różnice dotyczące zarówno prędkości eksploatacyjnej, jak i technicznej względem kierunków jazdy oraz grup ładunków mogą być spowodowane długością trasy, natężeniem ruchu oraz czasem wykonywania przewozów.



Rysunek 5. Średnia prędkość eksploatacyjna oraz techniczna podczas realizacji zadań transportowych

W tabeli 2 zostały przedstawione współczynniki wykorzystania przebiegu (B) oraz ładowności (C) w czasie realizacji procesów transportowych.

Tabela 2. Współczynnik wykorzystania ładowności (C) oraz przebiegu (B) dla analizowanych procesów transportowych

Kierunek - Rodzaj ładunku	Wykorzystanie (%)	
	(B)	(C)
Hiszpania – ładunki mrożone	75,1	94,1
Grecja – ładunki drobnicowe	85,2	94,8
Estonia – materiały budowlane	89,4	98,1

Źródło: opracowanie własne

Dla określenia efektywności przewozowej przedsiębiorstwa przyjmuje się, że im wyższe są wartości współczynników B oraz C tym jest ona większa. Stwierdzono, iż najwyższy

stopień wykorzystania ładowności odnotowano podczas przewozów materiałów budowlanych – 98,1% przy jednocześnie najwyższym współczynniku wykorzystania przebiegu – 89,4%.

Analiza kosztocłonności jest jednym z kluczowych elementów, które pomagają ocenić aspekty ekonomiczne procesów transportowych. W tabeli 3 zestawiono koszty realizacji procesów transportowych w przeliczeniu na kilometr, tonę, przewóz oraz tonokilometr dla wybranych grup ładunków. Najwyższe koszty transportu w przeliczeniu na kilometr odnotowano podczas przewozu ładunków drobnicowych, co prawdopodobnie spowodowane było wyższymi kosztami myta (opłat drogowych), gdyż kierowca musiał przejechać przez największą liczbę terytoriów różnych państw. Natomiast najniższe koszty wystąpiły podczas przewozów materiałów budowlanych – 1,06 EUR·km⁻¹.

Tabela 3. Kosztocłonność procesów transportowych

Kierunek - Rodzaj ładunku	Koszty transportu w przeliczeniu na:			
	(EUR·km ⁻¹)	(EUR·t ⁻¹)	(EUR·zlecenie ⁻¹)	(EUR·tkm ⁻¹)
Hiszpania – ładunki mrożone	1,18	163,75	3383,94	153,82
Grecja – ładunki drobnicowe	1,30	103,58	2350,60	97,94
Estonia – materiały budowlane	1,06	50,33	1185,30	49,39

Źródło: opracowanie własne

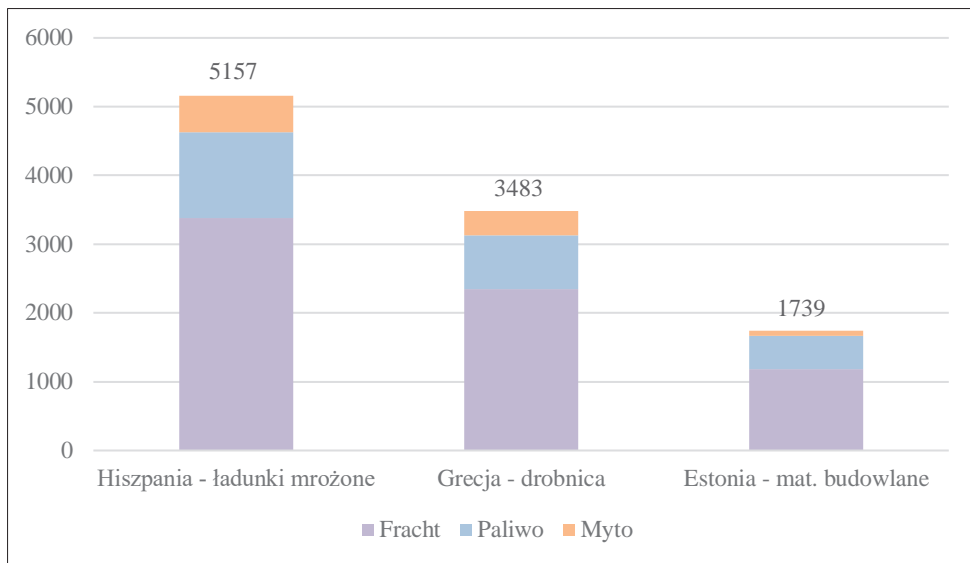
Najwyższe koszty transportu w przeliczeniu na tonę zostały odnotowane podczas przewozów ładunków mrożonych (163,75 EUR·t⁻¹), co może być spowodowane tym, że do ich przewozu wymagane są kontrolowane warunki oraz specjalne środki transportowe. Konieczne jest również zachowanie odpowiedniej temperatury oraz optymalnej wilgotności powietrza. Najniższe koszty realizacji procesów transportowych występowały podczas przewozów materiałów budowlanych, co wynika z największego tonażu przewożonych ładunków i dużo niższych kosztów realizacji zleceń.

W przeliczeniu na zlecenie, najniższe koszty transportu odnotowano podczas przewozu materiałów budowlanych (1185,30 EUR na zlecenie), zaś najwyższe przy przewozie ładunków mrożonych (3383,94 EUR na zlecenie). Wynika to z dłuższego dystansu jaki miał do pokonania kierowca w wybranych zleceniach, co wiązało się z większymi kosztami paliwa, myta oraz wyższym wynagrodzeniem dla kierowcy.

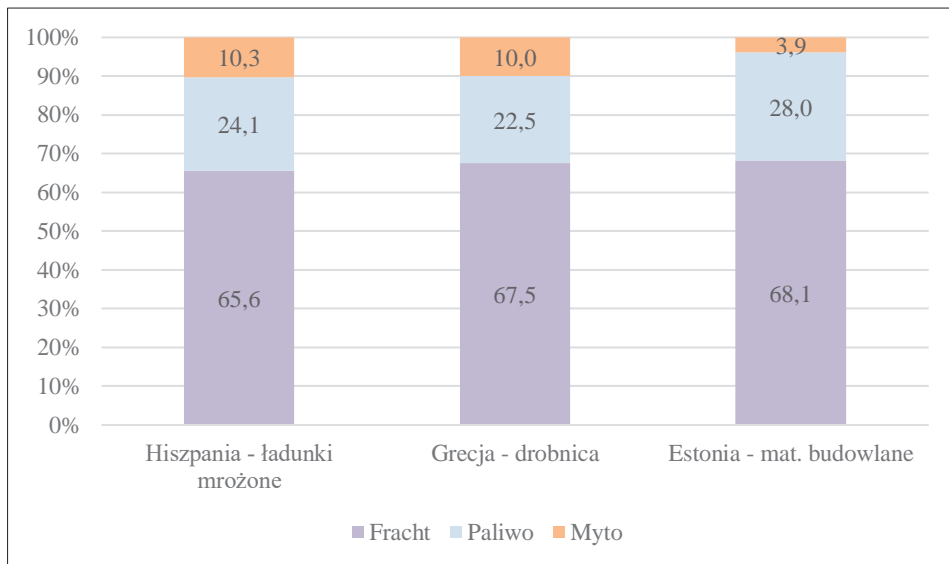
Biorąc pod uwagę jednostkę pracy przewozowej stwierdzono, że najwyższe koszty ponoszono podczas przewozu ładunków mrożonych (153,82 EUR·tkm⁻¹), a najniższe przy przewozie materiałów budowlanych (49,39 EUR·tkm⁻¹).

Na rysunku 6 przedstawiono średnie koszty realizacji zleceń transportowych podczas przewozów wybranych grup ładunków i kanałów transportowych. Wyniki pozyskano z wykorzystaniem aplikacji Frachtero.

Średnie koszty realizacji zleceń transportowych na zachód Europy (Hiszpania) wynosiły 5157 EUR, w kierunku południowym (Grecja) – 3483 EUR, a kierunku północno-wschodnim 1739 EUR. Jak można zauważyć największy udział stanowiły koszty frachtu (65,6-68,1%), a najmniejsze koszty paliwa (3,9-10,3%) (rys. 7). Na tak duże różnice w kosztach realizacji zleceń miały wpływ: długość trasy, liczba terytoriów państw, przez które kierowca musiał przejechać oraz wysokość opłat w poszczególnych państwach.



Rysunek 6. Koszty realizacji zleceń w analizowanych kanałach transportowych (EUR)



Rysunek 7. Struktura koszty realizacji zleceń w analizowanych kanałach transportowych

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy oceny efektywności procesów przewozowych w badanej firmie można stwierdzić, że:

1. Efektywność realizowanych procesów transportowych jest na wysokim poziomie o czym świadczą wysokie wartości obliczonych wskaźników efektywności przewozowej.
2. Wysokie wartości współczynników wykorzystania ładowności (C) i przewozów (B) świadczą o bardzo dobrej organizacji procesów transportowych w badanej firmie.
3. Analiza wybranych współczynników dotyczących kosztocłonności wykazała, że koszty realizacji zleceń wybranych ładunków są dużo niższe od tych rynkowych, zatem badana firma jest konkurencyjna względem innych zajmujących się spedycją.

Bibliografia

- Brzozowska M.: Wpływ rozwoju usług dodatkowych świadczonych przez operatorów logistycznych na wzrost konkurencyjności tych przedsiębiorstw. W: K. Kolasińska-Morawska, (red.), Zarządzanie logistyczne (1-287). Łódź. Społeczna Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Zarządzania, 2010.
- Dmuchowski R.: Sposoby oceny sprawności procesów logistycznych, KNUV., 4(62), 2019.
- Fajczak-Kowalska A.; Kacprzak Z.: System wyboru transportu drogowego. w: A. Fajczak-Kowalska, (red.), Problemy i wyzwania współczesnej logistyki. Poznań. Wydawnictwo Rys, 2022.
- Garnarcz P.: Sytuacja branży transportowej w Polsce. *Journal of Trans Logistics*, 1(1), 2015.
- Gołomska, U.: Logistyka w gospodarce światowej. Warszawa, C. H. Beck, 2009.
- Janczewska D.: Uwarunkowania usługi transportowej w łańcuchach dostaw. *Zarządzanie innowacyjne w gospodarce i biznesie*, 1(24), 2017.
- Jaworska K., Nowacki G.: Transport kolejowy w systemie logistycznym Polski, *TTS Technika Transportu Szynowego*, 26, 4, 2019.
- Kautsh A.: Organizacja transportu oraz obsługa klientów i kontrahentów. Warszawa, Wydawnictwo komunikacji i łączności, 2018.
- Krom J., Puchacz D., Wiśniewska I.: Logistyka i transport. *Przegląd Naukowo-Metodyczny. Edukacja dla Bezpieczeństwa*, 10(34), 2017.
- Leończuk D., Golubiewska W.: Kierunki rozwoju usługodawców logistycznych i ich wpływ na funkcjonowanie współczesnych łańcuchów dostaw, *Akademia Zarządzania* 5(3), 2021.
- Milewski D.: Poprawa wydajności procesów transportowych jako sposób na obniżenie kosztów zewnętrznych, *Gospodarka materiałowa i logistyka*, LXXII, 1, 2020.
- Mroczko F.: Logistyka. Wałbrzych. Wyższa Szkoła Zarządzania i Przedsiębiorczości z siedzibą w Wałbrzychu, 2016.
- Siderska J.: Robotic Process Automation — a driver of digital transformation? *Engineering Management in Production and Services*, 12(2), 2020.
- Sirina N.; Zubkov V.: Transport Services Management on Transport and Logistic Methods. *Transportation Research Procedia*, 54, 2021.
- Stajniak M., Koliński A.: Analiza efektywności procesów transportowych w łańcuchu dostaw, *Logistyka* 3, 2014.
- Twarog J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne. Poznań. EAN, 2003.
- Urbanyi-Popiołek I.: Ekonomiczne i organizacyjne aspekty transportu. Bydgoszcz, Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Gospodarki w Bydgoszczy, 2013.

Vierth I., Sowa V, Cullinane K.: Evaluating the external costs of trailer transport: a comparison of sea and Road. Palgrave Macmillan; International Association of Maritime Economists (IAME), 21(1), 2018.

Waściński T., Zieliński P.: Efektywność procesu transportowego, Systemy logistyczne wojsk 42, 2015.

Wyszomirski O.: Transport miejski. Gdańsk, Uniwersytet Gdański, 2007.

Zając K.: Eurostat podsumował transport drogowy, 2024.

Adres do korespondencji: elzbieta.olech@urk.edu.pl

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

ORCID: Dariusz Kwaśniewski 0000-0002-1873-1456

ORCID: Rafał Kornas 0000-0001-8808-7849

ORCID: Maciej Kuboń 0000-0003-4847-8743

ZAGROŻENIA DROGOWE SPOWODOWANE RUCHEM WOLNOBIEŻNYCH POJAZDÓW BUDOWLANYCH

Edmund Lorencowicz¹, Sławomir Kocira¹, Anna Ostęp¹

¹ Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania Procesami Produkcyjnymi, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wstęp

W Polsce użytkowanych jest kilkadziesiąt tysięcy wolnobieżnych maszyn budowlanych. Maszyny te w okresie wykonywania prac nie tylko zajmują przestrzeń na drogach wykonując procesy robocze, ale także muszą przemieszczać się pomiędzy poszczególnymi lokalizacjami. Ze względu na swoje gabaryty oraz masę stwarzają duże zagrożenie dla innych uczestników ruchu drogowego. Zdarzeń drogowych z udziałem pojazdów wolnobieżnych budowlanych jest statystycznie mało i nie są wyspecyfikowane w materiałach publikowanych przez policję¹. Zostały zakwalifikowane do grupy „inne pojazdy” i w 2023 roku stanowiły jedynie 0,2% wszystkich wypadków (tab. 1). W kategorii tej mieszczą się również wolnobieżne maszyny rolnicze (np. kombajny zbożowe) i leśne, dlatego udział pojazdów budowlanych jest jeszcze niższy. Jednak niebezpieczeństwo spowodowane przez tego rodzaju pojazdy powoduje w większości przypadków ciężkie skutki, m.in. ze względu na ich gabaryty i masy. Są szczególnie niebezpieczne dla uczestników ruchu, poruszających się znacznie mniejszymi pojazdami takimi jak samochody osobowe czy motocykle³. Niejednokrotnie powodują uszczerbek na zdrowiu, a nawet śmierć ludzi. Najwięcej wypadków odnotowuje się w okresie letnim ze względu na prowadzone prace budowlane a także wzmożony ruch samochodów na

¹ Symon E. Rzepka P.: Wypadki drogowe w 2022 i 2023 roku. KGP Biuro Ruchu Drogowego, Warszawa, 2023-2024 <https://statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,wypadki-drogowe-raporty-roczne.html> (dostęp 15.05.2024).

² Symon E.: Wypadki drogowe w Polsce, 2014-2021. KGP Biuro Ruchu Drogowego, Warszawa, 2015-2022. <https://statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,wypadki-drogowe-raporty-roczne.html>, (dostęp 15.05.2024).

³ Fewstera K.M., Parkinson R.J., Callaghan J.P.: Low-velocity motor vehicle collision characteristics associated with claimed low back pain. *Traffic Injury Prevention*, 20 (2), s.1-5. May 2019

drogach publicznych⁴. Problem narasta w sytuacji kiedy kierowcy tych pojazdów stwarzają dodatkowe zagrożenie poprzez złe oświetlenie czy oznakowanie maszyny^{5 6}.

Tabela 1. Wypadki drogowe według pojazdu sprawcy – inne pojazdy, w latach 2014-2023

Rok	Wypadki (liczba)	% wypadków ogółem	Zabici (liczba)	Ranni (liczba)	- w tym: najechanie na pieszego		
					wypadki (liczba)	zabici (liczba)	ranni (liczba)
2014	83	0,3	6	93	10	0	10
2015	84	0,3	12	89	12	1	11
2016	68	0,2	4	79	12	1	11
2017	72	0,3	9	93	10	1	10
2018	79	0,3	9	85	9	1	8
2019	101	0,4	10	102	17	2	15
2020	99	0,5	8	110	22	2	19
2021	206	1,0	7	220	31	1	31
2022	49	0,3	8	54	8	1	7
2023	38	0,2	7	49	5	0	5

Źródło: (Symon, 2015-2022), (Symon i Rzepka, 2023-2024)

Zgodnie z zapisami Kodeksu drogowego pojazd wolnobieżny to: „pojazd silnikowy, którego konstrukcja ogranicza prędkość jazdy do 25 km·h⁻¹, z wyłączeniem ciągnika rolniczego”⁷. Pojazd wolnobieżny budowlany jest to kołowy lub gąsienicowy pojazd silnikowy o co najmniej dwóch osiach. W odróżnieniu od ciągników pojazd wolnobieżny budowlany nie jest uważany za środek transportu⁸. Zaliczamy do nich: frezarki, koparki, koparko-ładowarki, ładowarki, palownice, recyklery, równiarki, spycharki, układarki, walce, wiertnice, zagęszczarki, zgarniarki i żurawie. Charakteryzują się zazwyczaj dużymi masami, wystającymi elementami roboczymi (lemiesz, haki, chwytaki, zespoły hydrauliczne, itp.), ograniczoną widocznością z kabiny operatora.

Rozwój sieci drogowej i intensywne prace budowlane powodują, że coraz częściej napotkają można na drogach różnego rodzaju pojazdy z tym związane. Liczba tych pojazdów wzrasta i w Polsce obecnie sprzedaje się więcej sprzętu niż na kilku dużych, tradycyjnych rynkach w Europie Zachodniej. W 2021 r. w kraju sprzedano ponad 8 200 maszyn budowlanych. To plasuje Polskę na piątym co do wielkości rynku (w ujęciu jednostkowym) w Euro-

⁴ Snook J.: Safety Tips for Transporting Construction Machinery. 2019. <https://gocontractor.com/blog/construction-machinery/> (dostęp 24.10.2024).

⁵ Łukasik Z., Bril J., Bril D.: Zagrożenia związane z transportem drogowym. *Autobusy*, 3. s. 45-57, 2003.

⁶ Łukasik Z., Szymanek A.: Safety and risk in road traffic: selected problems. *Problemy transportu/Transport Problems*, 7/2, s. 83-94, 2012.

⁷ Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym, Dz. U. 1997 Nr 98 poz. 602. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19970980602/U/D19970602Lj.pdf> (dostęp 12.01.22)

⁸ Pojazdy wolnobieżne budowlane <https://pl.szzpls.cz/pojazdy-wolnobie-ne-budowlane/> (dostęp 06.01.22).

pie. Największym wolumenem typu maszyn była minikoparka, która w ostatnim czasie wyprzedziła koparko-ładowarkę. W ostatnich latach popularność zyskały także ładowarki teleskopowe. Wartość rodzimego rynku w 2021 roku wyniosła blisko 700 mln dolarów⁹.

Według analiz branżowych polski rynek maszyn budowlanych szacowany był na 1,50 mld dolarów w 2022 r. i przewiduje, że do 2028 r. osiągnie 2,01 mld dolarów. Ocenia się również, że wielkość rynku używanego sprzętu budowlanego wzrośnie z 402,4 mln dolarów w 2021 r. do 523,4 mln dolarów w 2028 r. Główni liderzy, posiadający 34,2% udziału w naszym rynku sprzętu budowlanego w 2021 roku to Caterpillar, Volvo Construction Equipment, Liebherr, XCMG, JCB i Komatsu. Chociaż w 2022 r. polski rynek wykazywał oznaki spowolnienia, podobnie jak popyt na sprzęt w wielu innych częściach Europy, to przewiduje się, że sprzedaż w ciągu najbliższych 4 lat utrzyma się na poziomie 7 400 – 8 600 egzemplarzy. Oceny dotyczące sprzedaży sprzętu używanego przewidują, że ich liczba wyniesie prawie 26 000 do roku 2028^{10,11}. Świadczy to o stabilnym zapotrzebowaniu na maszyny budowlane, z których część będzie przemieszczać się po drogach publicznych wpływając na poziom bezpieczeństwa ich użytkowników¹².

Cel i zakres, metodyka i materiał badań

Celem pracy była ocena zagrożenia spowodowanego przez pojazdy wolnobieżne - maszyny budowlane podczas przejazdów i prac na drogach publicznych.

Zakres pracy obejmował badania wybranych zdarzeń drogowych z udziałem pojazdów wolnobieżnych budowlanych w Polsce z okresu lat 2016-2021 w oparciu o materiały pozyskane przy pomocy wyszukiwarek internetowych. Przeprowadzono kwerendę internetową i do analizy wybrano 20 przypadków.

Podczas analizy brano pod uwagę zdarzenia zaistniałe wyłącznie na drogach publicznych oraz w stanie trzeźwości kierowcy. Pod uwagę brano wypadki maszyn wolnobieżnych budowlanych z pojazdami drogowymi (samochód osobowy, motocykl) oraz pieszymi.

⁹ Rogowski M.: Rynek maszyn budowlanych. 2023 <https://markethub.pl/rynek-maszyn-budowlanych/> (dostęp 10.10.2024).

¹⁰ Rynek maszyn budowlanych w Polsce 2012-2014. <https://www.egospodarka.pl/83352,Rynek-maszyn-budowlanych-w-Polsce-2012-2014,1,39,1.html> (dostęp 29.10.2024).

¹¹ Turnover of the manufacture of machinery for mining, quarrying, and construction in the European Union (EU-27) from 2011 to 2021. <https://www.statista.com/statistics/1450236/revenue-of-mining-and-quarrying-machinery-in-the-eu/> (dostęp 29.10.2024).

¹² Jamroz K., Budzyński M., Jeliński Ł., Gobis A.: Zagrożenia użytkowników dróg i pracowników na obszarze robót drogowych oraz metody eliminacji tych zagrożeń. IV Pomorskie Forum Drogowe „Utrzymanie dróg”. Gdańsk, 19-21 października 2021. <https://kongresdrogowy.pl/667-zagrozenia-uzytkownikow-drog-i-pracownikow-na-obszarze-robot-drogowych-oraz-metod-eliminacji-tych-zagrozen/> (dostęp 10.10.2024).

Definicja pojazdów wolnobieżnych

Pojazd wolnobieżny - według art.2 ustawy w Polsce, jest to pojazd silnikowy, którego konstrukcja ogranicza prędkość jazdy do 25 km·h⁻¹, z wyjątkiem ciągników rolniczych¹³. Poruszają się one po drogach w sposób szczególny. Zgodnie z prawem nie podlegają obowiązkowi posiadania dowodu rejestracyjnego oraz tablic. Nie posiadają homologacji¹⁴. Obowiązkiem operatora jest natomiast, zgodnie z ustawą posiadanie obowiązkowego ubezpieczenia OC. Warunkiem koniecznym, jaki musi spełniać kierujący pojazdem wolnobieżnym, jest posiadanie prawa jazdy kat. B, jednakże przy ciągnięciu przyczep o dopuszczalnej masie całkowitej przekraczającej 750 kg potrzebne jest jeszcze rozszerzenie uprawnień lub kat. T¹⁵.

Prawo reguluje zasady budowy i wyposażenia pojazdów wolnobieżnych we właściwe oświetlenie. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury pojazdy powinny być wyposażone w stosowne oświetlenie zewnętrzne. Szczególne znaczenie ma oświetlenie ich tylnych części nadwozi jak: kierunkowskazy, światła stop, pozycyjne tylne i odblaskowe tylne. Ponadto pojazdy wolnobieżne powinny być oznakowane trójkątną tablicą wyróżniającą, która powinna być umieszczona z tyłu pojazdu, prostopadle i symetrycznie do jego osi podłużnej oraz prostopadle do powierzchni jezdni. Części urządzeń zamontowanych na pojeździe, wystające poza obrys pojazdu, powinny być oznakowane pasami barwy na przemian białej i czerwonej. Jadąc pojazdem wolnobieżnym po drodze publicznej, należy także pamiętać o obowiązkowym włączeniu światła błyskowego barwy żółtej¹⁶. Należy również przestrzegać ogólnych zasad dotyczących bezpiecznego przemieszczanie się maszyn i szkolenia operatorów maszyn w tym zakresie^{17 18 19}.

Dopuszczalne jest uczestniczenie w ruchu pojazdu wolnobieżnego o szerokości nieprzekraczającej 3 m. Jeżeli szerokość jest większa niż 3 m, ale nie przekracza 3,5 m możliwe jest

¹³ Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym, Dz. U. 1997 Nr 98 poz. 602. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19970980602/U/D19970602Lj.pdf> (dostęp 12.01.22).

¹⁴ Ciszewski A.(red.): Ocena zużycia technicznego maszyn i urządzeń technicznych. Poradnik wspomagający procedury zawierania ubezpieczeń majątkowych i likwidacji szkód w InterRisk SA. 2008. <https://www.studocu.com/pl/document/politechnika-warszawska/problemy-trwalosci-narzedzi-i-konstrukcji-1/ocena-zuzycia-technicznego-maszyn-i-urzadzen-technicznych/5233663> (dostęp 12.01.22).

¹⁵ Ustawa z dnia 5 stycznia 2011 r. o kierujących pojazdami, Dz. U. 2011, nr 30, poz.151. <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20110300151/O/D20110151.pdf> (dostęp 12.01.22).

¹⁶ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia. 2002. Dz. U. 2003, nr 32, poz. 262. <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20030320262/O/D20030262.pdf> (dostęp 12.01.22).

¹⁷ Bezpieczne przemieszczanie się maszyn. Cz.1. <https://asystembhp.pl/bezpieczne-przemieszczanie-sie-maszyn-cz-1/> (dostęp 10.10.2024).

¹⁸ Łabanowski W.: Użytkowanie maszyn. Minimalne wymagania dotyczące BHP. Wyd. Państwowa Inspekcja Pracy. 2024.

¹⁹ Preventing vehicle accidents in construction. European Agency for Safety and Health at Work. E-Facts 2. <http://osha.europa.eu> (dostęp 10.10.2024).

uzyskanie zezwolenia kategorii II na przejazd takiego pojazdu, uznając go za pojazd normalny pod warunkiem spełnienia określonych wymogów dopuszczenia do ruchu, wynikających z przepisów. Natomiast w przypadku ich niespełnienia zabrania się dopuszczenia pojazdu do ruchu po drogach publicznych²⁰.

Charakterystyka wybranych wolnobieżnych maszyn budowlanych

Maszyny wolnobieżne budowlane ze względu na ich konstrukcje dzielimy na: - samojazdne (poruszające się po drogach publicznych samoczynnie), - pojazdy na gąsienicach, walce itp., (które nie powinny zostać dopuszczone do ruchu drogowego), - instalowane na podwoziu pojazdów. Pojazd wolnobieżny jest pojazdem kołowym lub gąsienicowym, posiadającym co najmniej dwie osie. Może holować przyczepę wyłącznie do przewożenia sprzętu związanego z ich funkcją²¹. Operatorzy pojazdów kołowych mogą bez przeszkód poruszać się po drogach publicznych przy użyciu własnego napędu. Dozwolone jest jednak oddalenie się na dystans nie większy niż 20 km od placu budowy, a więc odległość jaką mogą pokonać do wskazanego celu jest ograniczona. W niektórych przypadkach maszynę doposaża się w specjalne podwozie samochodowe, które umożliwia rozwijanie prędkości wynoszącej co najmniej 40 km·h⁻¹²².

Przykładami maszyn poruszających się po drogach publicznych samoczynnie są:

- koparka kołowa (rys. 1) – maszyna służąca do robót ziemnych, oddzielania urobku od gruntu, przeniesienia go na składowisko lub środki transportowe. Może także pełnić rolę urządzenia do przeładunku²³,
- koparko-ładowarka (rys. 2) – należy do najbardziej uniwersalnych maszyn. Spełnia jednocześnie funkcję ładowarki i koparki. Wykorzystywana jest do wykonywania wykopów melioracyjnych, prac komunalnych i porządkowych, przygotowania terenów budowy dróg dla rowerzystów, chodników dla pieszych²⁴,
- ładowarka łyżkowa (rys. 3) – przeznaczona do załadunku i przetransportowania urobku na niedalekie odległości przy pomocy osprzętu w formie łyżki. Wykorzystana również m.in. do przewozu materiałów na placu budowy i odspariania gruntów²⁵,

²⁰ Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 20 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn i elementów bezpieczeństwa. Rozdział 4 - Zasadnicze wymagania w zakresie bezpieczeństwa i ochrony zdrowia, zapobiegające szczególnym zagrożeniom powodowanym przez przemieszczanie się maszyny. <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzu-dziennik-ustaw/zasadnicze-wymagania-dla-maszyn-i-elementow-bezpieczenstwa-17235701> (dostęp 10.10.2024).

²¹ Pojazdy wolnobieżne budowlane <https://pl.szczpls.cz/pojazdy-wolnobie-ne-budowlane/> (dostęp 06.01.22).

²² Sprzęt budowlany na drodze – czy wolno się nim poruszać? <https://esanok.pl/2020/sprzet-budowlany-na-drodze-czy-wolno-sie-nim-poruszac.html> (dostęp 06.01.2022).

²³ Koparka kołowa Caterpillar <https://www.lectura-specs.pl/pl/model/maszyny-budowlane/koparki-kolowe-caterpillar/m314f-1165332> (dostęp 07.01.22).

²⁴ Koparko-ładowarka Case 595 SLE <https://www.lectura-specs.pl/pl/model/maszyny-budowlane/koparko-ladowarka-case/595-sle-980057> (dostęp 07.01.22).

²⁵ Ładowarka Terex TL 210 <https://www.lectura-specs.pl/pl/model/maszyny-budowlane/ladowarki-kolowe-terex/tl-210-1038280> (dostęp 07.01.22).

- równiarka (rys. 4) – wykorzystywana do mieszania materiałów drogowych podczas procesu stabilizacji, zrywania zużytej nawierzchni (trawników itp.) i wyrównywania podłoża pod budowę dróg, rowów, poboczy, lotnisk oraz do wyrównywania nasypów²⁶.

Walec budowlany (rys. 5), maszyna do zagęszczania gruntów podczas robót ziemnych oraz mas nawierzchniowych przy wykorzystaniu nacisku sztywnych kół-wałów w czasie jazdy²⁷, nie może samodzielnie przemieszczać się po drogach publicznych.



Rysunek 1. Koparka kołowa Caterpillar

Źródło: (Koparka kołowa...)



Rysunek 2. Koparko-ładowarka Case 595 SLE

Źródło: (Koparko-ładowarka Case...)



Rysunek 3. Ładowarka łyżkowa Terex TL 210

Źródło: (Ładowarka Terex...)



Rysunek 4. Równiarka New Holland F106.8

Źródło: (Równiarka New Holland...)

²⁶ Równiarka New Holland F106.8 <https://www.lectura-specs.pl/pl/model/maszyny-budowlane/rowniarki-new-holland/f106-8-1161668> (dostęp 10.12.21).

²⁷ Walec <https://www.lectura-specs.pl/pl/model/maszyny-budowlane/walce-walki-segmentowe-amm/hd-75-k-1028574> (dostęp 07.01.22).



Rysunek 5. Walec budowlany Hamm HD 75 K

Źródło: (Walec ...)

Charakterystyka ogólna zagrożeń wynikających ze specyfiki badanych pojazdów

Zagrożenia wynikające z gabarytów i masy

Maszyny budowlane charakteryzują się ogromną różnorodnością. Przeciętny kierowca, poruszając się drogami publicznymi, ma do czynienia z maszynami o mniejszych gabarytach jak i z takimi, których rozmiary nie są zgodne z przyjętymi normami i stwarzają zagrożenie na drodze²⁸. Czynnikiem determinującym agresywność wypadkową tych maszyn są: waga, sztywność i wymiary²⁹. Pojazdy te nie powinny przekraczać szerokości 3 m oraz określonych dopuszczalnych nacisków na osie. Jeżeli warunki te zostały niespełnione, należy oznaczyć pojazd oraz uzyskać specjalne pozwolenie, które może wydać zarządca drogi. Takie maszyny mogą mieć również problem z wykonywaniem prostych manewrów na drodze. Duże, ciężkie i długie pojazdy utrudniają ich prowadzenie. Ograniczają zwinność operatora oraz wymagają dłuższego czasu na wykonywanie manewrów z uwagi na ich specyfikę³⁰. Pokonując zakręty nie są w stanie utrzymać się na przeznaczonym dla nich torze, zajeżdżając w ten sposób drogę innym uczestnikom ruchu. Jest to niezgodne z przepisami, które nakazują zajmować pas ruchu znajdujący się po prawej stronie jezdni, jednak powszechnie spotykane. W takiej sytuacji, aby uniknąć kolizji, użytkownik maszyny zobowiązany jest zjechać w razie możliwości na pobocze. Standardowa szerokość pasów ruchu wynosi od 2,5-3,75 m. Jest zatem często

²⁸ Walsh M. Managing Vehicle Risks in Construction. Health and Safety Authority ss.53, 2018. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://ciftraining.ie/wp-content/uploads/2020/03/Presentation_Working_Safely_with_Vehicles_in_Construction.pdf&ved=2ahUKewjvx6_Y_qaJAxU2SPEDHcLyIfsQFnoECBoQAA&usg=AOvVaw1lsglF-PMf_hseF3lqE8nEu (dostęp 15.05.2024).

²⁹ Kompatybilność aut podczas zderzenia. <https://motoryzacja.interia.pl/samochody-nowe/testy/news-kompatybilnosc-aut-podczas-zderzenia,nId,624902> (dostęp 20.01.2021).

³⁰ Juchacz W., Kali D., Zgoliński I. (red.): Odpowiedzialność za wypadki drogowe. Aspekty karne i procesowe. Wyd. WSP im. Księcia Kazimierza Kujawskiego w Inowrocławiu. s. 139-144, 2018.

niedostosowana dla pojazdów o dużych gabarytach³¹. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na zagrożenie jest szersze rozstawienie kół w stosunku do nadwozia pojazdu. Ciężko jest je wyprzedzić, ponieważ zajmują często więcej niż jeden pas ruchu. Obszerne maszyny stwarzają zagrożenie na drogach. Posiadają często ostre i wystające części - np. łyżka koparki, które mogą spowodować uszkodzenie ciała osób jadących w pojeździe lub innych uczestników ruchu. Przepisy dotyczące silnikowych pojazdów nakładają na nie szereg wymagań. Dodatkowo elementy maszyny nie mogą ponadto naruszać stateczności pojazdu. Wydłuża się również czas wykonania manewru z uwagi na długość. Czas wyminięcia maszyny budowlanej jest dłuższy od wykonania tego manewru w przypadku samochodu osobowego. Wymiary i konstrukcja (na przykład wysokość zderzaka) nie zawsze podczas zderzenia są kompatybilne z innymi pojazdami i mają wpływ na powagę skutków wypadku^{32,33}.

Ze względu na duże obciążenie, pojazd taki może mieć trudności z poruszaniem się po trudnym terenie tj.: koleiny, uszkodzony asfalt. Ponadto z powodu ciężaru mają słabą przyczepność i charakteryzują się dużą sztywnością. Im jest ona większa tym może wywołać większe szkody podczas zderzenia z innym pojazdem. Potężne maszyny budowlane ważą kilka-kilkanaście razy więcej niż samochód osobowy. W Polsce maksymalna masa dopuszczalna pojazdu wolnobieżnego wyposażonego w koła ogumione o dwóch osiach wynosi 18 ton, natomiast o trzech i więcej osiach 24 tony. Udział obciążenia osi kierowanej oraz osi napędowej w każdym stanie obciążenia maszyny nie może być mniejszy niż 20% jego masy własnej³⁴.

Zagrożenia wynikające z ograniczeń widoczności

Zagrożenia wynikające z ograniczonego widoku z miejsca kierowcy

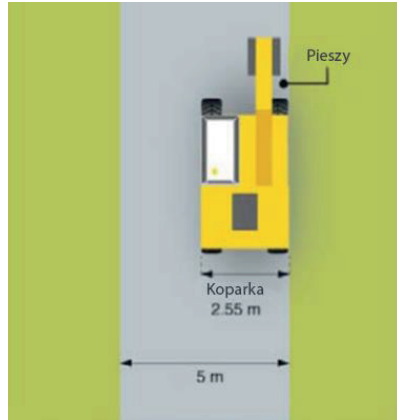
Warunkiem bezpiecznej jazdy jest dostateczny widok z kabiny kierującego na sytuację wokół pojazdu. Zazwyczaj jest to ograniczone ze względu na rozmiary maszyn, które służą jako narzędzia. Posiadają wystające części, które zmniejszają pole widzenia kierowcy. Pojazd budowlany wyróżnia również wyposażenie w urządzenia niezbędne do pracy, które jeszcze bardziej ograniczają ten widok, czasem do tego stopnia, że inni użytkownicy drogi znajdujący się w pobliżu stają się całkowicie niewidoczni (rys. 6).

³¹ Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie.1999. Dz.U.2016, poz. 124. <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu19990430430> (dostęp 12.01.22)

³² Road traffic accidents with agricultural and construction vehicles - Thematic study. Wyd. The Dutch Safety Board, Hague, 2010.

³³ Car Accidents In Road Construction Areas <https://www.askadamskutner.com/auto-accident/car-accidents-road-construction/> (dostęp 24.10.2024).

³⁴ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia. 2002. Dz. U. 2003, nr 32, poz. 262. <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20030320262/O/D20030262.pdf> (dostęp 12.01.22).



Rysunek 6. Schemat ilustrujący ograniczoną widoczność z miejsca kabiny operatora koparki w stosunku do pieszego idącego poboczem

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Road traffic accidents...)

Zagrożeniem dla pieszego było w tym przypadku ramię koparki, które ograniczyło pole widzenia operatora maszyny (rys.7).



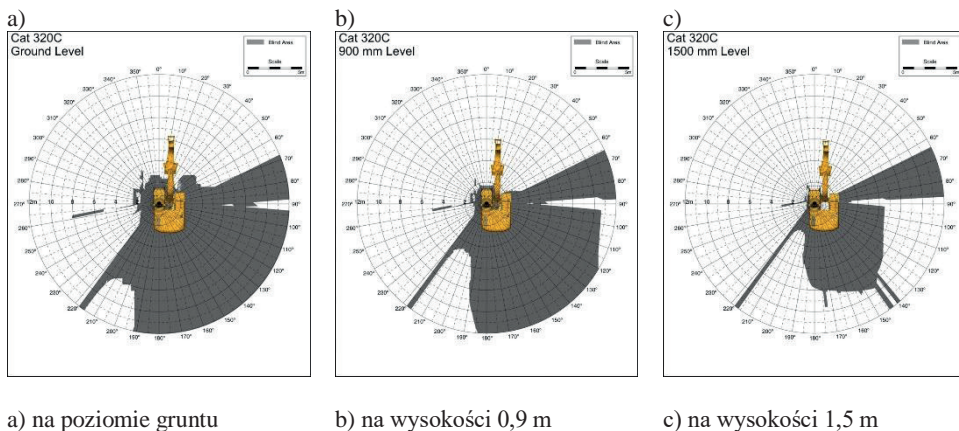
Rysunek 7. Ograniczony bezpośredni widok operatora z prawej strony koparki

Źródło: (Road traffic accidents...)

Wielkość tego pola zależy między innymi od położenia i wysokości kabiny. Jest to obszar którego kierowca nie widzi bezpośrednio. Specyfika konstrukcji tego rodzaju maszyn robo-

czych powoduje, że widoczność jest ograniczona. Wymagania dotyczące pola widzenia kierowcy nie są szczegółowo określone^{35,36}. Przykładowy diagram widoczności (pole widoczności) określone dla koparki gąsienicowej CAT 320 C pokazano na rys. 8. Pole to zmienia się w zależności od analizowanego poziomu: poziom gruntu (a), poziom nad gruntem 0,9 m (b) i poziom nad gruntem 1,5 m (c). Niskie przeszkody (szczególnie pojazdy i ludzie) są trudniej zauważalne przez operatora maszyny³⁷.

Producenci maszyn zwracają dużą uwagę na bezpieczeństwo podczas przejazdów i pracy wprowadzając nowe rozwiązania systemów bezpieczeństwa, jak np. radarowe wykrywanie przeszkód³⁸.



Rysunek 8. Pole widoczności – koparka CAT 320C

Źródło: (Fosbroke, 2011)

Zagrożenia wynikające z ograniczonej widoczności maszyny

Niedostateczna widoczność na drodze występuje od zmierzchu do świtu, a także kiedy panują warunki zmniejszonej przejrzystości powietrza od świtu do zmierzchu³⁹. Naturalną

³⁵ Road traffic accidents with agricultural and construction vehicles - Thematic study. Wyd. The Dutch Safety Board, Hague, 2010.

³⁶ Fosbroke D.F.: Construction Equipment Visibility. Blog. 2011. <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2011/04/04/visibility/> (dostęp 24.10.2024).

³⁷ Construction Equipment Visibility. National Institute for Occupational Safety and Health. 2022. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/highwayworkzones/bad/default.html> (dostęp 24.10.2024)

³⁸ Biskupski E.: Bezpieczeństwo pojazdów budowlanych – jak radar pomaga w zapobieganiu wypadkom. 2019. <https://inzynierbudownictwa.pl/bezpieczenstwo-pojazdow-budowlanych-jak-radar-pomaga-w-zapobieganiu-wypadkom/> (dostęp 10.10.2024).

³⁹ Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym, Dz. U. 1997 Nr 98 poz. 602. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19970980602/U/D19970602Lj.pdf> (dostęp 12.01.22).

koleją rzeczy, która zmniejsza widoczność drogi jest zapadnięcie zmroku. Następuje zacieranie się konturów przedmiotów a ciemne kolory stają się praktycznie niewidoczne. Możliwość obserwowania nieoświetlonej latarniami przydrożnymi drogi jest ograniczona wyłącznie do przestrzeni oświetlonej reflektorami. Trudna jest także jazda w nocy w czasie opadów. Nadjeżdżające pojazdy ograniczają widoczność poprzez odbijanie się promieni światła od wilgotnej nawierzchni drogi. Ze względu na zmniejszenie widoczności nocą należy zmniejszać prędkość poniżej wartości dozwolonej przewidzianej podczas przy normalnej widoczności drogi⁴⁰. Pojazdy wyprodukowane z niedostatecznym oświetleniem nie powinny poruszać się po drogach publicznych, ponieważ nie spełniają wymogów. Bezpieczna jazda w tym przypadku jest podporządkowana funkcjonalności maszyny. Wymogi ustawowe dotyczące zapewnienia odpowiedniego widoku są trudne do ewentualnego egzekwowania z uwagi na ich niedoprecyzowanie. Wieloletnie inspekcje wykazały poważne niezgodności związane z niedoposażeniem maszyn w oświetlenie i sygnalizację świetlną, a także akustyczną. Trudno nie zgodzić się z przypuszczeniem, że na bezpieczeństwo użytkownika ma wpływ braku sygnałów hamowania i zatrzymania oraz zmiany kierunku jazdy. Obwiniano za to producentów, uważających, że jest to zbędne. W niektórych przypadkach producenci zaznaczyli w instrukcji obsługi urządzenia sygnalizację STOP oraz lampy kierunkowskazów jako dodatkową opcję, wyposażając maszynę w oświetlenie do jazdy po zmroku⁴¹.

Czynników zagrożeń ograniczających widoczność pojazdu jest wiele. Jednym z nich są warunki pogodowe takie jak mgła, zamiecie śnieżne, powodujące złą widoczność z dalekich odległości. Pojazdy budowlane są trudne do zauważenia po zmroku, ponieważ aktualne wymagania oświetlenia nie są wystarczające. Właściwe oznakowanie maszyny wolnobieżnej jest niezbędne szczególnie po zmroku, aby inni uczestnicy ruchu mogli właściwie ocenić w jakiej odległości od nich się znajduje oraz z jaką prędkością się porusza. Nieświadomy kierowca nie jest w stanie na czas zareagować. Ważny jest właściwy sposób umieszczenia tablicy wyróżniającej. Jest ona często montowana w dowolnym miejscu z tyłu maszyny lub na przewożonym ładunku. Ma to znaczenie dla bezpieczeństwa w sytuacji, gdy zostaje oświetlona strumieniem światła jadącego za maszyną pojazdu. Odpowiednio umieszczona warunkuje szybsze dostrzeżenie jej⁴².

Według Koralewskiego i Wrony (2017): „Rozpoznanie nieoświetlonej przeszkody dzięki światłom mijania, możliwe jest z dystansu 30-35 metrów przed pojazdem”. Wynika to z faktu potrzeby oświetlenia przeszkody na odpowiednią wysokość, aby ją rozpoznać w światłach mijania o zasięgu około 50 m. W takiej sytuacji kierujący pojazdem jadąc z prędkością $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ($25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) może przeciwdziałać zagrożeniu w czasie 1,2 do 1,4 s, a to jest czas porównywalny do czasu reakcji psychomotorycznej kierującego. Zatem po rozpoznaniu przeszkody kierujący do chwili zderzenia, nie ma możliwości podjęcia żadnego skutecznego manewru obronnego, tj. hamowania lub ominięcia przeszkody. Z powyższych przyczyn istotny jest problem wczesnego rozpoznawania innych uczestników ruchu drogowego,

⁴⁰ Juchacz W., Kali D., Zgoliński I. (red.): Odpowiedzialność za wypadki drogowe. Aspekty karnoprawne i procesowe. Wyd. WSP im. Księcia Kazimierza Kujawskiego w Inowrocławiu. s. 139-144, 2018.

⁴¹ Burghardt R.: Budownictwo. Transport mechaniczny - wózki, koparki, ładowarki i platformy robocze. Wyd. Państwowa Inspekcja Pracy, s.1-33, 2013.

⁴² Koralewski G., Wrona R.: Zagrożenia drogowe spowodowane ruchem ciągników rolniczych i pojazdów wolnobieżnych. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 18, s. 267-270, 2017.

w tym pojazdów wolnobieżnych w warunkach niedostatecznej widoczności, a to jest możliwe, gdy uczestnicy ruchu są wyposażeni we właściwe oświetlenie zewnętrzne oraz tablice wyróżniające i światła odbłaskowe”.

Zagrożenia wynikające z nadmiernej prędkości

Obecne ograniczenie prędkości dla pojazdów wolnobieżnych wynosi $25 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Należy pamiętać, że droga hamowania wydłuża się wraz ze wzrostem prędkości. Operatorzy często jednak nie przestrzegają przepisów i jeżdżą z prędkością większą niż obowiązująca. Szybsza jazda oznacza mniej czasu na reakcję kierowcy w momencie dostrzeżenia ryzyka na drodze. Należy przestrzegać podanych ograniczeń, aby szkody podczas zderzenia były jak najmniejsze. Nie wszystkie maszyny są dostosowane do jazdy z wyższą prędkością ze względu na brak stabilności oraz skutecznego hamowania. Adekwatne działanie to reakcja na czas bez gwałtownych manewrów w ostatniej chwili. Kontrolowane działanie podjęte na wczesnym etapie zaistnienia zagrożenia tj. zmniejszenie prędkości, zjechanie na pobocze, odgrywa kluczową rolę w zmniejszeniu skutków wypadku, a nawet jego całkowitemu uniknięciu.

Wyprzedzanie należy do najgroźniejszych w skutkach manewru w przypadku popełnienia błędu. Następstwem pomyłek kierowców są zdarzenia o ponadprzeciętnej ciężkości. Ryzyko jego powstania rośnie wraz z intensywnym wzrostem liczby pojazdów w ruchu drogowym. Największą trudnością podczas wykonywania tego manewru jest właściwa ocena zachowania bezpiecznej odległości od pojazdu jadącego z naprzeciwka. Dystans pozostający do pojazdu nadjeżdżającego z naprzeciwka po zakończeniu wyprzedzania powinien mieścić się w granicach powyżej 150-200 m (zależnie od prędkości). Kolejnym utrudnieniem bezpiecznego wykonania manewru jest zwiększanie prędkości przez pojazd, który jest wyprzedzany bądź nie zjeżdżanie na prawą stronę drogi w celu ułatwienia przejazdu⁴³. Należy zwrócić uwagę, że na drogach znajduje się dużo pojazdów, których prędkości są znacząco wyższe od rozwijanych przez maszyny wolnobieżne. Ich rozpoznawanie przez kierujących szybciej poruszającymi się środkami transportu jest często zbyt spóźnione, aby uniknąć z nimi zderzenia⁴⁴.

Skutki zdarzenia drogowego i wynikające z niego zagrożenia warunkowane są przede wszystkim trzema parametrami związanymi z prędkością: rzeczywistymi prędkościami rozwijanymi przez pojazdy, stopniem przekroczenia prędkości uważanej za bezpieczną, oraz różnicami prędkości między tymi pojazdami.

Niedostosowanie prędkości do panujących warunków na drodze to główna przyczyna wypadków i wysokiej śmiertelności. Brakuje jednak norm określających, jaką prędkość uznaje się za bezpieczną. Określenie jej wartości w abstrakcyjnych warunkach, w oderwaniu od wielu wpływających na nią czynników jest rzeczą niemożliwą. Jazdę z prędkością niebezpieczną można zarzucić kierującemu wtedy, kiedy nie zdoła on zapanować nad pojazdem lub w razie zderzenia, którego wystąpienie był w stanie i mógł przewidzieć. Odpowiednia jej

⁴³ Szczęsny P., Orlicz-Szczęsna G.: Manewr wyprzedzania w aspekcie bezpieczeństwa ruchu drogowego. TTS, 12, s. 1475-1478, 2015.

⁴⁴ Koralewski G., Wrona R.: Zagrożenia drogowe spowodowane ruchem ciągników rolniczych i pojazdów wolnobieżnych. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 18, s. 267-270, 2017.

wartość umożliwia podjęcie działań obronnych w momencie zagrożenia (zmniejszenie prędkości, zatrzymanie się na możliwie najkrótszym odcinku).

Ocena czynników zagrożenia na podstawie analizowanych przypadków

Do analizy wybrano 20 różnych przypadków zdarzeń drogowych z udziałem maszyn wolnobieżnych budowlanych, które różniły się od siebie prawdopodobnymi przyczynami zaistnienia. W analizowanych przypadkach poza wolnobieżnymi maszynami budowlanymi brały udział: samochód osobowy, motocykl oraz piesi⁴⁵.

Tabela 2. Zestawienie analizowanych przypadków zdarzeń drogowych z udziałem wolnobieżnej maszyny budowlanej

Lp.	Krótki opis	Pojazdy/ osoby biorące udział w zdarzeniu
1	Zderzenie czołowe	Samochód osobowy/koparko-ładowarka
2	Zderzenie	Samochód osobowy/koparka
3	Najechnanie od tyłu	Ciągnik siodłowy z naczepą/koparka
4	Najechnanie od tyłu	Samochód osobowy/podnośnik
5	Zderzenie na skrzyżowaniu	Samochód osobowy/koparka
6	Najechnanie na stojącą maszynę	Samochód osobowy/walec drogowy
7	Najechnanie na pracującą maszynę	Samochód osobowy/walec drogowy
8	Najechnanie przez pojazd wolnobieżny na słup energetyczny	Koparka
9	Zderzenie czołowe	Samochód osobowy/koparko-ładowarka
10	Zderzenie	Samochód osobowy/koparka
11	Zderzenie	Koparko-ładowarka/samochód osobowy
12	Zderzenie	Samochód osobowy/koparko-ładowarka
13	Zderzenie podczas wyprzedzania	Samochód osobowy/ładowarka
14	Zderzenie podczas wyprzedzania	Motocykl/koparko-ładowarka
15	Zderzenie	Dwa samochody/koparko-ładowarka
16	Zahaczenie elementami roboczymi	Koparko-ładowarka/autobus
17	Zderzenie	Samochód osobowy/koparko-ładowarka
18	Najechnanie na pieszego	Ładowarka/dwoje pieszych
19	Potrącenie pieszego	Koparka/pieszcy
20	Najechnanie na pieszego	Koparka/pieszcy

Z analizy przedstawionych zdarzeń wynika, że w 6 z 20 przypadków uczestnicy zdarzenia zginęli na miejscu. Ponadto w 10 przypadkach wystąpiły obrażenia ciała. Ofiarami były osoby, poruszające się znacznie mniejszymi pojazdami od maszyn budowlanych oraz piesi. Tylko w dwóch analizowanych przypadkach poszkodowanym był kierujący maszyną budowlaną. W czterech przypadkach natomiast nie podano szczegółowych informacji. Prawdopodobnie były to przypadki kolizji, które skończyły się jedynie stratami materialnymi. Przykłady wybranych zdarzeń (przypadków) podano na rys. 9, 10, 11 i 12.

⁴⁵ Ostęp A.: Ocena zagrożenia spowodowanego przez wolnobieżne maszyny budowlane podczas przejazdów po drogach publicznych. Praca dyplomowa inżynierska wykonana pod kierunkiem E. Lorencowicza. Maszynopis UP Lublin, ss.43, 2022.



Rysunek 9. Skutki czołowego zderzenia samochodu osobowego z koparko-ładowarką (przypadek 1)



Rysunek 10. Skutki zderzenia samochodu osobowego z walcem drogowym (ograniczona widoczność, noc) (przypadek 6)



Rysunek 11. Skutki kolizji koparko-ładowarki z samochodem osobowym (przypadek 11)



Rysunek 12. Skutki uderzenia samochodu dostawczego w łożówkę (przypadek 13)

Na zależność przyczynową zdarzenia drogowego składa się wiele odmiennych warunków. Podczas analizy zdarzeń drogowych najważniejsze jest zagadnienie przyczynowości oraz ustalenie warunków, które przy nim wystąpiły. Jest to niezbędne do określenia powagi sytuacji oraz przy wskazaniu winnego.

Najczęstszymi przyczynami były: niedostateczna widoczność (55% wszystkich zdarzeń), nadmierna prędkość (50%) oraz niezachowanie bezpiecznej odległości (tab. 2).

Nadmierna prędkość jest czynnikiem występującym w ponad połowie przedstawionych zdarzeń i jest wynikiem bezmyślności kierowców, nie przestrzegających przepisów ruchu drogowego. Należy pamiętać, że w sytuacji napotkanego zagrożenia ze strony innych uczestników ruchu, zwiększając prędkość, trudniej jest zapanować nad pojazdem. Dostosowując ją do warunków panujących na drodze, mamy możliwość szybszego zareagowania i ewentualnego uniknięcia zderzenia.

Niedostateczna widoczność wynika z nieodpowiedniego oświetlenia oraz braku wymaganych tablic i znaków wyróżniających maszyny budowlane. Czynnikiem ograniczającym widoczność jest także jazda po zmroku (przypadek 2, 6, 15) oraz niekorzystne warunki atmosferyczne tj. deszcz i mgła. W przypadku 12 wystąpił całkowity brak odpowiedniego oświetlenia. Kierowca, który wjechał w maszynę, nie zorientował się na czas, że porusza się ona znacznie wolniej. Winnym tego zdarzenia jest operator pojazdu wolnobieżnego, który nie dostosował się do określonych wymagań, związanych z obowiązkowym wyposażeniem.

Stworzył on swoją nieodpowiedzialnością zagrożenie dla uczestników ruchu oraz samego siebie powodując kolizję. Trzy kolejne przypadki (18, 19, 20) dotyczą osób zagrożonych - piesi przechodzący przez jezdnię oraz robotnik znajdujący się za pojazdem, wykonującym roboty drogowe. Prawdopodobną przyczyną zdarzeń była niedostateczna widoczność z miejsca operatora oraz brak zachowania ostrożności przez pieszych. Podczas przygnięcia przez maszynę, której masa wynosi często kilkadziesiąt ton, osoby te odniosły ciężkie obrażenia (jedna zmarła na miejscu).

Kolejnym czynnikiem jest niezachowanie bezpiecznej odległości między pojazdami. Zdarzeniem ilustrującym tą sytuację jest przypadek 16, w którym kierujący koparko-ładowarką, wykonując prace remontowe przy drodze, nie zachował ostrożności i przednią łyżką maszyny zahaczył w lewy bok przejeżdżającego obok autobusu. Uszkodzenie samochodu nastąpiło też w przypadku 11, gdzie operator tracąc panowanie nad ładowarką uderzył w samochód osobowy, przebijając widłami drzwi pojazdu (rys. 11). Dokładna przyczyna nie została ustalona, jednak prawdopodobnie czynnikiem wpływającym na zaistnienie tej sytuacji była utrata panowania operatora nad maszyną lub niedostateczna widoczność. Kobieta znajdująca się w pojeździe nie odniosła obrażeń, jednak zdarzenie było niecodzienne i wyjątkowo niebezpieczne. Kierowca nie zachował szczególnej ostrożności.

Najrządziej występującymi w przedstawionych zdarzeniach czynnikami były: nieustąpienie pierwszeństwa przejazdu, jazda niewłaściwym pasem ruchu oraz nieprawidłowy manewr wyprzedzania, który należy do najgroźniejszych w skutkach manewru w przypadku popełnienia błędu przez kierowcę. Stwarza to ryzyko zderzenia czołowego, które rośnie wraz z intensywnym wzrostem liczby pojazdów w ruchu drogowym. Największą trudnością w takiej sytuacji jest właściwa ocena zachowania bezpiecznej odległości od pojazdu jadącego z naprzeciwka.

Po analizie przedstawionych zdarzeń drogowych ustalono prawdopodobne przyczyny (tab. 3)

Tabela 3. Prawdopodobne przyczyny analizowanych zdarzeń drogowych (wartości procentowe nie sumują się do 100, może występować kilka przyczyn)

Prawdopodobna przyczyna zdarzenia	Liczba	Procent wszystkich zdarzeń
Nadmierna prędkość	10	50%
Utrata panowania nad pojazdem	2	10%
Niedostateczna widoczność	11	55%
Niezachowanie bezpiecznej odległości	10	50%
Nieustąpienie pierwszeństwa przejazdu	1	5%
Jazda niewłaściwym pasem ruchu	1	5%
Brak odpowiedniego oświetlenia	1	5%
Nieprawidłowy manewr wyprzedzania	1	5%

Podsumowanie

Ustalono, że głównymi czynnikami zagrożeń były: nadmierna prędkość, niedostateczna widoczność (z miejsca kabiny operatora oraz z zewnątrz), niezachowanie bezpiecznej odległości między pojazdami, nieustąpienie pierwszeństwa przejazdu, jazda niewłaściwym pa-

sem ruchu, brak odpowiedniego oświetlenia i znaków wyróżniających, nieprawidłowy manewr wyprzedzania, utrata panowania nad pojazdem (spowodowana nadmierną prędkością lub stanem psychofizycznym kierującego), gabaryty i masa maszyn, warunki atmosferyczne. Należy pamiętać, że maszyny budowlane nie są uważane za środki transportu. Służą jako narzędzie do pracy na placach budowy. Nie posiadają rejestracji i włączają się do ruchu publicznego stosunkowo rzadko. Spowodowane przez nie niebezpieczeństwo mogło zatem wynikać z ograniczonych zdolności koncentracji w warunkach drogowych oraz braku doświadczenia operatora.

Infrastruktura drogowa oraz pojazdy z niej korzystające, powinny być projektowane w taki sposób, aby umożliwiały zmniejszenie ilości błędów, popełnianych podczas poruszania się po drogach. Duża część dróg nie jest dostosowana do przejazdu maszyn o dużych gabarytach. W niektórych przypadkach należy rozważyć przebudowę niebezpiecznych odcinków dróg, gdyż często są one za wąskie i niedostosowane do takich maszyn. Przepisy są niedoprecyzowane i dopuszczają je do ruchu, stwarzając w ten sposób niebezpieczeństwo dla innych uczestników. Operator maszyny, który nie mieści się na swoim pasie ruchu, nie jest w stanie na takiej drodze zjechać na pobocze aby umożliwić wyprzedzenie szybciej poruszającym się pojazdom oraz uniknąć niebezpiecznych sytuacji.

Omawianych zdarzeń drogowych z roku na rok przybywa w związku ze wzrostem liczby wolnobieżnych maszyn budowlanych. Powinno się podejmować działania zmierzające do ich zredukowania w celu ochrony bezpieczeństwa. Jest to trudne z uwagi na fakt, że całkowita liczba pojazdów pojawiających się na drogach wciąż wzrasta.

Bibliografia

- Bezpieczne przemieszczanie się maszyn. Cz.1. <https://asystentbhp.pl/bezpieczne-przemieszczanie-sie-maszyn-cz-1/> (dostęp 10.10.2024).
- Biskupski E.: Bezpieczeństwo pojazdów budowlanych – jak radar pomaga w zapobieganiu wypadkom. 2019. <https://inzynierbudownictwa.pl/bezpieczenstwo-pojazdow-budowlanych-jak-radar-pomaga-w-zapobieganiu-wypadkom/> (dostęp 10.10.2024).
- Burghardt R.: Budownictwo. Transport mechaniczny - wózki, koparki, ładowarki i platformy robocze. Wyd. Państwowa Inspekcja Pracy, s.1-33, 2013.
- Car Accidents In Road Construction Areas <https://www.askadamskutner.com/auto-accident/car-accidents-road-construction/> (dostęp 24.10.2024).
- Ciszewski A.(red).: Ocena zużycia technicznego maszyn i urządzeń technicznych. Poradnik wspomagający procedury zawierania ubezpieczeń majątkowych i likwidacji szkód w InterRisk SA. 2008. <https://www.studocu.com/pl/document/politechnika-warszawska/problemy-trwalosci-narzedzi-i-konstrukcji-1/ocena-zuzycia-technicznego-maszyn-i-urzadzen-technicznych/5233663> (dostęp 12.01.22).
- Construction Equipment Visibility. National Institute for Occupational Safety and Health. 2022. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/highwayworkzones/bad/default.html> (dostęp 24.10.2024).
- Fewstera K.M., Parkinson R.J., Callaghan J.P.: Low-velocity motor vehicle collision characteristics associated with claimed low back pain. *Traffic Injury Prevention*, 20 (2), s.1-5. May 2019.
- Fosbroke D.F.: Construction Equipment Visibility. Blog. 2011. <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2011/04/04/visibility/> (dostęp 24.10.2024).
- Jamroz K., Budzyński M., Jeliński Ł., Gobis A.: Zagrożenia użytkowników dróg i pracowników na obszarze robót drogowych oraz metody eliminacji tych zagrożeń. IV Pomorskie Forum Drogowe „Utrzymanie dróg”. Gdańsk, 19-21 października 2021. <https://kongresdrogowy.pl/667-zagrozenia->

- uzytkownikow-drog-i-pracownikow-na-obszarze-robot-drogowych-oraz-metod-eliminacji-tych-zagrozen/ (dostęp 10.10.2024).
- Juchacz W., Kali D., Zgoliński I. (red.): Odpowiedzialność za wypadki drogowe. Aspekty karnoprawne i procesowe. Wyd. WSP im. Księcia Kazimierza Kujawskiego w Inowrocławiu. s. 139-144, 2018.
- Kompatybilność aut podczas zderzenia. <https://motoryzacja.interia.pl/samochody-nowe/testy/news-kompatybilnosc-aut-podczas-zderzenia,nId,624902> (dostęp 20.01.2021).
- Koparka kołowa Caterpillar <https://www.lectura-specs.pl/pl/model/maszyny-budowlane/koparki-kolowe-caterpillar/m314f-1165332> (dostęp 07.01.22).
- Koparko-ładowarka Case 595 SLE <https://www.lectura-specs.pl/pl/model/maszyny-budowlane/koparko-ladowarki-case/595-sle-980057> (dostęp 07.01.22).
- Koralewski G., Wrona R.: Zagrożenia drogowe spowodowane ruchem ciągników rolniczych i pojazdów wolnobieżnych. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 18, s. 267-270, 2017.
- Łabanowski W.: Użytkowanie maszyn. Minimalne wymagania dotyczące BHP. Wyd. Państwowa Inspekcja Pracy. 2024.
- Ładowarka Terex TL 210 <https://www.lectura-specs.pl/pl/model/maszyny-budowlane/ladowarki-kolowe-terex/tl-210-1038280> (dostęp 07.01.22).
- Łukasik Z., Bril J., Bril D.: Zagrożenia związane z transportem drogowym. *Autobusy*, 3, s. 45-57, 2003.
- Łukasik Z., Szymanek A.: Safety and risk in road traffic: selected problems. *Problemy transportu/Transport Problems*, 7,2, s. 83-94, 2012.
- Ostęp A.: Ocena zagrożenia spowodowanego przez wolnobieżne maszyny budowlane podczas przejazdów po drogach publicznych. Praca dyplomowa inżynierska wykonana pod kierunkiem E. Lorencowicza. *Maszynopis UP Lublin*, ss.43, 2022.
- Pojazdy wolnobieżne budowlane <https://pl.szczpl.s.pl/pojazdy-wolnobie-ne-budowlane/> (dostęp 06.01.22).
- Preventing vehicle accidents in construction. European Agency for Safety and Health at Work. E-Facts 2. <http://osha.europa.eu> (dostęp 10.10.2024).
- Road traffic accidents with agricultural and construction vehicles - Thematic study. The Dutch Safety Board, Hague, 2010.
- Rogowski M.: Rynek maszyn budowlanych. 2023 <https://markethub.pl/rynek-maszyn-budowlanych/> (dostęp 10.10.2024).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 20 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn i elementów bezpieczeństwa. Rozdział 4 - Zasadnicze wymagania w zakresie bezpieczeństwa i ochrony zdrowia, zapobiegające szczególnie zagrożeniom powodowanym przez przemieszczanie się maszyny. <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzu-dziennik-ustaw/zasadnicze-wymagania-dla-maszyn-i-elementow-bezpieczenstwa-17235701> (dostęp 10.10.2024).
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia. 2002. Dz. U. 2003, nr 32, poz. 262. <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20030320262/O/D20030262.pdf> (dostęp 12.01.22).
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. 1999. Dz.U.2016, poz. 124. <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu19990430430> (dostęp 12.01.22).
- Równiarka New Holland F106.8 <https://www.lectura-specs.pl/pl/model/maszyny-budowlane/rowniarki-new-holland/f106-8-1161668> (dostęp 10.12.21).
- Rynek maszyn budowlanych w Polsce 2012-2014. <https://www.egospodarka.pl/83352,Rynek-maszyn-budowlanych-w-Polsce-2012-2014,1,39,1.html> (dostęp 29.10.2024).
- Snook J.: Safety Tips for Transporting Construction Machinery. 2019. <https://gocontractor.com/blog/construction-machinery/> (dostęp 24.10.2024).
- Sprzęt budowlany na drodze – czy wolno się nim poruszać? <https://esanok.pl/2020/sprzet-budowlany-na-drozdze-czy-wolno-sie-nim-poruzac.html> (dostęp 06.01.2022).

- Symon E. Rzepka P.: Wypadki drogowe w 2022 i 2023 roku. KGP Biuro Ruchu Drogowego, Warszawa, 2023-2024 <https://statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,wypadki-drogowe-raporty-roczne.html> (dostęp 15.05.2024.)
- Symon E.: Wypadki drogowe w Polsce, 2014-2021. KGP Biuro Ruchu Drogowego, Warszawa, 2015-2022. <https://statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,wypadki-drogowe-raporty-roczne.html>, (dostęp 15.05.2024).
- Szczęsny P., Orlicz-Szczęsna G.: Manewr wyprzedzania w aspekcie bezpieczeństwa ruchu drogowego. TTS, 12, s. 1475-1478, 2015.
- Turnover of the manufacture of machinery for mining, quarrying, and construction in the European Union (EU-27) from 2011 to 2021. <https://www.statista.com/statistics/1450236/revenue-of-mining-and-quarrying-machinery-in-the-eu/> (dostęp 29.10.2024).
- Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym, Dz. U. 1997 Nr 98 poz. 602. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19970980602/U/D19970602Lj.pdf> (dostęp 12.01.22).
- Ustawa z dnia 5 stycznia 2011 r. o kierujących pojazdami, Dz. U. 2011, nr 30, poz.151. <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20110300151/O/D20110151.pdf> (dostęp 12.01.22).
- Walec <https://www.lectura-specs.pl/pl/model/maszyny-budowlane/walce-walki-segmentowe-hamm/hd-75-k-1028574> (dostęp 07.01.22).
- Walsh M. Managing Vehicle Risks in Construction. Health and Safety Authority ss.53, 2018. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://ciftrai-ning.ie/wp-content/uploads/2020/03/Presentation_Working_Safely_with_Vehicles_in_Construction.pdf&ved=2ahUKEwjvx6_Y_qAJAxU2SPEDHcLyIfsQFnoEC-BoQAAQ&usg=AOVvawllsglFPMf_hseF3lqE8nEu (dostęp 15.05.2024).

Adres do korespondencji: edmund.lorencowicz@up.lublin.pl

ORCID: Edmund Lorencowicz 0000-0002-4190-0422

ORCID: Sławomir Kocira 0000-0002-2888-3023

URZĄDZENIE DO JEDNOCZESNEGO PODAWANIA RÓŻNYCH PALIW STAŁYCH DO KOTŁA JAKO NARZĘDZIE WSPOMAGAJĄCE PROCESY LOGISTYCZNE

Tomasz Olkowski¹, Dariusz Choszcz²

¹ Katedra Elektrotechniki, Energetyki, Elektroniki i Automatyki, Wydział Nauk Technicznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

² Katedra Maszyn Roboczych i Metodologii Badań, Wydział Nauk Technicznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Wstęp

Wydarzenia geopolityczne początku 2022 roku i wynikające z nich przerwanie łańcuchów dostaw surowców energetycznych pozyskiwanych dotąd głównie z jednego kierunku pokazują jak zgubne może być uzależnianie się od pojedynczych dostawców. Zwłaszcza kierunki dostawy surowców strategicznych, jakimi są paliwa, powinny być możliwie najbardziej zdywersyfikowane, by w przyszłości ustrzec się podobnych problemów. Doświadczenia polskie płynące z działań dywersyfikacyjnych jakie podjęto w ostatnich latach na rzecz dostaw paliw gazowych powinny również zostać wykorzystane w kontekście pozostałych surowców energetycznych stosowanych w krajowej gospodarce.

Z gospodarczego punktu widzenia dywersyfikacja kierunków dostaw paliw jest wysoce pożądana, ponieważ stanowi ona o bezpieczeństwie energetycznym kraju lub innego obszaru. Jednak z technicznego punktu widzenia działania dywersyfikacyjne nie są już tak chętnie podejmowane przez odbiorców dostarczanych paliw. Odbiorcom wygodniej jest kupować paliwo z jednego źródła niż z wielu różnych. Często nie ma bowiem pewności czy teoretycznie te same paliwa dostarczane z różnych źródeł będą miały takie same lub przynajmniej zbliżone parametry jakościowe¹.

Jakość paliw stosowanych we współczesnych kotłach energetycznych, a także w innych urządzeniach spalających paliwa, z powodu stale rosnących wymagań co do ich sprawności oraz jakości emitowanych spalin, stała się niezwykle ważna. Aby wspomniane urządzenia

¹ Pyza K., Kuboń M., Zajac G., Maj G., Słowik T., Szyszlak-Bargłowicz J.: Logistyka dostaw biomasy w obszarze transportu lądowego. Rozdz. w monografii pod red. Dzieniszewskiego G., Kubonia M. pt.: Procesy logistyczne w przemyśle. Wyd. "Inżynieria Rolnicza", 2023.

mogły osiągnąć optymalne parametry eksploatacyjne, powinny być zasilane paliwami o określonych właściwościach².

Co zatem robić, gdy brakuje odpowiednich paliw? Jedną z odpowiedzi na problem stosowania paliw o niewystarczających parametrach jakościowych jest ich mieszanie z paliwami o lepszej jakości. Paliwa te powinno się mieszać w takich proporcjach, by parametry jakościowe powstałej w ten sposób mieszaniny zawierały się jeszcze w optymalnym zakresie. Dokonuje się wtedy tzw. współspalania paliw³. Potrzeba współspalania może wynikać z różnych przyczyn. Jedną z nich może być konieczność spalania paliw lub innych materiałów o niskiej jakości energetycznej, jak np. odpadów komunalnych, osadów ściekowych itp. Wówczas miesza się je z wysoko energetycznymi paliwami stałymi lub płynnymi i dotrzymuje się w ten sposób wymaganych parametrów energetycznych całej mieszaniny (np. wartości opałowej, wilgotności, temperatury gazów spalinowych itp.). Inną częstą przyczyną współspalania może być potrzeba zapewnienia odpowiedniej jakości emitowanych spalin, np. współspalanie węgla z biomasą roślinną w celu obniżenia emisji CO₂ do atmosfery.

Realizacja procesów współspalania paliw stałych odbywa się na różne sposoby. Zależy to w dużej mierze od konstrukcji samego urządzenia kotłowego (paleniska), ale także od jego wielkości (mocy). Inaczej wygląda podawanie paliw do kotłów o dużej (kilkadziesiąt lub więcej MW) mocy cieplnej i tym samym o zapotrzebowaniu na duże ilości paliwa (kilka lub więcej t/h), niż do kotłów o mocy małej, (np. kilku czy kilkunastu kW). W tych pierwszych paliwo najczęściej opada grawitacyjnie ze specjalnych koszy zasypowych, mieszczących paliwo wystarczające na ok. dobę pracy kotła. Natomiast do nowoczesnych kotłów małej mocy paliwo jest często podawane w kierunku przeciwnym do siły ciężenia za pomocą specjalnych palników retortowych wyposażonych w przenośnik śrubowy. W tych rozwiązaniach zasobnik paliwa może zapewnić pracę kotła przez nawet kilka dób.

Technologie tworzenia mieszanin współspalanych także są zróżnicowane. Jedne mają postać odrębnych instalacji przygotowujących gotowe mieszaniny o określonych proporcjach przeznaczone do współspalania, inne pozwalają na zmieszanie paliw tuż przed ich dostarczeniem do paleniska kotła. Te pierwsze nadają się do stosowania w przypadku paliw o podobnych właściwościach, jak wielkość cząstek, wilgotność itp. oraz do kotłów dużej mocy, gdzie zapas paliwa w zasobniku wystarcza na stosunkowo krótki czas i nie ma możliwości długiego zalegania mieszaniny i jej zbrylania, co mogłoby mieć niekorzystny wpływ na funkcjonowanie urządzenia kotłowego. Drugie z wymienionych technologii są bardziej pożądane w stosunku do mieszanin, gdzie występują składniki o znacznie gorszych parametrach jakościowych niż paliwo główne albo o innym stanie skupienia czy konsystencji. Nadają się do kotłów wszystkich typów, jednak wymagają modyfikacji podajnika paliwa w taki sposób, aby poszczególne składniki mieszaniny były gromadzone i transportowane osobno, a ich zmieszanie następowało tuż przed wprowadzeniem do paleniska kotła.

Przedmiotem niniejszej pracy jest urządzenie spełniające kryteria drugiej z przedstawionych wyżej technologii. Ten wynalazek, prócz zastosowań strictly energetycznych, może być także narzędziem wspomagającym użytkowników paliw stałych w zakresie logistyki dostaw

² Zapalowska A., Matłok N., Balawejder M., Wywrocki P.: Logistyczne aspekty produkcji i dystrybucji biomasy na cele energetyczne. Rozdz. w monografii pod red. Dzieńszewskiego G., Kubonia M. pt.: Procesy logistyczne w przemyśle. Wyd. Inżynieria Rolnicza, 2023.

³ Ciukaj S.: Techniczne uwarunkowania współspalania biomasy. *Energetyka – Społeczeństwo – Polityka*, 1, 2017.

przez możliwość jednoczesnego wykorzystania paliw dostarczanych z różnych kierunków. Tworzenie stabilnych mieszanek z paliw o zróżnicowanych właściwościach paliwowych może też stać się zachętą do celowej dywersyfikacji dostaw surowców energetycznych. Takie podejście może być uzasadnione np. z ekonomicznego punktu widzenia.

Przegląd rozwiązań patentowych urządzeń do podawania paliw stałych

W literaturze można znaleźć opisy różnych interesujących rozwiązań patentowych urządzeń do podawania i współspalania paliw. Poniżej przedstawiono wybrane z nich.

Jednym z rozwiązań jest system transportu mieszanego materiału paliwowego⁴. System ten zawiera trzy linie transportowe, przy czym pierwsza linia przenośnikowa jest używana do kruszenia i przesiewania węgla i papierowych mieszanin oraz przenoszenia węgla i mieszanek do wlotu kotła; druga linia przenośnikowa jest wykorzystywana do przenoszenia wiórów bambusowych i papierowych mieszanek do tylnego końca pierwszej linii transportującej, a trzecia linia przenośnikowa służy do przenoszenia wiórów bambusa i papierowych mieszanek do specjalnego wlotu bambusowego do kotła. System transportu mieszanego paliwa może przekazywać paliwo różno-składnikowe i o różnym stosunku paliw względem siebie.

Kolejnym rozwiązaniem jest dwufazowy podajnik paliwa⁵, umożliwiający podawanie i współspalanie paliw stałych i ciekłych w kotle z paleniskiem fluidalnym. Podajnik zawiera ukośną rurę, którą opadają grawitacyjnie cząstki paliwa stałego. Wylot rury stanowi wlot paliwa do paleniska kotła. W najniższym punkcie tego wylotu umieszczono dysze powietrza pierwotnego. Wydobywający się z nich strumień powietrza powoduje wdmuchiwanie cząstek paliwa stałego w głąb komory paleniskowej. Powyżej dysz powietrza pierwotnego znajdują się dysze powietrza wtórnego, których zadaniem jest wdmuchiwanie powietrza wtórnego wraz z paliwem ciekłym do komory paleniskowej. Umożliwia to kontakt i współspalanie paliwa ciekłego z paliwem stałym w złożu fluidalnym. To rozwiązanie pozwala na współspalanie paliw stałych z kalorycznymi substancjami odpadowymi, jak np.: osady z papierni, papier z recyklingu, osady ściekowe czy wywar gorzelniany pozostały po produkcji etanolu itp.

Inny przykład⁶ opisuje metodę wtrysku i kontroli procesu spalania przez zastosowanie dysz wtryskowych i lanc, umożliwiających współspalanie płynnych paliw kopalnych i odpadowych paliw stałych z biomasy w postaci granulowanych węgli drzewnych i innych cząstek rozdrobnionej biomasy. Biomasa jest transportowana w pierścieniowym strumieniu powietrza za pomocą zespołu pięciu koncentrycznych, pierścieniowych dysz, pomiędzy dwoma strumieniami powietrza o większej prędkości, z których oba zbiegają się, aby przyspieszyć i napędzać paliwo z biomasy. W ten sposób biomasa dostaje się do strefy płomienia wytwarzanej w konwencjonalnym kotle opalanym płynnymi paliwami kopalnymi. Dodatkowe powietrze wymagane do spalania paliwa z biomasy jest podawane do rozprężającego się

⁴ Shen X., Fang Y., Wu D., Zhou Y., Wu Y., Mei L., Gao M.: Mixed fuel material conveying system. Patent No. CN106931462, 2023.

⁵ DeSelle J. F., Heil K. M., Yoder J. J., LaRue A. D., Maryamchik M., Stirgwolt W. R.: Dual phase fuel feeder for boilers. US Patent No. 9,482,428, 2016.

⁶ Walsh W. A.: Merging combustion of biomass and fossil fuels in boilers. US Patent No. 7,832,341, 2010.

pióropusza ognia wytwarzanego przez strumień dostarczający paliwo i sąsiadujące strumienie powietrza.

Kolejnym przykładem jest dystrybutor wielopaliwowy⁷. Umożliwia on podawanie i równomierne rozprowadzanie na powierzchni rusztu kotła miazgi węglowej i drugiego paliwa, jakim może być biomasa lub paliwa odpadowe, w połączeniu lub osobno. Składa się z podajnika węgla i drugiego podajnika paliwa. Wyloty obu podajników paliw łączą się tworząc jeden otwór wlotowy do paleniska. Węgiel jest podawany opadając grawitacyjnie z zasobnika węgla do części dystrybutora, która mechanicznie wrzuca węgiel do paleniska i rozprowadza go równomiernie na całej powierzchni rusztu. Dzieje się to w sposób ciągły i kontrolowany. Drugie paliwo (odpadowe) przemieszcza się na ruszt w strumieniu powietrza. Dzięki temu paliwa mogą być podawane na ruszt jednocześnie i nie dochodzi do wzajemnych zakłóceń pracy urządzeń podających.

Następny przykład⁸ przedstawia modyfikację rozwiązania z poprzedniego akapitu. Modyfikacja ta polega na zmianie sposobu podawania głównego paliwa (miazgi węglowej) z mechanicznego na pneumatyczny, analogicznie do sposobu podawania drugiego paliwa, jakim są odpady komunalne. To rozwiązanie zdaniem autorów pozwala na zredukowanie liczby ruchomych elementów roboczych, czyniąc całe urządzenie mniej awaryjnym.

Jeszcze innym rozwiązaniem jest palnik współpalający pył węglowy z trocinami lub z pyłem drzewnym⁹. W przedstawionych wariantach konstrukcyjnych tego rozwiązania zmieszanie paliw może następować w samym palniku albo wewnątrz młyna węglowego na etapie rozdrabniania i mielenia paliw.

Urządzenie do jednoczesnego podawania różnych paliw stałych do kotła

Projekt urządzenia do jednoczesnego podawania różnych rodzajów paliw stałych do kotła grzewczego, widocznego na rysunku 1, został objęty ochroną Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej¹⁰. Głównym elementem urządzenia jest układ trzech przenośników śrubowych, służących do transportu paliw z 3-komorowego zasobnika na ruszt kotła. Sensem działania urządzenia jest jednoczesne dostarczenie do paleniska kotła grzewczego trzech różnych rodzajów paliw stałych o granulacji nie większej niż 30 mm. Zakłada się, że dzięki swojej konstrukcji urządzenie pozwoli na równomierne wymieszanie podawanych paliw, przez co będzie możliwe współpalanie paliw o różnej granulacji, wilgotności czy wartości opałowej, zapewniając przy tym stabilne właściwości paliwowe otrzymanej mieszaniny. Przed wprowadzeniem paliw do urządzenia, będą one przechowywane w specjalnie zaprojektowanym koszu zasypowym, w którego wnętrzu wydzielono trzy osobne komory umożliwiające odseparowanie od siebie poszczególnych paliw. To jest szczególnie ważne, gdy stosowane paliwa będą znacząco różnić się wilgotnością i woda z paliw bardziej wilgotnych nie będzie mieć możliwości niekontrolowanej migracji do paliw bardziej suchych, co miałyby niekorzystny wpływ na ich kaloryczność.

⁷ Reschly D. C. Reschly, David C.: Multi-fuel feeder distributor. US Patent No. 4,326,469, 1982.

⁸ Reschly D. C., Loviska T. R.: Fuel feeder. US Patent No. 4,905,613, 1990.

⁹ Vatsky, J. Conn R. E.: Burner system and method for mixing a plurality of solid fuels. US Patent No. 6,986,311, 2006.

¹⁰ Olkowski T., Syroka Z., Agaszewski P.: Urządzenie do jednoczesnego podawania różnych rodzajów paliw stałych do kotła grzewczego. Patent nr 241357, 2022.



Rysunek 1. Urządzenie do jednoczesnego podawania różnych rodzajów paliw stałych do kotła grzewczego

Źródło: (Opracowanie własne)

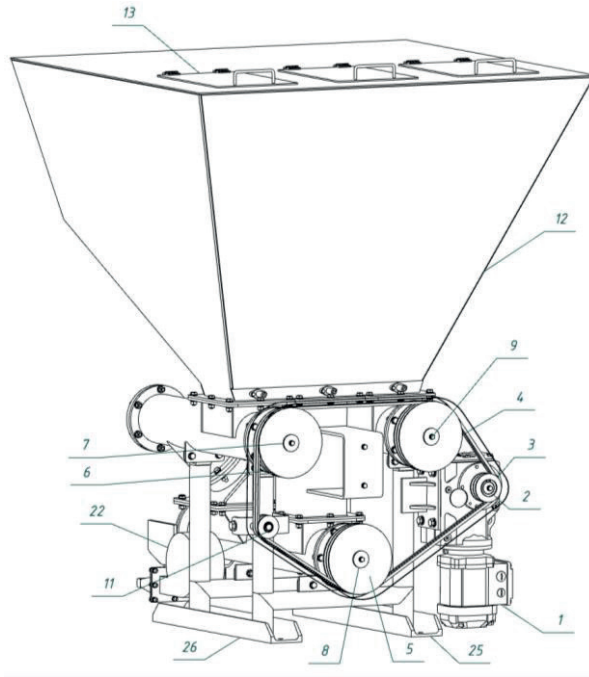
Zasada działania urządzenia

Na rysunku 2 został przedstawiony układ napędowy urządzenia. Widoczny na nim motoreduktor (1) napędza koło pasowe napędowe (2), które za pośrednictwem dwóch pasów (3) wprawia w ruch koła pasywne (4), (5) i (6), a wraz z nimi wały napędowe (7), (8), (9) przenośników śrubowych. Dodatkowo w układzie napędowym między kołami (5) i (6) znajduje się koło naciągowe (11) służące do napinania pasów (3).

Cząstki paliw opadają do poszczególnych przenośników śrubowych ze specjalnie zaprojektowanego kosza zasypowego (12), w którym znajdują się trzy komory zamykane drzwiczkami (13). Każda komora jest osobno połączona z obudową odpowiadającego jej przenośnika śrubowego. Następnie tymi przenośnikami paliwa są transportowane w płaszczyźnie poziomej.

Przy końcu każdego z dwóch górnych przenośników (14) znajduje się zsyp, którym paliwa opadają do trzeciego dolnego przenośnika (16), co jest widoczne na rysunku 3. Koniec dolnego przenośnika jest podparty łożyskiem temperaturowym (19).

Górne przenośniki są dodatkowo wyposażone w pióro zwrotne (20) wywołujące ruch przeciwny do kierunku ruchu transportowanego materiału. Rolą pióra zwrotnego jest zawracanie do zsypu materiału, który przemieścił się poza zsyp. Dolny przenośnik śrubowy posiada zmienny skok. Zmiana skoku następuje tuż przed komorą mieszania. Skok zwiększony jest trzykrotnie, w związku z tym wydajność przenośnika również zwiększa się trzykrotnie. Umożliwia to zabranie materiału ze wszystkich trzech przenośników śrubowych.



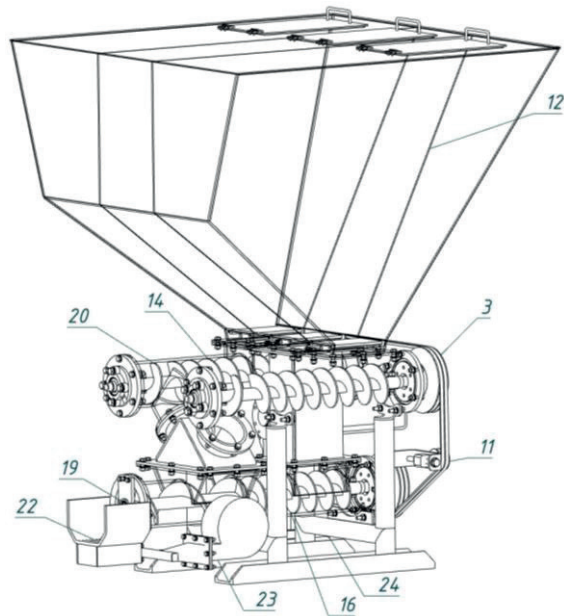
Rysunek 2. Widok wnętrza urządzenia od strony napędu przenośników śrubowych.

Źródło: (Olkowski, Syroka, Agaszewski, 2022¹¹)

W palenisku (22) następuje spalanie paliw. Od spodu wdmuchiwane jest powietrze pierwotne z dmuchawy (23).

Rama nośna (24) urządzenia opiera się na dwóch C-owych szynach (25) i (26), których zadaniem jest ustabilizowanie urządzenia podczas jego transportu.

¹¹ Olkowski T., Syroka Z., Agaszewski P.: Urządzenie do jednoczesnego podawania różnych rodzajów paliw stałych do kotła grzewczego. Patent nr 241357, 2022.



Rysunek 3. Widok wnętrza urządzenia od strony przenośników śrubowych

Źródło: (Olkowski, Syroka, Agaszewski, 2022¹²)

Podsumowanie

Zaproponowane urządzenie do jednoczesnego podawania różnych rodzajów paliw stałych do kotła grzewczego może być korzystną alternatywą dla typowych rozwiązań na jedno paliwo. Może się ono sprawdzić wszędzie tam, gdzie brakuje paliw o jednorodnych parametrach jakościowych i gdzie zachodzi potrzeba mieszania i współspalania. Dotyczy to zwłaszcza paliw z biomasy, która jak wiadomo jest surowcem o silnie zróżnicowanych właściwościach ze względu na przydatność do spalania. Ponadto przedmiotowe urządzenie mogłoby znaleźć zastosowanie w zakładach przetwórczych przemysłu rolno-spożywczego czy przetwórstwa drewna. W takich zakładach powstają znaczne ilości kalorycznych odpadów nadających się do spalania, jak np. pestki, łupiny orzechów, słoma, plewy, otręby, kora, trociny, wióry itp. Takie odpady można mieszać i współspalać w miejscu ich powstawania, co stanowi niewątpliwie korzyści energetyczne, jak i ekonomiczne.

¹² Olkowski T., Syroka Z., Agaszewski P.: Urządzenie do jednoczesnego podawania różnych rodzajów paliw stałych do kotła grzewczego. Patent nr 241357, 2022.

Bibliografia

- Ciukaj S.: Techniczne uwarunkowania współspalania biomasy. Energetyka – Społeczeństwo – Polityka, 1, 2017.
- DeSellem J. F., Heil K. M., Yoder J. J., LaRue A. D., Maryamchik M., Stirgwolt W. R.: Dual phase fuel feeder for boilers. US Patent No. 9,482,428, 2016.
- Olkowski T., Syroka Z., Agaszewski P.: Urządzenie do jednoczesnego podawania różnych rodzajów paliw stałych do kotła grzewczego. Patent nr 241357, 2022.
- Pyza K., Kuboń M., Zając G., Maj G., Słowik T., Szyszlak-Bargłowicz J.: Logistyka dostaw biomasy w obszarze transportu lądowego. Rozdz. w monografii pod red. Dzieniszewskiego G., Kubonia M. pt.: Procesy logistyczne w przemyśle. Wyd. Inżynieria Rolnicza, 2023.
- Reschly D. C.: Multi-fuel feeder distributor. US Patent No. 4,326,469, 1982.
- Reschly D. C., Loviska T. R.: Fuel feeder. US Patent No. 4,905,613, 1990.
- Shen X., Fang Y., Wu D., Zhou Y., Wu Y., Mei L., Gao M.: Mixed fuel material conveying system. Patent No. CN106931462, 2023.
- Walsh W. A.: Merging combustion of biomass and fossil fuels in boilers. US Patent No. 7,832,341, 2010.
- Vatsky J., Conn R. E.: Burner system and method for mixing a plurality of solid fuels. US Patent No. 6,986,311, 2006.
- Zapałowska A., Matłok N., Balawejder M., Wywrocki P.: Logistyczne aspekty produkcji i dystrybucji biomasy na cele energetyczne. Rozdz. w monografii pod red. Dzieniszewskiego G., Kubonia M. pt.: Procesy logistyczne w przemyśle. Wyd. Inżynieria Rolnicza, 2023.

Adres do korespondencji: tomasz.olkowski@uwm.edu.pl

ORCID: Tomasz Olkowski 0000-0003-3783-1281

ORCID: Dariusz Choszcz 0000-0002-3119-9038

OPTIMALIZACJA TRAS W ŁAŃCUCHU DOSTAW ŚWIEŻYCH OWOCÓW I WARZYW W WYBRANEJ FIRMIE TRANSPORTOWEJ

Maciej Pajda¹, Jadwiga Topczewska², Małgorzata Ormian²

¹ OMEGA Pilzno ITiS Godawski & Godawski Sp. z o.o.

² Zakład Produkcji Zwierzęcej i Oceny Produktów Drobiarskich, Uniwersytet Rzeszowski

Wstęp

Warzywa stają się coraz ważniejszym składnikiem codziennej diety Europejczyków, co skutkuje wzrostem popytu. Ich uprawa i produkcja w UE jest zróżnicowana i skoncentrowana regionalnie. W krajach południowych, takich jak Hiszpania i Włochy, skupia się niemal 44% produkcji¹. Jednocześnie przykładowo w Hiszpanii wydajność jest większa niż we Włoszech. Hiszpania jest także największym netto eksporterem warzyw wśród krajów członkowskich UE. W zakresie zabezpieczenia oczekiwań konsumentów Unia Europejska opiera się głównie na rynku wewnętrznym. Łańcuch dostaw surowców spożywczych w transporcie międzynarodowym to istotny i skomplikowany proces, który odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu dostępności żywności na światowym rynku².

Ze względu na globalizację i specjalizację produkcji, żywność może być pozyskiwana z różnych miejsc na świecie. Stanowi to ogromne wyzwanie w zakresie logistyki, tym bardziej, że większość surowców pochodzenia rolniczego cechuje się stosunkowo krótką przydatnością do przetwórstwa lub konsumpcji a zwłaszcza określonymi wymaganiami w zakresie warunków przechowywania i transportu. To oznacza, że sektor transportowy staje przed wieloma wyzwaniami. Wynika to z konieczności dostosowywania się do zmieniających się przepisów, co nie jest zadaniem łatwym. Dodatkowo, istnieją trudności związane z planowaniem operacji transportowych, zwłaszcza biorąc pod uwagę rodzaj ładunku, zarządzanie czasem pracy kierowców i inne czynniki³. Brak wegetacji w okresie zimowym w klimacie umiarkowanym wymusza sprowadzanie ogórków lub pomidorów z państw położonych bliżej równika. Pewnym rozwiązaniem jest prowadzenie produkcji pod osłonami. Takie

¹ Tarnowska A., Soukal I.: Regionalization of Production and Foreign Trade of Vegetables in the European Union, Conference Hradec Crlaove, Economic Days. doi: 10.36689/uhk/hed/2018-02-0412018, 2018.

² Konecka S., Stajniak M., Szopik-Depczyńska K.: Transport produktów spożywczych w temperaturze kontrolowanej. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 17, 164-167, 2016.

³ Gashi-Uciecha A.: Analiza i ocena procesu transportowego w wybranym przedsiębiorstwie sektora TSL. *Zeszyty Naukowe Organizacja i Zarządzanie Politechnika Śląska*, 121, 111-124, 2018.

systemy umożliwiają stworzenie dobrych warunków do uprawy. Natomiast skala produkcji nie zaspokaja potrzeb konsumentów na tyle, aby ograniczyć znacząco import warzyw i owoców z innych krajów⁴. Transport odgrywa dużą rolę m.in. ze względu na konieczność zachowania warunków chłodniczych i znaczące skrócenie czasu transportu, a tym samym zachowanie jakości produktu. Zapewnienie reżimu sanitarnego w odniesieniu do wykorzystywanych środków transportu stanowi istotny element ograniczenia ryzyka przenoszenia patogenów oraz szkodników. Po zbiorze surowców następuje ich obróbka i dalszy transport w ramach łańcucha dostaw, aż do ostatecznego punktu docelowego, z którego są dystrybuowane do sieci detalicznych⁵. W międzynarodowej dystrybucji produktów spożywczych istotne jest przestrzeganie regulacji celnych, sanitarno-higienicznych, jakościowych oraz etykietowania w kraju docelowym. Technologie umożliwiające śledzenie i monitorowanie przesyłek podczas dystrybucji są niezwykle ważne, aby zapewnić transparentność i kontrolę nad towarem na każdym etapie dostawy. Produkty spożywcze mogą być dystrybuowane do różnych odbiorców, takich jak sklepy detaliczne, hurtownie, sieci restauracji czy producenci żywności, co wymaga odpowiedniego planowania i organizacji. Wszystkie etapy dystrybucji muszą być zgodne z zasadami HACCP i odpowiednimi procedurami bezpieczeństwa żywności, aby uniknąć kontaminacji i zagrożeń dla zdrowia konsumentów.

W Europie w ciągu ostatnich dwóch dekad nastąpiły dynamiczne zmiany w łańcuchach żywnościowych, wynikające między innymi ze zmian wprowadzonych w latach 90. XX wieku w krajach Europy Środkowej i Wschodniej. Procesy prywatyzacji, liberalizacji rynków i napływ inwestycji zagranicznych doprowadziły do konsolidacji przemysłu spożywczego, rosnącego znaczenia sieci supermarketów i hipermarketów oraz wprowadzenia wysokich standardów jakości. Aktualnie większość owoców i warzyw importowanych jest dostarczane do punktów dystrybucyjnych należących do sieci supermarketów⁶. Skuteczne zarządzanie przemieszczaniem się produktów szybko psujących się jest kluczowe, gdyż ma istotny wpływ na sukces i trwałość firm, które stanowią integralną część łańcucha dostaw. Wymaga to profesjonalnego podejścia do koordynacji, planowania i realizacji działań⁷. Magazynowanie i dystrybucja produktów spożywczych są procesami dynamicznymi, które wymagają precyzyjnego zarządzania, doskonałej organizacji i dbałości o jakość i bezpieczeństwo. Dobre praktyki w tych obszarach pomagają skrócić czas dostaw, minimalizować straty, ograniczyć marnotrawstwo oraz zapewnić zadowolenie klientów poprzez dostarczenie świeżej, bezpiecznej i wysokiej jakości żywności. Warto zauważyć, że łańcuch dostaw surowców spożywczych wiąże się z generowaniem odpadów. Przy zwiększonej globalnej świadomości na temat zrównoważonego rozwoju, ważne jest wprowadzanie praktyk zmierzających do ograniczenia marnotrawstwa i ochrony środowiska.

⁴ Ficoń K., Krasnodębski G.: Nowoczesne technologie logistyczne jako źródło dodatkowych wartości w łańcuchu dostaw. *Systemy Logistyczne Wojsk*, 48(1), 78-98, 2018.

⁵ Szymańska E.J., Żuchowski I., Kruszyński M.: Organizacja łańcuchów dostaw na wybranych rynkach produkcji roślinnej w Polsce. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2021.

⁶ Guth M., Bieniek-Majka M., Maican S.: Market Adjustments of Fruit and Vegetables Producers to Changing Distribution Channels in Selected European Union Countries After 2012. *Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists*, 21(3), 134-142, 2019.

⁷ Dusza M.: Ogólne warunki dystrybucji malin w Polsce. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie, Ekonomika i Organizacja Logistyki*, 2(1), 31-38, 2017.

W transporcie produktów spożywczych mogą pojawiać się zwroty z różnych przyczyn np. uszkodzenia i awarii pojazdu skutkujące zbyt długim czasem transportu, nieprzewidywanych zdarzeń drogowych, ale także wady samego produktu. Podczas przewozu produktów spożywczych, zwłaszcza wrażliwych na uszkodzenia lub zmienne warunki, takich jak świeże owoce, warzywa czy jajka, mogą zaistnieć czynniki, które sprawiają, że żywność staje się nieprzydatna do konsumpcji. Przetarminowanie oznacza przekroczenie czasu przydatności do spożycia. W takim przypadku konieczne jest poddanie tych produktów utylizacji. Jeśli produkty spożywcze nie spełniają oczekiwań jakościowych klienta lub nie są zgodne z określonymi standardami, mogą zostać zwrócone⁸. Zwroty w transporcie produktów spożywczych są nieuniknione, ale można ograniczyć ich skalę poprzez stosowanie odpowiednich procedur, takich jak dostosowane opakowania, monitorowanie warunków transportu, zastosowanie dedykowanych systemów kontroli jakości oraz szybka reakcja na potencjalne problemy. Najważniejszym czynnikiem kontrolowanym przez przewoźnika jest czas przewozu i dostarczenia towaru. Wynika to z faktu, że niektóre produkty żywnościowe mają krótki czas przydatności do spożycia i muszą być jak najszybciej dostarczone do miejsca docelowego. Niekontrolowanie czasu transportu w konsekwencji prowadziłyby do bardzo dużych strat materialnych lub w przypadku wprowadzenia produktów do obrotu mogłyby skutkować negatywnie na zdrowie konsumentów⁹. Dbałość o jakość, bezpieczeństwo i terminową dostawę produktów spożywczych jest kluczowym elementem, który pozwala zmniejszyć liczbę zwrotów i zapewnić zadowolenie klientów. Możliwe problemy w realizacji przewozów to brak miejsca postojowego dla załadunku i rozładunku żywności, nieelastyczne godziny dostaw żywności a także dostawy niezgodne z zaplanowanym harmonogramem oraz uszkodzenia transportowanej żywności w łańcuchu dostaw¹⁰. Warto również podkreślić, że w wyniku globalizacji łańcuchy dostaw stały się bardziej skomplikowane, uległy też wydłużeniu, co może wpływać na zakłócenia, takie jak zmiany w warunkach pogodowych, polityce międzynarodowej oraz zachowaniu świeżości produktów. W celu usprawnienia łańcucha dostaw surowców spożywczych, wiele firm i organizacji podejmuje działania mające na celu zwiększenie efektywności, równoważności oraz bezpieczeństwa tego procesu¹¹. Technologie informatyczne, takie jak blockchain a także zaawansowane systemy monitorowania, mogą być wykorzystywane do śledzenia i zarządzania łańcuchem dostaw, co może pomóc w identyfikacji ewentualnych problemów i szybkim reagowaniu. Łańcuch dostaw surowców spożywczych w transporcie międzynarodowym to złożony proces, który wymaga współpracy i koordynacji wielu podmiotów, a także stałego doskonalenia w celu zapewnienia dostępności zdrowej i bezpiecznej żywności w skali globalnej.

Celem pracy była analiza łańcucha dostaw świeżych owoców i warzyw w wybranej firmie transportowej. Zakres pracy obejmował dane za lata 2022-2023.

⁸ Huk K.: Logistyka zwrotów a podejście procesowe – zależności i etapy tworzenia. [w:] Wybrane aspekty zarządzania procesami, projektami i ryzykiem w przedsiębiorstwach. E. Sońta-Drażkowska, I. Bednarska-Wnuk (red.), WUŁ, Łódź, 53-65, 2020.

⁹ Satora M., Szkoda M.: Zapewnienie jakości i bezpieczeństwa produktów żywnościowych w transporcie drogowym. *Autobusy: bezpieczeństwo i ekologia*, 6, 86-92, 2019.

¹⁰ Postrożny J.: Ocena i wybór optymalnego wariantu opakowania produktów spożywczych. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie*, 3 (997), 141–158, 2022.

¹¹ Palka A.: Transport chłodniczy żywności w Polsce. *Autobusy: bezpieczeństwo i ekologia*, 12, 179-183, 2018.

Material i metody badań

Dane zostały pozyskane z wybranej firmy transportowej w której były realizowane transporty owoców i warzyw. Uwzględniono liczbę transportów mandarynek, truskawek, ogórków, papryki, liczbę zwrotów i reklamacji a także czas przewozów. Ponadto podano przykładowe trasy w zakresie najczęściej realizowanych przewozów w latach 2022-2023.

Firma transportowa posiadała nowoczesną flotę samochodów ciężarowych wyposażonych w naczepy typu chłodnia. Naczepy te były wymieniane średnio co 4-5 lat tak, aby zachować jak najwyższą jakość usług przewozowych. Wewnętrzna strukturę skrzyni ładunkowej naczepy można dostosować do konkretnych towarów, które są przewożone. Zachowanie czystości naczepy chłodniczej ma kluczowe znaczenie w obszarze pracy tego rodzaju środków transportu. Obecnie wszystkie magazyny specjalizujące się w przechowywaniu żywności wymagają prowadzenia dokumentacji potwierdzającej czystość i sterylność naczepy. Aby zapewnić bezpieczeństwo przewożonych produktów spożywczych, wewnątrz skrzyni ładunkowej musi być bezpieczne pod względem mikrobiologicznym. Wymagane jest regularne mycie wnętrza skrzyni ładunkowej po każdym transporcie. Każda z naczep chłodniczych musi być wyposażona w Książeczkę Kontroli Weterynaryjnej, wydawaną przez Powiatowego Lekarza Weterynarii. Pojazd transportowy musi również być zarejestrowany w Powiatowym Inspektoracie Sanitarnym i podlega urzędowej kontroli sanitarno-higienicznej. Ponadto, kierowcy pracujący z naczepami chłodniczymi muszą posiadać orzeczenie lekarskie do celów sanitarno-epidemiologicznych.

Na podstawie uzyskanych danych obliczono skalę transportu wybranych owoców i warzyw (mandarynek, truskawek, ogórków oraz papryki). Obliczono średni dystans w kilometrach, masę przewożonego ładunku, koszty drogowe oraz liczbę zwrotów przewożonych produktów. Wyniki badań zestawiono w tabelach oraz na rysunkach. Obliczeń dokonano z wykorzystaniem pakietu Excel

Wyniki badań

Przewóz świeżych owoców i warzyw stanowi wyzwanie dla firm przewozowych. Zmiany warunków podczas transportu oraz potencjalne usterki w konstrukcji pojazdu mogą negatywnie wpłynąć na jakość produktów i stanowić zagrożenie dla konsumentów. Konwencja ATP określa zasady przewozu artykułów spożywczych, normy dla nadwozi pojazdów, klasyfikację pojazdów do przewozu żywności oraz metody kontroli i znakowania pojazdów (Umowa ATP o międzynarodowych ..., Dz. U. z 2015r., poz. 667)¹². Przestrzeganie tych wytycznych pomaga minimalizować ryzyko związane z niewłaściwym przewozem produktów spożywczych. Transport w kontrolowanej temperaturze ma za zadanie zapewnić dostarczenie świeżych produktów spożywczych, bezpiecznych dla konsumentów. Dlatego tak istotne jest przestrzeganie przepisów, które mają na celu zapewnienie dostosowanego do produktu / surowca dostarczenia żywności, zapobieganie uszkodzeniom i zanieczyszczeniom

¹² ATP Umowa o międzynarodowych przewozach szybko psujących się artykułów żywnościowych i o specjalnych środkach transportu przeznaczonych do tych przewozów (ATP), Dz. U. 2015, poz. 667.

oraz ograniczenie wpływu czynników zewnętrznych na ładunek podczas wszystkich etapów załadunku, przewozu i przechowywania¹³.

Największe zainteresowanie i popyt na owoce mandarynki występują głównie w miesiącach od grudnia do kwietnia. Mandarynki przewożone są najczęściej w plastikowych skrzynkach, które układane są na europaletach. Liczba załadowanych skrzynek na europaletę zależy od ich rozmiarów oraz wagi samych owoców. Temperatura wymagana podczas ich przewozu jest zależna od stopnia dojrzałości owoców i zawiera się w granicach + 4-5°C. Agregat podczas realizacji transportu mandarynek musi być włączony, co umożliwi utrzymanie wymaganej temperatury. W przeciwnym wypadku może dojść do zepsucia owoców. Naczepa wykorzystywana w przewozie owoców mandarynki musi być czysta i wolna od zapachów obcych. Wymagana jest najczęściej możliwość wydruku zapisu z urządzeń monitorujących mikroklimat w naczepie na życzenie klienta. Transport mandarynek może trwać nie dłużej niż 4-5 dni w zależności od długości tranzytu. Przy każdym zleceniu, niezależnie od rejonu, kierowca zobowiązany jest do sprawdzenia rodzaju, stanu i ilości towaru zgodnie ze zleceniem i dokumentami wystawianymi przez nadającego przesyłkę. Wymagana jest kontrola temperatury w naczepie od momentu załadunku, aż do momentu przyjęcia towaru przez klienta, obecność podczas załadunku i rozładunku towaru oraz prawidłowe rozmieszczenie towaru w naczepie przez osobę realizującą transport.

Analiza danych dotyczących realizowanych transportów pozwala na stwierdzenie, że owoce mandarynki są przywożone do polskiego dystrybutora od różnych producentów, co może być korzystne z punktu widzenia dywersyfikacji źródeł zaopatrzenia. Nabywca może wybierać dostawcę owoców z uwzględnieniem różnych czynników, takich jak koszty, długość trasy i wiarygodność firmy transportowej. Analiza kosztów drogowych jest istotna dla firm transportowych i importerów. W badaniach wykazano znaczącą różnicę w kosztach między trzema najczęściej realizowanymi trasami przewozu owoców mandarynki (tab. 1). Trasa z Grecji była znacznie tańsza (140 Euro) w porównaniu do tras z Hiszpanii (Betxi: 376 Euro, Murcia: 416 Euro).

Tabela 1. Realizowane przewozy mandarynek w badanej firmie

Kraj	Załadunek	Długość trasy (km)	Średnia masa przewożonego ładunku (tony)	Koszty drogowe (Euro)	Średnia liczba przewozów (m-c)	Skala zwrotów m-c (%)
Hiszpania	Betxi	2600	22	376	45	6,66
	Murcia	2900	22	416	38	2,63
Grecja	Αθαμανία	2000	22	140	40	5

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych firmy

Jak wykazano w tabeli 1, transport z Grecji jest bardziej opłacalny. Informacja o długości tras jest ważna dla planowania całego procesu logistycznego, w tym terminu dostawy. Trasa z Murci (Hiszpania) była najdłuższa (2900 km), a z Αθαμανία (Grecja) najkrótsza (2000 km). Średnia liczba przewozów realizowanych miesięcznie w okresie od grudnia 2022 roku do

¹³ Konecka S., Stajniak M., Szopik-Decpczyńska K.: Transport produktów spożywczych w temperaturze kontrolowanej. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 17, 164-167, 2016.

kwietnia 2023 roku różniła się. Największą liczbę przewozów stwierdzono dla Betxí (45) (tab. 1). Skala realizowanych transportów owoców ma wpływ na dostępność produktu w kraju docelowym. Liczba zwrotów jest istotna, ponieważ odzwierciedla poziom niezgodności i problemów podczas transportu. Najwyższy poziom zwrotów stwierdzono w przypadku transportu realizowanych na trasie Betxí - Kraków (6,66%), podczas gdy w przypadku pozostałych tras było to zdecydowanie mniej (tab. 1). Niższa liczba zwrotów może sugerować bardziej niezawodne trasy ale również odpowiednią dojrzałość owoców i dobre przygotowanie do transportu.

Dla zobrazowania procesu planowania optymalnej trasy zamieszczono wygenerowaną z systemu GBOX mapę dla transportu mandarynek z Betxí w Hiszpanii do Krakowa (rys. 1). Trasa została zaplanowana optymalnie ze względu na koszt przejazdów oraz ukształtowanie terenu. Pomimo, iż trasa przez Szwajcarię, Austrię lub Czechy może być krótsza, to koszty przejazdu przez te państwa są dużo wyższe.

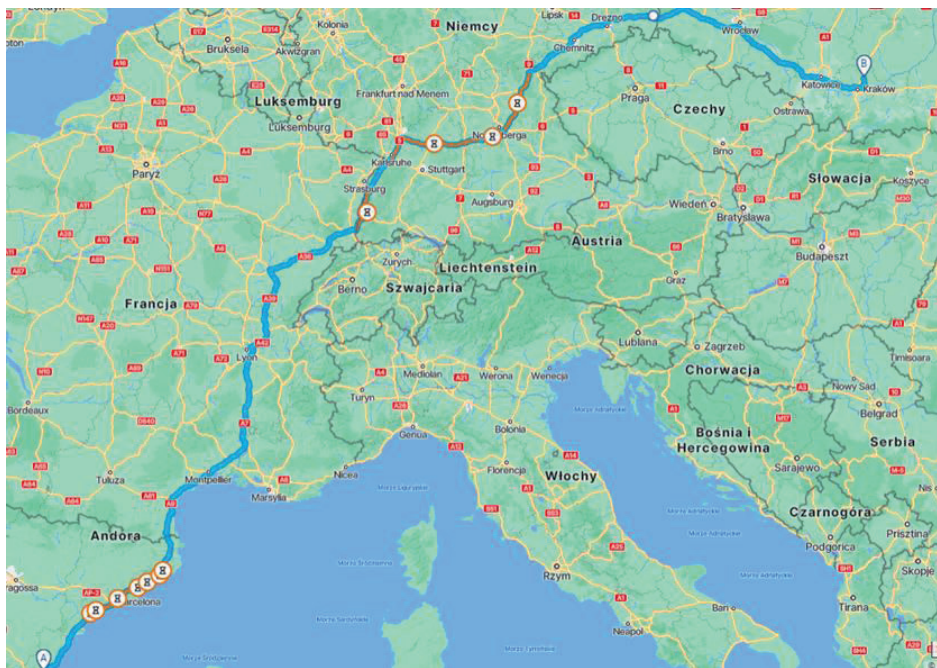
Truskawki są bardzo popularnym owocem poszukiwanym przez konsumentów przez cały rok¹⁴. Dzięki nowym technologiom można nie tylko produkować truskawki w najbardziej korzystnych regionach, jak np. Hiszpania lub Grecja, ale można ją uprawiać w kontrolowanych warunkach w systemach pod osłonami. Popularność tego owocu i skala popytu wymusza ich import¹⁵. Kontrolowane warunki transportu umożliwiają dostarczenie truskawek do każdego kraju. Import truskawek odbywa się przeważnie w miesiącach, w których uprawa np. w Polsce napotyka na ograniczenia związane z wegetacją.

Transport tych owoców musi być krótki, ponieważ wyróżniają się bardzo dużą podatnością na uszkodzenia i utratę wody. Nie powinien trwać dłużej jak 5 dni. Przed załadunkiem owoców do naczepy wymagane jest potwierdzenie temperatury o wysokości +8°C wewnątrz niej za pomocą wydruku z termografu. Naczepa musi być sterylnie czysta oraz pozbawiona obcych zapachów. W załadunku musi uczestniczyć kierowca i sprawdzać na bieżąco jakość owoców truskawki. Najczęściej kierowcy są zobowiązani do wykonywania zdjęć owoców dla potwierdzenia ich jakości podczas załadunku. Podczas samego transportu wymagana jest temperatura +1-2°C. Truskawki zbierane są do tzw. szalek a następnie pakowane do skrzynek, które układane są na europalecie¹⁶.

¹⁴ Rahman M.H., Hasan M.N., Khan M.Z.H.: Study on different nano fertilizers influencing the growth, proximate composition and antioxidant properties of strawberry fruits. *Journal of Agriculture and Food Research*, 6, 100246, 2021.

¹⁵ Zmarlicki K., Brzozowski B.: Truskawkowe preferencje. *Nowoczesny sad*, 16-17, 2020.

¹⁶ Arias F., Appelmann T., Giraldo, L.F.G. (eds.): Import and export of strawberries in a global market. *Ciencias económicas y contables, desafíos y retos para la competitividad*, Sepúlveda, JA. *Co-runiamericana*, Colombia, 280-291, 2020.



Rysunek 1. Planowana trasa przejazdu na odcinku Betxi – Kraków z wykorzystaniem programu GBOX

Źródło: Opracowanie własne

W okresie od 2022 do 2023 roku firma transportowała truskawki z Hiszpanii i Grecji do Krakowa, Katowic i Terespoła (tab. 2). Różnorodność tras i transportów stanowi element dywersyfikacji dochodów, ale również potwierdza markę firmy transportowej. Trasa z Hiszpanii do Krakowa była najdłuższa (3500 km), podczas gdy trasa z Grecji do Terespoła najkrótsza (2487 km) (tab. 2). Niezależnie od realizowanych transportów, średnia masa ładunku wynosiła 22,5 tony. Najniższe koszty oszacowano na 234 euro (z Λαρίσσός do Terespoła), a najwyższe na 307 euro (z Palos de la Frontera do Krakowa). W przypadku trasy z Palos de la Frontera wszystkie transporty odbyły się bez zakłóceń (brak reklamacji oraz zwrotów) (tab. 2). Średnia liczba przewozów w okresie od marca 2023 do maja 2023 roku różniła się między trasami. Transporty realizowane z Hiszpanii (Palos de la Frontera) do Krakowa miały najniższą średnią liczbę przewozów (28), natomiast z Grecji (Λαρίσσός) do Terespoła najwyższą średnią liczbę przewozów (34). Jednocześnie realizowane transporty z Hiszpanii (Almonte) do Katowic miały najwyższą liczbę zwrotów (6,06%), podczas gdy pozostałe wyraźnie niższą. Niższa liczba zwrotów może być związana z lepszym przygotowaniem owoców i optymalnymi trasami. Warto nadzorować i analizować poziom zwrotów, szczególnie w przypadku realizacji przewozów, dla których liczba zwrotów jest stosunkowo wysoka.

Podobnie jak w przypadku innych owoców i warzyw, przed załadunkiem ogórków do naczepy wymagane jest potwierdzenie temperatury o wysokości $+9^{\circ}\text{C}$ wewnątrz naczepy za pomocą wydruku z termografu. Naczepa musi być sterylnie czysta oraz pozbawiona obcych zapachów. W załadunku musi uczestniczyć kierowca, sprawdzając jakość towaru, a ponadto

jest zobowiązany do mierzenia temperatury ogórków podczas załadunku. W przypadku stwierdzenia jakichkolwiek niezgodności kierowca jest zobowiązany poinformować telefonicznie klienta. Podczas transportu wymagana jest temperatura +9°C. Ogórki zbierane są do skrzynek układanych później na europaletach.

Tabela 2. Realizowane przewozy truskawek w badanej firmie

Kraj	Załadunek	Miejsce docelowe	Długość trasy (km)	Średnia masa przewożonego towaru (tony)	Koszty drogowe (Euro)	Średnia liczba przewozów (m-c)	Skala zwrotów m-c (%)
Grecja	Λαρισσός	Terespol	2487	22,5	234	34	2,94
Hiszpania	Palos de la Frontera	Kraków	3500	22,5	307	28	-
	Almonte	Katowice	3250	22,5	303	33	6,06

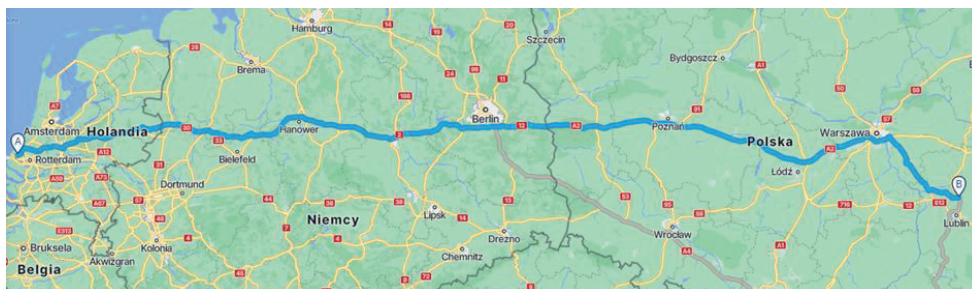
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych firmy

Tabela 3. Realizowane przewozy ogórków w badanej firmie

Kraj	Załadunek	Miejsce docelowe	Długość trasy (km)	Średnia masa przewożonego ładunku (tony)	Koszty drogowe (Euro)	Średnia liczba przewozów (m-c)	Skala zwrotów m-c (%)
Hiszpania	El Ejido	Katowice	3200	22	407	25	4
Holandia	De Lier	Lubartów	1471	23	197	36	5,55

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych firmy

Ogórki trafiające do centrum dystrybucji w Katowicach i Lubartowie pochodziły z El Ejido w Hiszpanii i De Lier w Holandii. Może to oznaczać, że były to główne źródła zaopatrzenia w to warzywo konsumentów na terenie Polski. Długość trasy jest istotna dla efektywności realizacji transportu, zużycia paliwa i czasu dostawy. Trasa z Hiszpanii (El Ejido do Katowic) jest dłuższą, wynoszącą 3200 km (tab. 3). Natomiast z Holandii generowała znacznie niższe koszty, wynoszące 197 Euro. Obie trasy miały zbliżone poziomy zwrotów. Przy wyborze optymalnej trasy związanej z transportem ogórków istotne jest miejsce załadunku oraz miejsce docelowe (rys. 2), decydujące o wszystkich elementach w procesie dystrybucji.



Rysunek 2. Planowana trasa przejazdu na odcinku De Lier – Lubartów z wykorzystaniem programu GBOX

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku tej trasy infrastruktura drogowa umożliwiła jej poprowadzenie prawie w linii prostej, co skutkowało ograniczeniem zbędnych kilometrów. Alternatywą było wyznaczenie trasy przez Wrocław i Kraków, co pozwala uzyskać oszczędności na kosztach autostrad. Jednocześnie trasa ta wiązała się z większymi kosztami drogowymi.

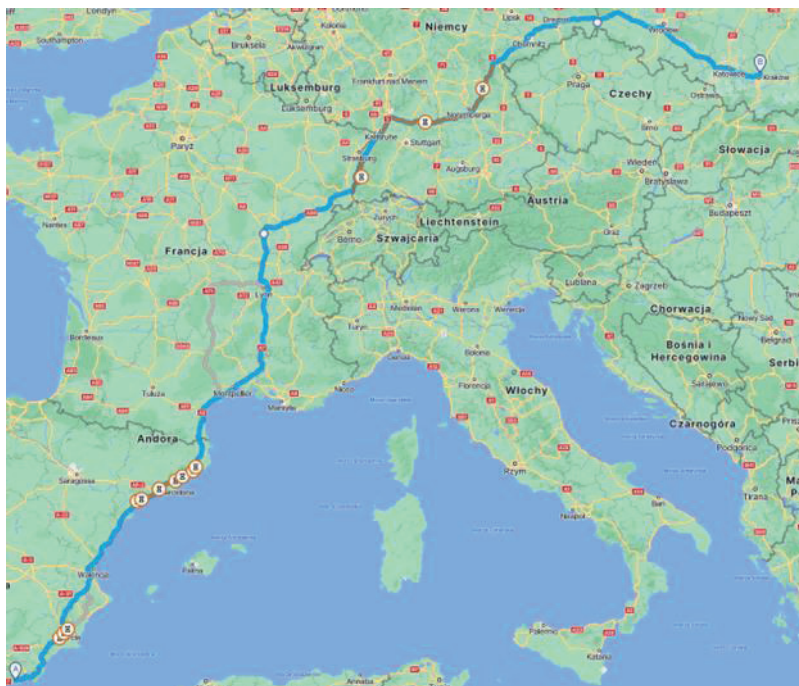
W celu zaspokojenia popytu przez cały rok na świeżą paprykę czerwoną niezbędny jest import z innych krajów UE, w których jest ona dostępna przez większą część roku. W załadunku musi uczestniczyć kierowca, sprawdzając jakość towaru. Podczas przewozu papryki wymagana jest temperatura $+10^{\circ}\text{C}$. Papryka jest pakowana najczęściej do papierowych skrzynek, które układane są na europaletach.

Tabela 4. Wyniki zrealizowanych przewozów papryki w badanej firmie

Kraj	Załadunek	Miejsce docelowe	Długość trasy (km)	Średnia masa przewożonego ładunku (tony)	Koszty drogowe (Euro)	Średnia liczba przewozów m-c	Skala zwrotów m-c (%)
Holandia	Middenmeer	Jarosław	1590	22	195	30	3,33
Hiszpania	El Ejido	Kraków	3100	23	398	21	4,76

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych firmy

Koszty transportów różniły się w zależności od miejsca załadunku do docelowego. Trasa z Holandii (Middenmeer do Jarosławia) miała niższe koszty, wynoszące 195 Euro, przy czym średnia liczba przewozów była wyższa z tego kraju. W tym przypadku poziom zwrotów wynosił 3,33%, podczas gdy trasa z Hiszpanii (El Ejido do Krakowa) miała nieco wyższy poziom zwrotów (4,76%) (tab. 4). Trasa z okolic hiszpańskiego El Ejido do Krakowa została przeprowadzona podobnie jak w przypadku innych zleceń w badanej firmie transportowej tak, aby uniknąć ograniczenia ruchu pojazdów ciężarowych w Szwajcarii oraz dużo wyższych opłat związanych z przejazdem (rys. 3).



Rysunek 3. Planowana trasa przejazdu na odcinku El Ejido – Kraków z wykorzystaniem programu GBOX Źródło: Opracowanie własne

Podsumowanie

W transporcie owoców i warzyw na terenie Unii Europejskiej wykorzystywany jest głównie transport drogowy. Firmy transportowe działające na rynku europejskim posiadają rozbudowaną i dostosowaną do przewozu w kontrolowanych warunkach flotę samochodową.

Analiza przewozu mandarynek wykazała, że importowane były do Polski głównie z Hiszpanii oraz Grecji. Średnio ładunek wynosił 22 tony a średnia liczba realizowanych transportów w sezonie 40. Można stwierdzić, że realizacja przewozów była prawidłowa, ponieważ skala zwrotów nie przekroczyła 6,66%.

Dostarczane do polskiego dystrybutora truskawki były przywożone z trzech miejsc, tj. Λαρissaς (Grecja) do Terespoła, Palos de la Frontera (Hiszpania) do Krakowa oraz z Almonte (Hiszpania) do Katowic. Średnia liczba zleceń zrealizowanych na wszystkich trasach wynosiła średnio 32 miesięcznie w sezonie, a każdy ładunek średnio 22,5 tony.

W okresie od listopada do kwietnia firma realizowała zlecenia w zakresie przewozu ogórków do Polski z Hiszpanii oraz Holandii. Dystans na realizowanych trasach oraz liczba ładunków wskazywały na bardzo dobre zabezpieczenie produktów przez producentów rolnych w Hiszpanii a w konsekwencji niższą skalę zwrotów.

Papryka jako bardzo popularne warzywo dostępna jest dla konsumentów we wszystkich krajach przez cały rok. Analizowane przedsiębiorstwo realizowało zlecenia przewozu papryki z dwóch państw, Holandii na trasie z Middenmeer do Jarosławia oraz Hiszpanii, z El Ejido do Krakowa.

Bibliografia

- Arias F., Appelmann T., Giraldo, L.F.G.: Import and export of strawberries in a global market. *Ciencias económicas y contables, desafíos y retos para la competitividad*. Sepúlveda, JA (eds.). Coruniamericana. Colombia. 280-291, 2020.
- ATP Umowa o międzynarodowych przewozach szybko psujących się artykułów żywnościowych i o specjalnych środkach transportu przeznaczonych do tych przewozów (ATP), Dz. U. 2015, poz. 667.
- Dusza M.: Ogólne warunki dystrybucji malin w Polsce. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Ekonomika i Organizacja Logistyki*, 2(1), 31-38, 2017.
- Ficoń K., Krasnodębski G.: Nowoczesne technologie logistyczne jako źródło dodatkowych wartości w łańcuchu dostaw. *Systemy Logistyczne Wojsk*, 48(1), 78-98, 2018.
- Gashi-Uciecha A.: Analiza i ocena procesu transportowego w wybranym przedsiębiorstwie sektora TSL. *Zeszyty Naukowe Organizacja i Zarządzanie. Politechnika Śląska*, 121, 111-124, 2018.
- Guth M., Bieniek-Majka M., Maican S.: Market Adjustments of Fruit and Vegetables Producers to Changing Distribution Channels in Selected European Union Countries After 2012. *Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists*, 21(3), 134-142, 2019.
- Huk K.: Logistyka zwrotów a podejście procesowe – zależności i etapy tworzenia. [w:] *Wybrane aspekty zarządzania procesami, projektami i ryzykiem w przedsiębiorstwach*. Sońta-Drażkowska E., Bednarska-Wnuk I. (red.). Wydawnictwo Uniwersytet Łódzki, 53-65, 2020.
- Konecka S., Stajniak M., Szopik-Depeczyńska K.: Transport produktów spożywczych w temperaturze kontrolowanej. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 17, 164-167, 2016.
- Palka A.: Transport chłodniczy żywności w Polsce. *Autobusy: bezpieczeństwo i ekologia*, 12, 179-183, 2018.
- Postrożny J.: Ocena i wybór optymalnego wariantu opakowania produktów spożywczych. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie*, 3(997), 141-158, 2022.
- Rahman M.H., Hasan M.N., Khan M.Z.H.: Study on different nano fertilizers influencing the growth, proximate composition and antioxidant properties of strawberry fruits. *Journal of Agriculture and Food Research*, 6, 100246, doi: 10.1016/j.jafr.2021.100246, 2021.
- Satora M., Szkoła M.: Zapewnienie jakości i bezpieczeństwa produktów żywnościowych w transporcie drogowym. *Autobusy: bezpieczeństwo i ekologia*, 6, 86-92, 2019.
- Szymańska E.J., Żuchowski I., Kruszyński M.: Organizacja łańcuchów dostaw na wybranych rynkach produkcji roślinnej w Polsce. Wydawnictwo Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, 2021.
- Tarnowska A., Soukal I.: Regionalization of Production and Foreign Trade of Vegetables in the European Union, Conference Hradec Crlaove, Economic Days, doi: 10.36689/uhk/hed/2018-02-041, 2018.
- Zmarlicki K., Brzozowski B.: Truskawkowe preferencje. *Nowoczesny sad*, 16-17, 2020.

Adres do korespondencji: jtopczewska@ur.edu.pl

ORCID: Jadwiga Topczewska 0000-0003-3921-5116
ORCID: Małgorzata Ormian 0000-0002-3294-8192

FUNKCJONOWANIE CENTRUM LOGISTYCZNEGO NA PRZYKŁADZIE PRAKTYCZNYCH ROZWIĄZAŃ W GOSPODARCE

Wiesław Piekarski¹, Grzegorz Dzieniszewski^{1,3}, Dariusz Piekarski², Grzegorz Spodar¹,
Janusz Oźga¹

¹ Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Wydział Inżynierii Produkcji, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

³ Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

Wstęp

Dynamiczny rozwój jaki zachodzi w obszarze wielu sektorów gospodarki w Polsce wymaga na licznych przedsiębiorstwach ciągłość dostosowywania się do potrzeb i oczekiwań klienta jak i konkurencyjnego rynku. Globalizacja oraz zachodzące zmiany rynkowe powodują potrzebę wprowadzania innowacyjnych rozwiązań w sferze usług logistycznych. Nowoczesne rozwiązania w działalności centrów logistycznych oraz innowacyjne podejście, są niezbędne w zwiększeniu produktywności świadczonych usług logistycznych. Udoskonaleniom systemów logistycznych służą wszelkiego rodzaju narzędzia oraz metody. Jedną z takich metod jest koncepcja Lean, która polega na usprawnianiu jakości świadczonych usług i spłaszczaniu struktur oraz utrzymywaniu dobrych relacji firmy z otoczeniem, a także ciągłym wzmacnianiu konkurencyjności. Stąd głównym zadaniem systemów logistycznych jest perfekcyjna organizacja działań i ciągła redukcja kosztów składających się na końcowy produkt oraz jakość usługi.¹

Centrum logistyczne, jest to terytorialnie połączona aktywność grupy świadczącej usługi logistyczne, umiejscowiona w najkorzystniejszym miejscu na obszarze kraju w stosunku do klienta. Centra organizują i stymulują przepływ towarów będących na obszarze swojej działalności geograficznej bądź też skupiają się na danej branży usług. Ta kompleksowość świadczonych usług udoskonalających i usprawniających działanie przedsiębiorstwa podnosi komplementarność jakości pracy oraz jej produktywność. Usługi logistyczne obejmują głównie przemieszczanie towarów określonym rodzajem transportu, spedycję oraz gospodarkę magazynową.²

¹ Chudzik D.: Logistyka nowoczesnej gospodarki magazynowej, Wydawnictwo Difin S.A., Warszawa, 2018.

² Dudziński Z.: Poradnik organizatora gospodarki magazynowej w przedsiębiorstwie, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2012.

Centrum logistyczne daje również możliwość synchronizacji tych procesów w jednym wybranym obszarze. Wielkość oraz struktura centrum logistycznego powinny być dostosowane i zoptymalizowane do konkretnych zadań logistycznych, które będą funkcją obsługiwanego obszaru w szczególności od ilości świadczonych usług oraz charakteru klientów działających na tym terenie.³

Funkcje centrów logistycznych w gospodarce narodowej

Podstawowymi zadaniami, jakie są realizowane przez centra logistyczne to zarządzanie, magazynowanie oraz transport. Spowodowane jest to tym, że są to główne zadania outsourcingowe w przedsiębiorstwach. Oprócz wymienionych głównych zadań, pojawia się także szereg dodatkowych zadań między innymi np.: obsługa celna, zarządzanie zasobami ludzkimi, zarządzanie płatnościami za usługi transportowe oraz obsługa klienta i kontrola jakości usługi. Skala tych zadań jest różna i szeroka. Firmy przekazując pewną część swych kompetencji innym organizacjom, skupiają się wyłącznie na swoich głównych zadaniach. Dzięki temu mają możliwość osiągnięcia większych korzyści, w sferze finansowej oraz obsługi czasowej. Centra logistyczne wprowadzają kompleksowo całościowy pakiet, który obejmuje takie usługi jak: kontrola jakości usług, podstawową produkcję dóbr i zarządzanie transportem, a przy wykorzystaniu umów międzynarodowych z innymi centrami logistycznymi – stosują nowoczesne rozwiązania transportowe z zagranicą.⁴

W pracy Centrów logistycznych wprowadza się szereg działań mających na celu rozszerzenie połączonych systemów logistycznych oraz wykorzystanie dokładnej zgodności systemów kodujących, elektronicznej wymiany danych, zespołowym zarządzaniu i administrowaniu, organizowaniu procesów logistycznych, kontaktowaniu przewoźników dla danego ładunku, dwudziestoczętgodzinną obsługę centrum dla ważnych ładunków i środków transportu. Korzystanie z informatycznej bazy danych do wykonywanych prac związanych np. z kierowaniem rezerw, globalizacją działań, która świadczy usługi logistyczne w kraju i na całym świecie. W obszarze działania centrów logistycznych jest również optymalizacja stopnia załadowania pojazdów i synergia transportu na dalekie i krótkie trasy. W transporcie na dalekie trasy ważną rolę odgrywa transport kombinowany i intermodalny, który jest ekonomiczny, ekologiczny i bezpieczny. Natomiast na krótkie odcinki ważne jest odpowiednie zarządzanie dostawami produktów na terenach miejskich przy użyciu środków transportu zero-emisyjnych, które minimalnie oddziałują na środowisko (Eko-mobilne).⁵

Lokalizacja wszystkich obiektów logistycznych powinna być poddana szczegółowym badaniom dotyczącym dostępności infrastruktury drogowej, kolejowej, lotniczej, obszarów przemysłowych i dużych skupisk ludności. Powinno to szczególnie dotyczyć tych Centrów, które zajmują bardzo duże obszary powierzchniowe oraz wymagają bogato wyposażonego

³ Dudziński Z.: *Vademecum organizacji gospodarki magazynowej*, Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr, Gdańsk, 2011.

⁴ Dzieniszewski G., i Kuboń M.: *Logistyka dla regionu*, Wydawnictwo Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, 2018.

⁵ Fechner I.: *Centra logistyczne i ich rola w procesach przepływu ładunków w systemie logistycznym Polski*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, zeszyt 76 Transport, 19-32, Warszawa, 2010.

zaplecza łącznie z infrastrukturą drogową, takie centra powinny być odpowiednio zlokalizowane.⁶

Cel i zakres pracy

Celem pracy jest analiza funkcjonalna wybranego centrum logistycznego, jego roli i miejsca w łańcuchu dostaw oraz analiza usług świadczonych w ramach podstawowej działalności gospodarczej i usługowej.

Głównym celem jest poprawa intensywności przepływów strumieni towarów, wprowadzenie reorganizacji procesów magazynowania, zastosowanie nowoczesnych technologii w zarządzaniu obsługą magazynu i systemów informatycznych.

Zakresem pracy objęto badania w wybranym centrum logistycznym firmy Eurocash. Nowoczesne rozwiązania logistyczne, jakie są wdrażane przez Eurocash pozwalają uzyskać równowagę między konkurencyjnością ponoszonych kosztów a elastycznością usług – niezwykle ważną w obecnych realiach rynkowych.

Metody badań

Ocena centrów logistycznych na poszczególnych etapach działalności i kryteriach oceny (wiarygodność, funkcjonalność, koszty i ergonomia), oparta jest na wybranych metodach oceny:

1. Metoda obserwacji – metoda polegająca na celowym poszukiwaniu faktów. Metoda ta pozwala na możliwość zmian w obserwowanym środowisku.
2. Metoda opisu pojedynczych, indywidualnych przypadków – ocena na podstawie modelowych badań z analizą konkretnego zdarzenia, osoby lub zjawiska oraz skutków tych przyczyn.

Analiza badań dotyczyła oceny uzyskanych efektów po usprawnieniu systemu działania centrum logistycznego:

- poprawie intensywności przepływów strumieni towarów,
- wprowadzenie reorganizacji procesów magazynowania,
- zastosowanie nowoczesnych technologii w zarządzaniu obsługą magazynu,
- wprowadzeniu systemów informatycznych.

Centrum logistyczne firmy Eurocash w Pińczowie

Poprzez zwiększenie sprawności i efektywności procesów logistycznych, poziomu obsługi klienta i redukcji kosztów obsługi towarów przy wykorzystaniu logistyki oraz tworzenie warunków do sprawnego przepływu dóbr, poprzez szereg działań można było istotnie

⁶ Grzybowska K.: Gospodarka zapasami i magazynem, część 2, Zarządzanie magazynem, Wydawnictwo Difin, Warszawa, 2010.

usprawnić system obsługi w centrum logistycznym.⁷ Eurocash to największa polska firma, która zajmuje się hurtową dystrybucją szybko zbywalnych produktów spożywczych. Nowoczesne rozwiązania logistyczne wdrożone przez Eurocash pozwalają uzyskać korzystne efekty w codziennej pracy, zapewniające równowagę między konkurencyjnością usług pod względem kosztów a elastycznością – niezwykle ważną w obecnych realiach rynkowych.

Analiza usług logistycznych na poziomie magazynowania

W zakresie usług logistycznych magazyn jest podstawowym elementem systemu logistycznego. Występuje jednocześnie jako ogniwo łańcucha, jak i sieci dostaw. W magazynie towary są tymczasowo przechowywane i kierowane do kolejnych ogniw. Strumienie towarów są dla magazynu przedmiotem zarówno dostaw, jak i odbioru, ulegają koncentracji, kompletacji i konfekcjonowaniu. Funkcje jaką spełnia magazyn, wpływają na jego lokalizację, stosowanie optymalnej technologii i organizację pracy ludzi.⁸

Magazyn jako jednostka funkcjonalno-organizacyjna przeznaczona jest do magazynowania dóbr materialnych (zapasów) w wyodrębnionej przestrzeni budowli magazynowej według ustalonej technologii, wyposażenia w odpowiednie środki techniczne, zarządzana i obsługiwana przez zespół ludzi.⁹

Kierunki optymalizacji kosztów operacyjnych

W dobie silnej konkurencji przedsiębiorstwa zmuszane są do obniżania kosztów działalności, jednocześnie przy zwiększonej efektywności, stąd wymaga to analizy każdego najmniejszego procesu logistycznego. Operacje logistyczne: magazynowanie, transport wewnętrzny, kompletacja, konfekcjonowanie oraz paletyzacja zamówień wymagają bardzo dużych nakładów pracy, co wiąże się z zatrudnieniem wielu pracowników lub zachowaniu wysokiej precyzji załadunków. Koszty obsługi wszystkich procesów logistycznych rosną niewspółmiernie z jednoczesnym zwiększaniem się liczby obsługiwanych jednostek oraz asortymentu wszystkich dostawców i klientów. Wymienione tego typu operacje najczęściej są przeprowadzone w jednym miejscu - w centrum logistycznym, dla ich usprawnienia. W takim przypadku potrzebne jest zoptymalizowanie kosztów operacyjnych działalności oraz usprawnienie tych procesów. Niezbędne jest wprowadzenie nowoczesnych technologii w gospodarce magazynowej. Machinalne układnice magazynowe oraz urządzenia transportu wewnętrznego gwarantują ekspresową i bezpieczną obsługę ładunków.¹⁰

Systemy automatycznego segregowania pozwalają na szybkie i perfekcyjne kierowanie jednostek ładunkowych lub pojedynczych produktów do odpowiednich punktów docelowych. Systemy informatyczne, które współpracują z systemami automatyzacji procesów

⁷ Juściński S., Piekarski.: Systemy logistyczne w procesie zarządzania dystrybucją ciągników i maszyn rolniczych. Acta Agrophisica. vol.12(10), 2008.

⁸ Januła E., Kasińska M., Kwiatkiewicz P., Laskowski M.: Zapasy i magazynowanie, Wydawnictwo As Pik, Warszawa, 2020.

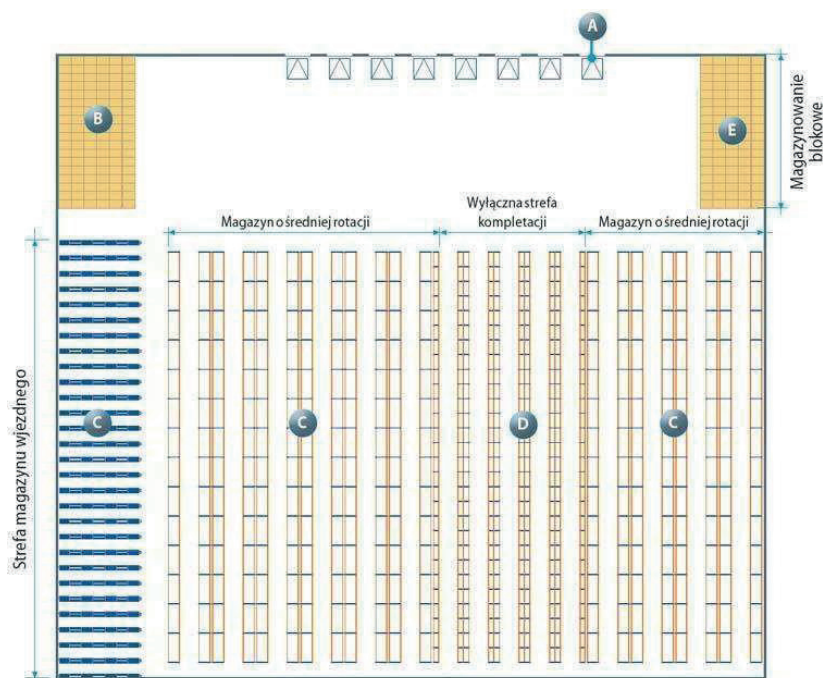
⁹ Juściński, S.: Analiza systemów telematycznych stosowanych w logistyce magazynowej i dystrybucyjnej, [w:]

¹⁰ Krzyżaniak S., Niemczyk A., Majewski J., Andrzejczyk P.: Organizacja i monitorowanie procesów magazynowych, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2014.

często przejmują rolę synchronizowania fizycznych przepływów artykułów ze stowarzyszonymi z nimi przepływami oraz przetwarzaniem informacji i perfekcyjnej obsługi rozbudowanych portów danych. Centralna Polska to tereny najbardziej pożądane pod lokalizację tworzenia centrów logistycznych, jeśli chodzi o Europę Środkowo-Wschodnią. Badania przeprowadzone w Europie niezaprzeczalnie pokazują nurt zmiany kierunków dystrybucji w rejon Europy Centralnej. Na to wszystko ma wpływ kilka czynników, między innymi: dostępność siły roboczej i gruntów inwestycyjnych oraz koszt nieruchomości i pracowników.¹¹

W projekcie magazynu przedstawionym na rysunku 1 oraz jego układu należy precyzyjnie zdefiniować następujące strefy:

- A. strefa załadunku i rozładunku,
- B. strefa przyjmowania,
- C. strefa magazynowania,
- D. strefa kompletacji zamówień,
- E. strefa wysyłek.

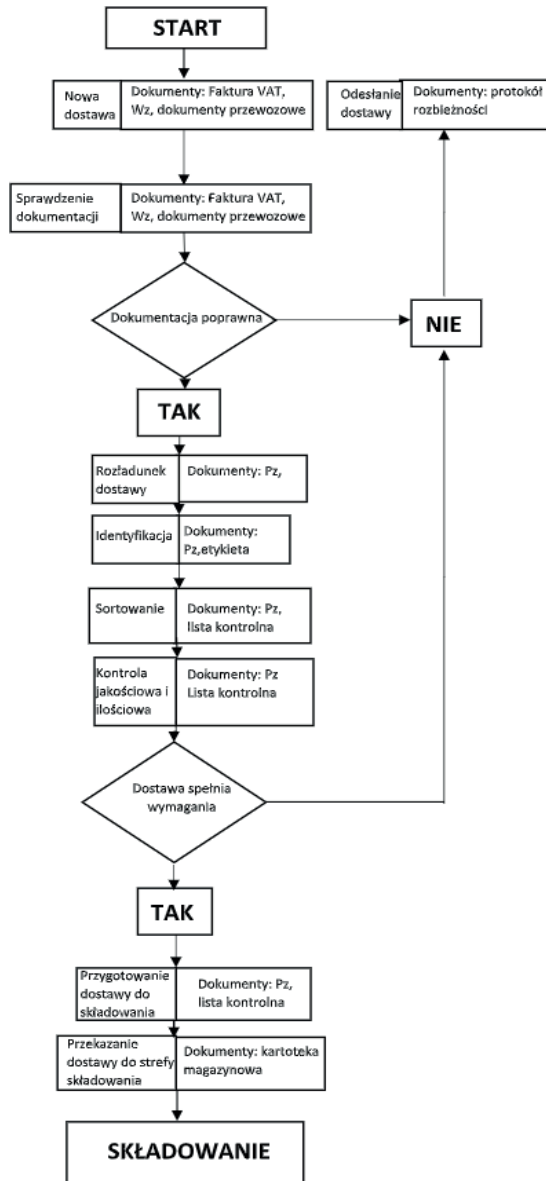


Rysunek 1. Przykład rozwiązania układu magazynu

Źródło: opracowanie własne

¹¹ Śliwczyński B., Koliński A.: Organizowanie i monitorowanie procesów dystrybucji. Warszawa, 2014.

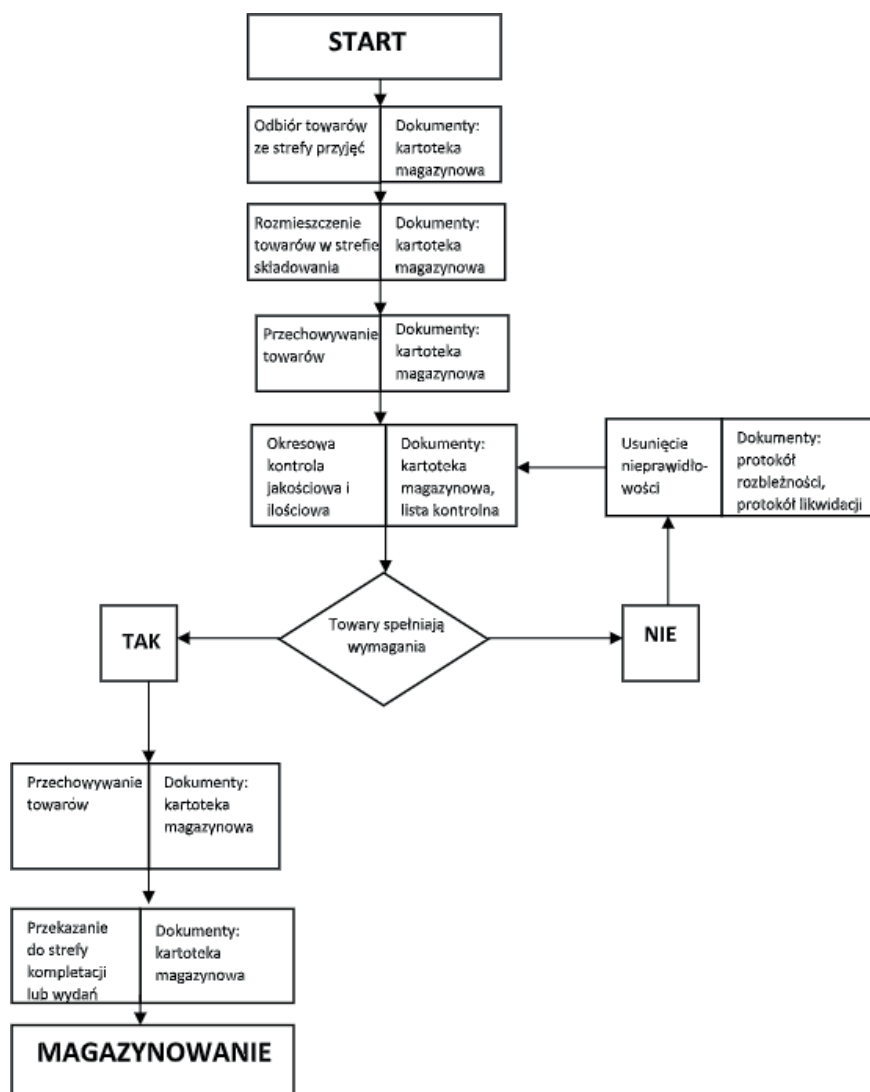
Proces przyjmowania towarów od dostawców do magazynu przebiegał według algorytmu przedstawionego na rysunku 2.



Rysunek 2. Przykład algorytmu postępowania w fazie przyjmowania towaru do magazynu

Źródło: opracowanie własne

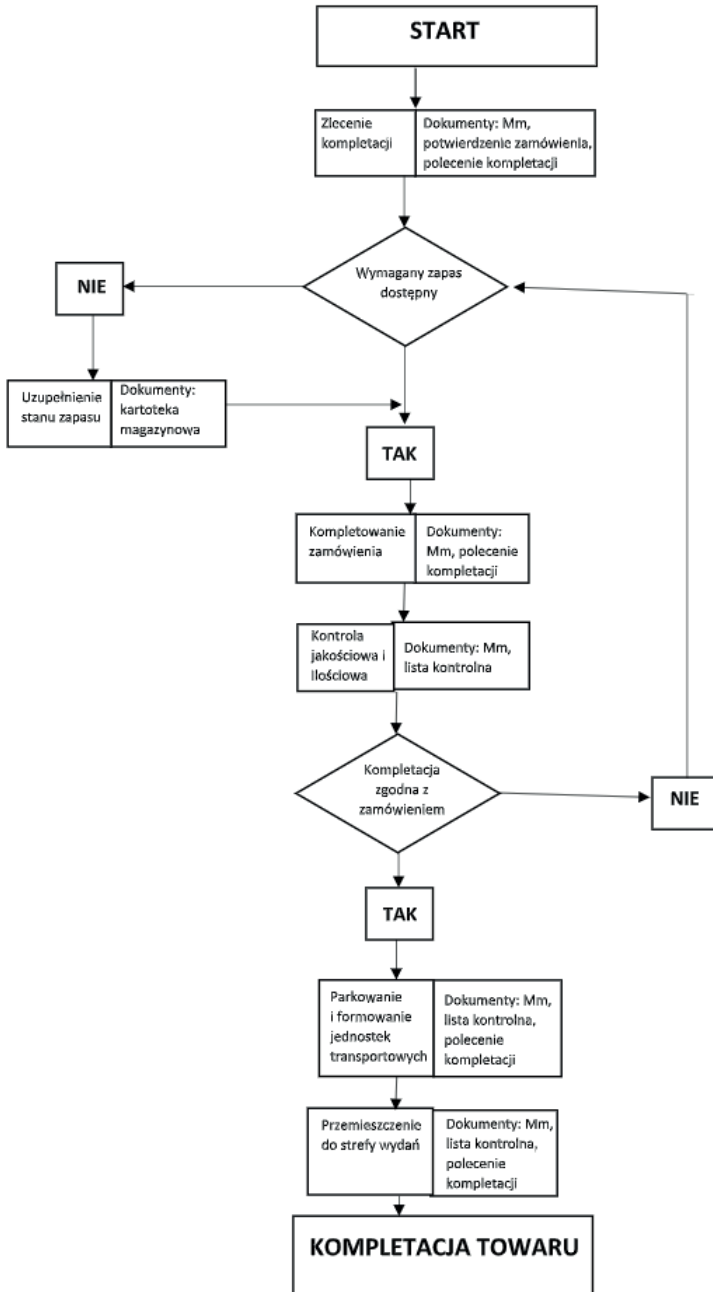
Przykład postępowania podczas składowania towaru w magazynie zaprezentowano na rysunku 3.



Rysunek 3. Przykład algorytmu postępowania w fazie składowania towaru w magazynie

Źródło: opracowanie własne

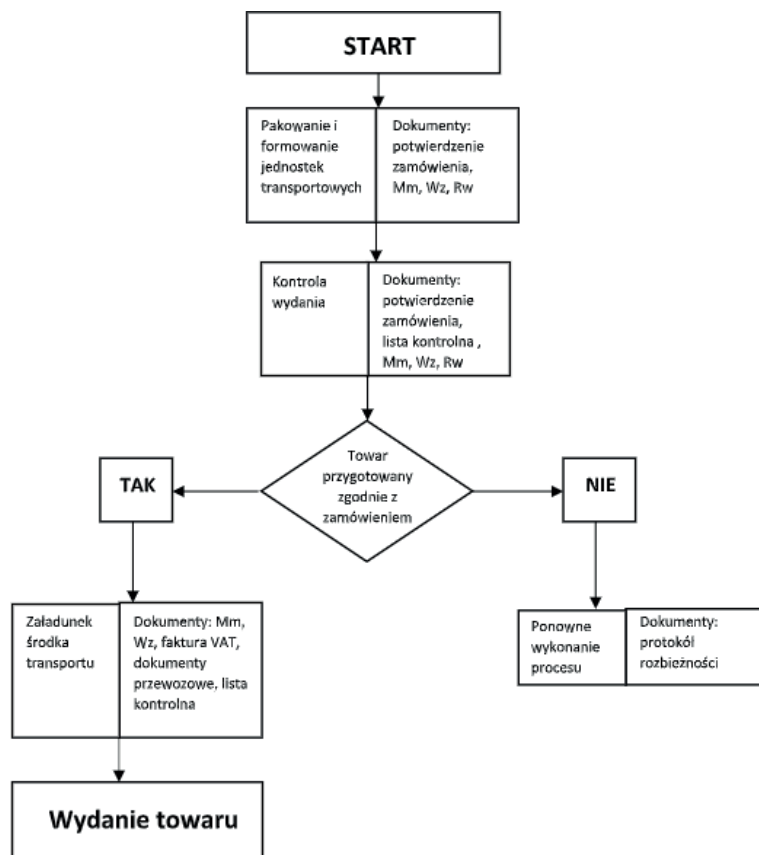
Przykład postępowania podczas prac wykonywanych w fazie kompletacji towaru w Centrum Logistycznym Pińców został przedstawiony na rysunku 4.



Rysunek 4. Przykład algorytmu postępowania w fazie kompletacji towaru

Źródło: opracowanie własne

Przykład procesu zachodzącego w fazie wydawania towaru z magazynu został zaprezentowany na rysunku 5.



Rysunek 5. Przykład algorytmu postępowania w fazie wydawania towaru z magazynu

Źródło: opracowanie własne

Eurocash jest największą polską firmą, która zajmuje się hurtową dystrybucją szybko zbywalnych produktów spożywczych oraz wsparciem marketingowym dla niezależnych sklepów w kraju. Główny cel to osiągnięcie pozycji wiodącego dystrybutora FMCG w Polsce. Działa w trzech segmentach:

- HURT – silny i zaufany partner niezależnych polskich przedsiębiorców,
- DETAL – budowanie największej sieci supermarketów „Proximity” w kraju,
- PROJEKTY – testowanie i wdrażanie innowacyjnych konceptów na rynku.

Eurocash Logistyka to obecnie 12 Centrów logistycznych i 29 magazynów przeładunkowych, które obsługiwane są przez ponad 4000 osób. Nowoczesne rozwiązania logistyczne wdrożone przez Eurocash Logistyka pozwalają dbać w codziennej pracy o zapewnienie równowagi między konkurencyjnością kosztów a elastycznością – niezwykle ważną w obecnych realiach rynkowych.

Eurocash świadczy kompleksową obsługę w zakresie:

- zarządzania zapasem, czyli zapewnienia właściwego poziomu realizacji zamówień przy optymalnym zapasie,
- przyjęcia, magazynowania i kompletowania towaru zgodnie z zamówieniami klientów,
- dostarczania towaru do sieci franczyzowych: Groszek, Delikatesy Centrum, Eurosklep, Lewiatan, Gama oraz klientów niezrzeszonych, sklepów własnych, a także do sieci stacji benzynowych,
- bieżącej współpracy z Eurocash Dystrybucja, Eurocash Franczyza, Eurocash Alkohole i Eurocash Stacje Paliw,
- zapewnieniem wysokiej jakości dostarczanego asortymentu: świeżej żywności, asortymentu produktów suchych, chemii, alkoholu oraz papierosów.

Obszar działania Centrum Logistycznego Pińczów w obsłudze zaopatrzenia towarów do hurtowni i punktów sprzedaży został przedstawiony na rysunku 6.



Rysunek 6. Zakres działania Centrum Logistycznego Pińczów w rejonie

Źródło: opracowanie własne

Centrum Logistyczne w Pińczowie swoim zasięgiem działania obejmuje południową część Polski, obsługując 60 hurtowni, usytuowanych w południowej Polsce.

Systemy i narzędzia wspierające Centrum Logistyczne w Pińczowie:

1. Do przewozu i transportu towarów wykorzystuje się 20 wózków widłowych z napędem elektrycznym.
2. W procesie kompletacji towarów w CL Pińczów, do usprawnienia działań wykorzystywany jest system komunikacji głosowej Voice Collect.
3. Terminale RF - cały proces kompletacji towarów jest rejestrowany w systemie on-line.
4. Procesy składowania towarów realizuje się przy pomocy urządzeń komunikujących się drogą radiową.
5. Przyjęcia dostaw odbywają się za pomocą mobilnego stanowiska, które wyposażone jest w skaner, drukarkę do etykiet i komputer – co pozwala wszystkie te procesy wykonać w jednym miejscu.
6. Zastosowano rozwiązania proekologiczne: energooszczędny system oświetlenia LED w całej hali magazynowej oraz pomieszczeniach biurowych, ponadto zastosowano dodatkowo izolacje ścian i sufitów, kolektory słoneczne na dachu do podgrzewania wody do celów socjalnych oraz zastosowano system ogrzewania gazowego promiennikami podsufitowymi w hali magazynowej. Wszystkie powyższe rozwiązania poprawiają komfort pracy w CL.

Zastosowane nowoczesne systemy techniczne i informatyczne w badanym Centrum, mają kluczowe znaczenie w procesie przyjmowania, magazynowania, kompletacji i wydawania towarów. Wszystkie takie działania mają ogromny wpływ na produktywność i czas realizacji zamówień, co zdecydowanie wpływa na szybkość realizacji zlecenia i pozwala być konkurencyjnym. Analizowane nowoczesne Centra logistyczne ustawicznie dostosowują się do nowoczesnych rozwiązań i wprowadzają najnowsze systemy wspierające zarządzanie magazynem.¹²

Wprowadzony system zarządzania magazynem STILL (WMS) w Pińczowie ma zadanie kontrolować i wpływać na każdy ruch towaru w magazynie. Kontrola towarów otrzymanych, kontrolę magazynu oraz kompletację zamówień a także planowanie tras i wysyłek towarów. W procesach tych brane były pod uwagę wszystkie istotne informacje o nośniku ładunku, informacje o produkcie oraz dane o numerze partii, data przydatności do spożycia, numer seryjny. Ponadto stosowane są odpowiednie strategie magazynowania w celu dostarczenia produktu punktualnie, zgodnie z zapotrzebowaniem oraz odpowiedniego wykorzystania powierzchni w magazynie. System STILL pozwolił również optymalnie zarządzać pustą przestrzenią magazynową i częściową lub stałą inwentaryzacją.

Centra logistyczne uznawane są za bardzo dobrą formę pozwalającą na restrukturyzację obszarów znajdujących się w gospodarczym zastoju. Stąd częste takie inwestycje ożywiają lokalną gospodarkę i uruchamiają nowe inwestycje, związane często z napływem inwestorów na danych terenach. Jednym z głównych zadań centrum logistycznego jest realizacja funkcji integracyjnych (społecznych i gospodarczych) gwarantujących bardzo dobrze

¹² Piekarski W., Juściński S.: Rozwój sektora usług – Transport - Spedycja - Logistyka w Polsce pod wstąpieniem do Unii Europejskiej. Eksploatacja i Niezawodność, 4(28), 2005.

zorganizowany przepływ zasobów, niezbędnych do kontrolowania przepływu informacji. Centra logistyczne oferują bogaty i szeroki wachlarz usług, do których zaliczamy m.in.: przyjmowanie, magazynowanie, konfekcjonowanie, wydawanie i ochronę oraz monitoring transportu towarów wraz z przesłaniem informacji do nadawców towaru i odbiorców. Z uwagi na korzystną lokalizację, dającą możliwość współdziałania wielu producentów, w centrum logistycznym gwarantuje się optymalną obsługę logistyczną i tym samym obsługę klienta na najwyższym poziomie. Centra logistyczne są istotnym i bardzo ważnym elementem gospodarki narodowej kraju, stąd zaliczane są do ważnych czynników rozwoju gospodarczego regionu, w którym prowadzą działalność.¹³

Podsumowanie i wnioski

Jak wynika z badań przeprowadzonych w 2008 roku, przez firmę Capgemini i ProLogis wśród europejskich firm logistycznych, nowe kraje Unii Europejskiej postrzegane są jako korzystne obszary do tworzenia w nich nowych ośrodków logistycznych. Rola Europy Środkowo-Wschodniej jako obszaru, w którym wzrasta popyt na realizację szeregu usług logistycznych, jest to jeden z głównych czynników makroekonomicznych, oddziałujących na aktywność łańcuchów dostaw w Europie. Rosnący popyt na wszelkie usługi, w tym magazynowe i transportowe, bardzo pozytywnie wpływa na rozwój obszarów znajdujących się w gospodarczym zastoju, co przyczynić się może do ich rozwoju i do zmniejszenia bezrobocia. Jest to bardzo duża szansa rozwoju dużych centrów logistycznych w Polsce, kraju o istotnym znaczeniu geograficznym i sieciach transportowych w rejonie Europy Środkowo-Wschodniej. Duży popyt na usługi logistyczne na południu Polski był decydującym czynnikiem na powstanie Centrum Logistycznego w Pińczowie. Centrum w Pińczowie obejmuje swoim zasięgiem obszar południowej Polski. CL Pińczów – obsługuje 60 hurtowni Eurocash Cash & Carry, dostarczając codziennie od 900 palet euro towaru, w standardowym okresie do 2000 palet w okresach świątecznych. Najczęściej są to artykuły spożywcze, nabiał i owoce/warzywa. Codziennie do CL Pińczów dostarczane jest około 960 palet towaru od dostawców zewnętrznych. Częstotliwość rozładunku, kompletacji i załadunku wiąże się z przemieszczaniem setek palet w ciągu doby, jakie występują w trakcie czynności manipulacyjnych.

Obserwując pracę magazynu w Pińczowie nie sposób było nie zauważyć uszkodzeń towarów i ich opakowań powstałych na skutek zdarzeń związanych z pracą na magazynie. Głównym powodem powstawania uszkodzeń i strat podczas prac manipulacyjnych jest mała ilość szkoleń pracowników magazynu dotycząca bezpiecznego przyjmowania, składowania, przeładunku i kompletowania towaru „ciężkie – lekkie”, oraz produktywność jaką ma każdy pracownik założoną do poszczególnych czynności magazynowych. Ważnym aspektem jest również duża rotacja pracowników obsługujących elektryczne wózki wysokiego składowania, którym najczęściej brakuje praktyki w obsłudze urządzeń transportowych oraz szkoleń z zakresu BHP polegających na bezpiecznym rozładunku, transporcie i załadunku.

¹³ Miklińska J.: Rola centrów logistycznych w łańcuchach dostaw – wybrane problemy, Logistyka 3, Poznań, 2012.

Do uszkodzonych towarów powstałych na skutek zdarzeń związanych z pracą na magazynie wprowadzono procedury:

- Uszkodzenia towaru i opakowań powstałe podczas wykonywania prac magazynowych zostają składowane w wyznaczonych miejscach na magazynie (procedura ISO – gospodarowanie odpadami P.7.2.1.I.10 oraz polityka dotycząca szkła P.7.1.i.11), (palety ustawione w korytarzach między sektorami),
- Pracownik Magazynu Reklamacji dwa razy dziennie (godz. 6 i 13) dokonuje objazdu magazynu w celu zebrania wszystkich uszkodzeń,
- Pozbierany towar segreguje się wybierając produkty nadające się do dalszej sprzedaży,
- Tak odzyskany towar dokłada do palet przygotowanych do wysyłki na hurtownię,
- Zestawienie indeksów oraz ilości wraz z numerem hurtowni, do której został dołożony odzyskany towar przekazuje pracownikowi Kontroli, który tworzy zlecenie przesunięcia na hurtownię,
- Raport z wysyłki odzyskanych towarów tworzy Kierownik Kontroli, który przesyła miesięczne zestawienie do Specjalisty Magazynu Reklamacji.

Na podstawie przeglądu stanu wiedzy, własnych doświadczeń oraz badań w CL Pińczów, można sformułować następujące wnioski:

1. Stwierdzono, że na podstawie analizy dokumentów Centrum Logistyczne w Pińczowie doskonale wpisuje się w plan rozwoju miasta. Pozwala na tworzenie warunków dla rozwoju przedsiębiorczości i rolnictwa. Następuje wzrost konkurencyjności lokalnych przedsiębiorstw, rozwój lokalnej sieci handlowo-usługowej, poprawa infrastruktury technicznej oraz wzrost atrakcyjności inwestycyjnej gminy.
2. Należy zauważyć, iż Centrum Logistyczne w Pińczowie jest motorem rozwoju środowiska lokalnego pod aspektem społecznym, gospodarczym i infrastruktury dla 11 tysięcznego miasteczka. Jest to duża szansa lokalnego rozwoju firm współpracujących z CL. Kooperacja z podmiotami lokalnymi.
3. Z analizy usytuowania Centrum w Pińczowie można zauważyć, że nastąpiło utworzenie dodatkowych miejsc pracy dla 184 osób, co jest bardzo dużym plusem dla miasta, które położone jest na terenach narażonych na duże bezrobocie.
4. Analizy rynku produkcji owoców i warzyw w rejonie województwa świętokrzyskiego wynikała potrzeba budowy Centrum Logistycznego. Południowa część Polski to zagłębie produkcji owoców i warzyw. Duża ilość wytwarzanych na tych terenach płodów rolnych takich jak np.: jabłka, gruszki, czereśnie, wiśnie, kapusta, ziemniaki i kalafior trafia do magazynów wszystkich Centrów Logistycznych Firmy Eurocash w całej Polsce.
5. Prowadząc analizę działalności w Centrum Logistycznym w Pińczowie należy stwierdzić, że zdecydowanie pozytywnie wpisuje się w gospodarczy rozwój miasta i okolicy. W CL został wprowadzony program stażowy, umożliwiający absolwentom odbywanie praktyk zawodowych w Eurocash i firmach działających na terenie gminy. Eurocash daje możliwość wykorzystania zasobów i potencjału turystycznego gminy do tworzenia miejsc pracy w usługach, turystyce i agroturystyce przez organizowanie na terenie gminy Pińczów cyklu szkoleń dla personelu zarządzającego, konferencji, seminariów, warsztatów i spotkań integracyjnych dla pracowników Firmy.

Bibliografia

- Chudzik D.: Logistyka nowoczesnej gospodarki magazynowej, Wydawnictwo Difin S.A., Warszawa, 2018.
- Dudziński Z.: Poradnik organizatora gospodarki magazynowej w przedsiębiorstwie, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2012.
- Dudziński Z.: Vademecum organizacji gospodarki magazynowej, Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr, Gdańsk, 2011.
- Dziesięwski G., i Kuboń M., (red.) Logistyka dla regionu, Wydawnictwo Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, 2018.
- Fechner I.: Centra logistyczne i ich rola w procesach przepływu ładunków w systemie logistycznym Polski, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, zeszyt 76 Transport, Warszawa, 2010.
- Grzybowska K.: Gospodarka zapasami i magazynem, Część 2. Zarządzanie magazynem, Wydawnictwo Difin, Warszawa, 2010.
- Januła E., Kasińska M., Kwiatkiewicz P., Laskowski M.: Zapasy i magazynowanie, Wydawnictwo As Pik, Warszawa, 2020.
- Juściński S., Piekarski.: Systemy logistyczne w procesie zarządzania dystrybucją ciągników i maszyn rolniczych. Acta Agrophisica, 12(10), 2008.
- Juściński, S.: Analiza systemów telematycznych stosowanych w logistyce magazynowej i dystrybucyjnej, [w:]
- Krzyżaniak S., Niemczyk A., Majewski J., Andrzejczyk P.: Organizacja i monitorowanie procesów magazynowych, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2014.
- Miklińska J.: Rola centrów logistycznych w łańcuchach dostaw – wybrane problemy, Logistyka, 3, Poznań, 2012.
- Piekarski W., Juściński S.: Rozwój sektora usług - Transport- Spedycja - Logistyka w Polsce po wstąpieniu do Unii Europejskiej. Eksploatacja i Niezawodność, vo.4, 28, 2005.
- Śliwczyński B., Koliński A.: Organizowanie i monitorowanie procesów dystrybucji. Warszawa, 2014.

Adres do korespondencji: w.piekarski@pansp.pl

ORCID: Wiesław Piekarski 0000-0001-6218-3090
ORCID: Grzegorz Dziesięwski 0000-0002-2712-1131

GOSPODARKA ODPADAMI KOMUNALNYMI Z WYKORZYSTANIEM INNOWACYJNYCH TECHNOLOGII

Wiesław Piekarski¹, Grzegorz Dzieniszewski^{1,3}, Dariusz Piekarski², Grzegorz Spodar¹,
Jowita Paślawska¹

¹ Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Wydział Inżynierii Produkcji, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

³ Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

Wstęp

Jednym z ważniejszych segmentów współczesnej gospodarki odpadami jest rynek odpadów. Taka organizacja jak rynek odpadów jest niezmiernie złożona oraz wymagająca w swojej strukturze prowadzonej działalności. Należy zauważyć, że gospodarka odpadami jest stałym źródłem dochodów dla wielu organizacji i ludzi. Stąd zaobserwować można pojawienie się różnych negatywnych zjawisk społecznych, które związane są z gospodarką odpadami, również tych o charakterze przestępczym.¹ Dyrektywy Unii Europejskiej aktualnie wymusiły intensywny rozwój technologii zmniejszających ilość powstających odpadów, jak i również technologii związanych z ich wykorzystaniem gospodarczym i ich unieszkodliwianiem. W zakresie gospodarki odpadami bardzo istotne są uwarunkowania regulacji prawnych, które okazały się bardzo istotne dla wielu decydentów na różnych poziomach struktur samorządowych. Państwo posiadając regulacje prawne, zgodne z wymogami Unii Europejskiej, stoi przed dużym wyzwaniem w sferze gospodarki odpadami. Stąd kładzie duży nacisk na kształtowanie świadomości społeczeństwa w zakresie wiedzy o gospodarce odpadami.²

W ogólnej skali odpady ogrodowe i kuchenne stanowią ok. 30% i są największą grupą wśród wszystkich odpadów komunalnych. W przypadku odpadów z tektury i papieru, należy zauważyć największą dysproporcję między wytwarzanymi odpadami komunalnymi w mieście powyżej 50 000 i poniżej 50 000 mieszkańców oraz na wsiach i małych osadach, co zostało przedstawione w tabeli 1. Możliwe jest, że dysproporcja ta jest efektem spalania papierów w paleniskach na wsiach.

¹ Aleksandrowicz A. i in.: Jednolita klasyfikacja odpadów, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 1993.

² Biedugnis S., Cholewiński J., Optymalizacja gospodarki odpadami, Warszawa, 1992.

Tabela 1. Skład morfologiczny wytwarzanych odpadów komunalnych [w %]

Rodzaj frakcji	Miasto powyżej 50 000 mieszkańców	Miasto poniżej 50 000 mieszkańców	Wieś małe osady
Drewno	0,2	0,3	0,7
Tekstylia	2,3	4	2,1
Tektura i papier	19,1	9,7	5
Odpady z terenów zielonych	5,3	5,3	2,5
Szkło	10	10,2	10
Odpady wielkogabarytowe	2,6	2,6	1,3
Metale	2,6	1,5	2,4
Odpady niebezpieczne	0,8	0,6	0,8
Tworzywa sztuczne	15,1	11	10,3
Odpady mineralne	3,2	2,8	5,9
Odpady wielomateriałowe	2,5	4	4,1
Fracja < 10 mm	4,2	6,8	16,9
Odpady ogrodowe i kuchenne	28,9	36,7	33,1

Źródło: (Hryb i Ceglarz, 2021)

Ponadto należy zwrócić uwagę, że na wsiach powstaje w rzeczywistości 5% więcej odpadów z tworzyw sztucznych a to dlatego, że również są spalane w kotłach. Możliwe jest, że na wsiach kupuje się mniej plastikowych opakowań niż w miastach oraz na wsi ludzie często mają własne uprawy owoców, warzyw, nie dokonując zakupów.³

Metodyka pracy

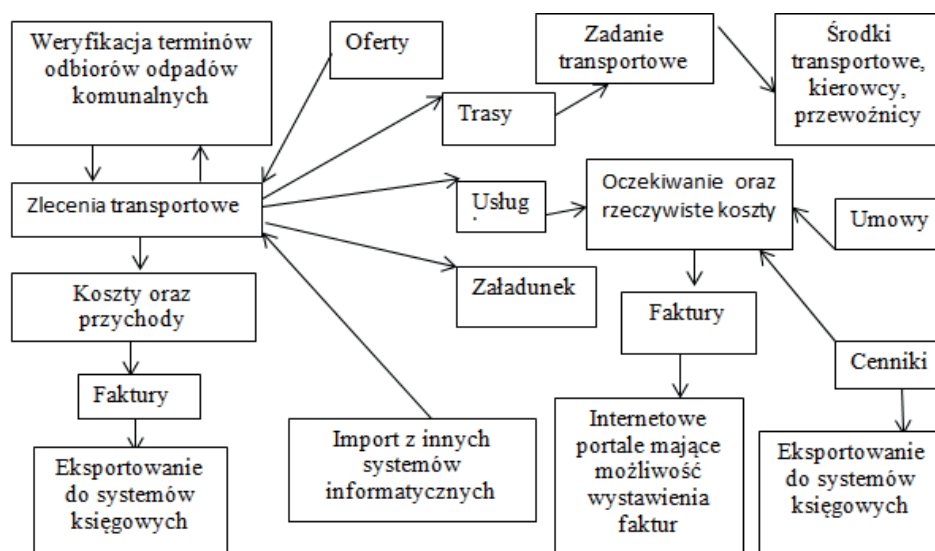
Metodyka pracy obejmuje analizę istniejących rozwiązań w zakresie IT w gospodarce odpadami oraz syntezę mającą na celu wypracowanie algorytmów optymalnych systemów informatycznych stosowanych w procesach obsługi gospodarki odpadami. Celem rozważań jest analiza instrumentów zarządzania gospodarką odpadami komunalnymi z wykorzystaniem informatycznych i technicznych aspektów obejmujących: utworzenie bazy danych miejsca, terminu i rodzaju odbieranych odpadów, tworzenie zestawień statystycznych ilości, rodzaju i sposobu utylizacji, kompostowanie odpadów, fermentacji osadów i odpadów oraz procesów termicznego ich przekształcania.

³ Byjoch K., Redel S.: Prawo gospodarki komunalnej, Warszawa, 2000.

Innowacyjne zarządzanie gospodarką odpadami komunalnymi

Dostawcy nowoczesnych rozwiązań technologicznych oraz informatycznych, zgodnie z wymaganiami jakie stawia gospodarka odpadami komunalnymi, stawiają coraz częściej na komunikowanie się z innymi uczestnikami w łańcuchu odbioru odpadów oraz integrują wzajemnie ich moduły. Niestety zakres integrowania się systemów IT jest dość wąski. Spotykane aktualnie narzędzia informatyczne pozwalają przykładowo monitorować przez jednostki gminne zaplanowanych tras pojazdów przez przedsiębiorstwa odbierające lub transportujące odpady od mieszkańców. Dotychczas funkcjonujące systemy pojawiające się na rynku integrują jednak za mało podmiotów i funkcji wpływających w sposób istotny na sprawne funkcjonowanie systemu gospodarki odpadami komunalnymi oraz możliwość realizowania wyższego udziału recyklingu i odzysku. Podczas ustawicznie zwiększających się wymagań środowiskowych w gospodarce odpadami komunalnymi, należy kłaść większy nacisk na realizowanie w sposób efektywny celów związanych z usprawnieniem systemów informatycznych.⁴

Z tego względu wprowadza się całkowity zautomatyzowany system tworzenia ewidencji i raportów (rys. 1).



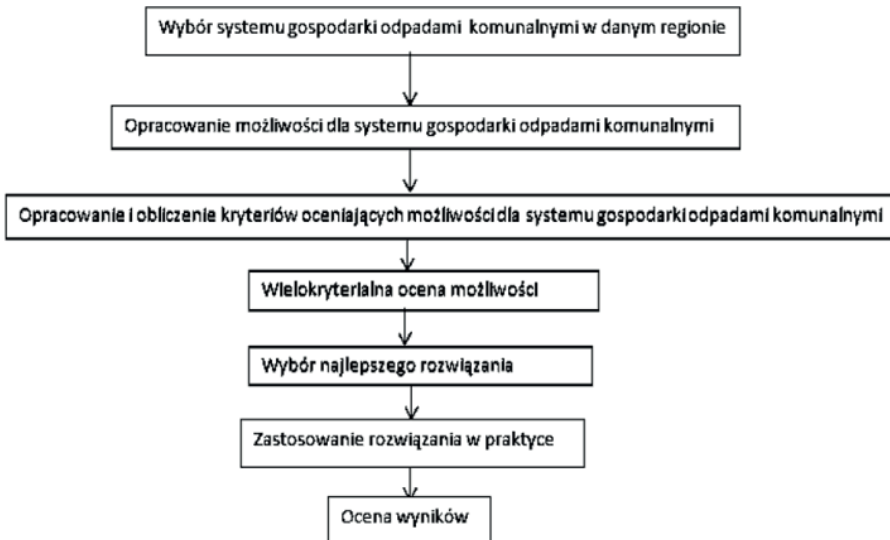
Rysunek 1. Przykład zastosowania systemu informatycznego w wybranym przedsiębiorstwie zajmującym się odbiorem odpadów komunalnych

Źródło: opracowanie własne

⁴ Kaczmar I.: Komputerowe modelowanie i symulacje procesów logistycznych w środowisku FlexSim, Warszawa, 2019.

Ocena innowacyjności gospodarki odpadami komunalnymi

Zarządzanie innowacyjną gospodarką odpadami komunalnymi wiąże się z tym, że organizacje aktualnie wykorzystują nowoczesne technologie informatyczne, co przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Proces rozwiązywania problemów związanych z gospodarką odpadami

Źródło: opracowanie własne

Każda organizacja, która zajmuje się zagospodarowaniem odpadów wspomagana jest zarządzaniem obiegiem informacji. Odpowiedni przepływ informacji jest aktualnie bardzo istotny i pożądaný w każdej organizacji gospodarczej.

Należy zaznaczyć, że efektywność systemu zagospodarowania odpadów komunalnych, znacznie wzrosła z chwilą wprowadzenia ich znakowania (kodowania). Technologie informatyczne aktualnie wykorzystywane są na każdym etapie procesu przepływu odpadów od chwili wytworzenia do chwili zagospodarowania. Różnorodność rozwiązań, systemów technologicznych oraz struktur systemowych powoduje, że nadal poszukiwane są techniki ocen ekologicznych. Stąd opracowano wskazówki i metodykę dotyczące zasad oceny wpływu polityki na gospodarkę odpadami. W tym samym czasie prowadzono prace analityczne testując nowe narzędzia w ocenie strategicznych rozwiązań, które wynikają z założeń polityki zagospodarowania odpadów.⁵

Technika oceny cyklu życia (LCA) pozwala oceniać i identyfikować rozwiązania strategiczne, gdzie można mierzyć wpływ gospodarki odpadami komunalnymi na środowisko. Jednak narzędzie to nie umożliwi obliczenia kosztów gospodarki odpadami komunalnymi.

⁵ Gembalska-Kwiecień A.: Wyzwania w projektowaniu innowacyjnych systemów IT w gospodarce odpadami, Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji, 2016.

Technika ta jest stosunkowo nową metodą zarządzania środowiskowego, oceniającą wpływ na środowisko technologii lub poszczególnych działań w etapach całego okresu. W zakresie gospodarki odpadami opracowano szereg specjalistycznych programów, które są często wykorzystywane do obliczeń środowiskowych obciążeń.⁶

Postępowanie z odpadami, które nie zostały unieszkodliwione lub nie zostały wykorzystane gospodarczo, najczęściej kierowane są na składowisko. Składowanie odpadów odbywa się poprzez gromadzenie ich w bezpieczny sposób w miejscu przeznaczonym do tego celu (składowiskach – wysypiskach śmieci). Obecnie ta forma składowania jest już zamykana.⁷

Gospodarowanie odpadami stanowi znaczący obszar obejmujący: system zbierania, przetwarzania, transportu, nadzór nad działaniami w obszarze odpadów, działania wykonywane w charakterze pośrednika w obrocie odpadami lub sprzedaży odpadów i późniejsze postępowanie z miejscami ich unieszkodliwiania. W zakres gospodarki odpadami wchodzi: cykl zagospodarowania ich oraz cykl przetwarzania.⁸

Natomiast magazynowanie lub składowanie odpadów jest to czasowe przechowywanie, które obejmuje:

- wstępne magazynowanie przez wytwórcę odpadów,
- tymczasowe magazynowanie przez organizację zajmującą się zbieraniem odpadów,
- magazynowanie wraz z przetwarzaniem odpadów przez organizację.

Najważniejszym ogniwem w działalności przedsiębiorstwa jest klient, dla którego innowacje mogą być potraktowane jako kategoria wyższych wartości (rys. 3).⁹

W ostatnich latach można zauważyć duży wzrost wpływów innowacji w procesach gospodarczych. Proces ten ma związek z wieloma sferami życia, oddziałując na postrzeganie nadchodzących tendencji gospodarczych i społecznych oraz na dynamikę ich rozwoju.¹⁰

Zbiórka odpadów komunalnych jest jednym z ważniejszych etapów w usługach logistycznych oraz jednym z pierwszych etapów zagospodarowania odpadami. Od zbiórki odpadów zależy w dużej mierze jakość przetworzenia w późniejszym czasie zagospodarowania odpadów. Im w lepszy sposób zostanie przeprowadzona, to tym efektywniej oraz szybciej nastąpi zagospodarowanie odpadów. Transport odpadów komunalnych zostawia ślad węglowy na środowisku naturalnym, stąd z jego tytułu następują największe wydatki w systemie gospodarki odpadami. Odpowiednia logistyka transportu zmniejsza niekorzystny wpływ na środowisko oraz obniża koszty funkcjonowania takiego systemu (rys. 4).¹¹

⁶ Górski M.: Nowy system prawny w gospodarce odpadami, Warszawa, 2013.

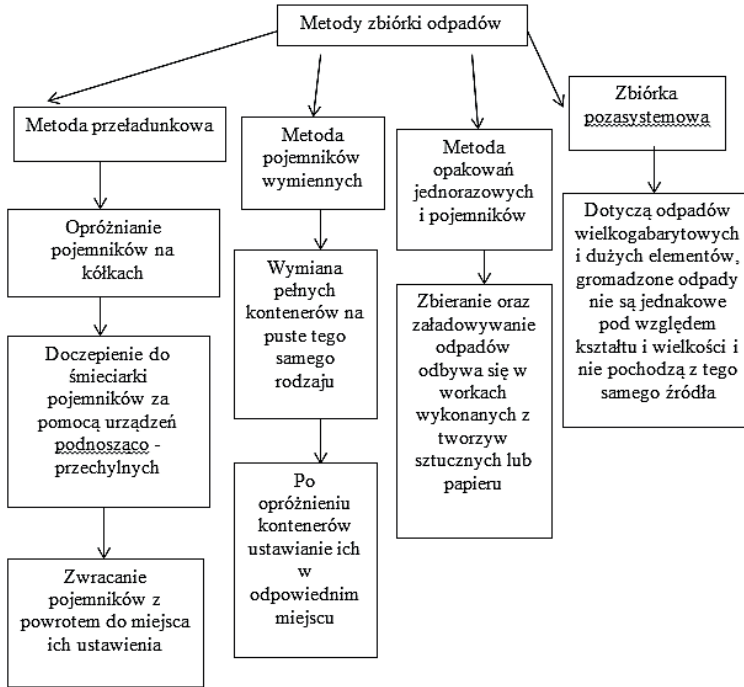
⁷ Górski M., Zabawa S.: Zarządzanie gospodarką odpadami, Poznań, 2008.

⁸ Kupczyk T., Żebrowski M., Sosnowska K., Tomys I.: Zarządzanie gospodarką odpadami – nowe wyzwania, korzyści, propozycje zmian, Wrocław, 2015.

⁹ Lutek W., Banaś J., Pastuszek Z.: Satysfakcja konsumenta w systemie zarządzania logistyką zwrótną w gospodarce odpadami komunalnymi, Lublin, 2020.

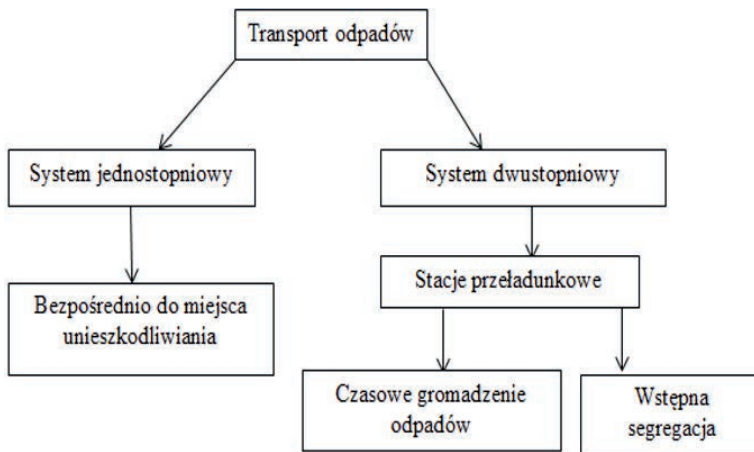
¹⁰ Lutek W., Pastuszek Z., Banaś J.: Innowacyjny system zarządzania logistyką zwrótną w gospodarce odpadami komunalnymi, Lublin, 2019.

¹¹ Lutek W.: Zrównoważona i inteligentna gospodarka odpadami komunalnymi, Lublin, 2020.



Rysunek 3. Innowacyjne technologie wykorzystujące zbiórkę odpadów komunalnych

Źródło: opracowanie własne

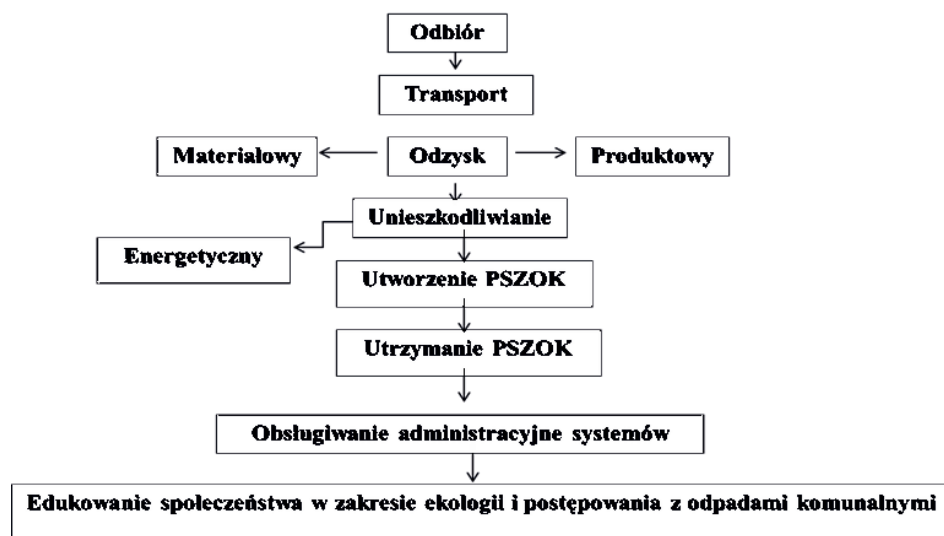


Rysunek 4. Przykładowy transport odpadów komunalnych w Polsce

Źródło: opracowanie własne

Należy zwrócić uwagę, że podstawową zasadą w prawie ochrony środowiska jest to, że zanieczyszczający płaci, dlatego też koszty jakie są ponoszone za zagospodarowanie odpadów ponosi posiadacz lub wytwórca odpadów.¹²

Dochodem gminy są opłaty wnoszone przez mieszkańców za gospodarkę odpadami, stąd nie mogą one pokrywać innych kosztów (rys. 5).



Rysunek 5. Algorytm procesu zagospodarowania odpadami komunalnymi

Źródło: opracowanie własne

Przez ostatnie lata system selektywnej zbiórki odpadów wyraźnie się zmienił. W pierwszym etapie segregowanie na odpady mokre i suche było jedną z form selektywnej zbiórki odpadów. Wspólny System Segregacji Odpadów (w skrócie WSSO) obowiązuje w Polsce od 01.07.2017 roku. Mimo wprowadzenia tego systemu w każdej gminie wprowadzane są różne jego modyfikacje.

Proces zwiększania się świadomości społecznej, która dotyczy problemu gospodarki odpadami, a także ich wpływu na środowisko, spowodował znaczący wzrost zainteresowania się gospodarką odpadami. Zaliczyć tu można nowe innowacyjne techniki i technologie oraz metody unieszkodliwiania i składowania. Jednym z fundamentalnych problemów z zakresu ochrony środowiska, które zmusza daną organizację gospodarki odpadami do skutecznego oraz niezwłocznego rozwiązania jest unieszkodliwianie odpadów.¹³

Należy zwrócić uwagę, że odpady już posegregowane na sort polimerowy, są najchętniej przyjmowane przez zakłady przetwórcze. Aktualnie istnieje już szereg możliwości, aby przetworzyć mieszaninę odpadów różnych tworzyw na produkty wyjściowe. Najczęściej w zagospodarowaniu odpadów stosuje się techniki ponownego ich przetwarzania, takie jak:

¹² Piontek W.: Gospodarowanie odpadami komunalnymi jako czynnik wzrostu gospodarczego, Białystok, 2015.

¹³ Stypka T.: Modelowanie systemów gospodarki odpadami komunalnymi, Kraków, 2014.

- Recykling prosty – w procesie tym wykorzystuje się termoplastyczne właściwości tworzyw. Takie procesy dotyczą jednorodnych polimerów oraz ich mieszanin.
- Recykling chemiczny – proces ten polega na tym, że częściowo degraduje się tworzywo do związków niskocząsteczkowych lub do całkowitej depolimeryzacji. Powyższą metodę stosuje się wyjątkowo rzadko, gdyż potrzebuje ona jednorodnych i czystych polimerowo odpadów.

Z poziomem urbanizacji kraju oraz zamożnością społeczeństwa związana jest ściśle wielkość odpadów komunalnych. Stąd im większy jest stopień rozwoju cywilizacji i wzrostu PKB danego kraju, tym większe jest wytwarzanie odpadów komunalnych. Wszystkie czynniki mają duży wpływ na ostateczny stopień oraz kształt całego systemu gospodarki odpadami komunalnymi, które funkcjonują w danych krajach.¹⁴

Modele gospodarowania odpadami

Model gospodarowania odpadami wprowadzony nowelizacją ustawy z dnia 13 września 1996 r. dotyczył porządku w Gminach oraz utrzymania czystości opartej na zasadach, które funkcjonują w Unii Europejskiej:

- Konkurencyjności w gospodarce odpadami.
- Bliskości źródeł powstawania odpadów.
- Samowystarczalności organizacji.
- Kto zanieczyszcza ten płaci.

Przykładowa klasyfikacja modeli gospodarki odpadami komunalnymi najczęściej występująca w Polsce, została przedstawiona w tabeli 2.

Tabela 2. Klasyfikacja modeli gospodarki odpadami komunalnymi

Rodzaje modeli	Opis i cel modeli	Kluczowe narzędzia oceny	Aspekty środowiskowe	Przykładowe modele
Modele szare	Te modele optymalizują często przy uwzględnieniu zmiennej czasowej. Stosują liczby szare i teorię zbiorów rozmytych aby uwzględnić niepewność przyjętych parametrów i zmiennych	Teoria liczb szarych, teoria zbiorów rozmytych, całoliczbowe programowanie liniowe, rozmyte programowanie celowe	Zanieczyszczenie powietrza i hałas	Chen, 2000 Chang, 1997
Modele zielone	Te modele porównują analizę rozwiązań zgodnie z zasadami koncepcji trwałego rozwoju. Często nie szukają rozwiązania optymalnego i	Analiza wielokryterialna. Analiza cyklu życia, systemy wspomagania	Konsumowanie energii, zanieczyszczenie gleby, wody i powietrza, różne	WRAP ORWARE IWM-1 IWM-2

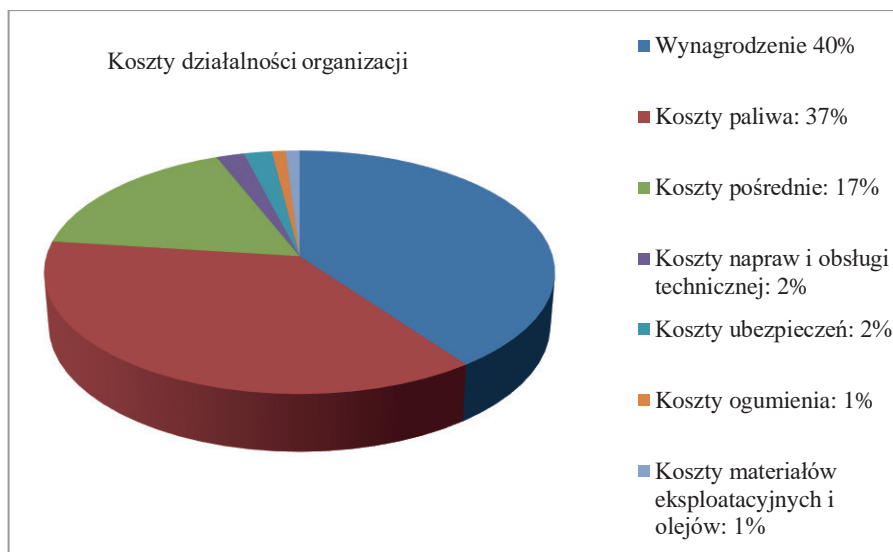
¹⁴ Hryb W., Ceglarsz K.: Odpady komunalne w aspekcie gospodarki o obiegu zamkniętym, Gliwice, 2021.

Rodzaje modeli	Opis i cel modeli	Kluczowe narzędzia oceny	Aspekty środowiskowe	Przykładowe modele
	nie uwzględniają elementu czasu	decyzyjnego, GIS	poziomy recyklingu	ISWM – Canada
Modele białe	Te modele optymalizują parametry ekonomiczne. Są to głównie modele lokalizacji obiektów. Zakładają one całkowitą dokładność dla danych wejściowych	Analiza kosztów i korzyści, mieszane programowanie liniowe, programowanie liniowe	Brak	Stypka, 2000 Clark, 1972 Chang, 1996 Gottinger, 1988

Źródło: opracowanie własne

Do analizy kosztów stosuje się szereg systemów informatycznych. Bardzo istotnym zadaniem systemów ERP jest przeprowadzenie wielowymiarowych zaawansowanych analiz finansowych, mających nadrzędne znaczenie aby podejmować właściwe decyzje oraz posiadać wysokiej klasy kadrę kierowniczą.¹⁵

Tuż obok zagospodarowania znaczący udział w kosztach gospodarki odpadami komunalnymi mają transport oraz gromadzenie odpadów, jednak czynnikiem głównym jest cały system zagospodarowania odpadów (rys. 6).



Rysunek 6. Struktura kosztów transportu i zbierania odpadów

Źródło: (Malinowski, 2016)

¹⁵ Dyer H.: Zerwij z odpadami, Lingea, Warszawa, 2019.

Podsumowanie i wnioski

Gospodarowanie odpadami komunalnymi jest istotnym obszarem, który wymaga złożonych działań technologicznych, ekonomicznych, administracyjnych oraz społecznych, uwzględniających interesy i potrzeby wraz z pogodzeniem z potrzebami środowiska naturalnego z działalnością ludzi. Zespolenie w całość wszystkich tych elementów oraz wielokompleksowe odpowiednie podejście do rozwiązań systemowych gospodarki odpadami jest zadaniem bardzo złożonym oraz sprawiającym szereg trudności i problemów. Podejmowanie decyzji dotyczącej wyboru metod recyklingu, odzyskiwania, unieszkodliwiania odpadów wymaga szerokich szczegółowych analiz oraz używania zaawansowanych narzędzi.

Na podstawie przeglądu stanu wiedzy, własnych doświadczeń oraz analizy poszczególnych rodzajów segregacji i modeli gospodarowania odpadami, można sformułować następujące wnioski:

1. Należy stwierdzić, że nie istnieje taka metoda, która umożliwi całościowe zlikwidowanie odpadów komunalnych, stąd segregacja i recykling mogą znacznie ograniczyć ich negatywne oddziaływanie na środowisko. Przez zastosowanie metod unieszkodliwiania odpadów tworzą się nowe odpady, które nadal wymagają kolejnego unieszkodliwiania.
2. W praktyce zastosowanie kodów oznaczeń odpadów komunalnych usprawniło system gospodarki odpadami. Dzięki zaklasyfikowaniu ich do odpowiednich grup i uzgodnieniu jednolitej klasyfikacji, umożliwiło to łatwiejszą segregację a za czym idzie większą oszczędność pieniędzy i materiałów, oraz prostsze uzgodnienie stawek dotyczących opłat za odpady komunalne.
3. Zastosowanie technologii informatycznych w gospodarce odpadami komunalnymi usprawniło procesy odbierania odpadów, utylizacji, zagospodarowania odpadów, magazynowania, obliczania kosztów, logistyki transportu, monitorowania odpadów, optymalizacji kosztów oraz logistyki całego procesu zarządzania odpadami komunalnymi.

Bibliografia

- Aleksandrowicz A. i in.: Jednolita klasyfikacja odpadów. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 1993.
- Biedugnis S., Cholewiński J.: Optymalizacja gospodarki odpadami, Warszawa, 1992.
- Byjoch K., Redel S.: Prawo gospodarki komunalnej, Warszawa, 2000.
- Dyer H.: Zerwij z odpadami, Lingea, Warszawa, 2019.
- Gembalska – Kwiecień A.: Wyzwania w projektowaniu innowacyjnych systemów IT w gospodarce odpadami.
- Górski M.: Nowy system prawny w gospodarce odpadami, Warszawa, 2013.
- Górski M., Zabawa S.: Zarządzanie gospodarką odpadami, Poznań, 2008.
- Hryb W., Ceglarsz K.: Odpady komunalne w aspekcie gospodarki o obiegu zamkniętym, Gliwice, 2021.
- Kaczmar I., Komputerowe modelowanie i symulacje procesów logistycznych w środowisku FlexSim, Warszawa, 2019.
- Kupczyk T., Żebrowski M., Sosnowska K., Tomys I.: Zarządzanie gospodarką odpadami – nowe wyzwania, korzyści, propozycje zmian, Wrocław, 2015.
- Lutek W., Banaś J., Pastuszek Z.: Satysfakcja konsumenta w systemie zarządzania logistyką zwrótną w gospodarce odpadami komunalnymi, Lublin, 2020.

- Lutek W., Pastuszek Z., Banaś J.: Innowacyjny system zarządzania logistyką zwrótną w gospodarce odpadami komunalnymi, Lublin, 2019.
- Lutek W.: Zrównoważona i inteligentna gospodarka odpadami komunalnymi, Lublin, 2020.
- Malinowski M.: Analiza kosztów transportu odpadów komunalnych gromadzonych selektywnie, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr III/2, 2016.
- Piontek W.: Gospodarowanie odpadami komunalnymi jako czynnik wzrostu gospodarczego, Białystok, 2015.
- Stypka T.: Modelowanie systemów gospodarki odpadami komunalnymi, Kraków, 2014.

Adres do korespondencji: w.piekarski@pansp.pl

ORCID: Wiesław Piekarski 0000-0001-6218-3090
ORCID: Grzegorz Dzieniszewski 0000-0002-2712-1131

WYKORZYSTANIE SYSTEMÓW ŁADOWANIA AUT ELEKTRYCZNYCH W BUDYNKACH ZAGRODOWYCH

Zbigniew Skibko¹, Grzegorz Hołdyński¹, Andrzej Borusiewicz², Łukasz Pisarek²

¹ Wydział Elektryczny, Politechnika Białostocka

² Zakład Agronomii, Nowoczesnych Technologii i Informatyki, Międzynarodowa Akademia Nauk Stosowanych w Łomży

Wstęp

Szybki rozwój elektromobilności powoduje stały wzrost liczby aut elektrycznych na drogach w kraju i na całym świecie. To z kolei wymusza konieczność rozwoju sieci ładowania pojazdów elektrycznych, zarówno ogólnodostępnych, jak i prywatnych. Rosnące zainteresowanie tego typu urządzeniami prowadzi do zwiększenia liczby firm zajmujących się ich produkcją i sprzedażą, co w efekcie prowadzi do dostępności różnych rozwiązań. Aby poprawnie dobrać urządzenie do potrzeb i możliwości danej lokalizacji, niezbędna jest fachowa wiedza dotycząca budowy, zasady działania oraz wymagań, jakie muszą spełniać stacje ładowania aut elektrycznych. Zgodnie z ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych, stację ładowania definiuje się jako obiekt budowlany^{1,2}, który obejmuje co najmniej jeden punkt ładowania dużej (o mocy przekraczającej 22 kW) lub normalnej mocy (o mocy równej lub mniejszej niż 22 kW)³. Punkty do użytku indywidualnego (prywatnego), o mocy równej lub mniejszej niż 3,7 kW nie są uznawane za punkty ładowania normalnej mocy⁴.

Stacje ładowania pojazdów elektrycznych są coraz powszechniej spotykane zarówno w przestrzeni publicznej, jak i prywatnej. Aby zapewnić wysoki poziom bezpieczeństwa, konieczne jest spełnienie szeregu wymagań dotyczących doboru poszczególnych komponentów, takich jak zabezpieczenia obwodów zasilających, a także odpowiedniego miejsca montażu stacji, które zapewni właściwą ochronę przed warunkami środowiskowymi. Niespełnienie tych warunków może prowadzić do zagrożenia dla życia i zdrowia użytkowników oraz uszkodzenia mienia.

¹ Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane z późniejszymi zmianami. Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414 z późniejszymi zmianami.

² Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. 2002 nr 75 poz.690 z późniejszymi zmianami.

³ Ustawa z dn. 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2019 r., poz. 1124) z późniejszymi zmianami.

⁴ Fic B.: Stacje ładowania samochodów elektrycznych, Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno, 2020.

Kolejnym istotnym aspektem jest budowa stacji ładowania, która zależy od wielu czynników, takich jak moc ładowania, miejsce montażu oraz przeznaczenie. W zależności od tych czynników należy dobrać odpowiednią stację, zwracając szczególną uwagę na wybór złącza ładowania, w postaci gniazda lub wtyku ładowania, z uwagi na różnorodność dostępnych typów złączy. Norma PN-EN 61851-1 wyróżnia cztery tryby ładowania: Mode 1, Mode 2, Mode 3 i Mode 4⁵. Tryby te różnią się między sobą parametrami znamionowymi, rodzajem zabezpieczeń oraz wykorzystaniem prądu stałego (DC) lub przemiennego (AC)⁶.

W trybie ładowania Mode 1 korzysta się z infrastruktury, która pierwotnie nie była dedykowana do celów ładowania aut elektrycznych - ładowany pojazd podłączany jest bezpośrednio do gniazda instalacji elektrycznej prądu przemiennego. Prąd ładowania ograniczony jest do wartości 16 A, co wynika z wytrzymałości elektrycznej gniazd wtyczkowych. Napięcie ładowania nie może przekroczyć 250 V w systemie jednofazowym oraz 440 V w systemie trójfazowym. W trybie tym brak jest komunikacji pomiędzy pojazdem a stacją ładowania – rysunek 1.



Rysunek 1. Schemat przedstawiający tryb ładowania Mode 1

Źródło: (<https://bestchargers.eu/blog/overview-of-ev-charging-modes>)

W trybie ładowania Mode 2 pojazdy ładowane są z gniazd wtyczkowych o standardowym wykonaniu, przy czym prąd ładowania ograniczony jest do wartości 32 A. Zakres dopuszczalnych poziomów napięcia jest taki jak w trybie Mode 1. Połączenie auta z gniazdem wtyczkowym odbywa się za pomocą specjalnego przewodu, wyposażonego w zintegrowany układ zabezpieczeń oraz kontrolę IC-CPD (In-Cable Control and protection Device) – rysunek 2.



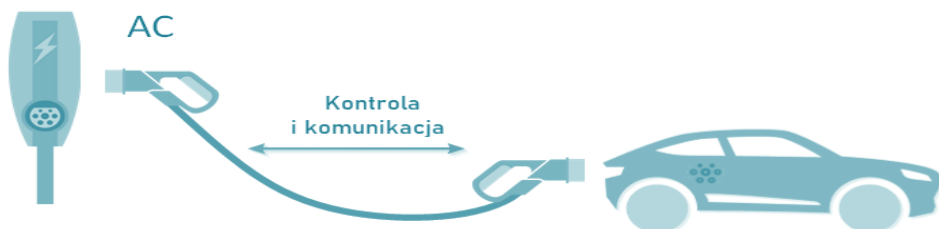
Rysunek 2. Schemat przedstawiający tryb ładowania Mode 2

Źródło: (<https://bestchargers.eu/blog/overview-of-ev-charging-modes>)

⁵ PN-EN IEC 61851-1:2019-10 System przewodowego ładowania pojazdów elektrycznych -- Część 1: Wymagania ogólne.

⁶ Sulkowski M.: Wymagania w zakresie instalacji elektrycznych niskiego napięcia stacji ładowania pojazdów elektrycznych zgodnie z normą PN-HD 60364-7-722, Wiadomości Elektrotechniczne, 5, 5-7, 2020.

W trybie ładowania Mode 3 wykorzystuje się stacje ładowania pojazdów elektrycznych prądu przemiennego z wbudowanym systemem EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment)⁷. Do połączenia auta ze stacją ładowania pojazdów może być wykorzystany przewód odłączany, jak również zintegrowany ze stacją ładowania pojazdów⁸ – rysunek 3.



Rysunek 3. Schemat przedstawiający tryb ładowania Mode 3

Źródło: (<https://bestchargers.eu/blog/overview-of-ev-charging-modes>)

W trybie ładowania Mode 4 wykorzystuje się stację ładowania z wbudowanym systemem EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment), przy czym ładowanie odbywa się prądem stałym DC. Stacja ładowania zasilana jest z sieci prądu przemiennego AC, a prąd stały uzyskiwany jest z wbudowanego w stację przekształtnika AC/DC. Połączenie auta ze stacją ładowania pojazdów realizowane jest za pomocą przewodu zintegrowanego ze stacją ładowania, wyposażonego w specjalny wtyk⁹ – rysunek 4.



Rysunek 4. Schemat przedstawiający tryb ładowania Mode 4

Źródło: (<https://bestchargers.eu/blog/overview-of-ev-charging-modes>)

⁷ Piąstka R., Jajczyk J., Bednarek K.: Charakterystyka procesu komunikacji podczas ładowania baterii pojazdu elektrycznego, Politechnika Poznańska, Journals Electrical Engineering, 105, 37-47, 2020.

⁸ PN-HD 60364-7-722:2019-01, Instalacje elektryczne niskiego napięcia -- Część 7-722: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji -- Zasilanie pojazdów elektrycznych.

⁹ PN-EN 62196-2:2017-06 Wtyczki, gniazda wtyczkowe, złącza pojazdowe i wtyki pojazdowe -- Przewodowe ładowanie pojazdów elektrycznych -- Część 2: Wymagania dotyczące zgodności wymiarowej i zamienności wyrobów prądu przemiennego z ze stykami tulejkowo-kołkowymi.

Każda stacja ładowania pojazdów powinna być chroniona przed przepięciami poprzez zastosowanie ograniczników przepięć^{10,11} oraz cechować się odpornością na oddziaływanie środowiskowe (posiadać stopień ochrony co najmniej IP44 przy stacjach zewnętrznych oraz IP41 przy stacjach wewnętrznych)¹². Należy zapewnić również kompleksową ochronę przed prądami przetężeniowymi i zwarciovymi, która powinna być tak dobrana, aby w przypadku pojawienia się przeciążenia, nie wystąpiły niepożądane skutki dla urządzeń¹³.

Nowoczesne stacje ładowania pojazdów oferują możliwość dwukierunkowego przesyłu energii elektrycznej. Technologia ta wymaga zastosowania dodatkowych przekształtników w samej stacji ładowania, co znacząco wpływa na jej koszt¹⁴. Takie rozwiązanie umożliwia wykorzystanie pojazdu elektrycznego jako zasobnika energii. W zależności od sposobu wykorzystania energii zgromadzonej w pojeździe elektrycznym, można wyróżnić dwie koncepcje: V2G (Vehicle to Grid, polegająca na przesyłaniu energii do sieci elektroenergetycznej) oraz V2H (Vehicle to Home, polegająca na wykorzystaniu energii we własnym zakresie)¹⁵. Takie rozwiązanie wykorzystuje dwa źródła energii: instalację fotowoltaiczną i przyłącze do sieci elektroenergetycznej¹⁶. Dzięki temu stacja ładowania może działać zarówno w dzień, jak i w nocy. Produkcja energii z instalacji fotowoltaicznej pokrywa większość zapotrzebowania w ciągu dnia, natomiast w nocy niezbędną moc zapewnia przyłącze do sieci elektroenergetycznej¹⁷.

Montaż stacji ładowania może być często utrudniony lub wręcz niemożliwy ze względów technicznych i logistycznych. W niektórych lokalizacjach mogą pojawić się problemy, których rozwiązanie może być czasochłonne, kosztowne i trudne do zrealizowania. Jednym z poważnych problemów technicznych, który może się pojawić, jest ograniczenie mocy przyłączeniowej. W budynkach zagrodowych moc przyłączeniowa często wynosi mniej niż 22 kW, co ogranicza możliwość instalacji stacji ładowania prądu stałego. Podczas doboru stacji ładowania należy szczególnie zwrócić uwagę na dostępność mocy. W budynkach zagrodowych zainstalowane urządzenia często w znacznym stopniu wykorzystują dostępną moc przyłączeniową. W takim przypadku, aby zainstalować stację ładowania konieczne

¹⁰ PN-HD 60364-5-534:2016 Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 5-534: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego — Odłączanie izolacyjne, łączenie i sterowanie - Urządzenia do ochrony przed przejściowymi przepięciami

¹¹ Wincencik K.: Ochrona przepięciowa naściennych stacji ładowania pojazdów elektrycznych, Elektro.info, nr. 4, 20-22, 2021.

¹² Lejdy B., Sulkowski M.: Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych, PWN, Warszawa, 2019.

¹³ Niestępski S., Parol M., Pasternakiewicz J., Wiśniewski T.: Instalacje elektryczne. Budowa, projektowanie i eksploatacja, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2019.

¹⁴ Yilmaz M. and Krein P. T.: Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for pluginelectric and hybrid vehicles, IEEE Trans. Power Electron, vol. 28, 5, 2151-2169, 2013.

¹⁵ Świątek J.: Stacje ładowania pojazdów elektrycznych w koncepcji Smart Systemu, Elektro.info, nr.5, 68-73, 2019.

¹⁶ Chandra Mouli GR, Bauer P, Zeman M.: Comparison of system architecture and converter topology for a solar powered electric vehicle charging station. 9th Int. Conf. Power Electron. ECCE Asia (ICPE-ECCE Asia), IEEE; 1908-1915, 2015.

¹⁷ Chandra Mouli G.R., Bauer P., Zeman M.: System design for a solar powered electric vehicle charging station for workplaces, Applied Energy, nr.168, 434-443, 2016.

może być zwiększenie mocy przyłączeniowej budynku, co może powodować szereg problemów technicznych (w szczególności ograniczenie mocy transformatora SN/nn)¹⁸.

Podczas zwiększania mocy przyłączeniowej budynku zagrodowego może wystąpić problem techniczny związany z niewystarczającą obciążalnością maksymalną przewodów lub kabli zasilających budynek. Modernizacja linii może być wieloetapowa i wymagać wymiany nie tylko przewodów i kabli, ale również innych elementów sieci elektroenergetycznej. Jeżeli moc przyłączeniowa przekroczy 40 kW, konieczna jest również zmiana układu pomiarowego z bezpośredniego na pośredni, co wiąże się również ze zmianą taryfy rozliczeniowej z G (przeznaczonej dla gospodarstw domowych), na C (przemysłową), w której operator może naliczać opłaty zarówno za moc czynną, jak i bierną¹⁹, co może wymagać zastosowania układów do kompensacji mocy biernej²⁰.

Opis analizowanego układu

Analizowany budynek gospodarczy, w którym planowane jest zainstalowanie stacji ładowania pojazdów zasilany jest z rozdzielnic pomocniczej (RP), przyłączonej do sieci kablem YKYżo 5x4 mm² 0,6/1 kV z rozdzielnic głównej (RG). Rozdzielnica główna (znajdująca się w budynku mieszkalnym oddalonym o 25 m) przyłączona jest linią kablową YKY 4x6 mm² 0,6/1 kV. Gospodarstwo zasilane jest napowietrzną linią AsXSn 4x95 mm² o długości 500 m ze stacji transformatorowej 15/0,4 kV TOHb 100/20 o mocy 100 kVA. Budynek posiada moc przyłączeniową równą 16 kW, co przekłada się na zabezpieczenie przedlicznikowe C25.

Analizie poddano siedem różnych rozwiązań stacji ładowania pojazdów:

1. Jednofazowa stacja ładowania prądu przemiennego małej mocy Mennekes Amtron Compact o mocy 3,7 kW, wyposażona w złącze ładowania typu 2.
2. Jednofazowa stacja ładowania prądu przemiennego normalnej mocy Mennekes Amtron Premium R o mocy 7,4 kW, wyposażona w złącze ładowania typu 2.
3. Trójfazowa stacja ładowania prądu przemiennego normalnej mocy firmy Schneider Electric model EVlink Wallbox o mocy ładowania 11 kW, wyposażona w złącze ładowania typu 2.
4. Trójfazowa stacja ładowania prądu przemiennego normalnej mocy firmy Wallbox model Pulsar Plus o mocy ładowania 22 kW, wyposażona w złącze ładowania typu 2.
5. Stacja ładowania prądu stałego firmy ABB model Terra wallbox o mocy ładowania 24 kW, wyposażona w złącza ładowania CCS2 oraz ChAdeMO.
6. Stacja ładowania prądu stałego firmy Ecotap model DC 30 o mocy ładowania 30 kW, wyposażona w złącza ładowania CCS2.
7. Wolnostojąca stacja ładowania prądu stałego dużej mocy firmy ABB model TERA 54 CJ o mocy maksymalnej ładowania 50 kW, wyposażona w złącza ładowania CCS2 oraz ChAdeMO.

¹⁸ Zawodniak, J. J., Rogalski, Ł., Górny, P.: Podstawowe wiadomości o napowietrznej sieci dystrybucyjnej energetyki zawodowej, Elektro.info, nr 5, 28-32, 2016.

¹⁹ Hołdyński G., Skibko Z.: Kompensacja mocy biernej - zagadnienia wybrane. Cz. 1: Odbiorniki i źródła mocy biernej Elektro.info nr 9, 110-111, 2017.

²⁰ Hołdyński G., Skibko Z., Wiśniewski R.: Zastosowanie filtrów aktywnych w sieciach przemysłowych. Wiadomości Elektrotechniczne nr 5, 8-11, 2018.

Analiza porównawcza zaproponowanych rozwiązań

Zaproponowane rozwiązania stacji ładowania pojazdów wymagają dostosowania infrastruktury czy mocy przyłączeniowej. W przypadku siedmiu analizowanych rozwiązań, dla każdego z nich występuje potrzeba zwiększenia mocy przyłączeniowej, a dla rozwiązania nr 7 dodatkowo należy zmienić taryfę na przemysłową (ze względu na zwiększenie mocy przyłączeniowej powyżej 40 kW). Dodatkowo w przypadku rozwiązania nr 6 oraz 7 konieczna jest ingerencja w architekturę gospodarstwa, wywołana koniecznością budowy nowego przyłącza oraz wewnętrznej linii zasilającej (WLZ), co wiąże się z dodatkowymi kosztami. Ponadto budowa nowego przyłącza oraz modernizacja linii elektroenergetycznej wiąże się z wydłużeniem czasu montażu stacji ładowania nawet do kilku lat. Zestawianie prac niezbędnych do wykonania podczas budowy zaproponowanych stacji ładowania pojazdów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie prac koniecznych do realizacji przy budowie poszczególnych rozwiązań

Nr rozwiązania	1	2	3	4	5	6	7
Modernizacja linii zasilającej rozdzielnicę RP							
Modernizacja linii zasilającej rozdzielnicę RG							
Wymiana zabezpieczeń w RP							
Wymiana zabezpieczeń w RG							
Budowa sieci teletechnicznej LAN							
Zmiana taryfy rozliczeniowej							
Zmiana mocy przyłączeniowej							
Wymiana transformatora sieciowego							
Budowa nowego przyłącza elektrycznego							
Budowa nowej linii elektroenergetycznej nn							
Modernizacja linii elektroenergetycznej							
	- Zmiana wystąpiła						
	- Zmiana nie wystąpiła						
	- Nie dotyczy						

Źródło: (opracowanie własne)

Jednym z problemów, przy zwiększeniu mocy przyłączeniowej, jest zapas mocy w transformatorze SN/nn. Dla rozwiązań od 3 do 7 moc zainstalowanego aktualnie transformatora jest niewystarczająca, a jego wymiana wraz z urządzeniami zabezpieczającymi i łączeniowymi wpływa nie tylko na koszty inwestycji, ale również na czas jej realizacji. W każdym z analizowanych przypadków konieczna jest budowa sieci teletechnicznej.

Na rynku dostępnych jest wiele różnych aut elektrycznych, które różnią się między sobą pojemnością zainstalowanej baterii. W analizie uwzględniony zostanie samochód elektryczny o pojemności baterii 42 kWh.

W analizie przyjęto dodatkowe założenia:

- sprawność procesu ładowania wynosi 100%,
- moc ładowania równa maksymalnej mocy stacji ładowania,
- ładowanie akumulatora od 0 % do 100%.

W tabeli 2 zestawiono czasy ładowania dla analizowanych stacji ładowania.

Tabela 2. Zestawienie czasów ładowania auta o pojemności baterii 42 kWh, dla poszczególnych rozwiązań stacji ładowania.

Nr rozwiązania	Model	Typ	Moc ładowania	Czas ładowania
1	Mennekes Amtron Compact	AC	3,7 kW	11 h 21 min
2	Mennekes Amtron BASIC E	AC	7,4 kW	5 h 41 min
3	EVlink Wallbox	AC	11 kW	3 h 49 min
4	Wallbox Pulsar Plus	AC	22 kW	3 h 49 min
5	Terra wallbox	DC	24 kW	1 h 45 min
6	Ecotap DC 30	DC	30 kW	1 h 24 min
7	Terra 54	DC	50 kW	0 h 50 min

Źródło: (opracowanie własne)

W zależności od typu stacji ładowania czas ładowania mieści się w przedziale od 50 minut do ponad 11 godzin. Przy wykorzystaniu do ładowania prądu przemiennego minimalny czas ładowania wynosił 3 godziny i 49 minut. W przypadku stacji o mocy 22 kW oraz 11 kW czas jest jednakowy, co wynika z ograniczeń mocy (do 11 kW) ładowarki wbudowanej w samochodzie. Przy zastosowaniu stacji ładowania AC o mocy 3,7 kW czas ładowania jest około 3 razy dłuższy niż w stacji o mocy 11 kW. W przypadku stacji ładowania prądem stałym, czas ładowania w każdym przypadku wyniósł poniżej 2 godzin. W przypadku ładowarki ABB TERA 54 CJ czas ten jest czasem ponad 13-krotnie krótszy w porównaniu do stacji AC 3,7 kW. Przyjmując, zgodnie z danymi podawanymi przez producenta samochodów, że na przejechanie dystansu 100 km auto zużywa 12,7 kWh energii, w tabeli 3 przedstawiono średnie czasy ładowania baterii w celu przejechania 100 km.

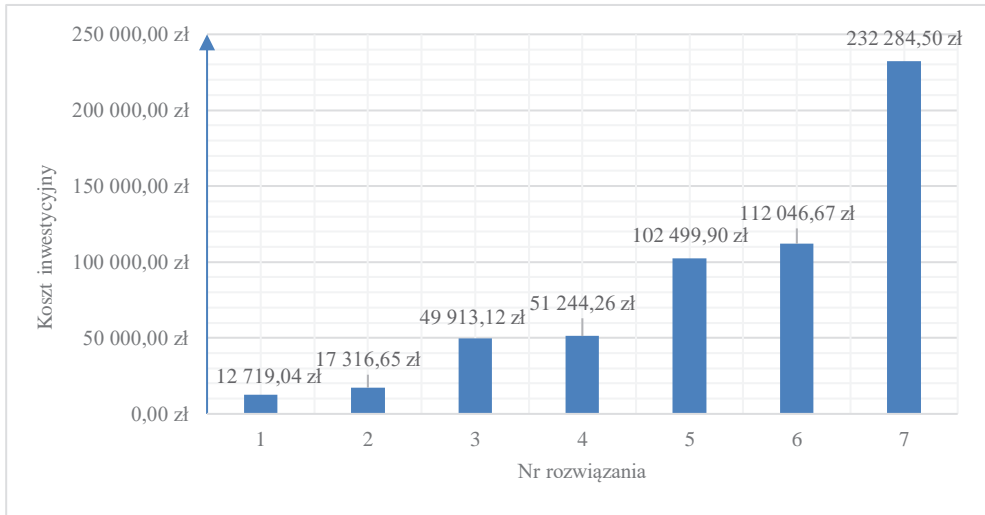
Tabela 3. Zestawienie czasów ładowania auta o pojemności baterii 42 kWh, w celu przejechania 100 km, dla poszczególnych rozwiązań stacji ładowania.

Nr rozwiązania	Model	Typ	Moc ładowania	Czas ładowania
1	Mennekes Amtron Compact	AC	3,7 kW	2 h 26 min
2	Mennekes Amtron BASIC E	AC	7,4 kW	1 h 43 min
3	EVlink Wallbox	AC	11 kW	1 h 9 min
4	Wallbox Pulsar Plus	AC	22 kW	1 h 9 min
5	Terra wallbox	DC	24 kW	32 min
6	Ecotap DC 30	DC	30 kW	25 min
7	Terra 54	DC	50 kW	15 min

Źródło: (opracowanie własne)

Analizując dane przedstawione w tabeli 2 należy podkreślić fakt, że aby naładować samochód ładowarkami na prąd przemienny, w celu przejechania 100 km potrzeba dysponowaniem ponad godziny czasu (najlepsza z ładowarek potrzebuje blisko 2,5 godziny). Najkrótsze czasy (rzędu kilkunastu – kilkudziesięciu minut) uzyskuje się w przypadku zastosowania ładowarek na prąd stały.

Ważnym aspektem przy wyborze typu stacji ładowania pojazdów jest ich cena. Na rysunku 5 przedstawione zostały koszty inwestycyjne (obejmujące zakup urządzeń, ich montaż oraz prace związane z dostosowaniem istniejącej sieci elektroenergetycznej) analizowanych rozwiązań.



Rysunek 5. Wykres porównawczy kosztów inwestycyjnych dla poszczególnych rozwiązań

Najmniejszym kosztem inwestycyjnym charakteryzuje się rozwiązanie nr 1, oparte na jednofazowej stacji ładowania AC o mocy 3,7 kW. 25 % kwoty stanowi koszt samej stacji ładowania pojazdów, a aż 75 % kosztów całkowitych stanowi koszt montażu oraz pozostały sprzęt niezbędny do prawidłowego funkcjonowania stacji. Wzrost kosztów w przypadku rozwiązania nr 2 wynika przede wszystkim z droższej o ponad 65 % (w stosunku do rozwiązania nr 1) stacji ładowania oraz wzrostu kosztów prac związanych z modernizacją instalacji. W przypadku rozwiązania nr 3 opartego na trójfazowej stacji ładowania pojazdów o mocy 11 kW, zauważalny jest czterokrotny (w stosunku do 1) wzrost kosztów inwestycji. 85 % wartości kosztu inwestycji związane jest z wymianą transformatora na większy. W przypadku rozwiązania nr 4 opartego na stacji ładowania o mocy 22 kW koszt inwestycji wzrósł o 2,67 % w stosunku do rozwiązania nr 3, na co miał wpływ głównie wzrost wydatków poniesionych na modernizację oprzewodowania. Najtańsze rozwiązanie stałoprądowe – nr 5, oparte na stacji o mocy 24 kW jest ponad siedmiokrotnie droższe od rozwiązania nr 1. Koszt samej stacji ładowania, w porównaniu do rozwiązania nr 4, jest blisko dwa razy wyższy. Rozwiązanie nr 6 oparte na stacji ładowania prądu stałego o mocy 30 kW jest droższe o 9,3 % od rozwiązania nr 5. Wzrost kosztów inwestycyjnych wynika głównie ze wzrostu ceny stacji

ładowania oraz z konieczności wykonania odrębnego przyłącza. Rozwiązanie nr 7, oparte na stacji ładowania prądu stałego o mocy 50 kW, stanowi najdroższą opcję z analizowanych stacji ładowania (jest blisko 19 krotnie droższe od rozwiązania nr 1). Koszt samej stacji ładowania stanowi aż 62% całkowitej wartości inwestycji. Koszt związany z wykonaniem modernizacji linii elektroenergetycznej stanowi 13% całej inwestycji.

Uwzględniając dodatkowe koszty eksploatacyjne (obejmujące między innymi koszty energii oraz procentowy wzrost jej ceny) został określony zwrot inwestycji, w odniesieniu do kosztów ładowania samochodu w stacji ogólnodostępnej – tabela 4.

Tabela 4. Różnica kosztów ładowania auta w stacji ogólnodostępnej oraz kosztów użytkowania własnej stacji ładowania dla poszczególnych rozwiązań oraz okresów zwrotu inwestycji

Nr rozwiązania	Analizowany okres zwrotu inwestycji		
	5 letni	10 letni	15 letni
1	1 380,77 zł	20 564,72 zł	55 930,06 zł
2	-3 321,10 zł	15 758,61 zł	51 019,69 zł
3	-35 895,96 zł	-16 794,65 zł	18 488,05 zł
4	-37 230,45 zł	-18 132,50 zł	17 146,84 zł
5	-78 557,84 zł	-44 533,63 zł	12 681,96 zł
6	-88 264,36 zł	-54 399,89 zł	2 655,95 zł
7	-244 686,68 zł	-253 866,11 zł	-248 199,67 zł

Źródło: (opracowanie własne)

Analiza danych z tabeli 5 pokazuje, że zwrot przynosi jedynie niewielka część rozwiązań. W przypadku okresu 5 letniego zwrot z inwestycji w przydomową stację ładowania osiągnięto jedynie w przypadku rozwiązania nr 1. W pozostałych przypadkach inwestycja była nieopłacalna i przyniosła stratę w wysokości od około 3 tys. zł do ponad 244 tys. zł. W przypadku rozpatrywania okresu 10 letniego, można zauważyć, że zainwestowanie w rozwiązanie nr 1 i 2 przyniosą zysk rzędu odpowiednio około 20 tys. i 15 tys. złotych. W przypadku rozwiązania nr 7 strata powiększyła się o około 3%, co może wynikać z cen energii elektrycznej w taryfie przemysłowej, w porównaniu z cenami użytkowania stacji ogólnodostępnej. W przypadku okresu 15 letniego jedynie rozwiązanie nr 7 okazało się nieopłacalne i przyniosło stratę w wysokości około 248 tys. zł. Warto zauważyć, że w przypadku rozwiązania nr 7, w trzech analizowanych okresach strata przekracza wartość samej inwestycji.

Podsumowanie

Stacje ładowania pojazdów różnią się pod względem złożoności budowy. Można wyróżnić jednofazowe stacje prądu przemiennego z uproszczonym układem sterowania, które mają prostą budowę, co przekłada się na niski koszt inwestycyjny. Z kolei na rynku dostępne są także stacje prądu stałego o dużych mocach. Dzięki zastosowaniu układów przekształtnikowych i złożonych układów sterowania, stacje te charakteryzują się dużymi mocami ładowania, sięgającymi setek kilowatów, co bezpośrednio wpływa na czas ładowania pojazdów, ale również na ich cenę.

Analiza porównawcza stacji ładowania pokazuje, że rozwiązania oparte na stacjach prądu stałego są inwestycyjnie znacznie droższe od tych opartych na stacjach prądu przemiennego. Powoduje to wydłużenie okresu zwrotu inwestycji, a w niektórych przypadkach inwestycja jest wręcz nieopłacalna. Dla budynków zagrodowych, pod względem czasu ładowania, kosztów oraz niezawodności, dobrym rozwiązaniem są trójfazowe stacje prądu przemiennego. Oferują one czas ładowania poniżej 10 godzin nawet dla pojazdów ze stosunkowo dużą baterią. Jednak dla pojazdów o pojemnościach akumulatorów poniżej 40 kWh, jednofazowe stacje ładowania mają najkrótszy okres zwrotu inwestycji i są opłacalne już w ciągu pierwszych pięciu lat użytkowania.

Jednym z większych problemów, które mogą wystąpić przy montażu stacji ładowania w budynkach zagrodowych, jest niedostateczna moc przyłączeniowa, co może wiązać się z koniecznością modernizacji sieci elektroenergetycznej. Podnosi to koszt inwestycji i może wymagać ingerencji w architekturę terenu.

Wybór stacji ładowania zależy od indywidualnych potrzeb użytkownika, jego wymagań oraz budżetu. Ważnym aspektem przy wyborze stacji ładowania jest opłacalność inwestycji. Niemniej jednak, równie istotnymi, choć trudniej mierzalnymi powodami inwestycji w przydomową stację ładowania jest komfort użytkowania oraz oszczędność czasu.

Bibliografia

- Chandra Mouli G.R., Bauer P., Zeman M.: System design for a solar powered electric vehicle charging station for workplaces, *Applied Energy*, nr.168, 434-443, 2016.
- Chandra Mouli GR, Bauer P, Zeman M.: Comparison of system architecture and converter topology for a solar powered electric vehicle charging station. 9th Int. Conf. Power Electron. ECCE Asia (ICPE-ECCE Asia), IEEE; 1908-1915, 2015.
- Fic B.: Stacje ładowania samochodów elektrycznych, Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno, 2020.
- Hołdyński G., Skibko Z., Wiśniewski R.: Zastosowanie filtrów aktywnych w sieciach przemysłowych. *Wiadomości Elektrotechniczne* nr 5, 8-11, 2018.
- Hołdyński G., Skibko Z.: Kompensacja mocy biernej - zagadnienia wybrane. Cz. 1: Odbiorniki i źródła mocy biernej *Elektro.info* Nr 9, 110-111, 2017.
- Lęjdy B., Sulkowski M.: Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych, PWN, Warszawa, 2019.
- Sulkowski M.: Wymagania w zakresie instalacji elektrycznych niskiego napięcia stacji ładowania pojazdów elektrycznych zgodnie z normą PN-HD 60364-7-722, *Wiadomości Elektrotechniczne*, 5,5-7, 2020.
- Niestępski S., Parol M., Pasternakiewicz J., Wiśniewski T.: Instalacje elektryczne. Budowa, projektowanie i eksploatacja, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2019.
- Piąstka R., Jajczyk J., Bednarek K.: Charakterystyka procesu komunikacji podczas ładowania baterii pojazdu elektrycznego, *Politechnika Poznańska, Journals Electrical Engineering*, 105, 37-47, 2020.
- PN-EN 62196-2:2017-06 Wtyczki, gniazda wtyczkowe, złącza pojazdowe i wtyki pojazdowe -- Przewodowe ładowanie pojazdów elektrycznych -- Część 2: Wymagania dotyczące zgodności wymiarowej i zamienności wyrobów prądu przemiennego z ze stykami tulejkowo-kołkowymi
- PN-EN IEC 61851-1:2019-10 System przewodowego ładowania pojazdów elektrycznych -- Część 1: Wymagania ogólne.
- PN-HD 60364-5-534:2016 Instalacje elektryczne niskiego napięcia — Część 5-534: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego — Odłączanie izolacyjne, łączenie i sterowanie — Urządzenia do ochrony przed przejściowymi przepięciami

- PN-HD 60364-7-722:2019-01, Instalacje elektryczne niskiego napięcia -- Część 7-722: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji -- Zasilanie pojazdów elektrycznych
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późniejszymi zmianami.
- Świątek J.: Stacje ładowania pojazdów elektrycznych w koncepcji Smart Systemu, Elektro-info, 5, 68-73, 2019.
- Ustawa z dn. 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2019 r., poz. 1124) z późniejszymi zmianami.
- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane z późniejszymi zmianami. Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414 z późniejszymi zmianami.
- Wincencik K.: Ochrona przepięciowa naściennych stacji ładowania pojazdów elektrycznych, Elektro.info, nr. 4, 20-22, 2021.
- Yilmaz M. and Krein P. T.: Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for pluginelectric and hybrid vehicles, IEEE Trans. Power Electron, vol. 28, 5, 2151-2169, 2013.
- Zawodniak, J. J., Rogalski, Ł., Górny, P.: Podstawowe wiadomości o napowietrznej sieci dystrybucyjnej energetyki zawodowej, Elektro.info, 5, 28-32, 2016.

Adres do korespondencji: z.skibko@pb.edu.pl

ORCID: Zbigniew Skibko 0000-0002-5238-6019

ORCID: Grzegorz Hołdyński 0000-0001-7488-4951

ORCID: Andrzej Borusiewicz 0000-0002-1407-7530

ORCID: Łukasz Pisarek 0009-0003-1703-6974

TEORETYCZNE I PRAKTYCZNE ASPEKTY EKONOMII WSPÓLDZIELENIA W LOGISTYCE

Monika Stoma¹, Emilia Osmólska¹, Natalia Klekot¹

¹ Zakład Logistyki i Zarządzania Przedsiębiorstwem, Katedra Energetyki i Środków Transportu, Wydział Inżynierii Produkcji, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wstęp

Dynamiczny wzrost konsumpcji oraz nieustanny rozwój sektora usługowego prowadzą do istotnych przemian w obszarze logistyki. Na rynku pojawiają się coraz bardziej zaawansowane technologie, co jest możliwe dzięki procesowi cyfryzacji usług. Współczesna logistyka musi dostosowywać się do zmieniających się potrzeb klientów, jednocześnie dążąc do redukcji kosztów poprzez centralizację działań operacyjnych. Szybkie zmiany w otoczeniu biznesowym wymuszają transformację przedsiębiorstw. Efektem tego są inwestycje w innowacyjne rozwiązania technologiczne, które mają na celu zwiększenie ich konkurencyjności na rynku. Przeobrażenia gospodarcze i społeczne doprowadziły do powstania modelu gospodarki współdzielenia (*sharing economy*), którego kluczową ideą jest dostęp do dóbr i usług, a niekoniecznie ich posiadanie. Współczesne podejście do prawa własności koncentruje się bardziej na użytkowaniu niż na samym posiadaniu. Ludzie coraz częściej korzystają z dóbr bez konieczności ich kupowania na własność^{1,2}.

Gospodarka współdzielenia promuje krótkoterminowe transakcje, umożliwiające efektywne wykorzystanie zasobów i usług, co sprzyja współpracy między użytkownikami. To podejście zwiększa efektywność gospodarczą i ogranicza negatywny wpływ na środowisko. *Sharing economy* wprowadza nowy model organizacji rynku, który pozwala na lepsze wykorzystanie nieużywanych zasobów. Dzięki temu gospodarka staje się bardziej zrównoważona i przyjazna dla środowiska. Model ten ma zastosowanie w wielu sektorach, takich jak

¹ Bebeshko B., Khorolska K., Desiatko A.: Analysis and modeling of price changes on the exchange market based on structural market data. IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 151-6, 2021.

² Nuti D.: Feasible Financial Innovation Under Market Socialism. Collected Works of Domenico Mario Nuti. Cham: Springer International Publishing, 189-221, 2023.

transport czy logistyka i oferuje liczne korzyści, m.in. redukcję kosztów, ograniczenie emisji zanieczyszczeń oraz zmniejszenie nadprodukcji i nadkonsumpcji^{3,4}.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie teoretycznych i praktycznych aspektów gospodarki współdzielenia. W pracy opisano szczegółowo koncepcję *sharing economy*, uwzględniając jej zalety i dynamiczny rozwój. Zwrócono uwagę na korzyści, takie jak redukcja kosztów, wzmocnienie więzi społecznych, czy zmniejszenie emisji zanieczyszczeń. Zidentyfikowano również potencjalne zagrożenia, takie jak ryzyko marginalizacji tradycyjnych przedsiębiorstw czy utrata miejsc pracy.

Ogólna charakterystyka ekonomii współdzielenia

Geneza i rozwój ekonomii współdzielenia na przykładowych płaszczyznach

W ostatnich latach intensywny rozwój technologiczny doprowadził do istotnych zmian w różnych obszarach życia. Jednym z najważniejszych efektów tego procesu jest cyfryzacja gospodarki, która w znacznym stopniu wpływa na funkcjonowanie przedsiębiorstw. Dzięki tym zmianom możliwe stało się tworzenie nowych modeli rynkowych, mikrouslug, mikropłatności, a także bardziej precyzyjne kształtowanie popytu i podaży. Obecnie społeczeństwo coraz częściej preferuje łatwy dostęp do dóbr zamiast ich posiadania, co przyczynia się do dynamicznego rozwoju gospodarki współdzielenia, znanej także jako *sharing economy* lub ekonomia współpracy. Ta koncepcja opiera się na udostępnianiu niewykorzystywanych zasobów innym podmiotom przez ich właścicieli⁵.

Chociaż idea *sharing economy* zyskała popularność stosunkowo niedawno, jej korzenie sięgają już 1978 roku, kiedy Marcus Felson i Joe L. Spaeth w swoim artykule „Community Structure and Collaborative Consumption: A Routine Activity Approach” zdefiniowali pojęcie wspólnej konsumpcji jako proces, w którym jedna lub więcej osób korzysta z dóbr lub usług wspólnie z innymi. Autorzy jako przykład podali współdzielenie przejazdów jednym samochodem⁶.

Niektórzy badacze uważają jednak, że początki gospodarki współdzielenia można zauważyć znacznie wcześniej, ponieważ dzielenie się zasobami jest naturalnym zachowaniem ludzi. W raporcie „Ekonomia współpracy w Polsce 2016” D. Sokołowski, S. Starzyński, B. Rok i Ł. Zgiep określili to zjawisko jako „stare jak ludzkość”, ponieważ bazuje na wrodzonej skłonności ludzi do współpracy⁷.

³ Jastrzębska E., Legutko-Kobus P.: Ekonomia współpracy–definicje, klasyfikacje i dobre praktyki. *Zarządzanie Publiczne*, 40, 443-61, 2017.

⁴ Pyszka A.: Rozwój innowacyjnych przedsięwzięć w ramach ekonomii współdzielenia a wyzwania w obszarze zarządzania ich odpowiedzialnością. *Etyka Biznesu i Zrównoważony Rozwój: Interdyscyplinarne studia teoretyczno-empiryczne*, 3, 105-20, 2016.

⁵ Koźlak A.: *Sharing economy jako nowy trend społeczno-gospodarczy*. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 489: 171-182, 2017.

⁶ Felson M., Spaeth J.L.: Community structure and collaborative consumption: a routine activity approach. *American behavioral scientist*. 21(4), 614, 1978.

⁷ Jastrzębska E., Legutko-Kobus P.: Ekonomia współpracy–definicje, klasyfikacje i dobre praktyki. *Zarządzanie Publiczne*, (40), 443-61, 2017.

Obecnie *sharing economy* obejmuje znacznie szerszy zakres działalności dzięki nowoczesnym modelom biznesowym. Rachel Botsman, jedna z czołowych propagatorek tego trendu, opisała go jako „system oparty na rozproszonych sieciach jednostek i społeczności, które działają inaczej niż scentralizowane instytucje”⁸. Natomiast Benita Matowska definiuje ten model jako „ekosystem społeczno-gospodarczy oparty na dzieleniu się zasobami ludzkimi, materialnymi i intelektualnymi”⁹.

Piotr Gajewski zwraca uwagę, że ekonomia współdzielenia to działalność realizowana głównie za pomocą platform cyfrowych, które ułatwiają kontakt między dostawcami a odbiorcami oraz umożliwiają efektywne zawieranie transakcji¹⁰. Dzięki temu konsumenci mogą korzystać z usług i produktów bez konieczności ich posiadania, co zmniejsza nadmierny konsumpcjonizm i sprzyja bardziej zrównoważonemu rozwojowi.

Sharing economy jest widoczna w wielu sektorach, takich jak transport, magazynowanie, noclegi czy kultura. Przykładem jej zastosowania są platformy takie jak Airbnb, umożliwiające krótkoterminowy wynajem mieszkań, oraz Uber, który organizuje przejazdy między prywatnymi kierowcami a pasażerami. W sektorze transportu rowerów miejskich popularne stały się systemy wynajmu, a w logistyce rozwijają się modele współdzielenia przestrzeni magazynowej, które pozwalają na obniżenie kosztów utrzymania.

Ponadto media społecznościowe, takie jak WeChat czy SoundCloud, integrują użytkowników, ułatwiając wymianę treści i usług. Współczesne technologie umożliwiają tworzenie nowych modeli organizacyjnych, takich jak aplikacje do dzielenia się kosztami dojazdu czy platformy wymiany informacji między konsumentami.

Wnioski wskazują, że *sharing economy* to system społeczno-gospodarczy, który łączy ludzi oraz podmioty gospodarcze, promując współpracę i efektywne wykorzystanie zasobów. Jednocześnie należy zauważyć, że jej rozwój wymaga dalszego zrozumienia i odpowiednich regulacji, aby ograniczyć potencjalne negatywne skutki, takie jak wyparcie tradycyjnych przedsiębiorstw czy zagrożenia dla stabilności zatrudnienia.

Cechy gospodarki współdzielenia

Ekonomia współdzielenia, opierająca się na idei wspólnego korzystania z dóbr i usług, nie jest nową koncepcją. Od zawsze w relacjach biznesowych istniały formy współdzielenia – zarówno między firmami, gdzie dzielono się sprzętem, jak i między firmą a klientem, czego przykładem jest dostępność transportu publicznego. Najbardziej wyraziste przykłady tego zjawiska można jednak zaobserwować w relacjach między klientami, gdzie dzielenie się dobrami było obecne od zarania dziejów¹¹.

⁸ What’s Mine Is Yours: The Rise of Collaborative Consumption: Botsman, Rachel, Rogers, (on-line): Pozyskano z: <https://www.amazon.com/Whats-Mine-Yours-Collaborative-Consumption/dp/0061963542>.

⁹ The People Who Share (on-line): Pozyskano z: <https://www.thepeoplewhoshare.com/>.

¹⁰ Amat-Lefort N., Marimon F., Mas-Machuca M.: Exploring driver and user perspectives of service quality in sharing economy transport platforms. *Total Quality Management & Business Excellence*. 34(11–12),1315–33, 2023.

¹¹ Hussain HI, Kamarudin F., Anwar N., Ali M., Turner JJ., Somasundram SA.: Does income inequality influence the role of a sharing economy in promoting sustainable economic growth? Fresh evidence from emerging markets. *Journal of Innovation & Knowledge*. 8(2), 100348, 2023.

Model gospodarki współdzielenia pozwala na redukcję kosztów przy jednoczesnym zwiększeniu zysków i ograniczaniu ryzyka biznesowego. Warto podkreślić, że rozwój tego modelu nie ogranicza się wyłącznie do sfery cyfrowej – może obejmować różne obszary, takie jak wymiana dóbr czy usługi substytucyjne. Ważnym aspektem ekonomii współdzielenia jest to, że często koncentruje się na lokalnych społecznościach, uwzględniając kwestie środowiskowe i społeczne¹².

Kluczową cechą gospodarki współdzielenia jest zapewnienie dostępu do zasobów bez konieczności ich posiadania. Na tradycyjnych rynkach dóbr, usług czy pracy konieczne jest często nabycie własności lub opłacenie użytkowania. *Sharing economy* zakłada jednak, że użytkownik może korzystać z zasobu bez potrzeby jego zakupu, co sprzyja oszczędnościom, wzrostowi konkurencyjności oraz generowaniu nowych możliwości zatrudnienia. Z punktu widzenia makroekonomii, taki model pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie zasobów i ograniczenie nadmiernej konsumpcji¹³.

Jednym z problemów, które gospodarka współdzielenia stara się rozwiązać, jest niewystarczające wykorzystanie dostępnych zasobów, zarówno materialnych, jak i niematerialnych, takich jak zasoby pracy ludzkiej czy informacje. *Sharing economy* eliminuje przeszkody w postaci wysokich kosztów transakcyjnych, umożliwiając efektywniejsze zarządzanie tymi zasobami¹⁴.

Inną istotną cechą ekonomii współdzielenia jest wykorzystanie technologii cyfrowych do organizacji procesów wymiany. Platformy cyfrowe odgrywają kluczową rolę w umożliwianiu komunikacji między stronami, zawieraniu umów oraz udostępnianiu niewykorzystanych zasobów. Współczesny rozwój gospodarki współdzielenia jest więc nierozdzielnie związany z rozwojem technologii cyfrowych¹⁵.

Zaufanie jest fundamentem funkcjonowania gospodarki współdzielenia. Bez wzajemnego zaufania transakcje między uczestnikami rynku byłyby znacznie utrudnione. Rozwijająca się cyfryzacja pozwala na gromadzenie i weryfikację danych o stronach transakcji, co zmniejsza niepewność i ułatwia nawiązywanie relacji międzyludzkich oraz współpracę.

Gospodarka współdzielenia charakteryzuje się dużą różnorodnością oraz dynamicznym rozwojem. Niezależnie od sektora, jej głównym celem jest efektywniejsze wykorzystanie zasobów. Kluczowym założeniem jest maksymalizacja wydajności i zapewnienie dostępu do zasobów, a nie ich sprzedaż czy przenoszenie własności na inne osoby. Jak wskazuje Koźlak (2017), kształtowanie się ekonomii współdzielenia zależy od wielu czynników, takich jak rozwój technologii, zmiany społeczne oraz wzrost świadomości ekologicznej¹⁶.

Dynamiczny rozwój gospodarki współdzielenia przynosi zarówno pozytywne, jak i negatywne skutki, które można zaobserwować na poziomie mikro- i makroekonomicznym.

¹² Banaszek M.: Ekonomia współdzielenia w opinii urzędników i przedsiębiorców województwa świętokrzyskiego – wnioski z badań empirycznych. *Ekonomia Społeczna*. (1):57-67, 2018.

¹³ Krajewska-Smarcz A., Gruszka I., Szalotka K.: Znaczenie koncepcji *sharing economy* na rynku turystycznym. *Ekonomiczne Problemy Turystyki*. 33:31-42, 2016.

¹⁴ Szołucha M., Palutkinowicz P., Kochman O.: Ekonomia dostępu a wyzwania stojące przed polską gospodarką. 15:2021, 2017.

¹⁵ Yuan R., Chen Y., Mandler T.: It takes two to tango: The role of interactivity in enhancing customer engagement on sharing economy platforms. *Journal of Business Research*. 178, 114658, 2024.

¹⁶ Banaszek M.: Ekonomia współdzielenia w opinii urzędników i przedsiębiorców województwa świętokrzyskiego – wnioski z badań empirycznych. *Ekonomia Społeczna*. (1), 57-67, 2018.

Wśród zalet można wymienić bardziej efektywne zarządzanie zasobami produkcyjnymi, co jest możliwe dzięki wykorzystaniu nowoczesnych platform technologicznych. Jak zauważa Banaszek (2019)¹⁷, „kluczowym czynnikiem wspierającym rozwój gospodarki współdzielenia jest technologia sieciowa i komunikacyjna. Internet oraz cyfryzacja znacząco poszerzyły możliwości modeli współdzielenia, redukując koszty transakcyjne i usprawniając koordynację działań”.

Idea *sharing economy* sprzyja także budowaniu kapitału społecznego poprzez zacieśnianie relacji międzyludzkich i wzrost zaufania wobec innych osób. Wielu badaczy wskazuje, że kryzys finansowy był jednym z impulsów dla rozwoju gospodarki współdzielenia. Sztokfisz (2017) twierdzi, że „kryzys finansowy, jako jedno z kluczowych wydarzeń ekonomicznych XXI wieku, doprowadził do zmiany podejścia do konsumpcjonizmu oraz kapitalizmu, przyczyniając się do powstania alternatywnych modeli gospodarczych”. Ważnym aspektem tej gospodarki jest również ograniczenie nadmiernej produkcji dóbr, co stanowi krok w kierunku zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska – kwestii szczególnie istotnej we współczesnym świecie¹⁸.

Jednakże gospodarka współdzielenia wywołuje także sprzeciw ze strony tradycyjnych przedsiębiorstw. Właściciele i pracownicy firm działających w oparciu o klasyczne modele biznesowe wskazują na nieuczciwą konkurencję ze strony platform opartych na zasadach *sharing economy*. Tradycyjne firmy muszą spełniać liczne wymagania, przechodzić szkolenia, zdobywać pozwolenia czy koncesje. Natomiast uczestnicy gospodarki współdzielenia, oferując swoje usługi na tych samych rynkach, często unikają takich formalności, co pozwala im na oferowanie niższych cen. Taka sytuacja może prowadzić do wykluczania legalnie działających firm z rynku.

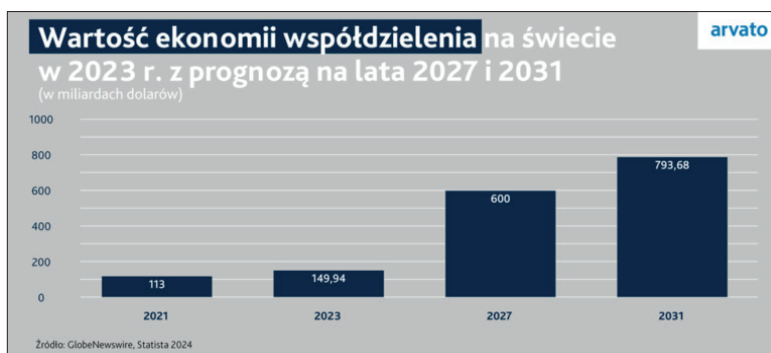
Ponadto rozwój platform *sharing economy* wiąże się z ekspansją rynku pracy opartego na niskopłatnych, tymczasowych i elastycznych formach zatrudnienia, które często nie zapewniają wystarczającej ochrony socjalnej w przypadku choroby czy na emeryturze. W konsekwencji może dojść do osłabienia tradycyjnego rynku pracy, który oferuje większe bezpieczeństwo zatrudnienia. Podaż dóbr i usług w gospodarce współdzielenia zwiększa się głównie dzięki bardziej efektywnemu wykorzystaniu istniejących zasobów, a nie poprzez wzrost nakładów produkcyjnych. Jednak spadające wynagrodzenia w sektorach związanych z gospodarką współdzielenia mogą prowadzić do zmniejszenia liczby miejsc pracy, co negatywnie wpłynie na rynek pracy w dłuższej perspektywie. Na rysunku 1 przedstawiono wartość ekonomii współdzielenia na świecie w 2023 r. z prognozą na lata 2027 i 2031.

Rysunek obrazuje wartość ekonomii współdzielenia na świecie w 2023 roku oraz prognozy na lata 2027 i 2031, wyrażone w miliardach dolarów. W 2021 roku wartość tego sektora wynosiła 113 miliardów dolarów, a w 2023 roku wzrosła do 149,94 miliarda dolarów. Prognozy na kolejne lata wskazują na dynamiczny rozwój – do 2027 roku wartość ekonomii współdzielenia ma osiągnąć 600 miliardów dolarów, a do 2031 roku wzrośnie do 793,68 miliarda dolarów. Z danych tych wynika, że sektor ekonomii współdzielenia rozwija się w szybkim tempie, a największy wzrost spodziewany jest w okresie między 2023 a 2027 rokiem, kiedy wartość wzrośnie niemal czterokrotnie. Trend ten podkreśla rosnące znaczenie

¹⁷ Banaszek M.: Ekonomia współdzielenia w opinii urzędników i przedsiębiorców województwa świętokrzyskiego – wnioski z badań empirycznych. *Ekonomia Społeczna*. (1), 57-67, 2018.

¹⁸ Sztokfisz B.: *Gospodarka współdzielenia – pojęcie, źródła, potencjał*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie. Nr 6(966), 89-103, 2017

gospodarki współdzielenia w skali globalnej, co jest wynikiem popularyzacji modeli dzielenia zasobów i rozwoju nowoczesnych platform cyfrowych.



Rysunek 1. Wartość ekonomii współdzielenia na świecie w 2023 r. z prognozą na lata 2027 i 2031

Źródło¹⁹: <https://blog.arvato.pl/ekonomia-wspoldzielenia-w-logistyce/>

Material i metody

Celem pracy jest przedstawienie problematyki ekonomii współdzielenia w kontekście zarówno teoretycznym, jak i praktycznym. Ponadto celem jest również zidentyfikowanie zalet i wad dzielenia oraz udostępniania swoich dóbr na podstawie przeprowadzonych badań i analiz.

Dla realizacji tak sformułowanego celu postawiono następujący problem badawczy - czy ekonomia współdzielenia generuje więcej korzyści niż wad? Ponadto przyjęto hipotezę, iż wdrożenie modelu gospodarki współdzielenia zapewni więcej korzyści niż niedogodności w branży TSL.

Metodą, która pozwoliła na rozwiązanie postawionego problemu badawczego oraz na zweryfikowanie hipotezy badawczej była metoda sondażu diagnostycznego, z wykorzystaniem autorskiego kwestionariusza ankietowego. Składał się z serii pytań odnoszących się do przedmiotu badań, co miało na celu poznanie preferencji, postaw i opinii danej grupy osób.

Aby uzyskać pożądaną wiedzę o danej grupie ważny jest dobór próby badawczej. W badaniach została zastosowana próba celowa, składająca się z osób zatrudnionych bądź w inny sposób związanych z przedsiębiorstwem branży TSL (transportowym, spedycyjnym lub/i logistycznym). Byli to więc pracownicy, właściciele, kontrahenci i dostawcy tego typu przedsiębiorstw zlokalizowanych na terenie całego kraju. Ankieta została umieszczona na forach o tematyce transportowej oraz grupach transportowych, spedycyjnych i logistycznych w serwisie społecznościowym – Facebook. Uzyskanie 50 odpowiedzi dało możliwość przeprowadzenia stosownych analiz w niniejszej pracy.

¹⁹ Blog Arvato Polska (on-line): Pozyskano z: <https://blog.arvato.pl/ekonomia-wspoldzielenia-w-logistyce/>

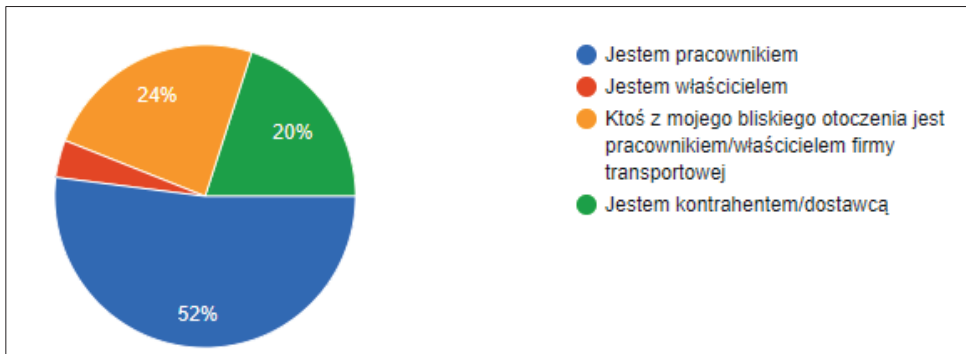
Ankieta składa się z trzynastu pytań. Trzy pierwsze pytania w kwestionariuszu są merytoryczne, zbierają informacje o rodzaju wykonywanej pracy i miejscu zamieszkania. W części merytorycznej jest pięć pytań zamkniętych jednokrotnego wyboru, cztery pytania zamknięte wielokrotnego wyboru oraz jedno pytanie otwarte. Pytania odnoszą się m.in. do znajomości idei, warunków rozwoju ekonomii współdzielenia, zalet oraz wad korzystania z danej koncepcji.

Uzyskane wyniki poddane zostały analizie opisowej i graficznej, a następnie odpowiedniej interpretacji.

Wyniki badań

Jak już wcześniej wspomniano, w badaniu wzięło udział 50 osób. Pierwsze pytanie dotyczyło miejsca zamieszkania ankietowanych. Na podstawie uzyskanych wyników okazało się, że największy odsetek ankietowanych, bo aż 30%, stanowiły osoby mieszkające w mieście o liczebności 200-500 tys. mieszkańców. Osoby z miast powyżej 500 tys. mieszkańców stanowiły 24%, a z miast do 50 tys. i miast 50-200 tys. – po 18%. Najmniejszy odsetek badanych stanowiły osoby mieszkające na wsi (tylko 10%).

Kolejne pytanie dotyczyło powiązania z przedsiębiorstwem, które świadczy usługi logistyczne, spedycyjne bądź transportowe. Wyniki zaprezentowano na rysunku 2.



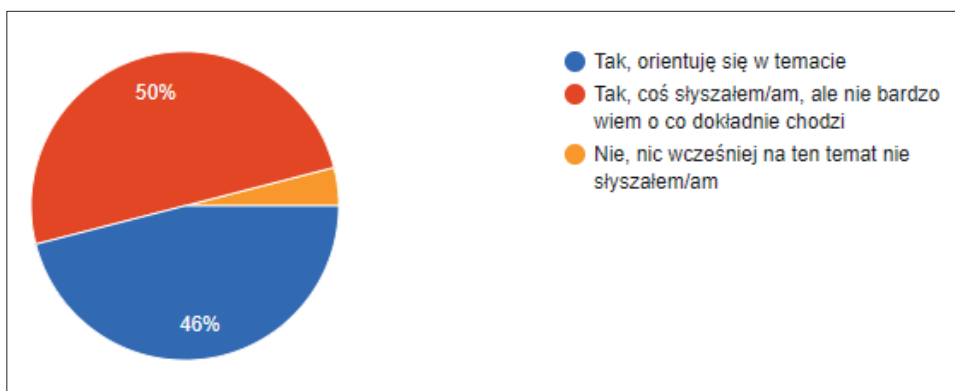
Rysunek 2. Struktura respondentów dotycząca powiązania z firmą transportową/ logistyczną/ spedycyjną

Wśród osób biorących udział w badaniu, największy odsetek, bo aż 52% stanowili pracownicy firm z branży TSL. Natomiast najmniejszą grupą respondentów byli właściciele takich przedsiębiorstw (tylko 4%). Niniejsza struktura ankietowanych może wynikać z łatwiejszego dostępu kwestionariusza ankiety dla pracowników firm niż osób na wyższych szczeblach - właścicieli, dlatego też wyższy odsetek ankietowanych stanowili pracownicy.

Następne pytanie dotyczyło wielkości przedsiębiorstwa z jakim respondenci są powiązani. Jak się okazało, 36% osób odpowiedziało, że są powiązani ze średnim przedsiębiorstwem (<250 zatrudnionych osób), 34% - z firmą zatrudniającą mniej niż 50 pracowników, natomiast tylko 14 % wykazało powiązanie z dużą firmą (>250 zatrudnionych osób).

Uzyskanie powyższej struktury respondentów, może być powiązane z ich miejscem zamieszkania - bowiem średnie i duże firmy najczęściej ulokowane są w miastach. Biorąc więc pod uwagę wyniki badań dotyczące miejsca zamieszkania (30% - miasto 200-500 tys.; 24% - miasto powyżej 500 tys.) powyższą strukturę można rozpatrywać pod kątem ilości ankietowanych zamieszkałych w miastach. Niniejsza struktura może także wynikać z różnych kryteriów postrzegania wielkości przedsiębiorstwa, na które wpływają również średnie roczne obroty firm.

W merytorycznej części ankiety poproszono respondentów o ich opinię odnośnie znajomości pojęcia *sharing economy*. Uzyskane informacje zestawiono na rysunku 3.



Rysunek 3. Struktura respondentów dotycząca znajomości pojęcia ekonomii współdzielenia (pojęcie zostało wyjaśnione)

Jak można zaobserwować na rysunku 50% osób biorących udział w badaniu odpowiedziało, że nie rozumie dokładnie istoty, ale pojęcie było przez nich już słyszane. Natomiast 46% jest zaznajomionych z tematem ekonomii współdzielenia. Tylko 4% wśród ankietowanych nie zna pojęcia gospodarki współdzielenia. Uzyskana w badaniach własnych struktura odpowiedzi, wskazująca na to, iż ponad połowa osób związanych z branżą TSL w ogóle nie ma, lub deklaruje słabą znajomość pojęcia *sharing economy*, może wynikać z braku świadomości społeczeństwa w kwestiach teoretycznych. Jak bowiem wskazują dane zaprezentowane na rysunku 3, większość z ankietowanych jest zaznajomionych z ideą w kwestii praktycznej, ponieważ korzysta z rozwiązań jakie oferuje *sharing economy*, jednak może nie posiadać odpowiedniej wiedzy w obszarze definicji czy unormowań teoretyczno-prawnych.

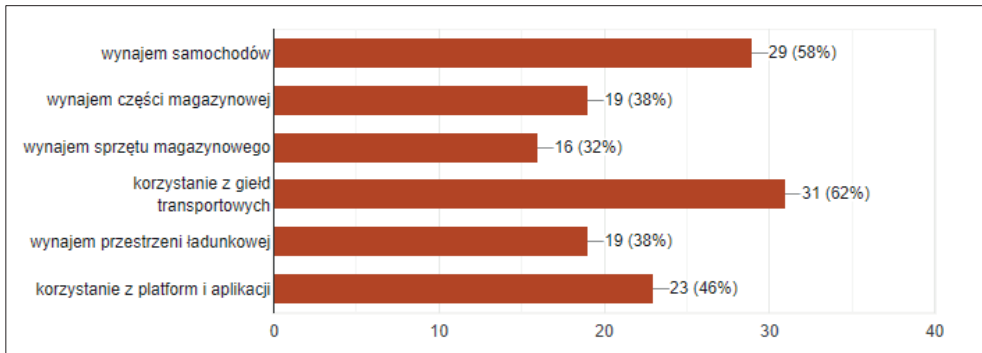
Podobne wyniki zaprezentował Banaszek (2018)²⁰ w swoich badaniach dotyczących ekonomii współdzielenia w opinii urzędników województwa świętokrzyskiego. Jedno z pytań również dotyczyło znajomości pojęcia ekonomii współdzielenia. 36% respondentów wskazało, że spotkało się już wcześniej z tym pojęciem, jednak pełna definicja jest im obca. Natomiast po wyjaśnieniu przez autora definicji zdecydowana większość odpowiedziała, że idea koncepcji jest im znana, ze względu na rozwiązania jakie oferuje. Potwierdza to więc również

²⁰ Banaszek M.: *Ekonomia współdzielenia w opinii urzędników i przedsiębiorców województwa świętokrzyskiego – wnioski z badań empirycznych*. *Ekonomia Społeczna*. (1), 57-67, 2018.

wyniki uzyskane w badaniach własnych – większość osób związanych z branżą TSL zna zasady i korzyści *sharing economy* głównie w ujęciu praktycznym, a niekoniecznie teoretycznym.

Następnie poproszono ankietowanych o udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy w firmie, z którą są związani, korzysta się z rozwiązań, jakie oferuje ekonomia współdzielenia. Uzyskane wyniki pozwoliły na stwierdzenie, że w większości przypadków (78%) przedsiębiorstwa korzystają z takich rozwiązań (co może być związane z ciągle rosnącą popularnością koncepcji *sharing economy*). Natomiast tylko 2% respondentów zaznaczyło odpowiedź „nie”. Należy zwrócić jednak uwagę, że aż 20% ankietowanych nie ma pojęcia na ten temat.

Kolejne pytanie umieszczone w kwestionariuszu ankietowym miało charakter pytania wielokrotnego wyboru i odnosiło się do sposobów korzystania z idei *sharing economy* w przedsiębiorstwach, z którymi respondenci są związani. Na rysunku 4 ukazano uzyskane wyniki.

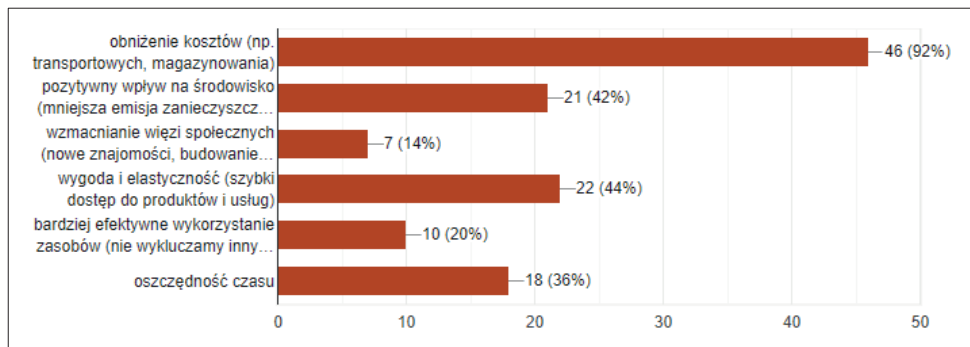


Rysunek 4. Struktura respondentów odnosząca się do sposobów korzystania z idei ekonomii współdzielenia

Wyniki zaprezentowane na rysunku pozwalają na wskazanie, że aż 62% ankietowanych firm korzysta z giełd transportowych. Z wynajmu samochodów w firmach korzysta 58%, a z różnych platform i aplikacji – 46%. Natomiast najmniejszy odsetek wśród ankietowanych stanowiła opcja wynajmu sprzętu magazynowego – dotyczyła bowiem 32% respondentów.

Jak wynika z przedstawionych danych, najczęściej wskazywanym rozwiązaniem stosowanym przez przedsiębiorstwa branży TSL, a odnoszącym się do idei ekonomii współdzielenia, jest korzystanie z giełd transportowych. Może to wynikać z popularności tychże giełd – stanowią one bowiem narzędzie udoskonalania transportu - i w obecnym czasie trudno sobie wyobrazić funkcjonowanie branży transportowej bez możliwości korzystania z giełd transportowych.

Następnie ankietowani poproszeni zostali o wskazanie – ich zdaniem najważniejszych – zalet i wad korzystania z rozwiązań z obszaru ekonomii współdzielenia. Pytania miały charakter pytań wielokrotnego wyboru, a respondentom zaproponowanych zostało po kilka wariantów odpowiedzi. Wyniki zaprezentowano na rysunku 5 (zalety) oraz 6 (wady).



Rysunek 5. Struktura respondentów dotycząca zalet wynikających z praktykowania ekonomii współdzielenia

Analizując postawy i opinie ankietowanych w zakresie zalet ekonomii współdzielenia, zauważyć można, że zdecydowana większość osób biorących udział w badaniu, bo aż 92% odpowiedziało, że obniżenie kosztów jest najistotniejszą zaletą *sharing economy*. Wydaje się to zasadne, bowiem dla większości przedsiębiorców priorytetem jest optymalizacja kosztów na każdym poziomie. Następnie ankietowani wskazali również na: wygodę i elastyczność, rozumianą jako szybki dostęp do produktów i usług (44%), pozytywny wpływ na środowisko, czyli mniejszą emisję zanieczyszczeń (42%) oraz oszczędność czasu (36%). Najmniejszy odsetek respondentów, tylko 14% uważa, że wzmacnianie więzi społecznych jest korzystne w modelu gospodarki współdzielenia.

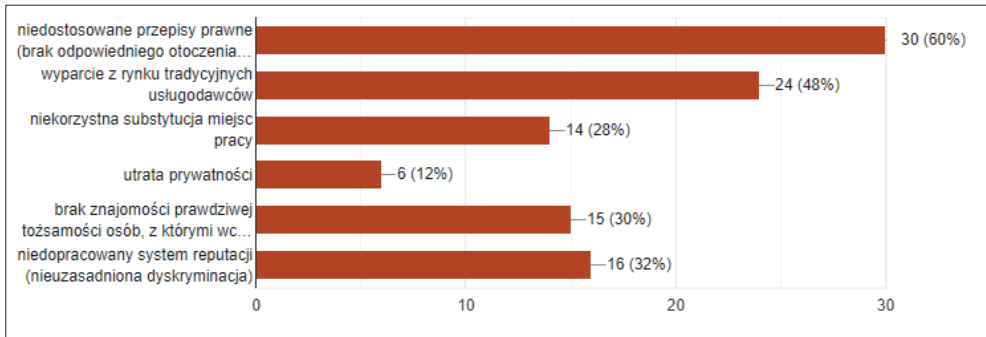
Uzyskane wyniki są spójne z wynikami uzyskanymi w badaniach realizowanych przez Kowalską (2019)²¹, dotyczących analizy trendu ekonomii współdzielenia. Na pytanie odnoszące się do najbardziej atrakcyjnych dla przedsiębiorstw branży TSL korzyści *sharing economy* prawie 80% respondentów spośród 100 osób biorących udział w badaniu również wybrało aspekt oszczędności pieniędzy.

Przyglądając się z kolei najbardziej istotnym wadom wskazanym przez ankietowanych, stwierdzić można, że są to: niedostosowane przepisy prawne (60%), wyparcie z rynku tradycyjnych usługodawców (48%) oraz niedopracowany system reputacji (32%). Natomiast wśród najmniej negatywną stroną w modelu *sharing economy* w opinii respondentów jest utrata prywatności.

W tym przypadku nawiązać można ponownie do badań zrealizowanych w 2018 r. przez Banaszka M²². - zdaniem większości respondentów największym zagrożeniem w modelu *sharing economy* są przepisy prawne i kwestie związane z podatkami, co może potwierdzić wiarygodność wyników uzyskanych w niniejszych badaniach własnych.

²¹ Kowalska S.: Zachowania konsumentów w obliczu rozwoju *sharing economy*. Problemy Transportu i Logistyki. 47, 3952, 2019.

²² Banaszek M.: Ekonomia współdzielenia w opinii urzędników i przedsiębiorców województwa świętokrzyskiego – wnioski z badań empirycznych. Ekonomia Społeczna. (1), 57-67, 2018.



Rysunek 6. Struktura respondentów dotycząca wad wynikających z praktykowania ekonomii współdzielenia

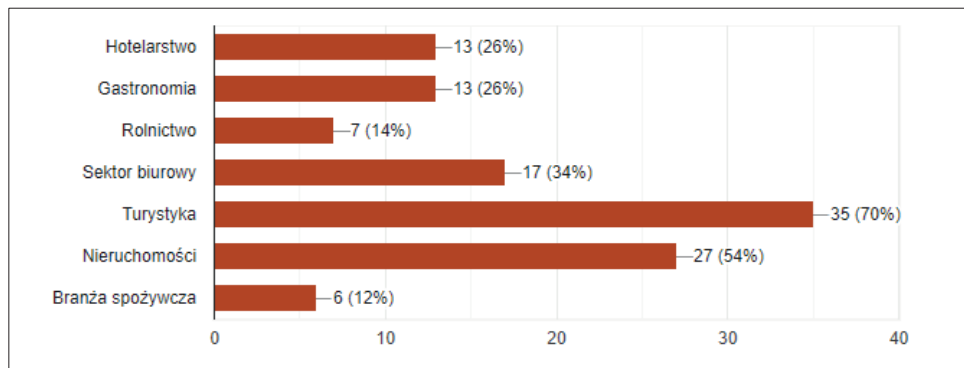
Jednakże mimo wad i niedociągnięć związanych ze stosowaniem rozwiązań z obszaru *sharing economy*, 88% ankietowanych stwierdziło, że mają one pozytywny wpływ na rozwój firmy, z którą są związani. Kolejne 12% osób odpowiedziało, że nie mają na ten temat zdania. Cieszy natomiast fakt, że żaden z respondentów nie wskazał odpowiedzi: „raczej nie” i „zdecydowanie nie”.

Bardzo podobną strukturę odpowiedzi uzyskano również w pytaniu odnoszącym się do oceny rozwoju koncepcji ekonomii współdzielenia w odniesieniu do branży TSL w najbliższych latach. Ankietowani zostali poproszeni o zaznaczenie swojego zdania na skali – od zdecydowanie tak do zdecydowanie nie. Ponownie nie odnotowano żadnych negatywnych odpowiedzi; wszyscy ankietowani stwierdzili, że ich zdaniem ta koncepcja ma duże (68%) lub bardzo duże (32%) możliwości rozwoju w najbliższej perspektywie.

Odpowiedzi ankietowanych mogą świadczyć o potrzebie rozwoju ekonomii współdzielenia w branży TSL. Mogą również wynikać ze świadomości respondentów w kwestiach pustych przebiegów, niewykorzystanych przestrzeni magazynowych czy ilości emisji szkodliwych substancji ze względu na brak odpowiedzi przeczących.

Ostatnie pytanie odnosiło się do oceny rozwoju ekonomii współdzielenia w odniesieniu innych branż. Ankietowani zostali poproszeni o zaznaczenie maksymalnie 3 obszarów, w jakich ich zdaniem, rozwój *sharing economy* będzie w najbliższych latach najbardziej dynamiczny. Uzyskane wyniki zaprezentowano na rysunku 7.

Największy odsetek respondentów wybrało turystykę (70%), nieruchomości (54%) i sektor biurowy (34%). Taki wybór wynikać może m.in. ze zmiany mentalności społeczeństwa. Zdecydowana większość woli bowiem wynająć potrzebną przestrzeń według panujących w danym czasie preferencji niż posiadać ją na własność i ponosić stałe koszty w czasie, w którym przestrzeń nie są użytkowane. Ponadto, rozwój ekonomii współdzielenia, szczególnie w branży turystycznej, wiąże się z dynamicznym wzrostem liczby turystów oraz ich wymagań z zakresu obsługi. Z roku na rok zwiększa się bowiem liczba podróży i wyjazdów o podłożu turystycznym ze względu na zmieniający się styl życia społeczeństwa, formy spędzania czasu wolnego oraz masowy wpływ mediów, które generują nowy sposób życia (13).



Rysunek 7. Struktura respondentów dotycząca pytania: „W odniesieniu do jakich innych branż (oprócz sektora TSL) - Pana/i zdaniem - koncepcja ekonomii współdzielenia będzie w najbliższych latach rozwijała się dynamicznie?”

Z kolei najmniejszą ilość wskazań odnotowano w odniesieniu do branży spożywczej (12%) i rolnictwa (14%).

Podsumowanie i wnioski

Ekonomia współdzielenia to stosunkowo nowy kierunek w gospodarce, który znacząco zmienił rynek konsumencki i znajduje zastosowanie w wielu obszarach życia. Rozwój technologii cyfrowych otwiera przed przedsiębiorstwami możliwości, które były nieosiągalne jeszcze kilkadziesiąt lat temu. Sektor TSL (transport, spedycja, logistyka), aby sprostać współczesnym wyzwaniom, musi stale dostosowywać się do zmieniających się potrzeb rynku. Wprowadzenie modelu gospodarki współdzielenia przynosi liczne korzyści dla funkcjonowania firm, choć wiąże się również z pewnymi trudnościami.

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Ekonomia współdzielenia to nowatorskie podejście społeczno-ekonomiczne, które wciąż nie jest w pełni zrozumiane przez społeczeństwo, pomimo rosnącego wykorzystania narzędzi i rozwiązań oferowanych w ramach tej koncepcji.
2. Dynamiczny rozwój sektora logistycznego stawia przed przedsiębiorstwami nowe wyzwania, wymagając nieustannego rozwoju. Popularność modelu współdzielenia rośnie, czego dowodzi fakt, że aż 78% ankietowanych deklaruje korzystanie z rozwiązań związanych z ekonomią współdzielenia w firmach transportowych.
3. Najczęściej stosowane formy gospodarki współdzielenia w logistyce obejmują giełdy transportowe, wynajem pojazdów oraz platformy i aplikacje wspierające świadczenie usług logistycznych.
4. Największym wyzwaniem związanym z tym modelem jest brak odpowiednich regulacji prawnych dotyczących obowiązków i uprawnień osób świadczących usługi w ramach gospodarki współdzielenia.

Podsumowując, w przyszłości warto skupić się na szczegółowej analizie i rozwinięciu aspektów prawnych związanych z gospodarką współdzielenia w logistyce. Uporządkowanie tych kwestii mogłoby rozwiązać wiele problemów z którymi zmagają się zarówno przedsiębiorstwa działające w tym modelu, jak i tradycyjni usługodawcy.

Bibliografia

- Amat-Lefort N., Marimon F., Mas-Machuca M.: Exploring driver and user perspectives of service quality in sharing economy transport platforms. *Total Quality Management & Business Excellence*. 34(11–12), 1315–33, 2023.
- Banaszek M.: Ekonomia współdzielenia w opinii urzędników i przedsiębiorców województwa świętokrzyskiego – wnioski z badań empirycznych. *Ekonomia Społeczna*. (1), 57–67, 2018.
- Bebeszko B., Khorolska K., Desiatko A.: Analysis and modeling of price changes on the exchange market based on structural market data. *IEEE 8th International Conference on Problems of Information Communications, Science and Technology (PIC S&T)*, 151–6, 2021.
- Blog Arvato Polska (on-line): Pozyskano z: <https://blog.arvato.pl/ekonomia-wspoldzielenia-w-logistyce/>
- Nuti D.: Feasible Financial Innovation Under Market Socialism. *Collected Works of Domenico Mario Nuti*. Cham: Springer International Publishing, 189–221, 2023.
- Jastrzębska E., Legutko-Kobus P.: Ekonomia współpracy – definicje, klasyfikacje i dobre praktyki. *Zarządzanie Publiczne*, 40, 443–61, 2017.
- Pyszka A.: Rozwój innowacyjnych przedsięwzięć w ramach ekonomii współdzielenia a wyzwania w obszarze zarządzania ich odpowiedzialnością. *Etyka Biznesu i Zrównoważony Rozwój: Interdyscyplinarne studia teoretyczno-empiryczne*. 3, 105–20, 2016.
- Koźlak A.: Sharing economy jako nowy trend społeczno-gospodarczy. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 489, 171–182, 2017.
- Felson M., Spaeth JL.: Community structure and collaborative consumption: a routine activity approach. *American behavioral scientist*. 21(4), 614, 1978.
- Jastrzębska E., Legutko-Kobus P.: Ekonomia współpracy – definicje, klasyfikacje i dobre praktyki. *Zarządzanie Publiczne*. (40), 443–61, 2017.
- What’s Mine Is Yours: The Rise of Collaborative Consumption: Botsman, Rachel, Rogers, (on-line): Pozyskano z: <https://www.amazon.com/Whats-Mine-Yours-Collaborative-Consumption/dp/0061963542>.
- The People Who Share (on-line): Pozyskano z: <https://www.thepeoplewhoshare.com/>.
- Hussain HI, Kamarudin F., Anwar N., Ali M., Turner JJ., Somasundram SA.: Does income inequality influence the role of a sharing economy in promoting sustainable economic growth? Fresh evidence from emerging markets. *Journal of Innovation & Knowledge*. 8(2), 100348, 2023.
- Krajewska-Smardz A., Gruszka I., Szalonka K.: Znaczenie koncepcji sharing economy na rynku turystycznym. *Ekonomiczne Problemy Turystyki*. 33:31–42, 2016.
- Szołucha M., Palutkinowicz P., Kochman O.: Ekonomia dostępu a wyzwania stojące przed polską gospodarką. 15, 2021, 2017.
- Yuan R., Chen Y., Mandler T.: It takes two to tango: The role of interactivity in enhancing customer engagement on sharing economy platforms. *Journal of Business Research*. 178, 114658, 2024.
- Piłat-Borcuch M., Banaszek, M.: Nowe konteksty społeczno-ekonomiczne rozwoju miast. *Archaeograph Wydawnictwo Naukowe*, 2022.
- Sztokfisz B.: Gospodarka współdzielenia – pojęcie, źródła, potencjał. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie*. 6(966), 89–103, 2017.
- Kowalska S.: Zachowania konsumentów w obliczu rozwoju sharing economy. *Problemy Transportu i Logistyki*. 47, 39–52, 2019.

Adres do korespondencji: monika.stoma@up.lublin.pl

ORCID: Monika Stoma 0000-0003-0404-699X

ORCID: Emilia Osmólska 0000-0001-9001-6011

MODELOWANIE ZUŻYCIA PALIWA PRZEZ AUTOBUS KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

Piotr Szczygłak¹, Piotr Markowski², Dariusz Choszcz²

¹ Katedra Budowy Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, Wydział Nauk Technicznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

² Katedra Maszyn Roboczych i Metodologii Badań, Wydział Nauk Technicznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Wstęp

Prognozy dotyczące liczby pojazdów eksploatowanych na świecie zakładają ich podwojenie do roku 2050. Większość z tych pojazdów, bo aż 70% będzie eksploatowanych na terenach miejskich. Natomiast polityka UE kładzie duży nacisk na rozwój komunikacji zbiorowej w pierwszej połowie XXI wieku¹. Efektem ubocznym takich działań jest wzrost zanieczyszczenia środowiska naturalnego na terenach zurbanizowanych. Przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej podejmują działania prośrodowiskowe, do których należą: wymiana floty pojazdów na konstrukcje spełniające aktualne normy emisji spalin lub elektryczne, wdrażanie rozwiązań ograniczających zużycie paliwa i materiałów eksploatacyjnych.² Przy obecnym czteroprocentowym tempie wymiany autobusów komunikacji miejskiej wyposażonych w silniki spalinowe na autobusy elektryczne, przewiduje się, że proces pełnego zastąpienia będzie trwał do końca XXI wieku³. W związku z tym autobusy komunikacji miejskiej wyposażone w silniki spalinowe będą w najbliższych latach głównym środkiem transportowym stosowanym na terenach miejskich w Polsce. Największą grupę bo aż 79% wśród eksploatowanych pojazdów stanowią autobusy wyposażone w silniki diesla, a pojazdy elektryczne to tylko 6,6%⁴. W strukturze kosztów eksploatacji autobusów wyposażonych w silniki diesla największy udział ma koszt paliwa, który waha się w przedziale od 42% do 58% kosztów całkowitych². W celu poprawy konkurencyjności tego środka transportowego należy podjąć działania mające na celu ograniczenie zużycia paliwa. Można to osiągnąć używając w procesie kształcenia projektantów i osób nadzorujących eksploatację autobusów wydajnych metod. Do grupy takich metod zaliczyć można modelowanie. Polega ono na

¹ Misiurski P.: Koszty eksploatacji taboru autobusowego w przedsiębiorstwach komunikacji samochodowej, *Autobusy - Przewoźnicy i systemy transportowe* 11, s. 22-24, 2013.

² Marczał H.: Koszty zużycia energii i emisji zanieczyszczeń wynikające z użytkowania autobusów miejskich, *Autobusy – Bezpieczeństwo i ekologia* 6 s. 281-285, 2016.

³ Stefanowicz U.: Nielatwa droga do transportu publicznego bez emisji, <https://bank.pl/nielatwa-droga-do-transportu-publicznego-bez-emisji>, 2020.

⁴ Horbaczewski R.: Samorządowe autobusy jeżdżą głównie dieslem, <https://www.prawo.pl/samorzad/transport-zeroemisyjny-w-samorzadach,520804.html>, 2023.

zdobywaniu wiedzy o obiekcie lub procesie na podstawie badań jego modelu. Model obiektu odzwierciedla jego strukturę oraz zasady jego funkcjonowania w środowisku roboczym.⁵ Budowa modelu polega na przyjęciu zbiorów ze zmiennymi wejściowymi i wyjściowymi oraz określeniu relacji między nimi⁶. Modele nie odzwierciedlają wszystkich cech obiektu jaki imitują. Dlatego kluczowe jest dobranie stopnia uproszczenia modelu. Badanie modeli o dużym stopniu uproszczenia generują wyniki o mniejszej dokładności, ale nakład pracy jaki musimy włożyć w budowę modelu jest mały. Odwrotnie jest w przypadku modeli o małym stopniu uproszczenia. W związku z tym w procesie modelowania należy zawsze podjąć kluczową decyzję jaki stopień uproszczenia modelu należy przyjąć, żeby jakość wyników obliczeń była akceptowalna⁷.

W dostępnej literaturze opisano zależności, które umożliwiają budowę modeli zużycia paliwa przez pojazdy samochodowe, a także modele do szacowania tego parametru.

W pracy opublikowanej przez Zacharof i inni przedstawiono czynniki wpływające na zużycie paliwa w pojazdach z silnikami spalinowymi. Dodatkowo podano wartości liczbowe opisujące relacje między zużyciem paliwa, a parametrami z obszaru aerodynamiki, oporów toczenia, a także warunków drogowych i atmosferycznych⁸.

W pracy opublikowanej przez Latała i Mądziel przedstawiono metody ustalania norm zużycia paliwa dla pojazdów z silnikami spalinowymi. Opisano metodę pełnego zbiornika, bilansu węglowego i linii Willansa. Przeprowadzone analizy mogą być źródłem informacji wymaganych przy budowie modeli zużycia paliwa⁹.

W pracy opublikowanej przez Oskarbski i Biszko przedstawiono metodę oceny infrastruktury drogowej w procesie modelowania. Model pozwala oszacować nakłady energetyczne podczas przejazdu przez skrzyżowania o różnych konfiguracjach. Zużycie energii w tym modelu wyznaczono na podstawie klasycznych równań na opory ruchu pojazdu¹⁰.

W pracy opublikowanej przez Ben-Chaim i Shmerling i Kuperman przedstawiono model do szacowania zużycia paliwa na krótkich odcinkach drogi. Model szacuje zużycie paliwa uwzględniając opory toczenia kół, opory aerodynamiczne i sprawność układu przeniesienia napędu. Nie uwzględniono oporów na pokonanie wzniesienia i poślizg. Nie korygowano zużycia paliwa podczas zwalniania pojazdu i postoju, gdy silnik funkcjonuje na biegu jałowym¹¹.

W pracy opublikowanej przez Rakha i Ding i Saerens przedstawiono model oparty o sieci neuronowe przeznaczony do szacowania użytej mocy i zużycia paliwa. Relacje

⁵ Wolska H.: Model jako forma poznania naukowego, Próba zdefiniowania, Prawo i więź nr 2 (45), s. 53-71, 2023.

⁶ Żółtowski B., Niziński S.: Modelowanie procesów eksploatacji maszyn, Wydawnictwo MARKAR-B.Ż., Bydgoszcz-Sulejówek, 2002.

⁷ Lozia Z.: Analiza ruchu samochodu dwuosioowego na tle modelowania jego dynamiki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1998.

⁸ Zacharof N., Fontaras G., Ciuffo B., Tsiakmakis S.: Review of in use factors affecting the fuel consumption and CO₂ emissions of passenger cars. European Commission Joint Research Centre 2016.

⁹ Latała D., Mądziel M.: Metody ustalania normatywnego zużycia paliwa pojazdów samochodowych eksploatowanych w przedsiębiorstwach, Autobusy – Eksploatacja i testy 6, s. 854-858, 2017.

¹⁰ Oskarbski J., Biszko K.: Estimation of vehicle energy consumption at intersections using microscopic traffic models, Energies 16, 233, s. 1-35, 2023.

¹¹ Ben-Chaim M., Shmerling E., Kuperman A.: Analytic modeling of vehicle fuel consumption, Energies 6, s. 117-127, 2013.

w modelu wyznaczono empirycznie na podstawie zarejestrowanych danych dla samochodów osobowych, które kierowane były przez kierowców preferujących różne style jazdy¹².

W pracy opublikowanej przez Faris i inni przedstawiono obszerny przegląd metod modelowania zużycia paliwa i emisji spalin przez pojazdy samochodowe. Przedstawiono modele empiryczne, mezoskopowe, modele generujące wartości średnie i chwilowe, modele quasi-statyczne oraz posiadające rozbudowany interfejsy użytkownika (symulatory pojazdu). Analizy wykonane przez autorów wykazały, że żaden z opisanych modeli nie zaspokaja w pełni potrzeb sektora transportowego¹³.

W związku z powyższym zasadnym jest opracowanie modelu zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej, który będzie miał możliwość szacowania tego parametru na podstawie przebiegów czasowych prędkości i kąta pochylenia drogi zarejestrowanych w warunkach eksploatacyjnych. Dodatkowo model ten powinien mieć możliwość deklaracji parametrów mających wpływ na zużycie paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej, które nie były uwzględniane w dotychczas stosowanych modelach. Parametry te to ubytek ciśnienia w ogumieniu pneumatycznym, poślizg kół napędowych i wpływ hamowania silnikiem. Celem pracy jest budowa modelu zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej o rozszerzonej funkcjonalności, który zostanie użyty w procesie kształcenia przyszłych konstruktorów i osób nadzorujących proces eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej.

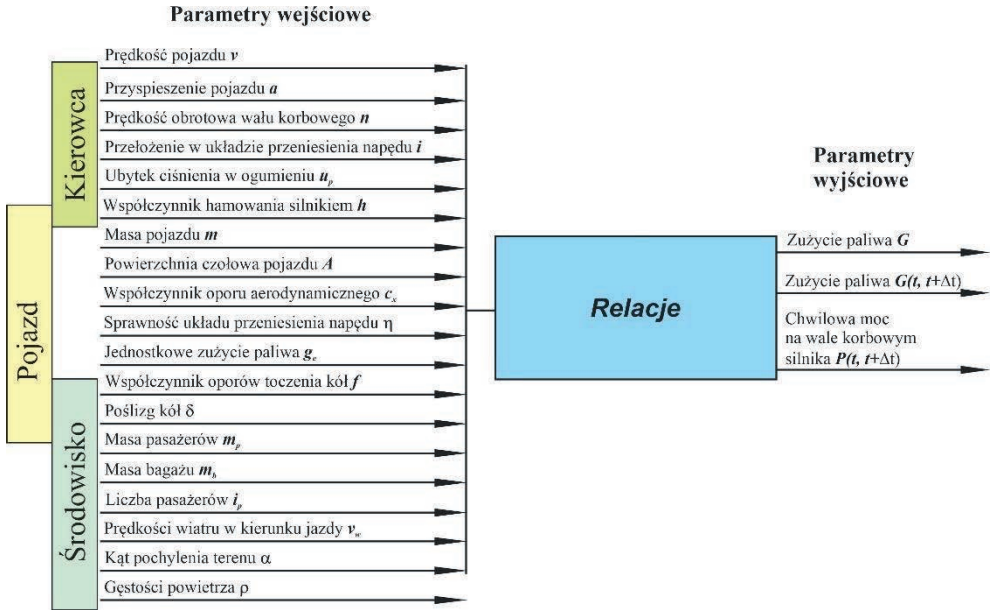
Model zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej

Model zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej został zbudowany przy następujących założeniach (rys. 1):

- model pozwala oszacować zużycie paliwa dla całego zadania transportowego G , a także zużycie paliwa w przedziale czasu $G(t, t+\Delta t)$,
- zużycie paliwa szacowane jest w oparciu o moc obciążającą wał korbowy silnika $P(t, t+\Delta t)$,
- zużycie paliwa jest szacowane na podstawie parametrów charakteryzujących konstrukcję pojazdu, warunki środowiska roboczego i styl prowadzenia autobusu przez kierowcę,
- model da się zapisać cyfrowo, co pozwoli na wykonywanie efektywnych obliczeń z jego użyciem.

¹² Rakha H., Ding Y., Saelens B.: Impact of driver behavior on fuel consumption in conventional and hybrid electric vehicles using integrated tools, *Energy*, 41(1), s. 375-382, 2012.

¹³ Faris W. F., Rakha H. A., Kafafy R. I., Idres M., Elmoselhy S.: Vehicle fuel consumption and emission modelling: An in-depth literature review, *Int. J. of Vehicle Systems Modelling and Testing*, 6/2011, s. 318-395.



Rysunek 1. Struktura modelu zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej

Źródło: (opracowanie własne)

Równania na moc obciążającą wał korbowy silnika wyprowadzono na podstawie równań zamieszczonych w pracach autorów Dajniak¹⁴ i Domek¹⁵.

Równanie na moc obciążającą wał korbowy silnika P w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P(t, t + \Delta t) = \frac{\sum_{i=1}^5 P_i(t, t + \Delta t)}{\eta} \text{ (kW)} \quad (1)$$

gdzie:

- η – sprawność układu przeniesienia napędu,
- $P_i(t, t+\Delta t)$ – i -ta składowa mocy obciążającej wał korbowy silnika. (kW)

Równanie na moc zużywaną na pokonanie oporów toczenia P_1 w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P_1(t, t + \Delta t) = \frac{k \cdot \overline{f(t, t + \Delta t)} \cdot g \cdot (m + (m_p + m_b) \cdot i_p) \cdot \overline{v(t, t + \Delta t)}}{3600} \text{ (kW)} \quad (2)$$

¹⁴ Dajniak H.: Ciągniki. Teoria ruchu i konstruowanie, WKiŁ, Warszawa, 1985.

¹⁵ Domek M.: Opory ruchu pojazdu oraz minimalizacja oporów toczenia, Napędy i sterowanie, R. 19 Nr 12, s. 96-100, 2017.

gdzie:

- k – współczynnik wzrostu oporów toczenia kół,
- $f(t, t+\Delta t)$ – współczynnik oporów toczenia kół w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$,
- g – przyspieszenie ziemskie, ($m \cdot s^{-2}$)
- m – masa pojazdu, (kg)
- m_p – masa pasażera, (kg)
- m_b – masa bagażu, (kg)
- i_p – masa bagażu, (kg)
- $v(t, t+\Delta t)$ – prędkość pojazdu w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$. ($km \cdot h^{-1}$)

W równaniach (2, 4 i 5) uwzględniono wzrost masy całkowitej autobusu spowodowany obciążeniem pojazdu przez pasażerów i ich bagaż. Dodatkowo uwzględniono zmianę oporów toczenia kół spowodowaną ubytkiem ciśnienia w ogumieniu (współczynnik k).

Współczynnik wzrostu oporów toczenia kół k opisano równaniem (równanie wyznaczono na podstawie wyników badań Szczygłak i inni¹⁶):

$$k = 0,00411 \cdot u_p + 1 \quad (3)$$

gdzie:

- u_p – procentowy ubytek ciśnienia w ogumieniu pneumatycznym. (%)

W tabeli 1 przedstawiono wartości współczynnika oporów toczenia kół pneumatycznych po różnych podłożach.

Tabela 1. Wartości współczynnika oporów toczenia koła pneumatycznego po różnych podłożach

Rodzaj podłoża	Współczynnik oporu toczenia
Beton	0,01-0,02
Asfalt	0,012-0,022
Szosa	0,02-0,04
Kostka granitowa	0,015-0,025
Droga tłuczniowa	0,025-0,06
Droga brukowana kamieniem polnym	0,04-0,085
Droga pokryta śniegiem	0,03
Ubity śnieg	0,03
Sucha, ubita droga na gruncie gliniastym	0,03-0,04
Sucha, ubita droga na gruncie piaszczystym	0,04
Wilgotny piasek	0,16
Suchy piasek	0,2
Błoto	0,25

Źródło: (opracowanie własne na podstawie: Żebrowski J. i Żebrowski Z.¹⁷; Kuczewski J.¹⁸)

¹⁶ Szczygłak P., Napiórkowski J., Rykowski K.: Wpływ ciśnienia w ogumieniu na opory toczenia kół pojazdów, Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 6, s. 1161-1165, 2016.

¹⁷ Żebrowski J., Żebrowski Z.: Mechanika ciągników kołowych, Wydawnictwo ART., Olsztyn, 1997.

¹⁸ Kuczewski J.: Podstawy użytkowania maszyn w pracach polowych, PWRiL, Warszawa, 1990.

Równanie na moc zużywaną na przyspieszenie P_2 w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P_2(t, t + \Delta t) = \begin{cases} \frac{v(t+\Delta t)-v(t)}{\Delta t} \geq 0 \leftrightarrow \frac{(m+(m_p+m_b) \cdot i_p) \cdot \overline{v(t, t+\Delta t)} \cdot \overline{v(t, t+\Delta t)}}{3600} \\ \frac{v(t+\Delta t)-v(t)}{\Delta t} < 0 \leftrightarrow \frac{h \cdot (m+(m_p+m_b) \cdot i_p) \cdot \overline{v(t, t+\Delta t)} \cdot \overline{v(t, t+\Delta t)}}{36000} \end{cases} \text{ (kW)} \quad (4)$$

gdzie:

- m – masa pojazdu, (kg)
- m_p – masa pasażera, (kg)
- m_b – masa bagażu, (kg)
- i_p – masa bagażu, (kg)
- $v(t, t+\Delta t)$ – prędkość pojazdu w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, (km · h⁻¹)
- $v(t)$ – prędkość pojazdu w chwili czasu t , (km · h⁻¹)
- Δt – przedział czasu, (s)
- h – współczynnik hamowania silnikiem, (%)

Współczynnik hamowania silnikiem h jest generowany w systemach monitorowania pojazdów (rys. 2 – przykładowy raport).



Jazda ekonomiczna - raport zbiorczy

ZP - Zużycie paliwa [l]
 SZP - Spalanie [l/100km]
 ZPNP - Zużycie paliwa na postojach [% zużycie paliwa] (m mniej tym lepiej)
 CPS - Czas pracy silnika
 CJPS - Czas pracy jalonej silnika (m mniej tym lepiej)
 JPS [%] - Jalowa praca silnika [% łącznego czasu pracy silnika] (m mniej tym lepiej)
 EZO [%] - Praca w efektywnym zakresie obrotów [% czasu jazdy] (m więcej tym lepiej)
 WOS [%] - Zbyt wysokie obroty silnika [% czasu jazdy] (m mniej tym lepiej)
 WP [%] - Jazda ze zbyt wysoką prędkością [% czasu jazdy] (m mniej tym lepiej)
 PH - Użycie pedału hamulca (liczba hamowań pedalem hamulca średnio na 100 km, m mniej tym lepiej)
 P [%] - Przewidywanie [% hamowania silnikiem] (m więcej tym lepiej)
 GH [%] - Gwałtowne hamowania [% wszystkich hamowań] (m mniej tym lepiej)
 MWPG - Maksymalne wciśnięcie pedału gazu (średnio na 100 km, m mniej tym lepiej)
 CMWPG [%] - Czas maksymalnego wciśnięcia pedału gazu [% czasu pracy silnika, kiedy pedał gazu był wciśnięty ponad 90%]
 GP - Gwałtowne przyspieszenia (średnio na 100 km, m mniej tym lepiej)
 CJT [%] - Czas jazdy na tempomacie [% czasu jazdy] (m więcej tym lepiej)

Samochód	od	Do	Przebieg [km]	ZP [l]	SZP [l/100km]	ZPNP [%]	CPS	CJPS	JPS [%]	EZO [%]	WOS [%]	WP [%]	PH [l/100km]	P [%]	GH [%]	MWPG [l/100km]	CMWPG [%]	GP [l/100km]	CJT [%]
	06-09-2017 14:37	17-03-2017 10:23	4120.90	1597.2	38.6	3	67h:23m	11h:28m	17	88	6	4	5.8	3	3	24.8	1	0.0	59

Rysunek 2. Widok zbiorczego raportu wygenerowanego z systemu monitorowania pojazdu (pole w kolorze zielonym zawiera wartość współczynnika hamowania silnikiem)

Źródło: (opracowanie własne)

Równanie na moc zużywaną na wjazd na wzniesienie P_3 w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P_3(t, t + \Delta t) = \frac{(m+(m_p+m_b) \cdot i_p) \cdot g \cdot \overline{v(t, t+\Delta t)} \cdot \sin \alpha(t, t+\Delta t)}{3600} \text{ (kW)} \quad (5)$$

gdzie:

- m – masa pojazdu, (kg)
- m_p – masa pasażera, (kg)
- m_b – masa bagażu, (kg)

- i_p – masa bagażu, (kg)
 g – przyspieszenie ziemskie, ($m \cdot s^{-2}$)
 $v(t, t+\Delta t)$ – prędkość pojazdu w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, ($km \cdot h^{-1}$)
 $\alpha(t, t+\Delta t)$ – kąt pochylenia drogi w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$. ($^\circ$)

Równanie na moc zużywaną na pokonanie oporów aerodynamicznych P_4 w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P_4(t, t + \Delta t) = \frac{c_x \cdot \rho_p \cdot A \cdot (v(t, t + \Delta t) + v_w(t, t + \Delta t))^2 \cdot \overline{v(t, t + \Delta t)}}{93312} \text{ (kW)} \quad (6)$$

gdzie:

- c_x – współczynnik oporu aerodynamicznego,
 ρ_p – gęstość powietrza, ($kg \cdot m^{-3}$)
 A – powierzchnia czołowa pojazdu, (m^2)
 g – przyspieszenie ziemskie, ($m \cdot s^{-2}$)
 $v(t, t+\Delta t)$ – prędkość pojazdu w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, ($km \cdot h^{-1}$)
 $v_w(t, t+\Delta t)$ – prędkość wiatru w kierunku jazdy w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, ($km \cdot h^{-1}$)

Równanie na moc zużywaną na poślizg kół P_5 w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P_5(t, t + \Delta t) = \delta \cdot \sum_{i=1}^4 P_i(t, t + \Delta t) \text{ (kW)} \quad (7)$$

gdzie:

- δ – poślizg kół,
 $P_i(t, t+\Delta t)$ – i -ta składowa mocy obciążającej wał korbowy silnika. (kW)

Równanie na moc całkowitą P_c w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P_c(t, t + \Delta t) = P(t, t + \Delta t) + P_j(t, t + \Delta t) \text{ (kW)} \quad (8)$$

gdzie:

- $P(t, t+\Delta t)$ – moc obciążającą wał korbowy silnika w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, (kW)
 $P_j(t, t+\Delta t)$ – moc zużywana na funkcjonowanie silnika w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$. (kW)

Równanie na moc zużywaną na funkcjonowanie silnika P_j w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$P_j(t, t + \Delta t) = \frac{1000 \cdot G_{ej}(t, t + \Delta t) \cdot \rho_{pa}}{g_e(t, t + \Delta t)} \text{ (kW)} \quad (9)$$

gdzie:

- $G_{ej}(t, t+\Delta t)$ – godzinowe zużycie paliwa przez silnik nieobciążony w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$, ($dm^3 \cdot h^{-1}$)
 ρ_{pa} – gęstość paliwa, ($kg \cdot dm^{-3}$)
 $g_e(t, t+\Delta t)$ – jednostkowe zużycie paliwa przez silnik w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$. ($g \cdot kWh^{-1}$)

Równanie na jednostkowe zużycie paliwa przez silnik g_e w przedziale czasu od t do $t+\Delta t$ ma postać:

$$g_e(t, t + \Delta t) = g_{en} \cdot \left(a - \frac{n(t, t + \Delta t)}{n_{nom}} + b \cdot \frac{n(t, t + \Delta t)^2}{n_{nom}^2} \right) \quad (\text{g} \cdot \text{kWh}^{-1}) \quad (10)$$

gdzie:

- g_{en} – jednostkowe zużycie paliwa przez silnik przy nominalnej prędkości obrotowej wału korbowego silnika, ($\text{g} \cdot \text{kWh}^{-1}$)
- a, b – współczynniki w równaniu,
- $n(t, t + \Delta t)$ – prędkość obrotowa wału korbowego silnika w przedziale czasu od t do $t + \Delta t$, ($\text{obr} \cdot \text{min}^{-1}$)
- n_{nom} – nominalna prędkość obrotowa wału korbowego silnika, ($\text{obr} \cdot \text{min}^{-1}$)

Równanie (10) zostało wyprowadzone na podstawie równań przedstawionych w pracy Mysłowski & Kołtun¹⁹.

Równanie na godzinowe zużycie paliwa przez silnik nieobciążony G_{ej} w przedziale czasu od t do $t + \Delta t$ ma postać:

$$G_{ej}(t, t + \Delta t) = a_1 \cdot n(t, t + \Delta t)^2 + a_2 \cdot n(t, t + \Delta t) + a_3 \quad (\text{g} \cdot \text{kWh}^{-1}) \quad (11)$$

gdzie:

- $n(t, t + \Delta t)$ – prędkość obrotowa wału korbowego silnika w przedziale czasu od t do $t + \Delta t$, ($\text{obr} \cdot \text{min}^{-1}$)
- a_1, a_2, a_3 – współczynniki w równaniu.

Równanie na prędkość obrotowa wału korbowego silnika n w przedziale czasu od t do $t + \Delta t$ ma postać:

$$n(t, t + \Delta t) = \frac{30 \cdot v(t, t + \Delta t)}{3,6 \cdot \pi \cdot r_d \cdot i(t, t + \Delta t)} \quad (\text{obr} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (12)$$

gdzie:

- $v(t, t + \Delta t)$ – prędkość pojazdu w przedziale czasu od t do $t + \Delta t$, ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)
- r_d – promień dynamiczny koła napędowego, (m)
- $i(t, t + \Delta t)$ – przełożenie w układzie przeniesienia napędu w przedziale czasu od t do $t + \Delta t$, ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)

Równanie na zużycie paliwa G w przedziale czasu od t do $t + \Delta t$ ma postać:

$$G(t, t + \Delta t) = \frac{g_e(t, t + \Delta t) \cdot P_c(t, t + \Delta t) \cdot \Delta t}{3600000 \cdot \rho_{pa}} \quad (\text{dm}^3) \quad (13)$$

gdzie:

- $g_e(t, t + \Delta t)$ – jednostkowe zużycie paliwa przez silnik w przedziale czasu od t do $t + \Delta t$, ($\text{g} \cdot \text{kWh}^{-1}$)
- $P_c(t, t + \Delta t)$ – moc całkowita w przedziale czasu od t do $t + \Delta t$, (kW)
- ρ_{pa} – gęstość paliwa. ($\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$)

¹⁹ Mysłowski J., Kołtun J.: Elastyczność tłokowych silników spalinowych, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa, 2000.

Równanie na zużycie paliwa G w czasie przejazdu ma postać:

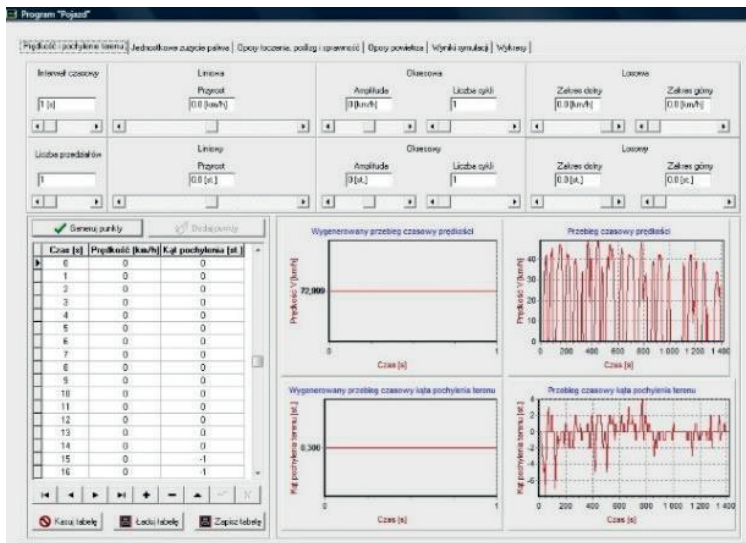
$$G = \sum_{t=0}^{t=n \cdot \Delta t} G_e(t, t + \Delta t) \text{ (dm}^3\text{)} \quad (14)$$

gdzie:

$G_e(t, t + \Delta t)$ – zużycie paliwa przez silnik w przedziale czasu od t do $t + \Delta t$. (dm³)

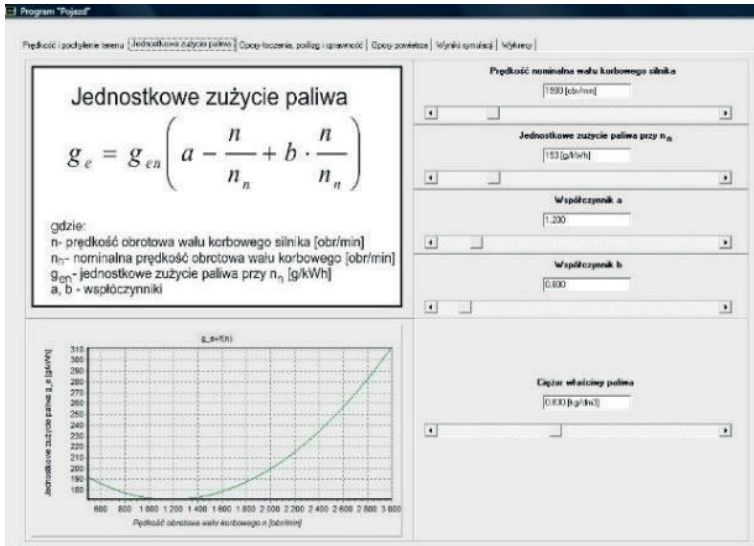
Model zużycia paliwa zapisano cyfrowo w języku Pascal jako aplikację. W cyfrowym modelu zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej zmienne wejściowe deklarowane są za pomocą interfejsu programu. W przypadku współczynnika oporów tocznych kół f , poślizgu kół napędowych δ i prędkości wiatru w kierunku jazdy v_w istnieje możliwość deklaracji przedziału, z którego losowane są wartości tych parametrów. Do losowania użyto generatora liczb o rozkładzie równomiernym. W przypadku prędkości jazdy V i kąta pochylenia drogi α istnieje możliwość importu przebiegów czasowych tych parametrów z zewnętrznych źródeł. Dzięki temu rozwiązaniu obliczenia zużycia paliwa są wykonywane dla wartości parametrów, które zostały zarejestrowane w warunkach użytkowania autobusów. W cyfrowym modelu zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej wyniki obliczeń są zapisywane do macierzy wynikowej, a także są wizualizowane w postaci wykresów.

Na rysunkach 3-8 przedstawiono interfejsy graficzne cyfrowego modelu zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej.



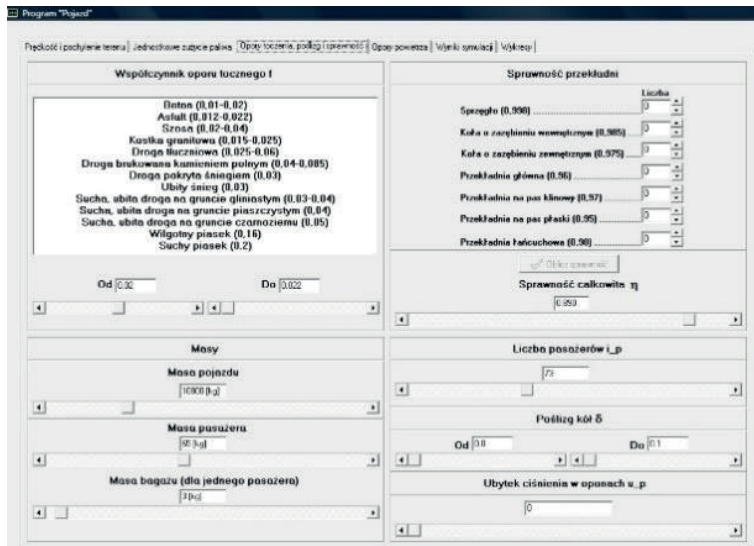
Rysunek 3. Interfejs graficzny cyfrowego modelu zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej – karta deklaracji przebiegów czasowych prędkości jazdy v i kąta pochylenia drogi α

Źródło: (opracowanie własne)



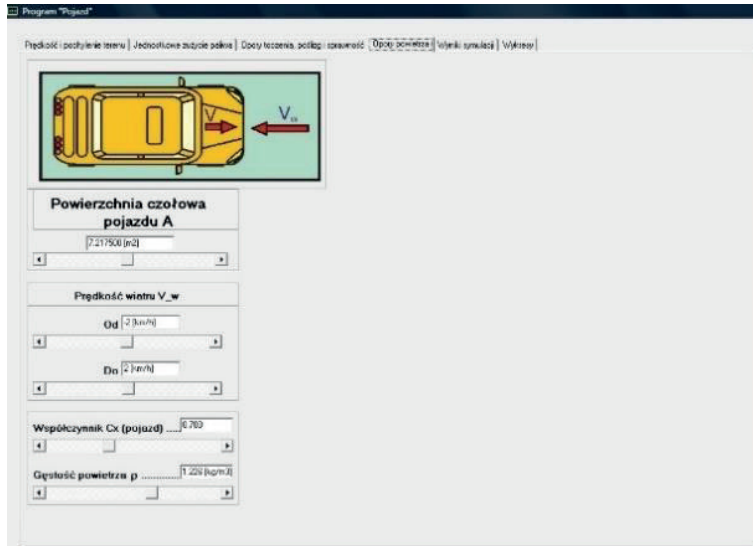
Rysunek 4. Interfejs graficzny cyfrowego modelu zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej – karta deklaracji parametrów silnika

Źródło: (opracowanie własne)



Rysunek 5. Interfejs graficzny cyfrowego modelu zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej – karta deklaracji parametrów pojazdu i środowiska roboczego

Źródło: (opracowanie własne)



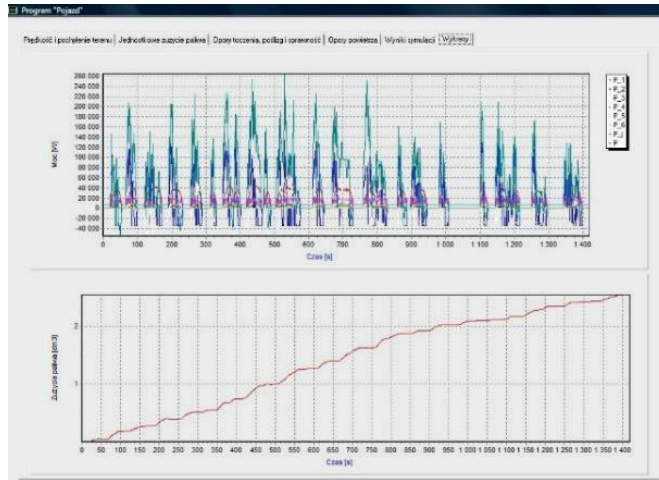
Rysunek 6. Interfejs graficzny cyfrowego modelu zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej – karta deklaracji parametrów aerodynamicznych

Źródło: (opracowanie własne)

Czas [s]	Prędkość [km/h]	Kąt ataku [st]	Masa całkowita [kg]	Podłoga	Prędkość obrotowa wału [obr/min]	Siła oporu tarczenia [N]	Ilość paliwa na pokonanie oporów [kg]
0	0	0	15764	0,000	500	3247,542	0
1	0	0	15764	0,000	500	3032,387	0
2	0	0	15764	0,000	500	3032,387	0
3	0	0	15764	0,000	500	3032,387	0
4	0	0	15764	0,000	500	3247,542	0
5	0	0	15764	0,000	500	3247,542	0
6	0	0	15764	0,000	500	3247,542	0
7	0	0	15764	0,000	500	3032,387	0
8	0	0	15764	0,000	500	3032,387	0
9	0	0	15764	0,000	500	3032,387	0
10	0	0	15764	0,000	500	3247,542	0
11	0	0	15764	0,000	500	3032,387	0
12	0	0	15764	0,000	500	3247,542	0
13	0	0	15764	0,000	500	3247,542	0
14	0	0	15764	0,000	500	3247,542	0
15	0	-1	15764	0,000	500	2247,542	0
16	0	-1	15764	0,000	500	3032,387	0
17	0	-1	15764	0,000	500	3032,387	0
18	0	-1	15764	0,000	500	3032,387	0
19	0	-2	15764	0,000	500	3032,387	0
20	1	-3	15764	0,000	540	3032,387	699,130
22	4	-3	15764	0,000	600	3247,542	3509,33
23	12	-3	15764	0,000	880	3032,387	10308,88
24	14	-3	15764	0,000	1000	2247,542	12029,320
25	20	-3	15764	0,000	1700	3247,542	15034,806
26	25	-4	15764	0,000	2400	3032,387	22337,598
27	28	-3	15764	0,000	3100	2247,542	25259,657
28	29	-4	15764	0,000	1000	3247,542	26163,752
29	31	-4	15764	0,000	540	3247,542	27964,842
30	33	-4	15764	0,000	600	3247,542	29765,932

Rysunek 7. Interfejs graficzny cyfrowego modelu zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej – karta wyników obliczeń

Źródło: (opracowanie własne)



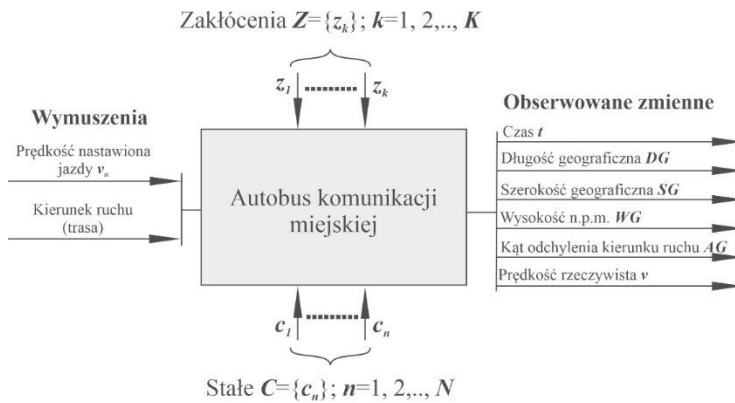
Rysunek 8. Interfejs graficzny cyfrowego modelu zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej – karta wizualizacji wyników obliczeń

Źródło: (opracowanie własne)

Metodyka badań i wyniki pomiarów

Celem przeprowadzonych badań było pozyskanie przebiegów czasowych prędkości jazdy autobusu komunikacji miejskiej i kąta pochylenia drogi po jakiej się porusza. Uzyskane w ten sposób dane zostały użyte w procesie modelowania zużycia paliwa.

W czasie badań przyjęto eksperyment bierny. Obiektem badań był autobus komunikacji miejskiej eksploatowany w Olsztynie (rys. 9). W czasie przejazdu kierowca autobusu realizował zadanie przewozowe zgodnie z rozkładem jazdy wymuszając odpowiedni kierunek jazdy i prędkość pojazdu.



Rysunek 9. Autobus jako obiekt badań

Źródło: (opracowanie własne)

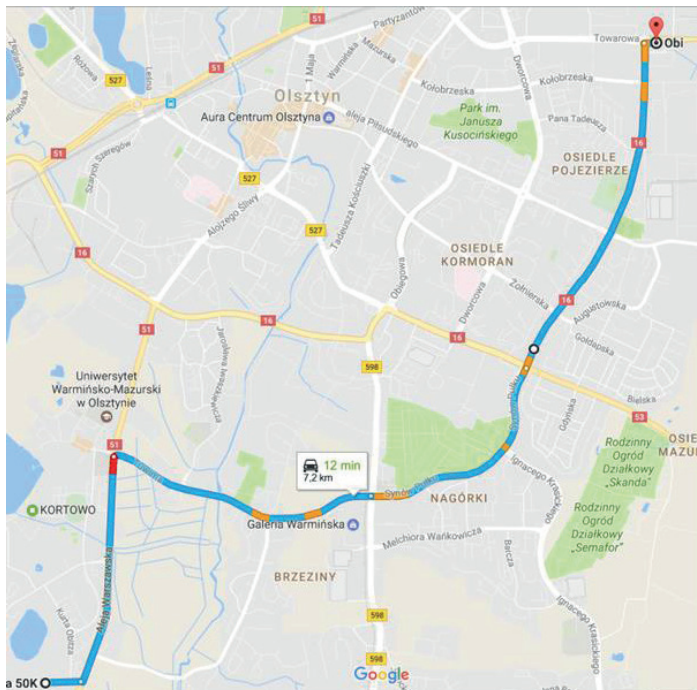
W czasie badań obserwowano zmienne:

- czas t ,
 - długość geograficzna DG ,
 - szerokość geograficzną SG ,
 - wysokość n.p.m. WG ,
 - kąt odchylenia kierunku ruchu AG ,
 - prędkość rzeczywista pojazdu v .
- Zbiór stałych C ma postać:

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ \dots \\ c_N \end{bmatrix} \quad N = 4 \quad (15)$$

gdzie:

- c_1 – autobus komunikacji miejskiej SOLARIS Urbino 12,
- c_2 – kierowca (w czasie badań pojazd był prowadzony przez jednego kierowcę),
- c_3 – trasa (ulice Olsztyna: Słoneczna - Aleja Warszawska – Tuwima - Synów Pułku - Kardynała Stefana Wyszyńskiego – Towarowa) (rys. 10),
- c_4 – ciśnienie w oponach pneumatycznych (przód – $0,75 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$; tył – $0,7 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$).



Rysunek 10. Trasa przejazdu autobusu w czasie badań

Źródło: (mapa Google)

Zbiór zakłóceń Z ma postać:

$$Z = \begin{bmatrix} z_1 \\ \dots \\ z_K \end{bmatrix} \quad K = 7 \quad (16)$$

gdzie:

- z_1 – zmienna masa całkowita pojazdu (zmiana liczby pasażerów i bagażu, ubytek paliwa spalonego przez silnik, zanieczyszczenia osiadające na pojeździe w czasie użytkowania),
- z_2 – zmienne opory toczenia spowodowane współpracą kół z niejednorodnym podłożem,
- z_3 – zmienna prędkość wiatru,
- z_4 – zmienna gęstość powietrza,
- z_5 – zmienne opory mechaniczne w układzie przeniesienia napędu,
- z_6 – zmienny poślizg kół,
- z_7 – zakłócenia oddziałujące na układ pomiarowy.

Do rejestracji obserwowanych zmiennych użyto autorskiego systemu pomiarowego, którego strukturę przedstawiono na rysunku 11.



Rysunek 11. Struktura systemu pomiarowego

Źródło: (opracowanie własne)

System pomiarowy złożony był z rejestratora i oprogramowania narzędziowego do sporządzania map i analizy zarejestrowanych danych. Rejestrator wyposażono w procesor AT-Mega32, który zarządzał procesem rejestracji. Dane do zapisu na karcie SD odczytywane były za pośrednictwem magistrali UART z modułu GPS FGPMMOPA4. Jest to moduł dedykowany do drogowych systemów nawigacji. Dane generowane przez moduł GPS były zgodne z protokołem NMEA-0183. Moduł GPS z częstotliwością 1 Hz generował 3 sekwencje NMEA: GGA, VTG i RMC. W procesie analiz z sekwencji wyodrębniano wartości obserwowanych zmiennych i parametry mające wpływ na dokładność pomiarową (liczba satelitów generujących sygnał, włączony DGPS i horyzontalna dokładność pozycji HDOP). Przez cały czas pomiaru system DGPS był aktywny, a HDOP przyjmowało wartości mniejsze niż 6. Na podstawie obserwowanych zmiennych wyznaczono przebieg czasowy przebytej drogi z użyciem równań (opracowano na podstawie²⁰):

$$d_i = \begin{cases} l_2 \leftrightarrow |SG_i| = 90 \\ \frac{l_1 \cdot l_2 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}(SG_i)^2}}{\sqrt{l_2^2 + l_1^2 \cdot \operatorname{tg}(SG_i)^2}} \leftrightarrow |SG_i| \neq 90 \text{ (m)} \end{cases} \quad (17)$$

$$d_{i+1} = \begin{cases} l_2 \leftrightarrow |SG_{i+1}| = 90 \\ \frac{l_1 \cdot l_2 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}(SG_{i+1})^2}}{\sqrt{l_2^2 + l_1^2 \cdot \operatorname{tg}(SG_{i+1})^2}} \leftrightarrow |SG_{i+1}| \neq 90 \text{ (m)} \end{cases} \quad (18)$$

$$d = \frac{d_i + d_{i+1}}{2} \text{ (m)} \quad (19)$$

$$\Delta DG_{i,i+1} = (DG_{i+1} - DG_i) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot SG_i}{180}\right) \text{ (}^\circ\text{)} \quad (20)$$

$$\Delta SG_{i,i+1} = (SG_{i+1} - SG_i) \text{ (}^\circ\text{)} \quad (21)$$

$$s_{i,i+1} = \sqrt{\Delta DG_{i,i+1}^2 + \Delta SG_{i,i+1}^2} \cdot \frac{\pi \cdot d}{360} \text{ (m)} \quad (22)$$

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} s_{i,i+1} \text{ (m)} \quad (23)$$

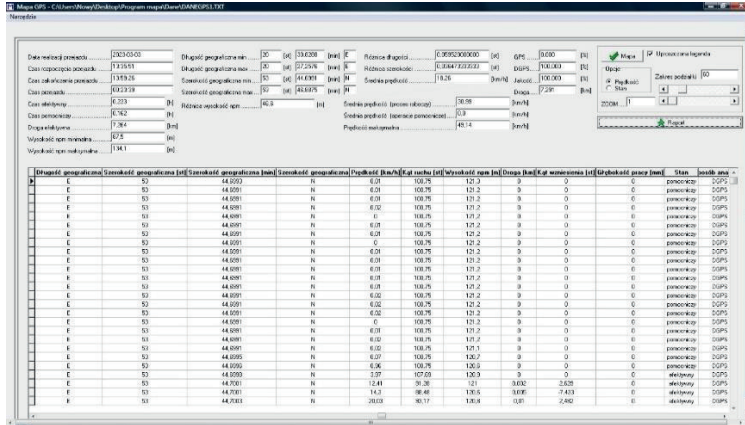
gdzie:

- SG_i – szerokość geograficzna z rekordu i , (°)
- SG_{i+1} – szerokość geograficzna z rekordu $i+1$, (°)
- DG_i – długość geograficzna z rekordu i , (°)
- DG_{i+1} – długość geograficzna z rekordu $i+1$, (°)
- $\Delta DG_{i,i+1}$ – odległość kątowna (długość) między punktami z rekordów i oraz $i+1$, (°)
- $\Delta SG_{i,i+1}$ – odległość kątowna (szerokość) między punktami z rekordów i oraz $i+1$, (°)
- d – podziałka, (m)
- d_i, d_{i+1} – parametry podziałki, (m)
- l_1 – stała odległość (12756490), (m)
- l_2 – stała odległość (12717776), (m)
- $s_{i,i+1}$ – odległość między dwoma punktami geograficznymi, (m)

²⁰ Snyder J. P.: Map Projections - A Working Manual, U.S. Geological Survey Professional Paper 1395, United States Government Printing Office, Washington, 1987.

- s – przebyta droga, (m)
- n – liczba zarejestrowanych rekordów.

Zarejestrowane w czasie badań dane podano analizie w autorskim programie wchodzącym w skład systemu pomiarowego (rys. 12). Wyniki analiz przedstawiono w tabeli 2.



Rysunek 12. Interfejs graficzny autorskiego programu do analizy danych

Źródło: (opracowanie własne)

Tabela 2. Wyniki analiz zarejestrowanych danych w czasie przejazdu autobusu

Lp.	Nazwa parametru	Wartość
1	Czas rozpoczęcia przejazdu	13:35:51
2	Czas zakończenia przejazdu	13:59:26
3	Czas przejazdu	00:23:39
4	Długość geograficzna minimalna przebiegu trasy	20 (°) 30,8288 (') E
5	Długość geograficzna maksymalna przebiegu trasy	20 (°) 27,2576 (') E
6	Szerokość geograficzna minimalna przebiegu trasy	53 (°) 44,6991 (') N
7	Szerokość geograficzna maksymalna przebiegu trasy	53 (°) 46,8875 (') N
8	Różnica długości geograficznej (min-max)	0,059520 (°)
9	Różnica szerokości geograficznej (min-max)	0,036473 (°)
10	Wysokość minimalna n.p.m. przebiegu trasy	87,5 (m)
11	Wysokość maksymalna n.p.m. przebiegu trasy	134,1 (m)
12	Różnica wysokości n.p.m. (min-max)	46,6 (m)
13	Średnia prędkość	18,26 (km·h ⁻¹)
14	Średnia prędkość (bez uwzględnienia postojów)	30,99 (km·h ⁻¹)
15	Prędkość maksymalna	49,14 (km·h ⁻¹)
16	Droga	7,291 (km)
17	Czas efektywny (gdy prędkość jest większa od zera)	0,233 (h)
18	Czas pomocniczy (czas postojów)	0,162 (h)
19	Pozycjonowanie DGPS i HDOP<6	100 %

Źródło: (opracowanie własne)

W czasie pokonywania trasy autobus zatrzymał się 21 razy (rys. 13). Czternaście razy pojazd zatrzymał się na przystanku autobusowym i 7 razy na drodze w oczekiwaniu na możliwość ruchu. W celu rozróżnienia przyczyn postoju w czasie analiz przyjęto regułę na podstawie której identyfikowano postój na przystanku:

postój na j – tym przystanku w chwili czasu t ↔

$$v(t) = 0 \wedge DG_{min_j} < DG(t) < DG_{max_j} \wedge SG_{min_j} < SG(t) < DG_{max_j} \quad (24)$$

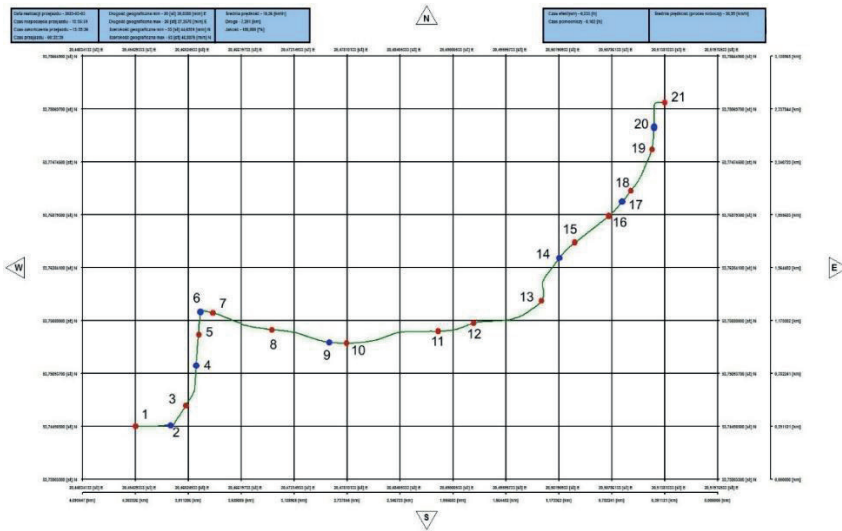
gdzie:

SG(t) – szerokość geograficzna w chwili czasu **t**, (°)

DG(t) – długość geograficzna w chwili czasu **t**, (°)

DG_{min_j}, DG_{max_j}, SG_{min_j}, SG_{max_j} – współrzędne graniczne dla **j**-tego przystanku, (°)

V(t) – prędkość jazdy w chwili czasu **t**. (km·h⁻¹)



Rysunek 13. Mapa przejazdu autobusu w czasie badań z naniesionymi miejscami postoju: czerwone punkty – postój na przystanku autobusowym, niebieskie punkty – postoje na drodze w oczekiwaniu na możliwość ruchu

Źródło: (opracowanie własne)

Na rysunkach 14-16 przedstawiono przebiegi czasowe: prędkości jazdy autobusu **v**, przebytej drogi **s** i położenia autobusu nad poziomem morza **WG**. Do wyznaczenia przebiegu czasowego kąta pochylenia drogi **α** (rys. 17) posłużono się równaniem:

$$\alpha_{i,i+1} = \text{atg}\left(\frac{WG_{i+1} - WG_i}{s_{i,i+1}}\right) (\text{°}) \quad (25)$$

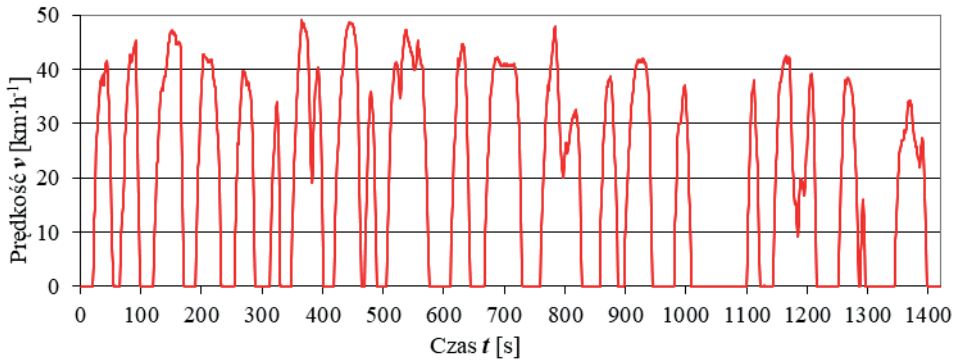
gdzie:

WG_i – wysokość nad poziomem morza z rekordu **i**, (m)

WG_{i+1} – wysokość nad poziomem morza z rekordu **i+1**, (m)

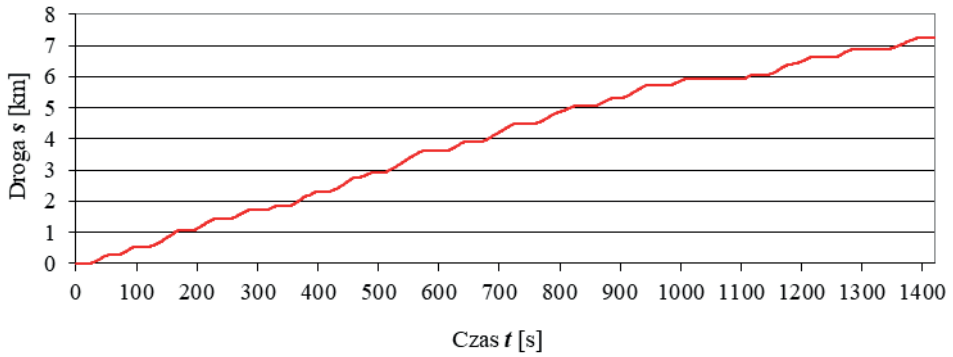
s_{i,i+1} – odległość między dwoma punktami geograficznymi, (m)

α_{i,i+1} – kąt pochylenia drogi między dwoma punktami geograficznymi. (°)



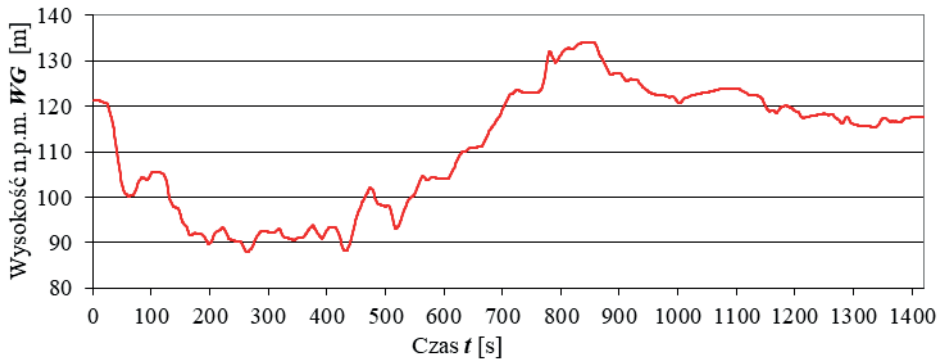
Rysunek 14. Przebieg czasowy prędkości jazdy autobusu

Źródło: (opracowanie własne)



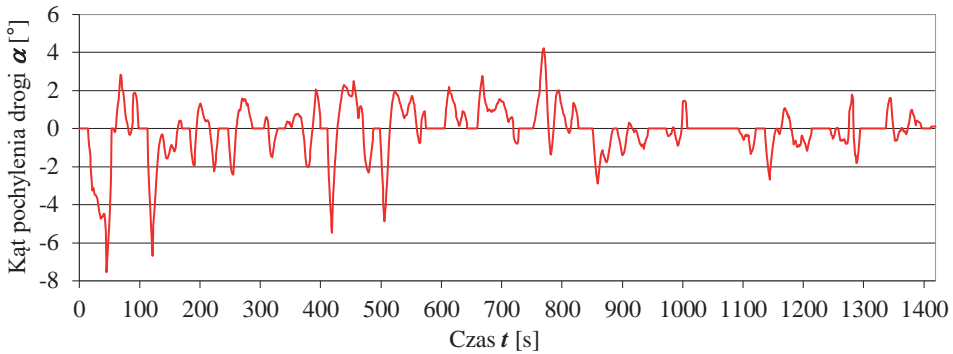
Rysunek 15. Przebieg czasowy przebytej drogi

Źródło: (opracowanie własne)



Rysunek 16. Przebieg czasowy położenia autobusu nad poziomem morza

Źródło: (opracowanie własne)



Rysunek 17. Przebieg czasowy kąta pochylenia drogi po którym poruszał się autobus

Źródło: (opracowanie własne)

Przebiegi czasowe prędkości jazdy v (rys. 14) i kąta pochylenia drogi α (rys. 17) zostaną użyte w procesie obliczeń z użyciem cyfrowego modelu zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej.

Modelowanie zużycia paliwa autobusu komunikacji miejskiej

W modelu cyfrowym zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej wykonano obliczenia dla 7 zbiorów parametrów wejściowych. Wyniki obliczeń zużycia paliwa wykonane dla parametrów wejściowych ze zbioru pierwszego uznano za bazowe. Kolejne zbiory różniły się od zbioru pierwszego tylko wartością jednego parametru wejściowego. Ma to na celu określenie wpływu modyfikacji wybranego parametru na zużycie paliwa. Wartości parametrów wejściowych dla zbioru pierwszego (bazowego) przedstawiono w tabeli 3.

W tabeli 4 przedstawiono wyniki obliczeń dla zmiennych ze zbioru 1 (bazowego) i zbioru 2. W zbiorze drugim zmieniono liczbę pasażerów i_p . Po zmianie parametr ten wynosił 100. Skutkowało to wzrostem jednostkowego zużycia paliwa o 10,1%.

W tabeli 5 przedstawiono wyniki obliczeń dla zmiennych ze zbioru 1 (bazowego) i zbioru 3. W zbiorze trzecim zmieniono procentowy ubytek ciśnienia w ogumieniu pneumatycznym u_p . Po zmianie parametr ten wynosił 20%. Skutkowało to wzrostem jednostkowego zużycia paliwa o 3,3%.

W tabeli 6 przedstawiono wyniki obliczeń dla zmiennych ze zbioru 1 (bazowego) i zbioru 4. W zbiorze czwartym zmieniono współczynnik oporów toczenia kół f . Po zmianie parametr ten był losowany z przedziału 0,038-0,04. Skutkowało to wzrostem jednostkowego zużycia paliwa o 34,83%.

W tabeli 7 przedstawiono wyniki obliczeń dla zmiennych ze zbioru 1 (bazowego) i zbioru 5. W zbiorze piątym zmieniono prędkość wiatru w kierunku jazdy v_w . Po zmianie parametr ten był losowany z przedziału 30-35 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Skutkowało to wzrostem jednostkowego zużycia paliwa o 9,63%.

Tabela 3. Wartości parametrów wejściowych należących do zbioru pierwszego (bazowego)

Lp.	Parametr wejściowy	Wartość parametru/źródło
1	Prędkość jazdy $v(t, t+\Delta t)$	Przyjęto przebieg czasowy z rysunku 14
2	Kąt pochylenia drogi $\alpha(t, t+\Delta t)$	Przyjęto przebieg czasowy z rysunku 17
3	Masa autobusu m	10800 (kg) (masa autobusu SOLARIS Urbino 12)
4	Masa pasażera m_p i bagażu m_b	65 i 3 (kg) ²¹
5	Liczba pasażerów i_p	73 (70% miejsc w autobusie SOLARIS Urbino 12)
6	Prędkość wiatru w kierunku jazdy $v_w(t, t+\Delta t)$	-2÷2 (km·h ⁻¹) (wartości z generatora liczb losowych)
7	Współczynnik oporów toczenia kół $f(t, t+\Delta t)$	0,02÷0,022 droga asfaltowa (wartości z generatora liczb losowych)
8	Współczynnik oporów aerodynamicznych c_x	0,7 (wartość dla autobusów)
9	Gęstość powietrza ρ_p	1,226 (15°C) (kg·m ⁻³) ²²
10	Gęstość paliwa ρ_{pa}	0,83 (kg·dm ⁻³) ²³
11	Sprawność układu przeniesienia napędu η	0,89
12	Poślizg kół $\delta(t, t+\Delta t)$	0÷0,1% (wartości z generatora liczb losowych)
13	Przyspieszenie ziemskie g	9,81 (m·s ⁻²)
14	Powierzchnia czołowa autobusu A	7,2175 (m ²) (wartość dla SOLARIS Urbino 12)
15	Jednostkowe zużycie paliwa przy prędkości nominalnej wału korbowego silnika g_{en}	193 (g·kWh ⁻¹) (dane dla silnika MAN D2066 LUH 48 wg producenta)
16	Nominalna prędkość obrotowa wału korbowego silnika n_{nom}	1900 (obr·min ⁻¹) (dane dla silnika MAN D2066 LUH 48 wg producenta)
17	Godzinowe zużycie paliwa dla silnika nieobciążonego $G_{ef}(t, t+\Delta t)$	$a_1 = 0,0000014$, $a_2 = 0,0021$, $a_3 = 0,3$ Współczynniki w równaniu wyznaczono na podstawie wskazań zużycia paliwa dla silnika MAN D2066 LUH 48 jakie wskazywał komputer pokładowy pojazdu dla różnych wartości prędkości obrotowej wału korbowego silnika funkcjonującego bez obciążenia.
18	Droga s	7,291 (km)
19	Współczynnik hamowania silnikiem h	70 (%) (odczyt z telemetrycznego systemu monitorowania pojazdu)
20	Procentowy ubytek ciśnienia w ogumieniu pneumatycznym u_p	0 (%)

Źródło: (opracowanie własne)

²¹ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia, 2002.

²² Kondratiuk M.: badania symulacyjne charakterystyk aerodynamicznych bezzałogowego mikrosamolotu typu delta z barierami mechanicznymi umieszczonymi przy krawędziach natarcia, Acta Mechanica et Automatica, vol.4 no.3, s. 54-57, 2010.

²³ PN-EN 590:2022-08 Paliwa do pojazdów samochodowych. Oleje napędowe. Wymagania i metody badań.

W tabeli 8 przedstawiono wyniki obliczeń dla zmiennych ze zbioru 1 (bazowego) i zbioru 6. W zbiorze szóstym zmieniono współczynnik oporów aerodynamicznych c_x . Po zmianie parametr ten wynosił 0,6. Skutkowało to spadkiem jednostkowego zużycia paliwa o 0,51%.

W tabeli 9 przedstawiono wyniki obliczeń dla zmiennych ze zbioru 1 (bazowego) i zbioru 7. W zbiorze siódmym zmieniono jednostkowe zużycie paliwa przez silnik g_e . Po zmianie parametr ten wynosił 175 g·kWh⁻¹. Skutkowało to spadkiem jednostkowego zużycia paliwa o 7,59%.

Tabela 4. Wyniki obliczeń dla bazowej i podwyższonej liczby pasażerów

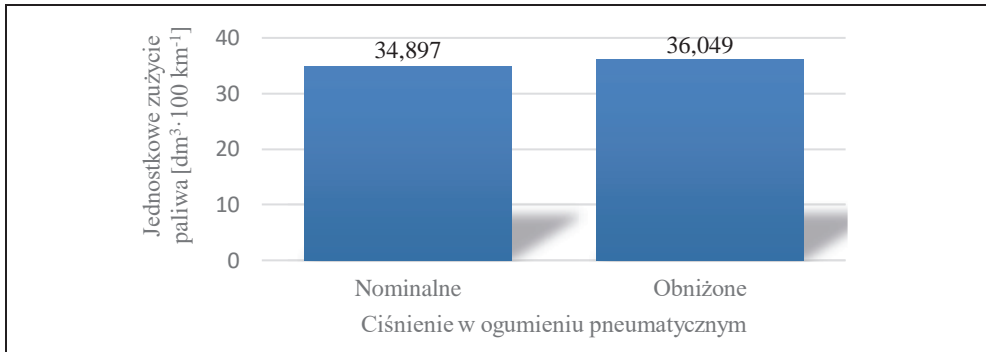
Wyszczególnienie	Zbiór parametrów wejściowych nr 1 (bazowy)	Zbiór parametrów wejściowych nr 2
Liczba pasażerów i_p	73	100
Przebyta droga s	7,29 (km)	7,29 (km)
Czas przejazdu t	0,391 (h)	0,391 (h)
Zużycie paliwa w czasie przejazdu G	2,544 (dm ³)	2,801 (dm ³)
Jednostkowe zużycie paliwa	34,897 (dm ³ ·100 km ⁻¹)	38,422 (dm ³ ·100 km ⁻¹)
Różnica względna	10,1%	

Liczba pasażerów	Jednostkowe zużycie paliwa [dm ³ ·100 km ⁻¹]
73	34,897
100	38,422

Źródło: (opracowanie własne)

Tabela 5. Wyniki obliczeń dla nominalnego i obniżonego ciśnienia w oponach pneumatycznych

Wyszczególnienie	Zbiór parametrów wejściowych nr 1 (bazowy)	Zbiór parametrów wejściowych nr 3
Procentowy ubytek ciśnienia w ogumieniu pneumatycznym u_p	0 (%)	20 (%)
Przebyta droga s	7,29 (km)	7,29 (km)
Czas przejazdu t	0,391 (h)	0,391 (h)
Zużycie paliwa w czasie przejazdu G	2,544 (dm ³)	2,628 (dm ³)
Jednostkowe zużycie paliwa	34,897 (dm ³ ·100 km ⁻¹)	36,049 (dm ³ ·100 km ⁻¹)
Różnica względna	3,3%	



Źródło: (opracowanie własne)

Tabela 6. Wyniki obliczeń dla bazowego i podwyższonego współczynnika oporu toczenia kół

Wyszczególnienie	Zbiór parametrów wejściowych nr 1 (bazowy)	Zbiór parametrów wejściowych nr 4
Współczynnik oporu toczenia kół f	0,02-0,022	0,038-0,04
Przebyta droga s	7,29 (km)	7,29 (km)
Czas przejazdu t	0,391 (h)	0,391 (h)
Zużycie paliwa w czasie przejazdu G	2,544 (dm³)	3,43 (dm³)
Jednostkowe zużycie paliwa	34,897 (dm³·100 km⁻¹)	47,051 (dm³·100 km⁻¹)
Różnica względna	34,83%	

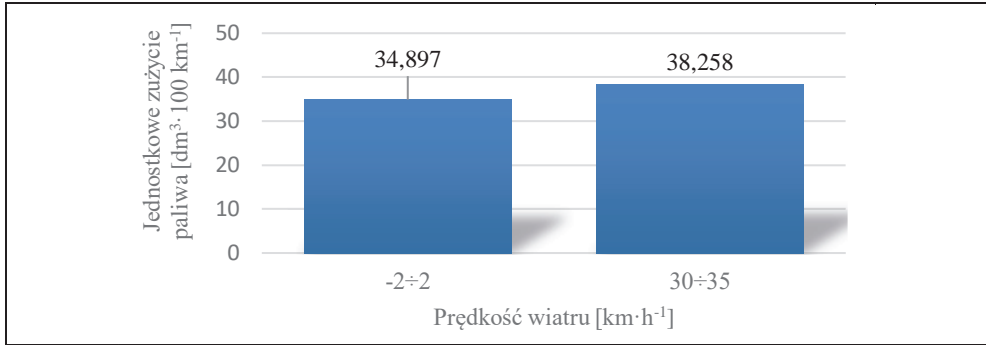
A bar chart comparing specific fuel consumption for two rolling resistance coefficient ranges. The y-axis is labeled 'Jednostkowe zużycie paliwa [dm³·100 km⁻¹]' and ranges from 0 to 50. The x-axis is labeled 'Współczynnik oporów toczenia kół' with two categories: '0,02-0,022' and '0,038-0,04'. The bar for '0,02-0,022' has a value of 34,897, and the bar for '0,038-0,04' has a value of 47,051.

Współczynnik oporów toczenia kół	Jednostkowe zużycie paliwa [dm³·100 km⁻¹]
0,02-0,022	34,897
0,038-0,04	47,051

Źródło: (opracowanie własne)

Tabela 7. Wyniki obliczeń dla bazowej i podwyższonej prędkości wiatru w kierunku jazdy

Wyszczególnienie	Zbiór parametrów wejściowych nr 1 (bazowy)	Zbiór parametrów wejściowych nr 5
Prędkość wiatru w kierunku jazdy v_w	-2÷2 (km·h⁻¹)	-30÷35 (km·h⁻¹)
Przebyta droga s	7,29 (km)	7,29 (km)
Czas przejazdu t	0,391 (h)	0,391 (h)
Zużycie paliwa w czasie przejazdu G	2,544 (dm³)	2,789 (dm³)
Jednostkowe zużycie paliwa	34,897 (dm³·100 km⁻¹)	38,258 (dm³·100 km⁻¹)
Różnica względna	9,63%	



Źródło: (opracowanie własne)

Tabela 8. Wyniki obliczeń dla bazowego i obniżonego współczynnika oporów aerodynamicznych

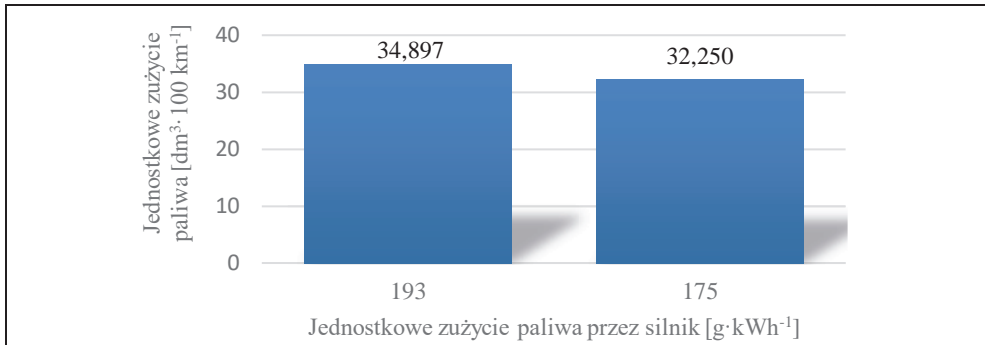
Wyszczególnienie	Zbiór parametrów wejściowych nr 1 (bazowy)	Zbiór parametrów wejściowych nr 6
Współczynnik oporów aerodynamicznych c_x	0,7	0,6
Przebyta droga s	7,29 (km)	7,29 (km)
Czas przejazdu t	0,391 (h)	0,391 (h)
Zużycie paliwa w czasie przejazdu G	2,544 (dm ³)	2,531 (dm ³)
Jednostkowe zużycie paliwa	34,897 (dm ³ ·100 km ⁻¹)	34,719 (dm ³ ·100 km ⁻¹)
Różnica względna	-0,51%	

Współczynnik oporów aerodynamicznych	Jednostkowe zużycie paliwa [dm ³ ·100 km ⁻¹]
0,7	34,897
0,6	34,719

Źródło: (opracowanie własne)

Tabela 9. Wyniki obliczeń dla bazowego i obniżonego jednostkowego zużycia paliwa przez silnik

Wyszczególnienie	Zbiór parametrów wejściowych nr 1 (bazowy)	Zbiór parametrów wejściowych nr 7
Jednostkowe zużycie paliwa przez silnik g_e	193 (g·kWh ⁻¹)	175 (g·kWh ⁻¹)
Przebyta droga s	7,29 (km)	7,29 (km)
Czas przejazdu t	0,391 (h)	0,391 (h)
Zużycie paliwa w czasie przejazdu G	2,544 (dm ³)	2,351 (dm ³)
Jednostkowe zużycie paliwa	34,897 (dm ³ ·100 km ⁻¹)	32,25 (dm ³ ·100 km ⁻¹)
Różnica względna	-7,59%	



Źródło: (opracowanie własne)

Podsumowanie

Opracowany model zużycia paliwa przez autobus komunikacji miejskiej ma możliwość szacowania zużycia paliwa, z uwzględnieniem parametrów, które nie były uwzględnione w modelach dotychczas stosowanych. Parametry te to ubytek ciśnienia w ogumieniu pneumatycznym, poślizg kół napędowych i wpływ hamowania silnikiem. Możliwość importu przebiegów czasowych prędkości jazdy v i kąta pochylenia drogi α zarejestrowanych w czasie użytkowania autobusu ma wpływ na dokładność obliczeń. W pracy przedstawiono metodę rejestracji tych przebiegów czasowych z użyciem rejestratora wykorzystującego ogólnie dostępny moduł GPS generujący dane zgodne z protokołem NMEA-0183.

Wynik obliczeń jednostkowego zużycia paliwa dla autobusu SOLARIS Urbino 12 i warunków użytkowania typowych dla tego rodzaju środka transportowego wyniósł $34,897 \text{ dm}^3 \cdot 100 \text{ km}^{-1}$ (wartość bazowa). Według danych podanych przez MPK Poznań²⁴ pojazdy tego typu spalają od 37 do $43,7 \text{ dm}^3 \cdot 100 \text{ km}^{-1}$. Jest to wartość nieco większa, ale w modelu szacowania zużycia paliwa nie uwzględniono zapotrzebowania na energię przez dodatkowe odbiorniki takie jak klimatyzacja. Po uwzględnieniu tych informacji należy uznać, że model prawidłowo szacuje zużycie paliwa.

Przeprowadzone analizy wykazały, że różne parametry wejściowe deklarowane w modelu mają różny wpływ na ilości zużytego paliwa. Największy wzrost zużycia paliwa odnotowano dla dwukrotnie podwyższonego oporu tocznego kół i wyniósł on 34,83%. Tak podwyższone zużycie paliwa może wystąpić w przypadku użytkowania autobusu na drogach o dużym stopniu destrukcji i drogach gruntowych. Jeśli w czasie użytkowania autobusu wystąpiłaby taka sytuacja to powinno się podnieść normę zużycia paliwa.

Obniżenie ciśnienia w oponach pneumatycznych o 20% skutkuje wzrostem zużycia paliwa o 3,3%. Jest to nieduży wzrost zużycia paliwa, ale właściwe ciśnienie w oponach pneumatycznych ma duży wpływ na bezpieczeństwo użytkowania autobusu i powinno być regularnie sprawdzane i w razie potrzeby korygowane.

Najmniejszą zmianę zużycia paliwa zaobserwowano dla współczynnika oporów aerodynamicznych c_x , którego wartość została obniżona o 0,1. Skutkowało to obniżeniem zużycia paliwa tylko o 0,51%.

²⁴ <https://www.mpk.poznan.pl/tabor/solaris-urbino-12/>

Zapis cyfrowy modelu pozwolił na stworzenie narzędzia do wydajnego obliczania jego parametrów wyjściowych. Dzięki temu można go używać w procesie kształcenia przyszłych konstruktorów i osób nadzorujących proces eksploatacji autobusów komunikacji miejskiej.

W dalszych etapach rozbudowy modelu zużycia paliwa należałoby uwzględnić pobór energii przez dodatkowe odbiorniki, takie jak np. klimatyzacja, sprzęt multimedialny itp.

Bibliografia

- Ben-Chaim M., Shmerling E., Kuperman A.: Analytic modeling of vehicle fuel consumption, *Energies* 6, s. 117-127, 2013.
- Biszko K., Oskarbski J.: Modelowanie emisji z wykorzystaniem symulacji mikroskopowych, *Transport miejski i regionalny* 05, s. 18-25, 2022.
- Dajniak H.: Ciągniki, Teoria ruchu i konstruowanie, WKiŁ, Warszawa, 1985.
- Faris W. F., Rakha H. A., Kafafy R. I., Idres M., Elmoselhy S.: Vehicle fuel consumption and emission modelling: An in-depth literature review, *Int. J. of Vehicle Systems Modelling and Testing*, 6, s. 318-395, 2011.
- Horbaczewski R.: Samorządowe autobusy jeżdżą głównie dieslem, <https://www.prawo.pl/samorzad/transport-zeroemisyjny-w-samorzadach,520804.html>, 2023.
- Kondratiuk M.: badania symulacyjne charakterystyk aerodynamicznych bezałogowego mikrosamolotu typu delta z barierami mechanicznymi umieszczonymi przy krawędziach natarcia, *Acta Mechanica et Automatica*, vol. 4 no. 3, s. 54-57, 2010.
- Kuczewski J.: Podstawy użytkowania maszyn w pracach polowych, PWRiL, Warszawa, 1990.
- Latała D., Mądziel M.: Metody ustalenia normatywnego zużycia paliwa pojazdów samochodowych eksploatowanych w przedsiębiorstwach, *Autobusy – Eksploatacja i testy* 6, s. 854-858, 2017.
- Lozia Z.: Analiza ruchu samochodu dwuosowego na tle modelowania jego dynamiki, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa, 1998.
- Marczak H.: Koszty zużycia energii i emisji zanieczyszczeń wynikające z użytkowania autobusów miejskich, *Autobusy – Bezpieczeństwo i ekologia* 6, s. 281-285, 2016.
- Misiurski P.: Koszty eksploatacji taboru autobusowego w przedsiębiorstwach komunikacji samochodowej, *Autobusy – Przewoźnicy i systemy transportowe* 11, s. 22-24, 2013.
- Mysłowski J., Kołtun J.: Elastyczność tłokowych silników spalinowych, *Wydawnictwo Naukowo-Techniczne*, Warszawa, 2000.
- Oskarbski J., Biszko K.: Estimation of vehicle energy consumption at intersections using microscopic traffic models, *Energies* 16, 233, s. 1-35, 2023.
- PN-EN 590:2022-08 Paliwo do pojazdów samochodowych, Oleje napędowe, Wymagania i metody badań, 2022.
- Rakha H., Ding Y., Saerens B.: Impact of driver behavior on fuel consumption in conventional and hybrid electric vehicles using integrated tools, *Energy*, 41(1), s. 375-382, 2012.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia, 2002.
- Snyder J. P.: Map Projections - A Working Manual, U.S. Geological Survey Professional Paper 1395, United States Government Printing Office, Washington, 1987.
- Stefanowicz U.: Nielatwa droga do transportu publicznego bez emisji, <https://bank.pl/nielatwa-droga-do-transportu-publicznego-bez-emisji>, 2020.
- Wolska H.: Model jako forma poznania naukowego, *Próba zdefiniowania*, *Prawo i więź* nr 2 (45), s. 202353-71.

- Zacharof N., Fontaras G., Ciuffo B., Tsiakmakis S.: Review of in use factors affecting the fuel consumption and CO2 emissions of passenger cars, European Commission Joint Research Centre, 2016.
- Żebrowski J., Żebrowski Z.: Mechanika ciągników kołowych, Wydawnictwo ART, Olsztyn 1997.
- Żółtowski B., Niziński S.: Modelowanie procesów eksploatacji maszyn, Wydawnictwo MARKAR-B.Ż., Bydgoszcz-Sulejówek, 2002.

Adres do korespondencji: piotr.szczylak@uwm.edu.pl

ORCID: Piotr Szczylak 0000-0002-8218-1540
ORCID: Piotr Markowski 0000-0002-4390-788X
ORCID: Dariusz Choszcz 0000-0002-3119-9038

PROCES LOGISTYCZNY W MAGAZYNIE ZBOŻOWYM Z WYKORZYSTANIEM TECHNIK WIZYJNYCH

**Katarzyna Szwedziak¹, Małgorzata Florczak-Strama¹, Agata Krycia-Chomińska¹,
Marcin Pieczyński², Adam Busławski³**

¹ Akademia Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa, ul. Zamkowa 4, 58-300 Wałbrzych, Poland

² WSB Merito, ul. Augustyna Kośnego 72, 45-372, Opole, Poland

³ WSB Merito, ul. Fabryczna 29-31, 53-609, Wrocław, Poland

Wstęp

Zadaniem przemysłu zbożowego jest, oprócz przetwórstwa, także odpowiednie zabezpieczenie w czasie magazynowania, aby zachować odpowiednie właściwości i walory smakowe nasion. Do uzyskania takiego efektu przemysł dysponuje szeregiem technologii i procesów. W niektórych przypadkach oraz przy zastosowaniu niewłaściwych parametrów tych procesów, surowce mogą zmienić swoje cechy jakościowe, co będzie miało wpływ na produkt końcowy. Z tego względu ważne jest ciągle kontrolowanie jakości surowców i produktów spożywczych w czasie przechowywania, magazynowania oraz obróbki termicznej. Również ze względu na wzrost wymagań konsumentów należy wprowadzać programy ciągłej kontroli oceny jakości produktów oraz surowców. Należy także w sposób właściwy sklasyfikować surowce i dobrać odpowiednie metody kontroli jakości. Dla przykładu, inne cechy jakości powinny być brane pod uwagę dla warzyw, a inne dla owoców czy surowców, które nadają się wyłącznie do dalszego przetwórstwa, np. ziarno zbóż czy nasiona strączkowych¹.

Czynniki związane z jakością surowców to przede wszystkim cechy szczególne produktu, takie jak: barwa, kształt, stopień uszkodzenia przez szkodniki, stopień uszkodzeń mechanicznych, zanieczyszczenia. W związku z tym zachodzi konieczność opracowania innowacyjnej metody pozwalającej na określenie tych cech w łatwy, szybki i przystępny sposób².

Z oficjalnych raportów wynika, że 20% światowych zbiorów zbóż ulega zniszczeniu wskutek niewłaściwych warunków przechowywania. Głównymi przyczynami strat są: metabolizm nasion, aktywność szkodników zbożowych, niewłaściwe warunki przechowywania oraz transport. Niewątpliwie do takich nowoczesnych technik zaliczyć można komputerową analizę obrazu.²

¹ Tukiendorf M.: Sposoby oceny jakości mieszanin ziarnistych w zbiornikach, *Acta Scientiarum Polonorum, Technica Agraria*, 1(2), 51-59, 2002.

² Tadeusiewicz R., Korohoda P.: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, s. 13, 1997.

Wykorzystanie narzędzi wspomagających pozwala na wykrywanie i uwypuklenie elementów obrazu tak, aby stał się on czytelny dla ludzkiego oka. Podczas komputerowej analizy obrazu wykorzystuje się wiele, często skomplikowanych i abstrakcyjnych przekształceń powtarzalnych wielokrotnie. Komputerowa analiza służy do wydobywania z obrazu istotnych dla nas informacji.

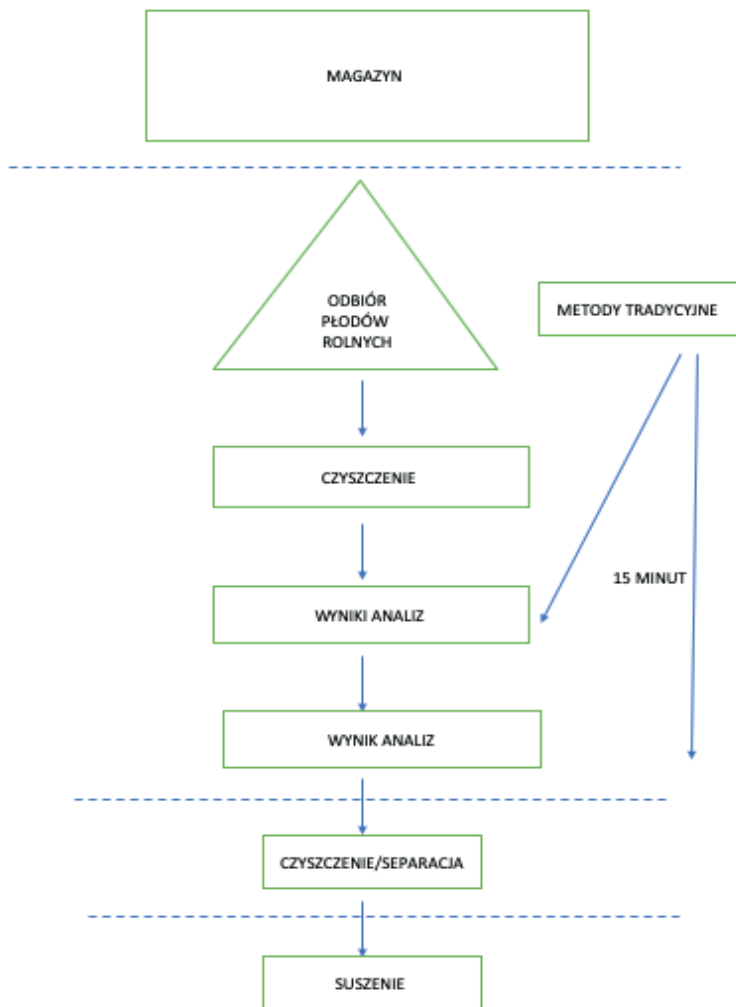
Podsumowując, można stwierdzić, że ocena produktów, ze szczególnym uwzględnieniem cech jakościowych branych pod uwagę w ocenie handlowej, odgrywa ważną rolę, ponieważ to ona wpływa na cenę i zadowolenie klienta. Opracowanie szybkiej i skutecznej metody jest jak najbardziej uzasadnione, gdyż pozwoli to na dokonywanie trafnych i szybkich obserwacji bez używania dodatkowo skomplikowanych metod laboratoryjnych. Komputerowa analiza obrazu i modelowanie neuronowe, mają ogromną przyszłość w przemyśle spożywczym i rolnictwie. Opracowanie szybkiej metody oceny jakości wpłynie również na zmianę prac logistycznych w magazynie zbożowym. Zatem istnieje konieczność opracowania nowego systemu prac logistycznych w zakładzie skupującym zboża. Celem niniejszej pracy jest ustalenie czy wdrożenie technik wizyjnych wpłynie pozytywnie na efektywniejsze sprawdzanie jakości i czystości zboża oraz usprawni pracę w magazynie zbożowym pod względem logistycznym.

Etapy prac logistycznych w magazynie zbożowym

Zadania, które należą do magazynów zbożowych są realizowane na drodze określonych procesów technologicznych, które dzielą się na etapy: ważenie, pobór prób, ocena składu i jakości, wyładunek, transport wewnątrz-elewarowy, suszenie, aspiracja, separacja i odbiór zanieczyszczeń, magazynowanie i konserwacja, redystrybucja.

Każda czynność w magazynie zbożowym jest odmienna, ale różnice, które między nimi występują są ważne ze względu na czas ich trwania oraz zakres wykonywanych zadań. Magazyn może funkcjonować prawidłowo wtedy, kiedy wszystkie zadania są wykonywane we właściwy sposób. Na rysunku 1 przedstawiono schemat prac logistycznych z uwzględnieniem oceny jakości przyjmowanego do magazynu surowca. W tradycyjnym ujęciu badania pod kątem jakości wykonuje się tylko w momencie przyjęcia surowca do magazynu w celu ustalenia ceny. Natomiast w czasie magazynowania tylko wybiórczo wykonuje się ocenę jakości. Takie podejście niesie za sobą konsekwencję związaną z częstym wykonywaniem zabiegów konserwacyjnych, które są kosztowne. Zatem istnieje konieczność poszukiwania rozwiązań, które pomogłyby w ograniczeniu stosowania zapobiegawczych środków konserwujących a tym samym pozwolą na szybkie rozpoznanie zagrożenia³.

³ Qian F., Zhong W., Du W.: Fundamental theories and key technologies for smart and optimal manufacturing in the process industry. Elsevier Engineering. Vpl.3, Issue 2, 154-160, 2017. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.02.011>



Rysunek 1. Schemat prac logistycznych w magazynie uwzględniający ocenę jakości w ujęciu tradycyjnym

Źródło: opracowanie własne

Metodyka badań

Badania przeprowadzone zostały w firmie zajmującej się magazynowaniem oraz skupem zboża w miesiącach od czerwca do września. Próby pobierane były dwa razy dziennie o tej samej porze dnia. Do badań pobierane były próbki magazynowanych ziaren pszenicy, rzepaku oraz kukurydzy. Dla każdego badanego ziarna zbóż i rzepaku przeprowadzone zostało

10 serii badań. Dla każdej serii pobrane zostało 50 prób ziarna pszenicy, rzepaku i kukurydzy. Podczas przeprowadzonych badań sprawdzana była wilgotność ziarna, temperatura oraz gęstość.

Do określania zanieczyszczeń w opisywanych zbożach wykorzystano mikroskopowanie okrywy nasiennej za pomocą specjalnego mikroskopu „Biolar”. Pojedyncza próbka pobierana była z dokładnością do 0,01 g i wynosiła 50 g. Próbkę pobierano zgodnie z PN-EN ISO 24333:2012. Badania zostały przeprowadzone na podstawie pracy w przedsiębiorstwie X o łącznej powierzchni 8,6139 ha. Zbadane zostały ziarna zbóż pszenicy, rzepaku oraz kukurydzy. Dane zboża przechowywane były w magazynach podłogowych o powierzchni użytkowej 1217,3 m², 1173 m² oraz 885 m².

Na terenie przedsiębiorstwa X znajdują się między innymi: budynek socjalny, budynek biurowy, budynek laboratorium, magazyny zbożowe, wiaty na ciągniki, warsztat mechaniczny, magazyn nawozów sztucznych, budynek handlowy, maszyny, sprzęt rolniczy oraz silosy zbożowe.

Magazyny, w których przetrzymywane są zboża wybudowane zostały w 2011 roku i są one wykonane ze stalowej konstrukcji z betonowymi fundamentami. Dach magazynów wykonany jest z blachy trapezowej i jest dwuspadowy.

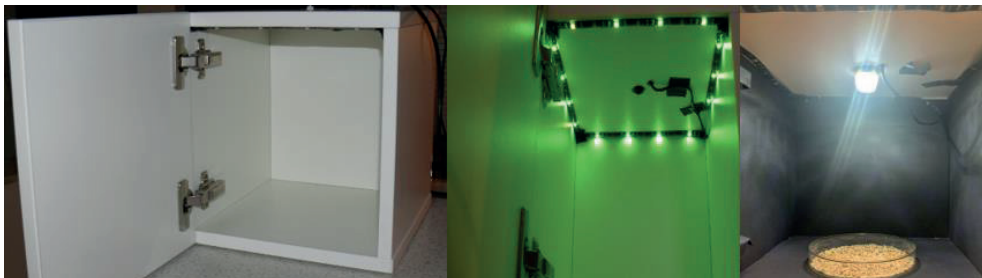
Metodyka oceny jakości wybranych parametrów za pomocą technik wizyjnych

Do określania zanieczyszczeń w opisywanych zbożach wykorzystano mikroskopowanie okrywy nasiennej za pomocą specjalnego mikroskopu „Biolar”. Pojedyncza próbka pobierana była z dokładnością do 0,01 g i wynosiła 50g. Dana próbka została wybrana z wcześniej pobranych próbek pierwotnych, które pobrane były za pomocą zgłębnika wielokomorowego w 25 miejscach magazynu zbożowego. Próbkę pobierano zgodnie z PN-EN ISO 24333:2012. Badania przeprowadzone zostały w miesiącach od czerwca do września w magazynach zbożowych na terenie zakładu X. Próby pobierane były dwa razy dziennie o tych samych godzinach (7:00 oraz 19:00). Do badań pobierane były próbki magazynowanych ziaren kukurydzy. Dla każdego badanego ziarna przeprowadzone zostało 10 serii badań. Dla każdej serii pobrane zostało 50 prób kukurydzy. Próby zostały pobrane za pomocą zgłębnika wielokomorowego o długości całkowitej 150 cm.

Schemat prac logistycznych w magazynie zbożowym z wykorzystaniem technik wizyjnych

Korzystanie z analizy obrazów w badaniach cech jakościowych zbóż nie jest już nowym podejściem. Natomiast posiada wiele zalet, a jedną z nich jest niezwykła dokładność oraz powtarzalność. Jest to jednak metoda bardzo wymagająca w zakresie warunków akwizycji obrazu. Istotne jest oświetlenie w zakresie temperatury barwowej, jak i natężenia. Ważna jest również konstrukcja źródła światła, tak aby badany obiekt oświetlony był równomiernie, z możliwie najmniejszym udziałem cieni i odbłyśków. W zakresie przygotowania stanowiska akwizycji obrazów zdecydowano się na przyjęcie rozwiązania kompaktowego, czyli takiego, który umożliwia obserwację obiektów o rozmiarze maksymalnym do 20 x 20 cm.

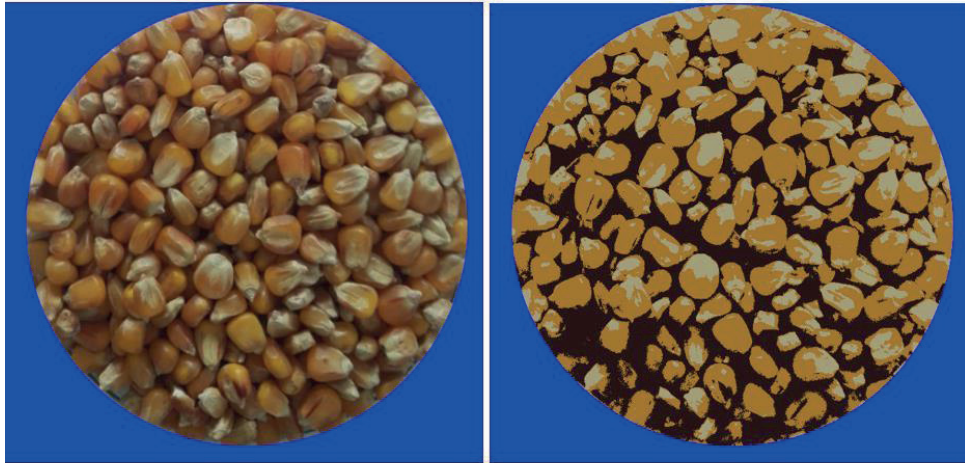
Prototypowe stanowisko składa się z: zamkniętej komory, w której wyeliminowany został dopływ światła zewnętrznego, układu oświetlenia LED, układu akwizycji obrazu o rozdzielczości 5 Mpx (rys. 2).



Rysunek 2. Stanowisko pomiarowe do komputerowej akwizycji obrazów

Źródło: opracowanie własne

Komora, do akwizycji obrazu wykonana została z białej płyty MDF. Istnieje możliwość otwierania przedniej ściany. Wymiar roboczy to 20 x 20 cm. Kolor komory został wybrany ze względu na to, że nie wchłania on żadnego światła. Układ oświetlenia oparto o płytkę sterowaną ANDURINO. Dana płytka steruje jednym układem oświetlenia LED RGB. Dzięki temu możliwe jest sterowanie oświetleniem w zakresie jego barwy. Zmiana barwy oświetlenia umożliwia lepsze uwypuklenie cech badanego ziarna. Ze względu na to, że przeprowadzone badania miały charakter prototypowy, narzędzia użyte do wykonania konstrukcji zostały pozostawione tak, aby możliwa była ewentualna manipulacja danymi komponentami. Zostały one umieszczone i zabezpieczone w górnej części komory akwizycji, tak aby możliwy był bezpośredni dostęp w razie awarii i ewentualnej potrzeby wymiany którejś z części. Proponowana metoda badań polega na automatycznej analizie obrazów. Bazą wejściową są obrazy graficzne. Akwizycja obrazów polega na wgraniu do specjalnego systemu komputerowego cyfrowej reprezentacji badanego zboża. Do oświetlania próbki zboża najczęściej wykorzystywane jest promieniowanie widzialne, które inaczej nazywane jest świetlnym. W tym momencie ważne jest dobranie odpowiedniego natężenia światła. Jeśli światło ma złe natężenie, lub jest pod złym kątem może to doprowadzić do złych odczytów. Powtarzalność obrazu ma kluczowe znaczenie w danej metodzie. Bardzo ważne jest, aby na oświetlanej próbce nie występowały żadne cienie ani obszary o podwyższonej jasności. Jeśli takie występują, istnieje ryzyko błędnych odczytów lub podejrzenie istnienia ciał obcych w próbce zboża. Pod względem cieni najlepsze jest oświetlenie wielopunktowe. Następnie obraz, który otrzymaliśmy po akwizycji wymaga przetworzenia. Przetwarzanie jest operacją, która składa się z wejścia i wyjścia i w obu przypadkach uzyskujemy obraz. Do podstawowych zadań zalicza się oddzielenie badanego obiektu od tła na jakim się znajduje. Nazywane jest to segmentacją. Ze względu na charakter stosowanej metody analizy morfologicznej obraz musi zostać zbinaryzowany. Oznacza to, że obraz został przekształcony z obrazu kolorowego do binarnego. Stworzona została aplikacja, dzięki której łatwo i szybko można rozpoznać zanieczyszczenia, jakie występują na okrywie owocowo – nasiennej ziarna.



	X	Y	Red	Green	Blue	Pixels	Share
	861	394	171	123	39	1888205	34,617 %
	465	143	0	0	255	1660046	30,434 %
	705	718	48	30	28	1311314	24,041 %
	1090	731	174	165	124	595027	10,909 %

Rysunek 3. Obraz przed segmentacją, po segmentacji oraz zliczenie klas

Źródło: opracowanie własne

Każdy z obszarów jest reprezentowany przez wskazany prostokąt, w którym znajdują się piksele podlegające uśrednieniu w zakresie wszystkich składowych. Powstaje w ten sposób pojedyncza wartość piksela stanowiąca podstawę do określania odległości barwnej między tym pikselem, a wszystkimi pikselami analizowanego obszaru. Oprogramowanie pozwala wybrać metrykę, w której obliczana jest odległość. Po dokonaniu wyboru obraz podlega automatycznej segmentacji na tyle obszarów ile założono obszarów referencyjnych. Po dokonanej segmentacji możliwe jest usunięcie wszystkich pikseli. Następnym krokiem jest przeprowadzenie binaryzacji. Tak przetworzony obraz stanowi dane wejściowe do procedury analizy morfologicznej. Aplikacja, która została stworzona służy do analizy, przetwarzania oraz rozpoznawania obrazów. Podstawową cechą danej aplikacji jest możliwość budowania skryptów przetwarzania obrazów. W aplikacji wbudowano język skryptowy, który umożliwia dokonywanie szeregu operacji graficznych. Program przystosowany jest do odczytu i zapisu obrazów w standardowych formatach graficznych jakimi są BMP oraz JPEG. Podstawową metodą przeznaczoną do przetwarzania obrazów w tej aplikacji są skrypty. Poszczególne polecenia można też wydawać przez wpisanie ich w linii komend. Do obsługi poleceń programu zaadoptowano język *Lua* będący wydajnym skryptowym językiem programowania. Polecenia należy wpisywać z uwzględnieniem nazwy obrazu, którego one mają dotyczyć. W celu ułatwienia programowania wprowadzono szereg mechanizmów. Jednym z nich jest domyślność części parametrów, co znacznie skraca czas pisania skryptów.

Polecenia podstawowej i zaawansowanej obróbki obrazów stanowią integralną część aplikacji APR, która zawiera m.in. specjalistyczne i unikalne autorskie rozwiązania m.in. z zakresu analizy morfologicznej sceny binarnej. Wybór APR podyktowany był względami zachowania spójności z dotychczas prowadzonymi badaniami oraz wydajnością tego narzędzia. APR posiada interfejsy, dzięki którym można tworzyć własne funkcje w języku C++. APR został zaprojektowany z myślą o wydajności obliczeniowej i silnym skupieniu się na aplikacjach czasu rzeczywistego. Napisany został w języku C++ w sposób umożliwiający wydajną analizę i przetwarzanie złożonych scen, a nawet sekwencji wideo. Jak już wspomniano, okno główne programu może zawierać kilka obrazów. Operacje na każdym z obrazów można dokonywać za pomocą komend, skryptów lub pomocniczego panelu, na którym znajdują się elementy dialogowe ułatwiające interakcję w programem. Okna obrazów posiadają własne menu, zakładki, pasek informacyjnych oraz panel pomocniczy. Po naciśnięciu przycisku zapisu lub odczytu obrazu pojawia się odpowiednie okno dialogowe, w którym można dokonać wyboru pliku. Program przystosowany jest do odczytu i zapisu obrazów w formacie BMP oraz JPG⁴.

⁴ Gliszczyńska-Świątło, A.:Chmielewski, J. Electronic Nose as a Tool for Monitoring the Authenticity of Food. ' A Review. Food Anal. Methods 10, 1800-1816, 2017.

Krótkiewicz M., Wojtkiewicz K.:Morphological Analysis of Binary Scene in APR Integrated Environment. In Computer Recognition Systems 3. pp. 135-138, 2009.

Li J., Liao G., Ou Z., Jin J. :Rapeseed seeds classification by machine vision. Intelligent Information Technology Application, 2007.

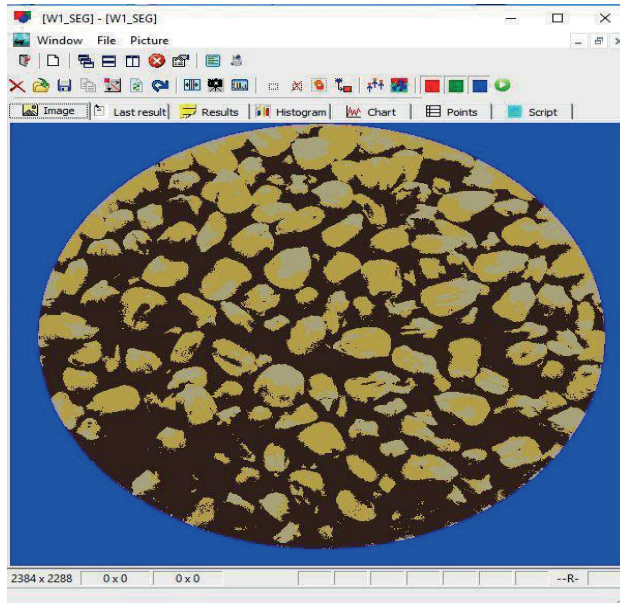
Szwedziak K. Krótkiewicz M.: Stanowisko do komputerowej analizy jakości produktów rolnospożywczych. In Inżynieria Rolnicza. pp. 429–435,2006.

Szwedziak K.:Innowacyjna metoda rozpoznawania wybranych cech jakościowych nasion z wykorzystaniem analizy obrazu i sztucznych sieci neuronowych (SSN), Inżynieria Rolnicza: R. 13, nr 4 (113), 2007.

Szwedziak K., Wojtkiewicz K.:Zastosowanie analizy morfologicznej w badaniu cech jakościowych ziarna. Inżynieria Rolnicza, 109-118, 2015.

Szwedziak K.:Artificial neural networks and computer image analysis of selected quality parameters of pea seeds. E3S Web of Conference Volume 132, Number 01027, Code 155125, 2019.

Visen N.S. Paliwal J., Jayas D.S., White N.D.G: Image analysis of bulk grain samples using neural networks. Canadian Biosystems Engineering. Vol. 46: 11-15,2004.



Rysunek 4. Okno - wynik segmentacji

Źródło: opracowanie własne

The image shows a software window titled "[W1_SEG] - [W1_SEG]". The main area displays a table with segmentation results. The table has columns for X, Y, Red, Green, Blue, Pixels, and Share. The data is as follows:

	X	Y	Red	Green	Blue	Pixels	Share
	1954	85	0	0	255	1660008	30,433 %
	1721	437	189	164	61	1260929	23,117 %
	1633	401	56	39	31	2010570	36,860 %
	1075	744	179	170	127	523085	9,590 %

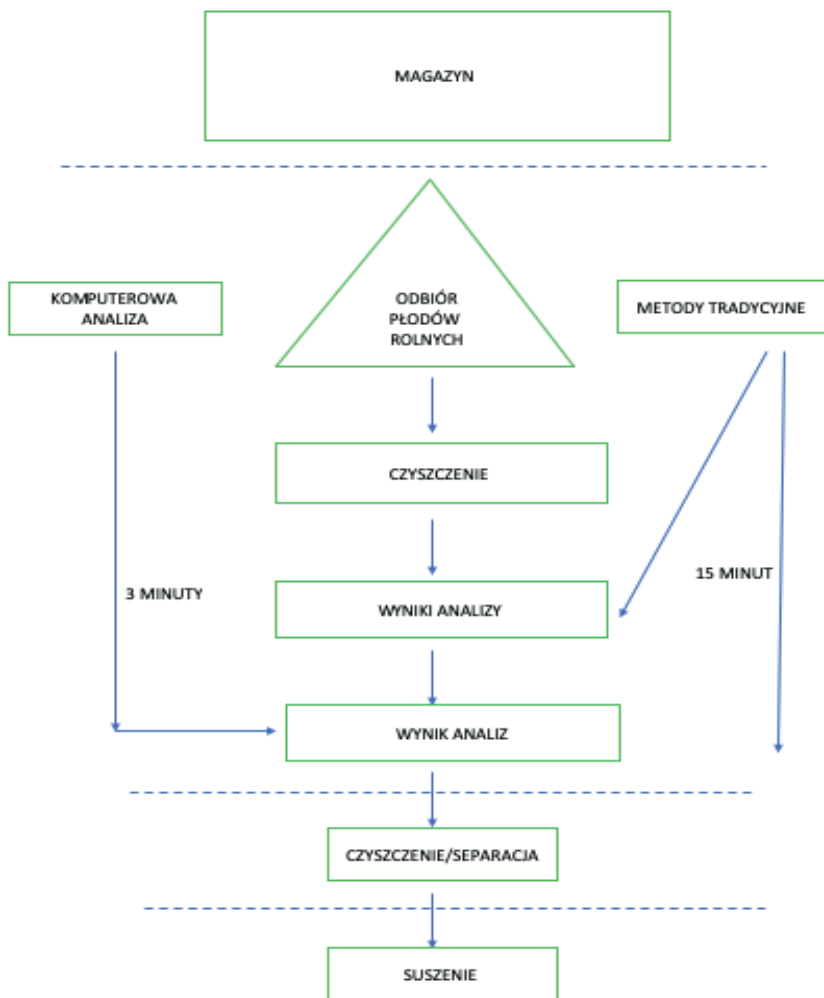
The status bar at the bottom indicates dimensions: 2384 x 2288, 581 x 0, 145 x 0, and R:0 G:0 B:255 I:85 H:240 S:100 V:255 --R-.

Rysunek 5. Okno - udział segmentacji

Źródło: opracowanie własne

Wyniki badań

Na podstawie wykonanych badań w magazynie zbożowym i uzyskanych wyników opracowano układ prac logistycznych z uwzględnieniem oceny jakości skupowanego surowca za pomocą technik wizyjnych. Na rysunku 6 przedstawiono schemat blokowy prac logistycznych w nowym ujęciu.



Rysunek 6. Schemat blokowy prac logistycznych w magazynie zbożowym z wykorzystaniem technik wizyjnych

Źródło: opracowanie własne

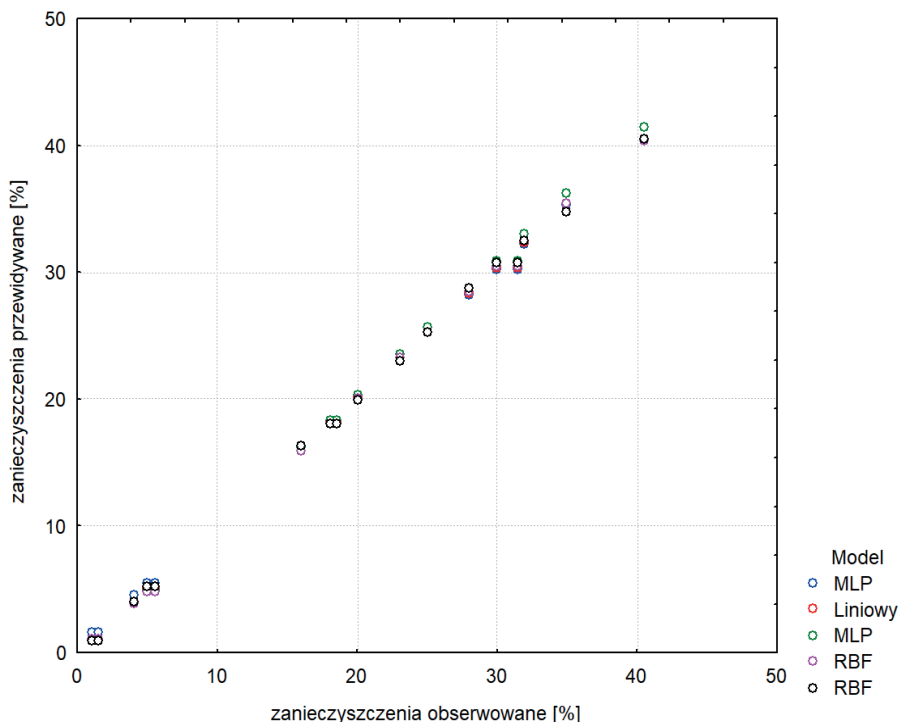
Badania zostały przeprowadzone równocześnie z aktualnie działającym systemem logistycznym. Dzięki temu możliwe było porównanie czasu przeprowadzanych badań, zarówno w działającym już systemie, jak i tym nowo wprowadzonym. Wdrożenie metody komputerowej analizy obrazu doprowadziło do usprawnienia procesu technologicznego na etapie ważenia, poboru prób oraz oceny jakości badanego zboża. Podczas przeprowadzonych badań dotyczących stanu zanieczyszczenia ziarna, na podstawie komputerowej analizy obrazu wykorzystując aplikację komputerową opartą na modelu analizy barw RGB, uzyskano procentową zawartość zanieczyszczeń jakie znajdowały się w masie ziarna. Dane uzyskane podczas eksperymentu zostały zestawione z doświadczalnymi danymi empirycznymi uzyskanymi w laboratorium przedsiębiorstwa wykonanymi przez laborantkę. Na podstawie uzyskanych wyników empirycznych wykorzystano modelowanie neuronowe wykorzystując Automatycznego Projektanta. Wybrano 2 modele sieci typu MLP, 2 modele sieci typu RBF oraz 1 model liniowy. Tabela 1 przedstawia charakterystyki wybranych modeli sieci neuronowych.

Tabela 1. Charakterystyki pięciu wygenerowanych modeli sieci neuronowych dla wariantu zanieczyszczeń w masie ziarna kukurydzy

Typ sieci	Schemat sieci	Jakość uczenia	Jakość walidacji	Jakość testowania	Błąd uczenia	Błąd walidacji	Błąd testowania	Ilość wejść	Ilość warstw ukrytych
Linowa	1:1-1:1	0,969	1,007	1,001	0,283	0,179	0,708	1	0
MLP	1:1-11-1:1	1,151	0,99	0,99	0,34	0,142	0,79	1	11
MLP*	1:1-11-1:1	1,293	0,97	0,99	0,378	0,141	0,775	1	11
RBF	1:1-2-1:3	0,678	0,565	0,825	0,106	0,047	0,266	1	2
RBF*	1:1-3-1:1	0,624	0,325	0,687	0,09	0,029	0,245	1	3

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie charakterystyk modeli sieci neuronowych wygenerowano wykres dopasowania modelu biorąc pod uwagę średnie przewidywane.



Rysunek 7. Dopasowanie modeli do danych przewidywanych

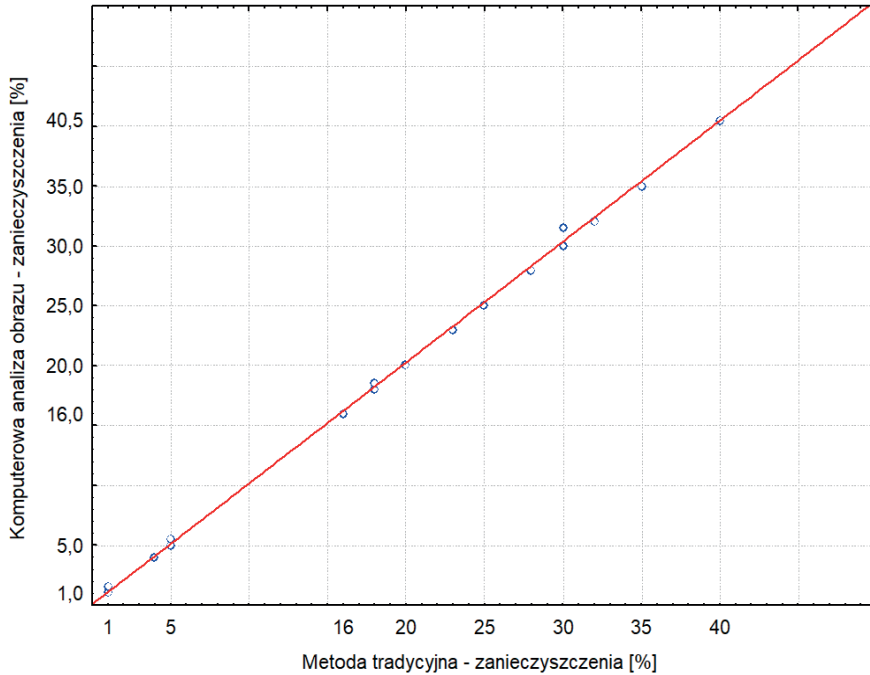
Źródło: opracowanie własne

Tabela 2. Współczynnik korelacji dla poszczególnych typów wygenerowanych sieci neuronowych

Typ modelu	MLP	Liniowy	RBF	RBF*	MLP*
Współczynnik korelacji	0,98	0,99	0,98	0,95	0,45

Na podstawie uzyskanych danych statystycznych można stwierdzić, że nie wszystkie analizowane typy modeli sieci neuronowych są dobrze dopasowane do analizy procentowej zawartości zanieczyszczeń w masie ziarna kukurydzy. Nie wszystkie przypadki uzyskały wysoki współczynnik korelacji. Widoczne są pewne różnice, szczególnie dotyczące modelu MLP i MLP*, które to uzyskały największą różnicę współczynnika korelacji na poziomie dla MLP – 0,98 oraz MLP* - 0,45. Jednak mimo wysokiego współczynnika korelacji model typu RBF wydaje się najmniej dopasowany, ponieważ wykres ma kształt ostro wygięty. Ten wniosek potwierdzają wykresy uwzględniające błąd dopasowania. Analizując wykresy dopasowania modeli oraz współczynniki korelacji można powiedzieć, że problem analizy zanieczyszczeń w masie ziarna kukurydzy najlepiej obrazuje model liniowy i MLP.

Dodatkowo wykonano na podstawie uzyskanych danych empirycznych dla obu metod określenia procentowej ilości zanieczyszczeń wykres dopasowania (rys. 8). Wykres ten sporządzono wykorzystując funkcję o ogólnej postaci: $y = a + bx$, R^2 wynosił 0,9999.



Rysunek 7. Wykres dopasowania danych empirycznych procentowego udziału zanieczyszczeń nasion pszenicy uzyskanych za pomocą analizy obrazu do danych empirycznych uzyskanych metodą tradycyjną (wagowo – sitową)

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowanie komputerowej analizy obrazu znacznie przyspieszyło ocenę jakości badanego zboża w porównaniu do metody tradycyjnej. Dzięki wprowadzeniu metody komputerowej analizy jakości ziarna nastąpiło usprawnienie organizacji procesu technologicznego na etapie ważenia, poboru prób, oceny składu i jakości zanieczyszczeń, czyszczeniu oraz suszeniu. Analiza zakłada porównanie dotychczasowej metody poboru prób oraz wdrożonej metody realizowanej podczas prowadzenia badań.

W ramach badania oceniono opłacalność eksperymentu wykorzystując wskaźnik zysku operacyjnego EBIT. Kluczowym elementem był czas przyjęcia towaru. Założeniem do analizy było, że firma w ciągu sezonu jest w stanie pracować 17 h/dobę. Średnio z doświadczenia i analizy zapisów przedsiębiorstwa wynika, że dział przyjęć przyjmuje około 70 transportów o tonażu 20 ton ziarna. Czas realizacji zadania metodą tradycyjną trwa około 15 min.

W przypadku wdrożenia nowej metody czas skracany jest do 3-5 minut przy jednym transporcie. Przy przyjętych założeniach laboratorium jest w stanie w tym samym czasie przyjąć 204 transporty 20 tonowe obsługując się nową metodą wizyjną.

Bibliografia

- Gliszczyńska-Świgło A.; Chmielewski J.: Electronic Nose as a Tool for Monitoring the Authenticity of Food. *A Review*. *Food Anal. Methods*, 10, 1800-1816, 2017.
- Krótkiewicz M., & Wojtkiewicz K.: Morphological Analysis of Binary Scene in APR Integrated Environment. In *Computer Recognition Systems 3*. pp. 135-138, 2009.
- Li J., Liao G., Ou Z., Jin J.: Rapeseed seeds classification by machine vision. *Intelligent Information Technology Application*, 2007.
- Qian F., Zhong W., Du W.: Fundamental theories and key technologies for smart and optimal manufacturing in the process industry. *Elsevier Engineering*. Vol.3, Issue 2, 154-160, 2017. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.02.011>
- Szwedziak K., Krótkiewicz M.: Stanowisko do komputerowej analizy jakości produktów rolnospożywczych. In *Inżynieria Rolnicza*. pp. 429-435, 2006.
- Szwedziak K.: Innowacyjna metoda rozpoznawania wybranych cech jakościowych nasion z wykorzystaniem analizy obrazu i sztucznych sieci neuronowych (SSN), *Inżynieria Rolnicza: R*. 13, nr 4 (113), 2009.
- Szwedziak K., Wojtkiewicz K.: Zastosowanie analizy morfologicznej w badaniu cech jakościowych ziarna. *Inżynieria Rolnicza*, 109-118, 2015.
- Szwedziak K.: Artificial neural networks and computer image analysis of selected quality parameters of pea seeds. *E3S Web of Conference Volume 132, Number 01027, Code 155125*, 2019.
- Tadeusiewicz R., Korohoda P.: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, s. 13, 1997.
- Tukiendorf M.: Sposoby oceny jakości mieszanin ziarnistych w zbiornikach, *Acta Scientiarum Polonorum, Technica Agraria*, 1 (2), 51-59, 2002
- Visen N.S. Paliwal J., Jayas D.S., White N.D.G.: Image analysis of bulk grain samples using neural networks. *Canadian Biosystems Engineering*. Vol. 46: 11-15, 2004.

Adres do korespondencji: k.szwedziak@ans.edu.pl

ORCID: Katarzyna Szwedziak 0000-0003-1104-5143

ORCID: Małgorzata Florczak-Strama 0009-0000-8709-9979

ORCID: Agata Krycia-Chomińska 0000-0003-2411-5497

ORCID: Adam Busłowski 0000-0002-6329-278X

ORCID: Marcin Pieczyński 0009-0007-8745-0133

OCENA PROCESÓW TRANSPORTOWYCH I PRACY KIEROWCÓW W WYBRANEJ FIRMIE

Agnieszka Szynol¹, Dariusz Kwaśniewski², Maciej Kuboń^{2,3}, Urszula Małaga-Toboła²,
Elżbieta Olech²

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

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

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

Wstęp

Zapotrzebowanie na transport towarów oraz osób stale wzrasta. Transport jest jedną z najważniejszych usług, które wpływają na rozwój gospodarki krajowej oraz międzynarodowej. W dzisiejszych czasach usługi logistyczne nabierają coraz większego znaczenia. Branża transportowo-spedycyjno-logistyczna charakteryzuje się zwiększoną intensywnością konkurencji, co powoduje, że tradycyjne metody konkurowania są mało efektywne. Dlatego też coraz większego znaczenia nabiera możliwość szybkiego i elastycznego dostosowywania się do potrzeb klientów poprzez tworzenie i wdrażanie innowacji, głównie w ramach współpracy z innymi jednostkami¹. Aby uzyskać lepsze wyniki finansowe istotna jest analiza wszystkich obszarów przedsiębiorstwa. Społeczeństwo ma coraz większą świadomość ekologiczną, a transport ma duży wpływ na stan środowiska co powoduje, iż coraz więcej firm decyduje się na bardziej ekologiczne rozwiązania. Konsumentci stawiają coraz większe wymagania odnośnie jak najkrótszego czasu dostawy oraz najmniejszej ceny produktów. Aby wspierać wymianę towarową, tworzyć nowe miejsca pracy i warunki sprzyjające koniunkturze gospodarka potrzebuje dobrze rozwiniętej sieci transportowej. Sieci transportowe są ważną częścią łańcucha dostaw i tworzą podstawy, umożliwiając efektywną dystrybucję towarów i przemieszczanie się ludzi. Transport stanowi podstawę procesu integracji wewnętrznej i zewnętrznej, co sprzyja zatrudnieniu i wzrostowi gospodarczemu².

¹ Dziekoński K., Chwiećko J.: Innowacyjność przedsiębiorstw z branży TSL, *Ekonomia i Zarządzanie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej. Vol 5. Nr 2. s. 176-193, 2013.

² Jakubiec M., Barcik A.: Wielowymiarowość zarządzania XXI wieku, *Monografia*. Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, 2018.

Współcześnie potrzeba transportowa jest niezbędna do funkcjonowania społeczeństwa w wielu dziedzinach życia. Potrzebę transportową można określić jako zgłaszaną przez gospodarkę narodową i społeczeństwo potencjalną, wyodrębnioną ofertę przemieszczania osób, ładunków oraz wiadomości w danym czasie na określonej odległość³.

Według Mądziela⁴ potrzeby transportowe mają różnorodny charakter oraz wynikają z subiektywnych przyczyn takich jak przejazdy: służbowe, pracownicze, do szkół. A także z obiektywnych przyczyn, do których zalicza się potrzeby realizacji procesu produkcyjnego, zmiany w zaopatrzeniu rynków oraz dystrybucji produktów, różnych wielkości obrotów i asortymentu w handlu.

Przy organizacji transportu coraz częściej zwraca się uwagę na czynniki takie jak ekologia, czy alternatywne gałęzie transportu, do których zalicza się transport kolejowy, morski, śródlądowy, lotniczy. Spedytor podczas organizacji transportu powinien dążyć do zaplanowania i zorganizowania procesu przewozowego, minimalizacji kosztów oraz osiągania maksymalnego zysku. Proces organizowania przewozu wymaga zastosowania się spedytora do wszystkich czynności, które zostały uwzględnione w procesie planowania, czyli dobór odpowiedniego środka transportu i kierowcy do wykonania określonego przewozu, a także wyznaczenie jak najlepszej trasy przewozu z punktu A do punktu B w systemie Just-in-Time⁵.

Jak twierdzi Gaschi-Uciecha⁶ prawidłowe zrealizowanie procesu transportowego nie zależy tylko od przestrzegania obowiązujących przepisów prawnych, ale także od jego organizacji oraz zaangażowania wszystkich uczestników tego procesu.

Przy organizacji transportu często wykorzystywany jest outsourcing, który według Grabowskiej⁷ rozumiany jest jako współpraca, będąca przedmiotem umowy, polegająca na przekazaniu przez przedsiębiorstwo realizacji funkcji logistycznych w ręce operatora logistycznego. Współpraca zawierana jest pomiędzy poszczególnymi przedsiębiorstwami i jest zazwyczaj długoterminowa. Ma ona za zadanie minimalizację kosztów logistycznych, podwyższenie jakości usługi, a także zaspokajanie różnych potrzeb klientów. Przed podjęciem decyzji o outsourcingu należy przeanalizować tę zmianę pod względem organizacji oraz finansów, a także ocenić korzyści i zagrożenia.

Aby przewożony towar nie stracił swoich właściwości podczas planowania powinno się wziąć pod uwagę podatność transportową danego ładunku, która jest określona jako wrażliwość ładunku na czynności zamierzone w transporcie, przy jednoczesnej odporności na ujemne ich skutki i warunki działania. Podatność transportową można rozpatrywać ze względu na cechy fizyczne, chemiczne i biologiczne – tzw. podatność naturalna, ze względu

³ Rucińska D.: Potrzeby transportowe, Transport: nowe wyzwania, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa. 2016.

⁴ Mądziel, M.: Potrzeby transportowe w odniesieniu do systemów komunikacji miejskiej, Autobusy numer 12. S. 1634-1636, 2016.

⁵ Łukasik Z., Kuśmińska-Fijałkowska A., Olszańska S.: Rola spedytora w organizacji procesu transportowego na rynku europejskim, Autobusy nr 6. s. 919-923, 2018.

⁶ Gaschi-Uciecha A.: Analiza i ocena procesu transportowego w wybranym przedsiębiorstwie sektora TSL Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie Z. 121. s. 11-123. 2018.

⁷ Grabowska J.: Outsourcing usług logistycznych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Z. 60. s. 83-96, 2012.

na wymiary, kształt i masę ładunku – tzw. podatność techniczna oraz ze względu na wartość towaru oraz ponoszone koszty jego przemieszczania – tzw. podatność ekonomiczna⁸.

Wągrowaska-Koski⁹ twierdzi, iż prężny rozwój licznych gałęzi gospodarki wpłynął na znaczne zwiększenie transportu drogowego, zarówno towarowego, jak i pasażerskiego. Postęp w motoryzacji skutkuje zwiększeniem się wypadkowości oraz natężenia ruchu. A natężenie ruchu związane jest m.in. z pracą kierowców. Praca kierowcy zaliczana jest do zawodów trudnych i niebezpiecznych ze względu na ryzyko narażenia życia lub zdrowia¹⁰. Praca ta wiąże się również ze szkodliwym dla zdrowia i życia nadmiernym obciążeniem psychicznym, które rzutuje zarówno na częstość absencji kierowców w pracy, jak i na niepokojącą liczbę wypadków na drogach. Istnieje więc ciągła potrzeba kontrolowania tej grupy zawodowej i przeprowadzania odpowiednich testów psychofizycznych przed zatrudnieniem osób na to stanowisko¹¹.

Systemy, które zwiększają bezpieczeństwo podczas jazdy według Gorzelańczyk i Kaczmarek¹² to między innymi:

- ABS (*Anti-Lock Braking System*) - zapobiega on blokowaniu kół podczas hamowania, co daje możliwość kierowcy do wykonania manewrów kierownicą,
- EBD (*Electronic Brakeforce Distribution*) - wspomaga skrócenie drogi hamowania, rejestruje siły, które wpływają na poszczególne koła, zostaje uruchomiony podczas mocnego przyciśnięcia pedału hamulca,
- BAS (*Brake Assist*) - wspomaga nagłe hamowanie w sytuacjach awaryjnych,
- ESP (*Electronic Stability Program*) - stabilizuje tor jazdy podczas zakrętu,
- ASR (*Anti-Slipping Control*) - kontroluje prędkości obrotowe kół, jeśli różnica kół napędzanych oraz nienapędzanych przekroczy wartość, która jest dopuszczalna, zmniejszony zostaje moment napędowy kół napędzanych.

Pojęcie eco-drivingu stało się w Polsce na przestrzeni ostatnich lat tematem bardzo popularnym, m.in. w związku z wysokimi cenami paliw oraz prowadzeniem akcji prospołecznych mających na celu uświadomienie kierowców w kwestii ekonomicznej eksploatacji pojazdów¹³. Eco-driving w tłumaczeniu na język polski oznacza ekologiczną jazdę. Poprzez

⁸ Lelen P., Wasiak M.: Współczynniki podatności transportowej ładunków szybko psujących się, Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, Wydział Transportu. Z. 117. s. 161-176, 2017.

⁹ Wągrowaska-Koski E.: Warunki pracy i narażenie na czynniki szkodliwe i uciążliwe w środowisku pracy kierowców. Zagrożenia zdrowia kierowców pojazdów silnikowych związane ze szkodliwymi i uciążliwymi warunkami środowiska pracy, Instytut Medycyny Pracy, Łódź, 2007.

¹⁰ Łuczak A.: Wymagania psychologiczne w doborze osób do zawodów trudnych i niebezpiecznych, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa. 2001, ISBN: 83-87354-61-9.

¹¹ Urbańska K., Żelazko A., Domagalska J., Nowak P.: Porównanie narażenia na stres i analiza sposobów radzenia sobie z nim wśród kierowców samochodów dostawczych i kierowców komunikacji miejskiej, Wyd. Medycyna Pracy. Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach. Nr 4. s. 455-466. 2016.

¹² Gorzelańczyk P., Kaczmarek Ł.: Wpływ nowoczesnych systemów informatycznych na eksploatację pojazdów osobowych, Autobusy numer 1-2. s. 211-215, 2019.

¹³ Orszulak B., Merkisz J., Andrzejewski M.: Ocena przydatności badań wykorzystujących symulator samochodowy do weryfikacji stosowania przez kierowców wytycznych eco-drivingu, Wyd. Polskie Towarzystwo Naukowe Silników Spalinowych, Czasopismo Combustion Engines. R. 54, nr 3. s. 805-809, 2015.

właściwe prowadzenie pojazdu, zmniejsza się zużycie części oraz paliwa, co wiąże się ściśle z korzyściami pieniężnymi i ekologicznymi. Eco-driving, oprócz prowadzenia pojazdu obejmuje także jego konserwację. Istnieje wiele czynników, które można wykonać, aby ulepszyć wydajność jazdy. Warunki ekonomicznej oraz ekologicznej jazdy to¹⁴:

- wyruszenie w drogę natychmiast po uruchomieniu silnika; silnik rozgrzewa się szybciej podczas jazdy, niż na postoju, gdzie zużywane jest niepotrzebnie paliwo oraz emitowany dwutlenek węgla do środowiska,
- hamowanie za pomocą silnika - podczas dojazdu do miejsca zatrzymania należy hamować poprzez redukcję biegów; pozwala to na zmniejszenie ilości zużytego paliwa oraz zmniejszenie zużycia hamulców,
- gaszenie silnika zalecane jest w momentach nie pozwalających na dalszą jazdę na przykład zator drogowy, czerwone światło na sygnalizacji świetlnej,
- energiczne przyspieszanie - należy rozpędzić samochód z wciśniętym pedałem gazu do $\frac{3}{4}$ głębokości; pomaga to w skróceniu czasu, w którym zużycie paliwa jest największe,
- unikanie szybkiego rozruchu lub gwałtownych zatrzymań,
- prowadzenie samochodu na najwyższym możliwym biegu - wysokie obroty powodują duże zużycie paliwa,
- zmniejszenie wagi przewożonego towaru - im większa waga przewożonego ładunku tym wyższe zużycie paliwa,
- należy utrzymać odpowiednie ciśnienie w oponach - zmniejszenie ciśnienia powoduje zwiększenie powierzchni tarcia oraz oporu, co powoduje zwiększenie ilości zużycia paliwa oraz większą eksploatację opon,
- unikanie dodatkowych bagażników dachowych - zwiększają one opór, co także powoduje zwiększenie spalania,
- zmniejszenie czasu zużycia klimatyzacji - zwiększa ona zużycie paliwa, nawet o $2 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$.

Do oceny organizacji transportu i pracy kierowców wykorzystywane jest często średnie zużycie paliwa z użyciem tempomatu oraz bez użycia tempomatu, a także brany jest pod uwagę styl jazdy kierowcy podczas jazdy oraz sposób hamowania i organizacji postoju.

Przykładowo - Gorzelańczyk i Kaczmarek¹⁵ w swojej pracy przedstawili badania na temat średniego zużycia paliwa z wykorzystaniem tempomatu. Polegały one na przejechaniu 30 km odcinka testowego, który znajdował się między miejscowościami Piła oraz Chodzież w ruchu pozamiejskim. Wyniki badań zostały odczytane z komputera pokładowego. Zostały wykonane trzy przejazdy, następnie obliczono z nich średnią arytmetyczną. Aby uzyskać podobny styl jazdy różnych pojazdów, kierowano nimi za pomocą technologii eco-driving, która wymusza na kierowcy płynną jazdę, czyli odpowiednie ekonomiczne techniki ruszania, jazdy oraz hamowania. W tej technologii najważniejsze jest zachowanie płynności ruchu (utrzymywanie stałej prędkości, unikanie gwałtownego hamowania i przyspieszania, płynne ruszanie oraz dokładna obserwacja otoczenia przez kierowcę).

¹⁴ Słowiński P., Burdzik R., Fołęga P. Eco-driving – nowe podejście do transportu w logistyce, Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej. Z.111. s. 501-510, 2016.

¹⁵ Gorzelańczyk P., Kaczmarek Ł.: Wpływ nowoczesnych systemów informatycznych na eksploatację pojazdów osobowych, Autobusy numer 1-2. s. 211-215, 2019.

Z kolei Smoleń i Starkowicz¹⁶ w swojej pracy przedstawili symulację działań algorytmu koncepcji systemu oceniającego styl jazdy w transporcie drogowym ładunków w oparciu o dane telematyczne, rejestrowane za pomocą terminalu GPS znajdującego się w pojeździe. System telematyczny wykorzystywany w monitorowaniu floty pojazdów samochodowych opiera się na wymianie danych między terminalem komunikacyjnym zainstalowanym w pojeździe, a serwerem odpowiadającym za przechowywanie i przetwarzanie danych. W artykule przedstawione zostały wskaźniki oceny, sposób ich pomiaru oraz algorytm, który ocenia styl jazdy kierowcy według techniki jazdy ecodriving. Kierowcy byli oceniani według określonych parametrów. Końcowa ocena jest wartością liczbową, co sprawia, iż wynik może być porównywany do pozostałych kierowców oraz wcześniejszych wyników ocenianego kierowcy. Symulacja została przeprowadzona na danych telematycznych udostępnionych przez przedsiębiorstwo z Małopolski. Ocenie zostało poddanych jedenastu kierowców. Rejestratorami danych jest akcelerometr, który mierzy przyspieszenie oraz lokalizator GPS określający pozycję geograficzną, kierunek jazdy, prędkość. Akcelerometr rejestruje także przyspieszenia, hamowania oraz pokonywanie zakrętów.

Odpowiedni styl jazdy kierowcy w realizowanych procesach znacząco wpływa na zmniejszenie kosztów transportu z korzyścią dla środowiska naturalnego. Eco-driving zmniejsza zużycie podzespołów pojazdu oraz zwiększa bezpieczeństwo na drogach. Natomiast analiza stylu jazdy i ocena pracy kierowców pozwala na usprawnienie realizowanych procesów transportowych oraz na wykrycie niekorzystnych nawyków kierowców, które prowadzą do zwiększenia kosztów transportu i zmniejszają sprawność procesów transportowych.

Cel, zakres i metodyka pracy

Celem pracy była ocena procesów transportowych oraz pracy kierowców w przedsiębiorstwie Morawiec Transport Sp. z o.o. z wykorzystaniem programu LeonSystem.

Zakresem pracy objęto ocenę realizacji procesów transportowych przez dziesięciu wybranych kierowców w firmie od grudnia 2020 do grudnia 2021 roku. Ocenie został poddany przejechany dystans, praca kierowców, zużycie paliwa z tempomatem oraz bez jego użycia, użycie pedału gazu przez kierowców, gwałtowne przyspieszenia oraz hamowania, hamowanie, liczba procesów transportowych w kraju i za granicą, masa przewiezionych ładunków w kraju i za granicą. Dane do pracy zostały zebrane poprzez kontakt z pracownikami firmy oraz przez przesłanie materiałów drogą mailową. Otrzymane dane przedstawiają rankingi ekologiczne na temat pracy kierowców podczas wykonywania procesów transportowych w okresie od grudnia 2020 do grudnia 2021.

W pracy zostały przeanalizowane procesy transportowe oraz praca wybranych 10 kierowców z wykorzystaniem następujących danych:

- liczba procesów transportowych w kraju i za granicą,
- masa przewiezionych ładunków w kraju i za granicą,

¹⁶ Smoleń P., Starkowicz W.: Koncepcja systemu oceniającego styl jazdy kierowcy w transporcie drogowym ładunków, Transport Miejski i Regionalny numer 8. s. 18-23, 2018.

- zużycie paliwa w badanym okresie,
- zużycie paliwa w badanym okresie z wykorzystaniem tempomatu,
- użycie pedału gazu przez kierowców,
- gwałtowne przyspieszenia,
- gwałtowne hamowania,
- hamowanie z użyciem hamulca silnikowego,
- przejechany w ciągu roku dystans przez kierowców.

W pracy przyjęto oznaczenia kierowców 1-10 według przypisanych do nich ciągników siodłowych. Program LeonSystem, którego właścicielem jest badane przedsiębiorstwo, wystawia ocenę poprzez wyliczenie średniej dla poszczególnych ocen parametrów, które zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry i skala ocen wykorzystywana do oceny pracy kierowców

Ocena	Ilość zużytego paliwa ponad normę	Ruch pedału przyspieszenia	Procentowy udział pracy silnika we właściwym zakresie	Gwałtowne przyspieszenia	Przekroczenia prędkości	Udział hamowania hamulcem silnikowym	Gwałtowne hamowania
-	(l)	(A*)	(%)	(zdarzenia)	(km·h ⁻¹)	(%)	(A*)
1	7,21-8	>80	<38	>63	>46	0-10	>28
2	6,41-7,2	70≥80	38-44	57-63	41-45	10-20	25-27
3	5,61-6,4	60≥70	45-51	50-56	36-40	21-30	22-24
4	4,81-5,6	50≥60	52-57	43-49	31-35	31-40	19-21
5	4,01-4,8	40≥50	58-64	36-42	26-30	41-50	16-18
6	3,21-4,0	30≥40	65-71	29-35	21-25	51-60	13-15
7	2,41-3,2	20≥30	72-78	22-28	15-20	61-70	10-12
8	1,61-2,4	10≥20	79-85	15-21	11-15	71-80	7-9
9	0,81-1,6	5≥10	86-92	8-14	6-10	81-90	4-6
10	0-0,8	≤5	93-100	0-7	<5	>90	0-3

Oznaczenia: A* - zdarzeń/100 km

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z firmy

Przedmiot badań

Przedmiotem badań było przedsiębiorstwo Morawiec Transport Sp. z o. o. oferujące profesjonalny transport ładunków na terenie Polski oraz Europy. Siedziba spółki znajduje się w Głogówku w województwie opolskim. Przedsiębiorstwo rozpoczęło działalność w roku 1990. Właściciel po zakupie samochodu ciężarowego marki Jelcz świadczył usługę przewozu węgla kopalnianego. Rok 1994 był istotny w historii firmy. Uzyskanie pełnoprawnego

członkostwa w Zrzeszeniu Międzynarodowym Przewoźników Drogowych w Polsce pozwoliło na realizowanie usług transportu międzynarodowego oraz spowodowało poszerzenie działalności o usługę transportu towaru do Niemiec.

Podpisanie kontraktu z firmą „Ceva Logistics” w roku 2004 pozwoliło na dalszy rozwój przedsiębiorstwa. Umowa dotyczyła transportu towaru z branży motoryzacyjnej oraz magazynowanie towaru, co zainicjowało budowę magazynu.

Dynamiczny rozwój przedsiębiorstwa spowodował, iż aktualnie spółka zatrudnia: 298 kierowców, 90 osób pracowników biurowych, 130 osób pracujących w warsztacie, na portierni, myjni, stacji paliw oraz osoby obsługujące wózki widłowe. Kadra jest kompetentna oraz wykwalifikowana, co gwarantuje przepływ ładunków w procesie transportowym na najwyższym poziomie.

W czerwcu 2021 roku przedsiębiorstwo otworzyło stację paliw Avia wraz z oddziałem hurtowej sprzedaży paliw. Znajduje się ona w miejscowości Rzepcze. Spółka posiada także oddział serwisu oraz sprzedaży opon.

W centrum logistycznym przedsiębiorstwa znajduje się także waga przejazdowa. Kierowcy podczas wjazdu oraz wyjazdu przejeżdżają przez nią, dzięki czemu portierzy mogą kontrolować całkowitą masę zestawu, pozwala to uniknąć przeładowania pojazdów przez błędnie wpisaną wagę w dokumentacji CMR.

W skład taboru przedsiębiorstwa wchodzi 302 ciągniki siodłowe, 5 cystern, 3 wywrotki, 23 ciągniki, za pomocą których wspomagana jest praca na terenie firmy np. przestawianie naczep, załadunki. Ponad połowę ciągników siodłowych, czyli 60% z wyżej wymienionych spełnia wymogi emisji spalin EURO 6. Pozostałe samochody ciężarowe, posiadają normę EURO 5, poruszają się głównie po terytorium Polski. Ma to związek z wprowadzonymi za granicą restrykcjami dotyczącymi norm spalin. Przedsiębiorstwo posiada także 362 naczepy. Naczepy typu MEGA w porównaniu do standardowej naczepy posiadają wyższą przestrzeń ładunkową wynoszącą trzy metry, co jest możliwe dzięki niższemu zawieszeniu. W naczepach typu MULDA przewożona jest stal walcowana. Naczepy te dysponują półokrągłym korytem oraz ich podłoga jest zdejmowana.

Spółka na ogół posiada stałe zlecenia, całkowicie dostosowuje się pod wymogi klienta. Przedsiębiorstwo przewozi głównie części samochodowe dla dużego koncernu motoryzacyjnego z siedzibą w Niemczech. Transportowane są takie części jak: silniki, klocki hamulcowe, szyby, pasy samochodowe, poduszki powietrzne, podsufitki, felgi.

Zagraniczne miejscowości, do których kierowcy transportują towar to najczęściej słowacka Bratysława, czeska Mladá Boleslav, Kvasiny oraz niemieckie Hanower, Wilhelmshaven, Emden, Wolfsburg, Kassel, Ingolstadt. Kierunki, w których przemieszczają się na terytorium Polski to Poznań, Wrocław, Rzeszów oraz Kraków. Kierowcy firmy przemieszczają się po stałych trasach, co pomaga w sprawnym, szybkim transporcie towarów.

Program komputerowy LeonSystem jest własnością przedsiębiorstwa Morawiec Transport Sp. z o.o., portal oferuje m.in.:

- monitoring GPS floty oraz naczep,
- historyczne dane dotyczące między innymi prędkości, masy pojazdu, sprawdzenia trasy pojazdu,
- raporty na temat paliwa, przekroczeń, tras, postojów dla całej floty, a także pojedynczych kierowców,

- gdy nastąpi taka konieczność kierowcy mogą zlokalizować kierowców w najbliższej okolicy,
- planowanie tras z uwzględnieniem masy oraz przesyłek ADR,
- identyfikacja numeru rejestracyjnego naczepy (pozwala sprawdzić spedytorom, czy w trasę została zabrana odpowiednia naczepa),
- pobieranie informacji z tachografu,
- wysyłanie wiadomości do kierowców,
- rankingi ekologiczne¹⁷.

Charakterystyka środków transportowych

W tabeli 2 przedstawiono charakterystykę wybranych dziesięciu samochodów realizujących procesy transportowe w przedsiębiorstwie.

Tabela 2. Charakterystyka wybranych samochodów realizujących procesy transportowe

Kierowca	Samochód		Moc silnika (KM)	Dopuszczalna masa całkowita (ciągnik/zestaw) (t)	Zbiornik paliwa (l)	Rok produkcji (-)
	Marka	Typ				
	(-)	(-)				
1	MAN	TGX 18.460	460	19/44	2 x 480	2017
2	MAN	TGX 18.440	440	20,5/40	2 x 580	2015
3	MAN	TGX 18. 500	500	18,8/40	2 x 580	2018
4	MAN	TGX 18.440	440	18/44	2 x 580	2016
5	SCANIA	R450	450	18/42	400	2018
6	SCANIA	R450	450	18/42	400	2018
7	VOLVO	FH 500	510	18,2/44	2 x 800	2017
8	VOLVO	FH 460	460	18,2/44	510 + 450	2020
9	VOLVO	FH 460	460	18,2/44	610 + 570	2021
10	VOLVO	FH 460	460	18,2/44	610 + 570	2021

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z firmy

Każdy kierowca porusza się za pomocą przypisanego do niego ciągnika siodłowego. W tabeli zostały zestawione marki i typy oraz rok produkcji samochodów użytkowanych przez ocenianych kierowców. Dla każdego z samochodów pokazano także moc silnika. Największą moc silnika posiada Volvo FH 500 (510 KM), którym przemieszcza się kierowca numer 7, a najmniejszą mocą dysponuje MAN TGX 18.440 (440 KM). Samochodem tej marki poruszają się kierowcy 2 oraz 4. Ciągniki siodłowe posiadają różne dopuszczalne masy całkowite. Największe dopuszczalne masy całkowite dla zestawu, czyli ciągnika z naczepą posiadają samochody marki Volvo. W tabeli zamieszczono także pojemność zbiorników

¹⁷ Informacje z firmy oraz strony firmy Morawiec Transport Sp. z o.o.: www.transportmorawiec.pl

paliwa. Kierowca numer 7 porusza się pojazdem posiadającym największy zbiornik paliwa (2 x 800 l). Posiadanie podwójnego zbiornika paliwa w ciągniku siodłowym wpływa na oszczędności finansowe oraz czasowe. Powiększony zbiornik paliwa pozwala zmniejszyć ilość koniecznych postojów w celu tankowania. Samochody różnią się także rokiem produkcji. Najnowszymi są ciągniki siodłowe marki Volvo, którymi poruszają się kierowcy 9 oraz 10. Zostały one wyprodukowane w roku 2021, ich moc silnika to 460 KM. Posiadają dwa zbiorniki paliwa o pojemności 610 oraz 570 litrów.

Realizowane procesy transportowe

W przedsiębiorstwie Morawiec Transport Sp. z o.o. odbywają się transporty towarów w kraju oraz za granicą. Liczbę oraz strukturę realizowanych krajowych oraz międzynarodowych procesów transportowych przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Liczba i struktura realizowanych procesów transportowych

Kierowca	Transport			Struktura transportu	
	międzynarodowy	krajowy	razem	międzynarodowy	krajowy
	(szt.)			(%)	
1	69	121	190	36,3	63,7
2	66	92	158	41,8	58,2
3	68	101	169	40,2	59,8
4	132	182	314	42,0	58,0
5	61	136	197	31,0	69,0
6	82	141	223	36,8	63,2
7	80	110	190	42,1	57,9
8	63	84	147	42,9	57,1
9	40	93	133	30,1	69,9
10	46	57	103	44,7	55,3
Minimum	40	57	103	30,1	55,3
Średnia	71	112	182	39,8	61,2
Maximum	132	182	314	45,7	70,9
Odch. stand.	24	33	55	-	-
Zmienność (%)	34	30	30	-	-

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z firmy

Z zestawionych w tabeli danych wynika, iż w okresie od grudnia 2020 do grudnia 2021 kierowcy zrealizowali średnio 182 procesy transportowe. Najwięcej, czyli 314 wykonał kierowca 4. W transporcie międzynarodowym zrealizował on 132 przewozy, a w krajowym 182. Kierowca 6 wykonał drugą w kolejności największą liczbę transportów – 223 (w tym 82 międzynarodowe oraz 141 krajowe). Kierowca 10 zrealizował najmniej w porównaniu do

reszty ocenianych, to jest 103 przewozy. Wykonał on 46 międzynarodowych oraz 57 krajowych transportów. Oceniani kierowcy zrealizowali średnio 71 wyjazdów zagranicznych oraz 112 krajowych.

Należy podkreślić, że kierowca 5 oraz 9 wykonali po około 70% transportów krajowych z wszystkich wykonanych przewozów. Można zauważyć, iż wykonali oni procentowo najmniej transportów międzynarodowych, czyli po około 30%. Natomiast kierowcy 2, 3, 4, 7, 8, 10 zrealizowali około 40% transportów międzynarodowych spośród wszystkich realizowanych procesów transportowych.

W tabeli 4 przedstawiona została masa i struktura przewiezionych ładunków w kraju i za granicą przez poszczególnych kierowców.

Tabela 4. Masa i struktura przewiezionych ładunków w kraju i za granicą

Kierowca	Transport			Struktura transportu	
	międzynarodowy	krajowy	razem	międzynarodowy	krajowy
	(t)			(%)	
1	1034	755	1789	57,8	42,2
2	1045	509	1554	67,2	32,8
3	1084	658	1742	62,2	37,8
4	2340	1427	3767	62,1	37,9
5	912	886	1798	50,7	49,3
6	1323	914	2236	59,1	40,9
7	1256	684	1941	64,7	35,3
8	902	537	1439	62,7	37,3
9	544	610	1154	47,1	52,9
10	716	514	1230	58,2	41,8
Minimum	544	509	1154	47,1	32,8
Średnia	1115	749	1865	59,2	40,8
Maximum	2340	1427	3767	62,2	37,9
Odch. stand.	463	264	705	-	-
Zmienność (%)	42	35	38	-	-

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z firmy

W czasie realizowanych procesów transportowych krajowych i zagranicznych kierowcy przewieźli średnio 1865 t ładunków. Kierowca 4 w okresie od grudnia 2020 do grudnia 2021 przewieźł ładunki, których masa wynosiła najwięcej, czyli 3767 t. W transporcie międzynarodowym przemieszczał ładunki o masie 2340 t (62,1%), a w krajowym 1427 t (37,9%). Najmniej przetransportował kierowca 9 przewożąc w sumie 1154 t ładunków.

Biorąc pod uwagę strukturę przewiezionych ładunków należy stwierdzić, że kierowcy 1-8 oraz 10 przewieźli większą masę ładunków w transporcie międzynarodowym w porównaniu do transportu krajowego. Natomiast kierowca 9, jako jedyny, przewieźł większą masę ładunków na terenie kraju 52,9%.

Zużycie paliwa w procesach transportowych

W tabeli 5 pokazano zużycie paliwa przez ciągniki siodłowe badanych kierowców w okresie od grudnia 2020 do grudnia 2021.

Tabela 5. Zużycie paliwa w badanym okresie

Kierowca	Zużycie paliwa	Zużycie na postoju	Zużycie paliwa w trakcie jazdy
	(l·100 km ⁻¹)	(l)	(l·100 km ⁻¹)
1	32,3	395,1	32,0
2	24,5	320,6	24,2
3	28,5	437,8	28,1
4	36,9	313,3	36,5
5	24,2	230,1	24,1
6	28,3	256,3	25,1
7	28,5	268,3	28,3
8	23,5	195,3	23,4
9	23,7	275,4	23,4
10	25,3	162,8	25,1
Minimum	23,5	162,8	23,4
Średnia	27,6	285,5	27,0
Maximum	36,9	437,8	36,5
Odch. stand.	4,1	80,4	4,1
Zmienność (%)	14,9	28,2	15,2

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z firmy

Kierowcy zużywali średnio 27,6 litrów paliwa na 100 km. Kierowca 8 wykorzystał najmniej paliwa - 23,5 l·100 km⁻¹, a kierowca 4 najwięcej (czyli 36,9 l·100 km⁻¹). Średnie zużycie paliwa w trakcie postoju to 285,5 l. Największą ilość paliwa podczas postojów użył kierowca 3 (437,8), a najmniejszą kierowca 10, czyli 162,8 l. Najmniej paliwa w trakcie jazdy zużywał kierowca 8 (23,4 l·100 km⁻¹), a największą, czyli 36,5 l·100 km⁻¹, wykorzystał kierowca 4. Prowadzący badanych pojazdów podczas jazdy zużyli średnio 27 l·100 km⁻¹.

Zużycie paliwa przez 10 ciągników siodłowych w badanym okresie z wykorzystaniem tempomatu oraz bez tempomatu zostało pokazane w tabeli 6. A struktura dystansu przejechanego z tempomatem i bez tempomatu została zamieszczona na rysunku 1.

Tabela 6. Zużycie paliwa w badanym okresie z wykorzystaniem tempomatu

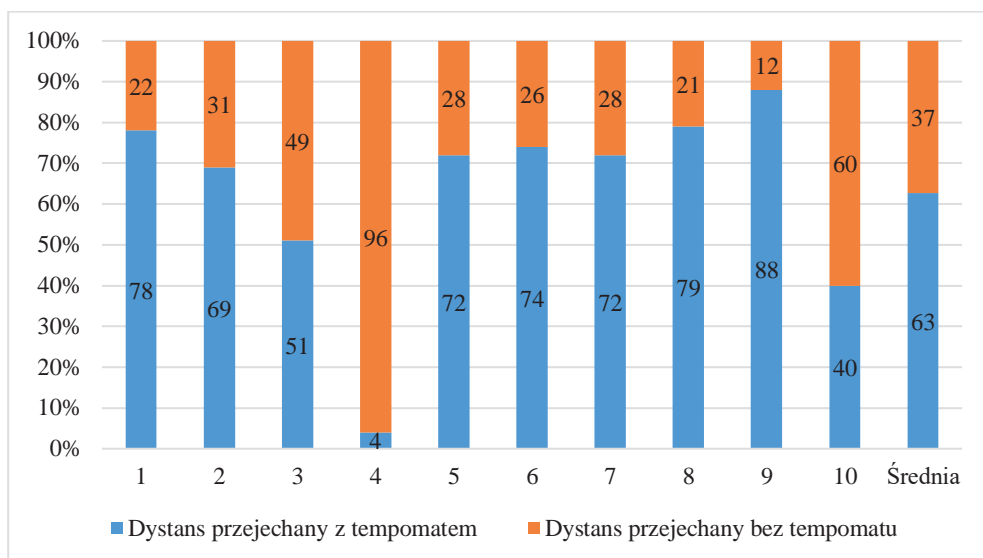
Kierowca	Dystans przejechany z tempomatem	Zużycie paliwa z tempomatem		Dystans przejechany bez tempomatu	Zużycie paliwa bez tempomatu	
		(l)	(l·100 km ⁻¹)		(l)	(l·100 km ⁻¹)
-	(km)	(l)	(l·100 km ⁻¹)	(km)	(l)	(l·100 km ⁻¹)
1	104834	30327	29	28042	12586	45
2	78906	17572	22	34701	10262	30
3	67270	17535	26	63569	19711	31
4	3786	1194	32	83581	31033	37
5	105485	23322	22	39682	11822	30
6	96136	22654	24	32291	9807	30
7	102253	27458	27	39174	12859	33
8	98729	22744	23	25709	6509	25
9	90222	21479	24	12251	2765	23
10	28068	6707	24	41337	10874	26
Minimum	3786	1194	22	12251	2765	23
Średnia	77569	19099	25	40034	12823	31
Maximum	105485	30327	32	83581	31033	45
Odch. stand.	33297	8511	3	19136	7352	6
Zmienność (%)	43	45	12	48	57	19

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z firmy

Największy dystans 105485 km z tempomatem przejechał kierowca 5, co w strukturze dało 72%, a najmniejszą odległość z jego wykorzystaniem przebył kierowca 4, było to 3786 km, czyli zaledwie 4% przejechanej odległości podczas badanego okresu. 96% dystansu kierowca 4 przejechał bez wykorzystania tempomatu. Kierowcy średnio 37% trasy przejeżdżali bez używania tempomatu. Największy udział wykorzystania tempomatu w całej trasie miał kierowca 9, było to aż 88%. Zatem przejechał on bez urządzenia tylko 12% całego dystansu. Prowadzący pojazdy podczas badanego okresu z urządzeniem utrzymującym stałą prędkość przejeżdżali średnio 77569 km.

Najwięcej litrów paliwa z zastosowanym urządzeniem do utrzymywania stałej prędkości pojazdu podczas badanego okresu zużył kierowca 1 wykorzystując 30327 litrów, a minimalną ilość paliwa spożytkował kierowca 4, czyli 1194 litrów. Średnie wykorzystanie paliwa z wykorzystaniem tempomatu podczas badanego okresu to 25 l·100 km⁻¹. Najmniejsze spalanie paliwa z urządzeniem osiągnął kierowca 5 (22 l·100 km⁻¹), a największe kierowca 4 (32 l·100 km⁻¹). Zużycie paliwa bez zastosowania tempomatu wynosiło średnio 31 l. Jak wynika z uzyskanych wyników najmniejsze zużycie paliwa bez tempomatu to 23 l·100 km⁻¹ (osiągnął je kierowca 9). Natomiast największe zużycie paliwa bez tempomatu miał kierowca

l (45 l·100 km⁻¹). Kierowcy podczas badanego okresu zużyli średnio 12823 litrów paliwa bez wykorzystania tempomatu.



Rysunek 1. Struktura dystansu przejechanego z tempomatem oraz bez jego wykorzystania

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z firmy

Analiza techniki jazdy kierowców

Jazda kierowców została przeanalizowana pod kątem czasu użycia pedału gazu, gwałtownych przyspieszeń, gwałtownych hamowań oraz hamowania z udziałem silnika i za pomocą hamulca zasadniczego. Strukturę użycia pedału gazu oraz czas i liczbę kickdownów podczas badanego okresu od grudnia 2020 do grudnia 2021 zamieszczono w tabeli 7.

Z danych w tabeli wynika, iż kierowca 9 najwięcej czasu, czyli 95,57% wśród badanych kierowców naciskał pedał gazu z mocą w przedziale 1-30%. W tym samym przedziale oceniani kierowcy używali pedału gazu średnio w 70,6% czasu. W przedziale 31-69% mocy naciskania pedału gazu najwięcej czasu 26,95% używał pedału gazu kierowca 4, a najmniej 4,16% kierowca 9. Średnio w tym przedziale naciskania pedału kierowcy używali go w 11,92% czasu. Kierowca 1 używał najwięcej czasu (30,99%) pedału gazu w przedziale mocy naciskania 70-100%, a kierowca 9 używał go w tym samym przedziale tylko w 0,25% czasu. Średnio kierowcy używali go z taką mocą naciskania przez 13,1% czasu.

Kickdown jest to funkcja, która wymusza redukcję biegu. Jest pomocna na przykład podczas wyprzedzania innego samochodu. Po maksymalnym naciśnięciu pedału gazu, następuje redukcja biegu pozwalająca na wyprzedzenie pojazdu. Lekkie zwolnienie pedału przyspieszenia powoduje powrót do wyższego biegu. Program sterujący pracą skrzyni biegów zabezpiecza przed zbyt dużym wzrostem prędkości obrotów silnika. Wymuszona redukcja biegów nie jest możliwa, ponieważ mogłaby spowodować uszkodzenie silnika.

Tabela 7. Użycie pedału gazu przez kierowców i liczba kickdownów

Kierowca	Struktura czasu użycia pedału gazu			Czas jazdy z kickdown	Liczba kickdownów
	1-30%	31-69%	70-100%		
-	(%)	(%)	(%)	(%)	(liczba· 100 km ⁻¹)
1	58,15	9,74	30,99	1,12	265
2	68,61	12,22	19,16	0,01	131
3	60,08	15,14	17,99	6,79	165
4	44,43	26,95	28,62	0	194
5	70,20	11,08	8,21	10,51	359
6	78,84	9,57	6,75	4,84	229
7	80,56	10,8	8,64	0	80
8	85,58	8,26	1,96	4,20	122
9	95,57	4,16	0,25	0,02	1
10	63,98	11,27	8,42	16,33	845
Minimum	44,43	4,16	0,25	0,00	1
Średnia	70,60	11,92	13,10	4,38	239
Maximum	95,57	26,95	30,99	16,33	845
Odch. stand.	14,19	5,68	10,08	5,23	223
Zmienność (%)	20,10	47,66	76,98	119,35	93

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z firmy

Badani kierowcy średnio używali go przez 4,38% czasu. Najdłużej (16,33%) z tą funkcją poruszał się kierowca 10. Średnio na 100 km kierowcy wykorzystywali tą funkcję 239 razy. Najwięcej razy wykorzystywał ją kierowca 10, czyli 845, a najmniej (tylko 1) kierowca 9.

Gwałtowne przyspieszenia, z podziałem na przedziały w km·h⁻¹, w badanym okresie zostały przedstawione w tabeli 8.

Gwałtowne przyspieszenia zostały przedstawione w kilku przedziałach. Przyspieszeń o 1-3 km·h⁻¹ w badanym okresie najczęściej (95,2%) wykonał kierowca 8, a najmniej kierowca 1, czyli 89,92%. Średnio kierowcy gwałtownie przyspieszali o 1-3 km·h⁻¹ 92,03%. Gwałtownych przyspieszeń o 3-6 km·h⁻¹ kierowcy średnio wykonywali 6,99%. Najmniej, bo 4,35% gwałtownie przyspieszał kierowca 8, a najczęściej kierowca 4. O 6-9 km·h⁻¹ kierowcy gwałtownie przyspieszali średnio 0,85% razy, a o 9-12 km·h⁻¹ 0,11%. O tyle samo najmniej gwałtownie przyspieszał kierowca 9 bo 0,03% razy, a najczęściej 0,19% kierowca 3. W przedziale 12 do 15 km·h⁻¹ gwałtownie nie przyspieszał kierowca 5. Najwięcej takich przyspieszeń (0,03%) wykonał kierowca 6. Uśredniając badani kierowcy wykonywali 0,01% takich przyspieszeń.

Tabela 8. Gwałtowne przyspieszenia podczas jazdy

Kierowca	Gwałtowne przyspieszenia i przedziały				
	1-3 km·h ⁻¹	3-6 km·h ⁻¹	6-9 km·h ⁻¹	9-12 km·h ⁻¹	12-15 km·h ⁻¹
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	89,92	8,69	1,25	0,14	0,01
2	92,54	6,69	0,68	0,08	0,01
3	91,60	6,99	1,19	0,19	0,02
4	89,97	9,03	0,88	0,11	0,02
5	93,56	5,73	0,66	0,06	0
6	90,91	7,67	1,21	0,18	0,03
7	92,04	6,86	0,96	0,14	0,01
8	95,2	4,35	0,39	0,05	0,01
9	93,87	5,69	0,39	0,03	0,02
10	90,70	8,22	0,93	0,14	0,02
Minimum	89,92	4,35	0,39	0,03	0
Średnia	92,03	6,99	0,85	0,11	0,01
Maximum	95,20	9,03	1,25	0,19	0,03
Odch. stand.	1,67	1,39	0,30	0,05	0,01
Zmienność (%)	1,82	19,91	35,37	46,70	53,75

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z firmy

Gwałtowne hamowania zostały pokazane w tabeli 9. Średnio kierowcy gwałtownie hamowali w 88,14% przypadkach o 1-3 km·h⁻¹. Najwięcej takich hamowań wykonał kierowca 8 (91,19%), a najmniej 82,64% kierowca 4. O 3-6 km·h⁻¹ kierowcy średnio gwałtownie hamowali w 8,73%. Kierowca 6 najczęściej razy (0,82%) gwałtownie hamował o 9-12 km·h⁻¹, a kierowca 8 0,25% razy. Gwałtownych hamowań o 12-15 km·h⁻¹ wykonał najczęściej spośród badanych kierowców kierowca 6 (0,11%), a najmniej 0,04% kierowca 10.

Udział hamowania hamulcem silnikowym, hamulcem zasadniczym oraz liczbę naciśnień hamulca na 100 km·h⁻¹ w badanym okresie wśród kierowców pokazano w tabeli 10. Z danych wynika, iż średni udział hamowania hamulcem silnikowym to 29,6%. Największy udział użycia hamulca silnikowego miał kierowca 4, czyli 62%, a najmniejszy (12%) kierowca 9. Jednocześnie najmniejszy udział hamowania hamulcem zasadniczym osiągnął kierowca 4 (38%), a kierowca 9 największy (88%). Udział hamowania hamulcem zasadniczym u wszystkich kierowców wynosił średnio 70,4%. Prowadzący pojazdy średnio podczas 100 km naciskali hamulec 30,6 razy. Najmniej razy na 100 km hamulec nacisnął kierowca 9 - tylko 12 naciśnień, najczęściej zaś (72 razy) pedału hamulca używał kierowca 4.

Tabela 9. Gwałtowne hamowania podczas jazdy

Kierowca	Gwałtowne hamowania i przedziały				
	1-3 km·h ⁻¹	3-6 km·h ⁻¹	6-9 km·h ⁻¹	9-12 km·h ⁻¹	12-15 km·h ⁻¹
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	84,99	10,49	3,63	0,81	0,08
2	87,44	9,42	2,55	0,51	0,08
3	88,54	7,99	2,60	0,76	0,11
4	82,64	13,54	3,23	0,53	0,07
5	89,91	7,20	2,37	0,46	0,05
6	88,45	7,72	2,90	0,82	0,11
7	89,45	7,24	2,69	0,58	0,04
8	91,19	7,20	1,31	0,25	0,04
9	89,74	7,92	1,93	0,35	0,05
10	89,01	8,57	2,00	0,37	0,04
Minimum	82,64	7,20	1,31	0,25	0,04
Średnia	88,14	8,73	2,52	0,54	0,07
Maximum	91,19	13,54	3,63	0,82	0,11
Odch. stand.	2,42	1,89	0,63	0,19	0,03
Zmienność (%)	2,74	21,69	25,16	34,76	38,95

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z firmy

Tabela 10. Hamowanie

Kierowca	Hamowanie		
	Udział hamowania hamulcem silnikowym	Udział hamowania hamulcem zasadniczym	Liczba naciśnień hamulca
	(%)	(%)	(liczba·100 km ⁻¹)
1	37	63	28
2	29	71	26
3	40	60	42
4	62	38	72
5	27	73	21
6	26	74	28
7	20	80	19
8	14	86	19
9	12	88	12
10	29	71	39
Minimum	12	38	12
Średnia	29,6	70,4	30,6
Maximum	62	88	72
Odch. stand.	13,7	13,7	16,3
Zmienność (%)	46,3	19,5	53,3

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z firmy

Ocena pracy kierowców

W tabeli 11 przedstawiono przejechany dystans, średnią prędkość, masę zestawu, wzniesienie, ocenę wystawioną przez program oraz trend dla dziesięciu badanych kierowców. Ocena została wykonana przez program LeonSystem.

Tabela 11. Przejechany dystans oraz ocena pracy kierowców w badanym okresie

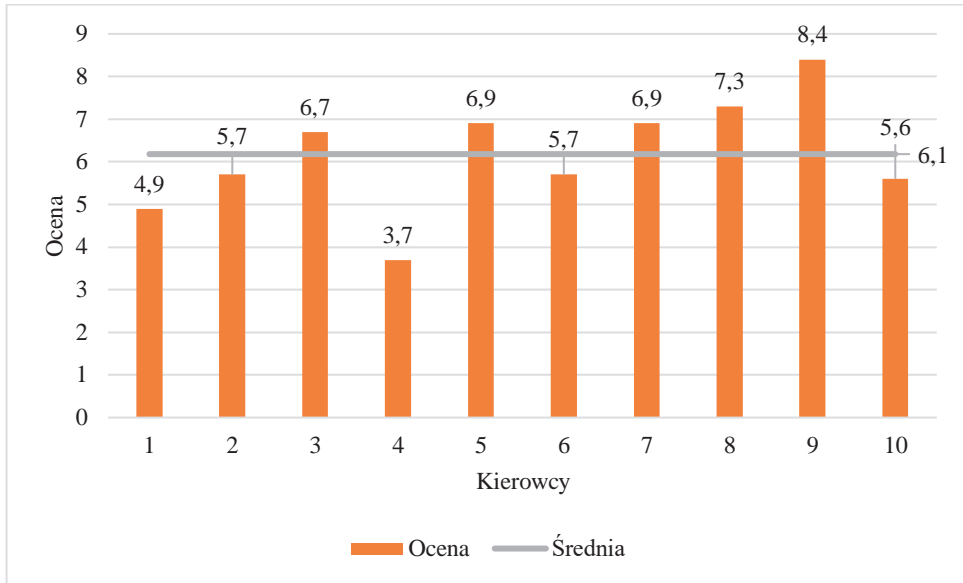
Kierowca	Przejechany dystans	Średnia prędkość	Średnia masa całkowita zestawu	Średnie wzniesienie	Ocena	Trend
	(km)	(km·h ⁻¹)	(t)	(m)	(-)	(-)
1	132876	70	24,5	216	4,9	spadkowy
2	113607	71	12,2	110	5,7	spadkowy
3	130839	69	23,8	105	6,7	poprawny
4	87366	55	28,6	259	3,7	niski
5	145167	70	37,1	159	6,9	poprawny
6	128427	69	8,7	119	5,7	poprawny
7	141427	75	25,1	127	6,9	poprawny
8	124438	72	19,2	119	7,3	poprawny
9	102474	64	18,3	148	8,4	poprawny
10	69406	68	20,7	154	5,6	spadkowy
Minimum	69406	55	8,7	105	3,7	-
Średnia	117603	68	21,8	151,6	6,1	-
Maximum	145167	75	37,1	259	8,4	-
Odch. stand.	23199	5	7,6	47,3	1,27	-
Zmienność (%)	20	7	35,1	31,2	20,5	-

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z firmy

Przypisany trend (spadkowy, poprawny, niski) odnosi się do oceny, która została wygenerowana za wcześniejszy okres trwający tyle samo, ile trwa badany okres w niniejszej pracy.

Oceniani kierowcy przejeżdżali rocznie średnio 117603 km. Największy dystans 145167 km, od grudnia 2020 do grudnia 2021, przejechał kierowca 5, a najkrótszy 69406 kierowca 10. Natomiast największą średnią prędkość na poziomie 75 km·h⁻¹ utrzymywał kierowca 7, a z najwolniejszą prędkością poruszał się kierowca 4 (średnio 55 km·h⁻¹). Masa całkowita zestawu wynosiła średnio 21,8 tony. Najmniejszą średnią masę zestawu posiadał kierowca 6 (8,7 t), a największą kierowca 10 (37,1 t). Średnie wzniesienie jakie pokonywali kierowcy to 151,6 m. W ocenie końcowej trend spadkowy otrzymali kierowca 1, kierowca 2 oraz kierowca 10. Trend poprawny utrzymał kierowca 3 oraz kierowcy 5-9.

Na rysunku 2 zostały przedstawione oceny pracy kierowców, które były przypisane przez program LeonSystem.



Rysunek 2. Ocena pracy kierowców

Kierowcy mają dostęp w aplikacji mobilnej do swojej oceny wraz z opisem parametrów z jakich jest obliczana. Najwyższą możliwą do zdobycia oceną jest 10.

Reasumując należy stwierdzić, że najlepszą ocenę 8,4 utrzymując trend poprawny uzyskał kierowca 9, a najgorszą ocenę otrzymał kierowca 4 (tylko 3,7) podtrzymując niski trend. Średnio, badani kierowcy uzyskali ocenę na poziomie 6,1.

Stwierdzenia i wnioski

Na podstawie wykonanych badań sformułowano następujące stwierdzenia i wnioski:

1. W ciągu badanego okresu kierowcy średnio wykonali 182 procesy transportowe. Najwięcej transportów wykonał kierowca 4 (314), a kierowca 10 zrealizował najmniej, bo 103 procesy transportowe. Oceniani kierowcy zrealizowali średnio 71 wyjazdów zagranicznych oraz 112 krajowych. Kierowca 9 oraz 5 wykonali po około 70% transportów krajowych oraz najmniej spośród badanych kierowców, czyli 30% transportów międzynarodowych.
2. Kierowcy w ciągu badanego okresu średnio w transporcie międzynarodowym przewozili 1115 ton ładunku, a w transporcie krajowym 749 ton. Kierowcy 1-8 oraz 10 przewieźli większą masę ładunków w transporcie międzynarodowym w porównaniu do transportu krajowego. W obu rodzajach transportu badani kierowcy przewozili średnio 1865 ton ładunku. Kierowca 4 przewiózł ładunki o największej masie, czyli 3767 t. Najmniej przetransportował kierowca 9 przewożąc w sumie 1154 tony ładunków.

3. Prowadzący pojazdy z wykorzystaniem tempomatu przejechali średnio 77569 km, a bez jego wykorzystania 40034 km. Zużycie paliwa w czasie korzystania z tempomatu wynosiło średnio $25 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$. Natomiast różnica pomiędzy najmniejszym (kierowca 5, czyli $22 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$), a największym (kierowca 4, czyli $32 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$) zużyciem paliwa z tempomatem wynosiła $10 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$. Podczas jazdy bez tempomatu kierowcy przejechali średnio $31 \text{ l} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$.
4. Średnio na 100 km kierowcy wykorzystywali funkcję kickdown 239 razy. W 1-30% mocy oceniani kierowcy używali pedału gazu średnio w 70,6% czasu. Najwięcej czasu w tym przedziale naciskał pedał gazu kierowca 9 (95,57%), a najmniej kierowca 4, czyli 44,43%. Kierowcy średnio gwałtownie przyspieszali o $1-3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 92,03%. Przyspieszeń o $1-3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ w badanym okresie najczęściej (95,2%) wykonał kierowca 8, a najmniej kierowca 1, czyli 89,92%. Średnio kierowcy gwałtownie hamowali w 88,14% przypadkach o $1-3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Najwięcej zahamowań wykonał kierowca 8 (91,19%), a najmniej 82,64% kierowca 4.
5. Średnio badani kierowcy przejeżdżali 117603 km. Największy dystans 145167 km w ciągu badanego okresu przejechał kierowca 5, a najkrótszy 69406 kierowca 10. Największą średnią prędkość na poziomie $75 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ utrzymywał kierowca 7, a z najwolniejszą średnią prędkością ($55 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) poruszał się kierowca 4.
6. Program LeonSystem bardzo ułatwia ocenę pracy kierowców w badanej firmie. Kierowcy otrzymali średnią ocenę na poziomie 6,1. Najlepszą notę 8,4, utrzymując trend poprawny, uzyskał kierowca 9, a najgorszą ocenę (3,7) otrzymał kierowca 4, który utrzymał niski trend.

Bibliografia

- Dziekoński K., Chwiećko J.: Innowacyjność przedsiębiorstw z branży TSL, *Ekonomia i Zarządzanie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej. Vol 5. Nr 2. s. 176-193, 2013.
- Gaschi-Uciecha A.: Analiza i ocena procesu transportowego w wybranym przedsiębiorstwie sektora TSL *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie* Z. 121. s. 11-123, 2018.
- Gorzelańczyk P., Kaczmarek Ł.: Wpływ nowoczesnych systemów informatycznych na eksploatację pojazdów osobowych, *Autobusy numer 1-2*. s. 211-215, 2019.
- Grabowska J.: Outsourcing usług logistycznych, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*. Z. 60. s. 83-96. 2012.
- Jakubiec M., Barcik A.: Wielowymiarowość zarządzania XXI wieku, *Monografia*. Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, 2018.
- Leleń P., Wasiak M.: Współczynniki podatności transportowej ładunków szybko psujących się, *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, Wydział Transportu*. Z. 117. s. 161-176, 2017.
- Łuczak, A.: Wymagania psychologiczne w doborze osób do zawodów trudnych i niebezpiecznych, *Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa*, 2001, ISBN: 83-87354-61-9.
- Łukasik Z., Kuśmińska-Fijałkowska, A., Olszańska, S.: Rola spedytora w organizacji procesu transportowego na rynku europejskim, *Autobusy nr 6*. s. 919-923. 2018.
- Mądziel M.: Potrzeby transportowe w odniesieniu do systemów komunikacji miejskiej, *Autobusy numer 12*. S. 1634-1636, 2016.

- Orszulak B., Merkisz J., Andrzejewski M.: Ocena przydatności badań wykorzystujących symulator samochodowy do weryfikacji stosowania przez kierowców wytycznych eco-drivingu, Wyd. Polskie Towarzystwo Naukowe Silników Spalinowych, Czasopismo Combustion Engines. R. 54, nr 3. s. 805-809, 2015.
- Rucińska D.: Potrzeby transportowe, Transport: nowe wyzwania, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2016.
- Słowiński P., Burdzik R., Fołęga P. Eco-driving – nowe podejście do transportu w logistyce, Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej. Z.111. s. 501-510, 2016.
- Smoleń P., Starkowicz W.: Koncepcja systemu oceniającego styl jazdy kierowcy w transporcie drogowym ładunków, Transport Miejski i Regionalny numer 8. S. 18-23, 2018.
- Urbańska K., Żelazko A., Domagalska J., Nowak P.: Porównanie narażenia na stres i analiza sposobów radzenia sobie z nim wśród kierowców samochodów dostawczych i kierowców komunikacji miejskiej, Wyd. Medycyna Pracy. Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach. Nr 4. s. 455-466, 2016.
- Wągrowaska-Koski E.: Warunki pracy i narażenie na czynniki szkodliwe i uciążliwe w środowisku pracy kierowców. Zagrożenia zdrowia kierowców pojazdów silnikowych związane ze szkodliwymi i uciążliwymi warunkami środowiska pracy, Instytut Medycyny Pracy, Łódź, 2007.
- Strona firmy Morawiec Transport Sp. z o.o.: www.transportmorawiec.pl

Adres do korespondencji: dariusz.kwasniewski@urk.edu.pl

ORCID: Dariusz Kwaśniewski 0000-0002-1873-1456

ORCID: Maciej Kuboń 0000-0003-4847-8743

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

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

TRANSPORT TOWARÓW ŁATWO PSUJĄCYCH – WYBRANE ASPEKTY TRANSPORTU OWOCÓW

Grzegorz Zajac¹, Grzegorz Maj¹, Joanna Szyszlak-Bargłowicz¹, Tomasz Słowik¹

¹ Katedra Energetyki i Środków Transportu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wstęp

Towary łatwo psujące się to grupa produktów, które charakteryzują się krótkim okresem trwałości i wysoką wrażliwością na warunki środowiskowe. Obejmuje ona zarówno produkty spożywcze jak np. świeże owoce i warzywa, mięso i ryby, produkty farmaceutyczne i medyczne czy inne towary np. kwiaty cięte. Ich jakość, przydatność do spożycia lub użycia, szybko ulegają pogorszeniu pod wpływem czynników takich jak temperatura, wilgotność, dostęp światła czy zanieczyszczenia biologiczne i chemiczne. Transport takich towarów jest istotnym wyzwaniem logistycznym i ekonomicznym. Wynika to z konieczności zastosowania odpowiednich środków transportu i przechowywania. Towary te wymagają infrastruktury chłodniczej oraz monitorowania parametrów w czasie rzeczywistym, aby zapewnić zachowanie ich właściwości.

Jednocześnie należy mieć na uwadze, że transport owoców odgrywa kluczową rolę w bezpieczeństwie żywnościowym i zdrowiu publicznym, ponieważ wpływa na jakość, dostępność i bezpieczeństwo tych produktów. Owoce zawsze były niezbędnym składnikiem diety, będąc naturalnym źródłem różnych witamin, minerałów, błonnika i substancji fitochemicznych, takich jak flawonoidy, których korzyści zdrowotne są dobrze udokumentowane¹. Owoce mają duże znaczenie w zmniejszaniu ryzyka chorób układu krążenia i udaru mózgu czy wystąpienia niektórych rodzajów nowotworów. Każda dodatkowa porcja owoców w diecie zmniejsza ryzyko incydentów sercowo-naczyniowych o 4%, a udaru mózgu o 5%². Wzmacniają układ odpornościowy, poprawiają pracę jelit, zmniejszają ryzyko nadwagi i otyłości³. Większość owoców zawiera duże ilości potasu, wapnia, magnezu, sodu, fosforu, żelaza i cynku, oprócz specjalnych minerałów, takich jak selen, miedź i jod.

¹ Kalia A., Parshad V.R.: Novel Trends to Revolutionize Preservation and Packaging of Fruits/Fruit Products: Microbiological and Nanotechnological Perspectives: Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 55, 2, 159-182, 2015.

² Golański J., Luzak B.: Znaczenie wybranych składników żywności pochodzenia roślinnego hamujących funkcje płytek krwi w profilaktyce pierwotnej chorób sercowo-naczyniowych: Żywność, 31, 2, 2024.

³ Olewnicki D., Jabłońska L., Łazorczyk M.: Znaczenie świeżych owoców i warzyw w codziennej diecie studentów warszawskich uczelni: Zeszyty Naukowe SGGW - Ekonomia i Organizacja Gospodarki Żywnościowej, 116, 173-186, 2016.

Konsumpcja i znaczenie owoców są podkreślane w dzisiejszych zrównoważonych harmonogramach diet. Aktualnie obowiązujące zasady prawidłowego żywienia wskazują na jak najczęstsze i jak największe ilościowo (około połowy dziennej porcji pożywienia) spożywanie owoców i warzyw w odpowiednich proporcjach - 3/4 warzywa i 1/4 owoce⁴. Prawidłowy transport owoców pozwala zachować ich wartości odżywcze, minimalizować straty i chronić zdrowie konsumentów.

Mając na uwadze powyższe, towary łatwo psujące się są przedmiotem szczególnych regulacji i norm w logistyce oraz wymagają stosowania nowoczesnych technologii w transporcie i monitorowaniu.

Standardy transportu towarów łatwo psujących

Zasady przewozu towarów łatwo psujących się koncentrują się na utrzymaniu jakości i bezpieczeństwa produktów w całym łańcuchu dostaw. Zasady te są regulowane przez międzynarodowe porozumienia. Przepisy i specyfikacje techniczne dotyczące międzynarodowego przewozu łatwo psujących się artykułów spożywczych oraz specjalnego sprzętu używanego do takiego przewozu są określone w międzynarodowym porozumieniu ATP⁵.

Konwencja ATP (*Agreement on the International Carriage of Perishable Foodstuffs and on the Special Equipment to be Used for Such Carriage*) to porozumienie regulujące międzynarodowy transport łatwo psujących się produktów spożywczych. Konwencja ATP, przyjęta w ramach Komisji Ekonomicznej ONZ dla Europy (UNECE), stanowi zbiór zasad dotyczących bezpiecznego, skutecznego i zrównoważonego transportu tego typu towarów na całym świecie. Została sporządzona 1 września 1970 roku w Genewie. Obecnie jest zarządzana przez Europejską Komisję Gospodarczą ONZ (Grupę Roboczą (UNECE WP11) ds. Transportu Łatwo Psujących się Artykułów Żywnościowych dla Komitetu Transportu Śródlądowego Komisji Gospodarczej ds. Europy). Grupa Robocza regularnie aktualizuje reżim testowy i opracowuje „Podręcznik z komentarzami”. Ponieważ jest to tylko umowa, nie ma ogólnego organu egzekwującego, a działania przeciwko nieprzebrzeganiu jej postanowień są regulowane wyłącznie przez ustawodawstwo krajowe⁶.

Głównym celem konwencji jest zapewnienie międzynarodowego transportu łatwo psujących się produktów w warunkach, które gwarantują zachowanie ich jakości i bezpieczeństwa zdrowotnego. Reguluje zasady przewożenia produktów spożywczych łatwo psujących się, takich jak: mięso, ryby, mleko, owoce, warzywa czy produkty mrożone. Postanowienia ATP mają zastosowanie do wszystkich przewozów, czy to kolejną, drogą lądową, czy też kombinacją obu.

Konwencja ATP określa normy, które muszą spełniać środki transportu wykorzystywane do przewozu tego rodzaju ładunków. Określa wymogi w zakresie temperatury czy wilgotności

⁴ Bieniek-Majka M.: Konsumpcja owoców i warzyw w Unii Europejskiej oraz jej potencjalne środowiskowe i zdrowotne konsekwencje: Zagadnienia Doradztwa Rolniczego, 107, 1, s. 22-41, 2022.

⁵ Chatzidakis S.K., Chatzidakis K.S.: Refrigerated transport and environment: International Journal of Energy Research, 28, 10, 887-897, 2004.

⁶ Panozzo G., Cortella G.: Standards for transport of perishable goods are still adequate?: Connections between standards and technologies in perishable foodstuffs transport: Central European Congress on Food - CEFood, 19, 8, 432-440, 2008.

powietrza w naczepach, ponadto zostały określone takie kwestie, jak wyposażenie i oznakowanie pojazdów, zasady przeprowadzania kontroli czy pomiar warunków w naczepach.

Stronami są głównie państwa uczestniczące międzynarodowym w handlu produktami spożywczymi wymagającymi kontrolowanego transportu. Do konwencji ATP przystąpiło już blisko 50 krajów w tym niemal wszystkie państwa europejskie, USA i wiele innych, co podkreśla jego powszechną akceptację i wdrożenie. Polska przystąpiła do konwencji w 1986 roku.

Standaryzacja ułatwia handel, ponieważ wszystkie strony są zgodne co do warunków przewozu. Dodatkowo ujednoczenie międzynarodowych norm i procedur upraszcza sam transport, szczególnie zagraniczny.

Ze względu na to, że porozumienie ma już blisko 50 lat trwają dyskusje na temat zmian w ATP polegających na rozszerzeniu jego zakresu i ulepszeniu procedur testowych, tak aby dostosować się do zmian w technologii, jak i wyzwań środowiskowych⁷.

Podatność transportowa owoców

Świeże owoce są żywą, oddychającą tkanką, dlatego procesy fizjologiczne między zbiorem a spożyciem mogą prowadzić do utraty ich cech jakościowych. Utrata cech jakościowych może zmniejszać akceptowalność przez konsumenta lub prowadzić do wyrzucenia produktu. Straty te wahają się od 10 do 25%, mogą być jednak minimalizowane przez właściwe obchodzenie się z owocami od gospodarstwa do rynku⁸. Minimalizowanie uszkodzeń mechanicznych, utrzymywanie odpowiedniej temperatury i zapewnienie zgodności towaru z zamówieniem to najważniejsze kwestie w operacjach transportowych. Zatem utrzymanie jakości owoców w obrocie (w tym podczas przewozu) będzie realizowane poprzez:

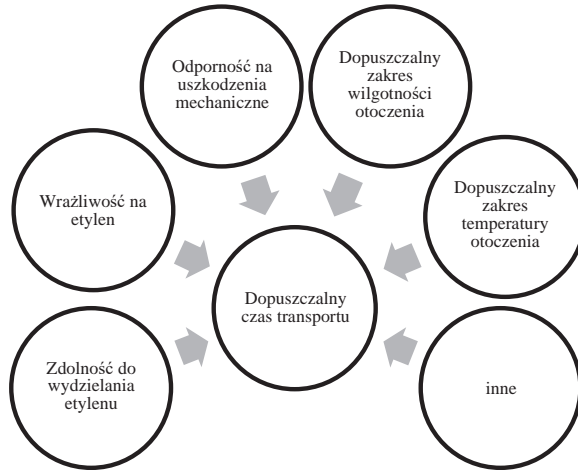
1. Zmniejszenie tempa metabolizmu, które powoduje niepożądane zmiany koloru, składu, tekstury, smaku.
2. Zmniejszenie utraty wody, która może skutkować utratą wagi handlowej, zmniejszenie czynników wyglądu, takich jak wędnięcie i kurczenie się, oraz czynników jakości tekstury, takich jak zmięczenie, wiotkość, i utrata chrupkości.
3. Minimalizowanie uszkodzeń spowodowanych urazami mechanicznymi.
4. Zmniejszenie psucia się spowodowanego infekcją patogenami, zwłaszcza uszkodzonych lub zranionych tkanek.
5. Zapobieganie zaburzeniom fizjologicznym, zwłaszcza urazom spowodowanym zamarzaniem i wychłodzeniem.
6. Unikanie skażenia, na przykład produktów organicznych, syntetycznymi chemikaliami i utrzymanie bezpieczeństwa żywności.

Podatność transportowa owoców zależy między innymi od zakresu dopuszczalnej temperatury i wilgotności powietrza otaczającego, wrażliwości na etylen, zdolności do produkcji etylenu, odporności na uszkodzenia mechaniczne i wielu innych cech (rys. 1.)⁹.

⁷ Martínez-Val J.P., Ramos A.: Optimization of an Industrial Sector Regulated by an International Treaty. The Case for Transportation of Perishable Foodstuff: *Entropy*, 23, 1, 2021.

⁸ Shewfelt R.L., Prussia S.E.: Chapter 6 - Challenges in handling fresh fruits and vegetables: [w:] *Postharvest Handling (Fourth Edition)*, red. W.J. Florkowski et al., 167-186, Academic Press, San Diego, 2022.

⁹ Lelen P.: Analiza możliwości wykorzystania transportu kolejowego do przewozu wybranych gatunków świeżych owoców i warzyw – podatność transportowa: *Technical Issues*, 4, 40-46, 2016.



Rysunek 1. Wybrane cechy owoców determinujące dopuszczalny czas transportu

Źródło: (Lelen, 2016)

Rola etylenu w okresie przydatności do spożycia świeżych owoców

Etylen (C_2H_4) to mała lotna cząsteczką, która działa jako fitohormon odpowiedzialny za dojrzewanie i starzenie się owoców. Kontrola poziomu etylenu w atmosferze otaczającej owoce podczas transportu ma ogromne znaczenie dla poprawy ich jakości i wydłużenia okresu przydatności do spożycia¹⁰.

Owoce mogą bardzo różnić się pod względem wrażliwości na etylen. Na podstawie zachowania oddychania i szybkości produkcji C_2H_4 podczas procesu dojrzewania owoce zostały sklasyfikowane jako klimakteryczne i nieklimakteryczne¹¹. Gatunki klimakteryczne to owoce charakteryzujące się szczytem zarówno oddychania, jak i produkcji C_2H_4 podczas dojrzewania (takie jak jabłko, gruszka, śliwka, brzoskwinia, borówka, banan), owoce nieklimakteryczne nie wykazują tej drastycznej zmiany w oddychaniu, utrzymując produkcję C_2H_4 na poziomie podstawowym (maliny, truskawki, wiśnie, owoce cytrusowe, ananas)¹².

W przypadku transportu owoców, które charakteryzują się wysoką produkcją etylenu, w celu zmniejszenia jego stężenia w atmosferze panującej należy zastosować pochłaniacze etylenu, w przestrzeni ładunkowej. Należy także unikać umieszczania w jednej przestrzeni

¹⁰ Álvarez-Hernández M.H., Artés-Hernández F., Ávalos-Belmontes F., Castillo-Campohermoso M.A., Contreras-Esquivel J.C., Ventura-Sobrevilla J.M., Martínez-Hernández G.B.: Current Scenario of Adsorbent Materials Used in Ethylene Scavenging Systems to Extend Fruit and Vegetable Postharvest Life: Food and Bioprocess Technology, 11, 3, 511-525, 2018.

¹¹ Cherian S., Figueroa C.R., Nair H.: 'Movers and shakers' in the regulation of fruit ripening: a cross-dissection of climacteric versus non-climacteric fruit: Journal of Experimental Botany, 65, 17, 4705-4722, 2014.

¹² Paul V., Pandey R., Srivastava G.C.: The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene—An overview: Journal of Food Science and Technology, 49, 1, 1-21, 2012.

ładunkowej gatunków, które wydzielają etylen w dużych ilościach, z gatunkami, które charakteryzują się wysoką wrażliwością na działanie tego gazu¹³.

Temperatura podczas transportu

Podstawowym sposobem utrzymania jakości owoców podczas transportu jest obniżenie tempa metabolizmu poprzez stosowanie niskich temperatur. Chłodzenie zmniejsza również tempo produkcji etylenu i wrażliwość na jego obecność, zmniejsza utratę wody, obniża rozwój gnicia i nasilenie reakcji na uszkodzenia. Dlatego temperatura odgrywa kluczową rolę w transporcie owoców. Temperatura transportu owoców będzie funkcją podatności na uszkodzenia spowodowane zamrażaniem i chłodzeniem¹⁴. Optymalna temperatura dla transportu świeżych owoców waha się w przedziale 0–16°C. Jednak dla większości gatunków są to temperatury z przedziału 0–4°C¹⁵.

Owoce po zbiorze nadal oddychają, proces ten jest bardziej intensywny w wyższych temperaturach, co prowadzi do szybszego dojrzewania i psucia się. Wysoka temperatura zwiększa także produkcję etylenu, który przyspiesza dojrzewanie owoców, obniżenie temperatury redukuje ten proces. Wyższa temperatura będzie wpływała na rozwój bakterii i grzybów. Zakresy optymalnej temperatury transportu dla wybranych owoców pokazano w tabeli 1.

Tabela 1. Temperatury transportu dla różnych owoców¹⁶

Owoc	Zakres temperatury (°C)	Uwagi
Jabłka	0–4	Stabilne w chłodzeniu
Truskawki	0–1	Bardzo wrażliwe na pleśń
Winogrona	0–2	Wysoka wilgotność zapobiega wędnięciu
Banany	13–15	Nie tolerują chłodzenia poniżej 12°C (ryzyko przechłodzenia)
Cytrusy	8–12	Wysoka tolerancja na chłodzenie, ale unikać kondensacji
Mango, papaja	10–13	Wrażliwe na niskie temperatury; chłodzenie poniżej 10°C powoduje brunatnienie

Utrzymanie niskiej temperatury ogranicza rozwój mikroflory odpowiedzialnej za psucie się owoców. Wysoka temperatura prowadzi także do wędnięcia, odwodnienia i utraty jędrności owoców, a także do zmian w ich smaku i aromacie. Jednak nadmierne wychłodzenie może powodować uszkodzenia chłodnicze. Również bardzo ważne jest, aby podczas całego łańcucha dostaw wahania temperatury transportowanych produktów były jak najmniejsze. Wahania temperatury podczas transportu mogą przyczynić się do znacznego skrócenia dopuszczalnego czasu transportu.

¹³ Lelęć P. *Analiza możliwości wykorzystania transportu kolejowego do przewozu wybranych gatunków świeżych owoców i warzyw – podatność transportowa...*, op. cit.

¹⁴ Watkins C.: *Transport of fresh produce*: [w:] *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 1, 351-360, Academic Press 2016.

¹⁵ Lelęć P. *Analiza możliwości wykorzystania transportu kolejowego do przewozu wybranych gatunków świeżych owoców i warzyw – podatność transportowa...*, op. cit.

¹⁶ Watkins C. „Transport of fresh produce”, op. cit.

Wilgotność względna podczas transportu

Przy transporcie owoców istotna jest również odpowiednia wilgotność względna w środowisku transportowym¹⁷ (tab. 2). Pomaga zapobiegać odwodnieniu, więdnieniu i rozwojowi mikroorganizmów. Zarówno zbyt niska, jak i zbyt wysoka wilgotność może prowadzić do strat jakościowych. Zbyt niska wilgotność może powodować odwodnienie owoców, co prowadzi do zmniejszenia ich masy, więdnienia i utraty jędrności. Zjawisko to jest szczególnie dotkliwe dla owoców o cienkiej skórce, takich jak winogrona, truskawki, jagody czy brzoskwinie. Powoduje także twardnienie miąższu w niektórych owocach i utratę ich atrakcyjności sensorycznej. Wilgotne środowisko sprzyja rozwojowi mikroorganizmów takich jak *Botrytis cinerea* (pleśń szara), czy różnych gatunków grzybów, odpowiedzialnych za psucie się owoców. Dla większości gatunków owoców optymalna wilgotność transportu mieści się w przedziale od 90 do 95%¹⁸. W tabeli 2 zestawiono zakresy wilgotności względnej w czasie transportu dla wybranych owoców.

Podczas transportu nie należy dopuszczać do nadmiernej kondensacji pary wodnej na powierzchni owoców, ponieważ zjawisko to może w sposób znaczący przyczyniać się do rozwoju chorób grzybowych. W celu niedopuszczenia do takiej sytuacji bardzo ważne jest odpowiednie przygotowanie produktów przed transportem. Nie jest dopuszczalne umieszczanie mokrych owoców w opakowaniach do transportu¹⁹.

Tabela 2. Optymalne wilgotności względne dla wybranych owoców i warzyw²⁰

Owoc	Zalecana wilgotność względna (%)	Uwagi
Jabłka	90–95%	Wysoka wilgotność pomaga zapobiegać odwodnieniu
Truskawki	90–95%	Wysoka wilgotność niezbędna, ale przy dobrej wentylacji
Winogrona	90–95%	Bardzo wrażliwe na utratę wilgoci i rozwój pleśni
Banany	85–95%	Wilgotność powinna być kontrolowana, aby zapobiec kondensacji
Cytrusy	85–90%	Niska wrażliwość na utratę wilgoci
Mango, papaja	85–90%	Zbyt wysoka wilgotność może sprzyjać rozwojowi pleśni

Uszkodzenia mechaniczne

Uszkodzenia mechaniczne owoców występują podczas załadunku, rozładunku i układania lub w wyniku drgań podczas transportu. Mogą również powstawać na skutek przesunięcia ładunków podczas transportu lub zgniatania kartonów z powodu niekonwencjonalnego układania pojemników o różnych rozmiarach, kształtach i wytrzymałościach. Uderzenia i drgania podczas transportu mogą spowodować znaczne natychmiastowe widoczne uszkodzenia, takie jak

¹⁷ Maj G., Stoma M., Dudziak A.: Conditions and role of the logistics road transportation of fruits: Logistyka, 6, CD 1, 218-223, 2014.

¹⁸ Leleń P. *Analiza możliwości wykorzystania transportu kolejowego do przewozu wybranych gatunków świeżych owoców i warzyw – podatność transportowa...*, op. cit.

¹⁹ Ibid.

²⁰ Watkins C. „Transport of fresh produce”, op. cit.

siniaki, zacinienie, ścieranie skóry i uszkodzenia w owocach²¹. Uszkodzenia fizyczne mogą również powodować, że owoce są bardziej podatne na dalszy rozkład w wyniku ułatwienia dostępu i wzrostu przez mikroorganizmy. Ostrożne obchodzenie się z owocami i właściwe pakowanie są niezbędne, aby ograniczyć uszkodzenia mechaniczne owoców²².

Ruch skrzyni ładunkowej pojazdu zależy od profilu drogi, cech pojazdu (prędkości, ilości osi pojazdu i typu kół, rodzaju zawieszenia, opon). Wielowarstwowe umieszczanie ładunku powoduje kolizje między różnymi warstwami opakowania, a w obrębie każdego opakowania między różnymi warstwami owoców²³.

Innym problem są drgania podczas transportu. Drgania są istotną przyczyną uszkodzeń mechanicznych owoców, co prowadzi do utraty wilgoci i obniżenia jakości. Powtarzające się drgania są jednym z głównych źródeł kumulatywnego zmęczenia struktury owoców²⁴. Naprężenia mechaniczne powstające na skutek drgań mogą powodować mikroskopijne uszkodzenia, w tym uszkodzenia tkanek wewnętrznych i komórek, które są trudne do wykrycia, ale mają znaczenie dla utrzymania jakości owoców²⁵. Problemem jest to, że drgania podczas transportu mają charakter niedeterministyczny. Dzieje się tak głównie dlatego, że intensywność wibracji i częstotliwość oscylacji systemu zależą od kombinacji zmiennych, w tym charakterystyki drogowej i poziomów prędkości²⁶.

Opakowania w transporcie owoców

Owoce są produktami mniej lub bardziej nietrwałymi oraz podatnymi na uszkodzenia mechaniczne. Wiele ich gatunków ze względu na niewłaściwe przechowywanie szybko traci swoje walory organoleptyczne, jak też zdrowotne. Opakowanie, które jest we właściwy sposób dobrane zapewnia owocom zachowanie pożądanych cech przez dłuższy okres czasu oraz usprawnia i przyspiesza procesy w łańcuchu logistycznym. Z drugiej strony coraz większa konkurencja, jak też wymagania konsumentów związane z jakością oraz estetyką oferowanych im produktów sprawiają, że rola opakowań na rynku owoców jest coraz bardziej istotna. Opakowanie takie pełni rolę nośnika w aspekcie promocji marki producenta danego produktu. Opakowanie musi spełniać określone minimalne standardy, aby odpowiednio

²¹ Fernando I., Fei J., Stanley R., Enshaei H.: Measurement and evaluation of the effect of vibration on fruits in transit—Review: *Packaging Technology and Science*, 31, 11, 723-738, 2018.

²² Lin M., Fawole O.A., Saeys W., Wu D., Wang J., Opara U.L., Nicolai B., Chen K.: Mechanical damages and packaging methods along the fresh fruit supply chain: A review: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63, 30, 10283-10302, 2023.

²³ Van Zeebroeck M., Van linden V., Ramon H., De Baerdemaeker J., Nicolai B.M., Tijskens E.: Impact damage of apples during transport and handling: *Postharvest Biology and Technology*, 45, 2, 157-167, 2007.

²⁴ Kitazawa H.: Evaluation of Damage to Soft Fruits Due to Cumulative Fatigue Caused by Repetitive Shock: A Review: *The 21st IAPRI World Conference on Packaging*, 2018.

²⁵ Li Z., Miao F., Andrews J.: Mechanical Models of Compression and Impact on Fresh Fruits: *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16, 6, 1296-1312, 2017.

²⁶ Fernando I. et al., *Measurement and evaluation of the effect of vibration on fruits in transit—Review...*, op. cit.

zachować jakość świeżych produktów, a jednocześnie skutecznie wykorzystywać energię i materiały²⁷.

Opakowania owoców powinny spełniać wymagania²⁸:

- ochrony przed uszkodzeniami mechanicznymi,
- ochrony przed zanieczyszczeniami,
- zapewnienia odpowiednich warunków podczas przechowywania i transportu,
- łatwości użycia w procesie pakowania i transportu,
- możliwości magazynowania i spiętrzania.

Opakowania spożywcze pełnią funkcję ochronną przed czynnikami zewnętrznymi, takimi jak światło, mikroorganizmy czy zanieczyszczenia fizyczne lub chemiczne. Najczęściej są one wykonane z tworzyw sztucznych, które powinny być obojętne dla żywności i charakteryzować się odpowiednią barierowością. Zdarza się jednak, że opakowania wyprodukowane są z surowców o niskiej jakości lub otrzymywane są w niewłaściwym procesie produkcyjnym i stanowią zagrożenie dla jakości pakowanych owoców, warzyw i ich przetworów. Zagrożenie to wywołuje bezpośrednia lub pośrednia styczność produktów spożywczych z materiałem oraz przemieszczanie się substancji chemicznych z opakowania do zapakowanej żywności^{29,30}.

Na każdym z etapów łańcucha dostaw owoców i warzyw zachodzi wiele procesów biochemicznych, w trakcie których dochodzi do utraty cennych związków w nich zawartych. Zmiany w owocach mogą zachodzić pod wpływem działania energii cieplnej, katalizatorów, środowiska i składników powietrza. Dlatego podczas transportu i magazynowania ważna jest cyrkulacja powietrza, dostęp światła i odpowiednia wilgotność³¹.

Różnorodność systemów opakowań wynika z różnych potrzeb poszczególnych produktów, takich jak ochrona przed uszkodzeniami mechanicznymi, utrzymanie odpowiednich warunków mikroklimatycznych, czy przedłużenie trwałości.

Tradycyjne opakowania transportowe

Tradycyjne opakowania mają na celu ochronę owoców przed uszkodzeniami zewnętrznymi. Tworzą fizyczną barierę i zapobiegają jej uszkodzeniu w trakcie transportu. Głównym celem tradycyjnych opakowań jest utrzymanie stabilności produktów spożywczych podczas transportu z jednego miejsca do drugiego.

Skrzynie drewniane lub plastikowe są popularne w transporcie hurtowym owoców twardych (gruszki, jabłka). Zapewniają ochronę mechaniczną i dobrą wentylację. Można je w łatwy sposób ułożyć na palecie, tworząc paletową jednostkę ładunkową. Do zalet należy

²⁷ Berry T.M., Defraeye T., Shrivastava C., Ambaw A., Coetzee C., Opara U.L.: Designing ventilated packaging for the fresh produce cold chain: Food and Bioproducts Processing, 134, 121-149, 2022.

²⁸ Ibid.

²⁹ Witczak A., Sikorski Z.: Szkodliwe substancje w żywności, 1. wyd., PWN, Warszawa, 2020, <https://ksiegarnia.pwn.pl/Szkodliwe-substancje-w-zywnosci,848410870,p.html>.

³⁰ Tarapata K., Lesiów T.: Zmiany zachodzące w owocach i warzywach w łańcuchu logistycznym i sposoby ich ograniczania. Część I: Nauki Inżynierskie i Technologiczne. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 37, 2021.

³¹ Ibid.

możliwość wielokrotnego wykorzystania, są też łatwe w czyszczeniu, zwłaszcza te wykonane z tworzyw sztucznych.

Owoce o dużych gabarytach, np. arbuzy, przewożone są w dużych skrzyniach o masie 750 kg lub 400 kg. W przypadku większej ilości owoców mogą być one składowane i przewożone w plastikowych skrzynio-paletach, których maksymalna masa obciążenia wynosi 500 kg lub 700 kg.

Owoce wymagające ostrożnego obchodzenia się o niższej masie (np. cytrusy, jagody) mogą być transportowane w tekturowych skrzyniach, które zapewniają wystarczającą sztywność, chroniąc przy tym dodatkowo owoce przed uszkodzeniem. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość dostosowania rozmiarów i kształtów opakowań do rodzaju owoców. Niestety opakowania tego rodzaju mają mniejszą odporność na wilgoć i uszkodzenia mechaniczne.

W przypadku owoców miękkich, zazwyczaj już u producenta, są one pakowane w docelowe opakowania zbiorcze. W przypadku takich owoców jak truskawki, czereśnie czy wiśnie, pakowanie odbywa się do łubianek drewnianych lub plastikowych, mających masę około 30 dag, bądź w drewniane skrzynki o gramaturze 4, 4,5 lub 5 kg.

Owoce jagodowe, takie jak maliny, jeżyny, borówki amerykańskie, czy jagody, które są najdelikatniejszym produktem spośród wszystkich gatunków owoców, najpierw pakowane są w małe, detaliczne opakowania, takie jak perforowane pudełka plastikowe z przykrywką bądź opakowania z masy papierowej. Następnie składowane są w skrzynki zbiorcze lub kartony, nadające się do łatwego spaleowania.

Specjalistyczne opakowania ochronne owoców

Opakowania aktywne

Aktywne opakowania to technologia, w której opakowanie, produkt i środowisko są ze sobą powiązane. Pozwalają aktywnie zmieniać warunki pakowanych owoców, a tym samym zmieniać okres przydatności do spożycia, przy jednoczesnym zachowaniu ich jakości³². Aktywne opakowanie zapobiega niekorzystnym skutkom działania etylenu i zapobiega rozwojowi mikroorganizmów.

Redukcję etylenu w opakowaniach można osiągnąć na trzy sposoby: poprzez modyfikowanie gazów w przestrzeni w opakowaniu, stosowanie perforowanego materiału opakowaniowego w celu przenikania gazów do wnętrza i na zewnątrz opakowania oraz poprzez stosowanie pochłaniacza etylenu. Skutecznym sposobem regulacji produkcji etylenu wewnątrz opakowania jest użycie pochłaniacza etylenu, który pochłania etylen wytwarzany przez świeże owoce^{33,34,35}. Materiały pochłaniające etylen są zwykle umieszczane w małych

³² Ahmed Md.W., Haque Md.A., Mohibullah Md., Khan Md.S.I., Islam M.A., Mondal Md.H.T., Ahmmed R.: A review on active packaging for quality and safety of foods: Current trends, applications, prospects and challenges: *Food Packaging and Shelf Life*, 33, s. 100913, 2022.

³³ Mujtaba A., Masud T., Butt S., Qazalbash M., Fareed W., Shahid A.: Potential role of calcium chloride, potassium permanganate and boric acid on quality maintenance of tomato cv. Rio grand i at ambient temperature: *Int J Biosci*, 5, 9, 9-20, 2014.

³⁴ Gaikwad K.K., Singh S., Negi Y.S.: Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce: *Environmental Chemistry Letters*, 18, 2, 269-284, 2020.

³⁵ Z. Li, F. Miao, i J. Andrews, *Mechanical Models of Compression and Impact on Fresh Fruits...*, op. cit.

saszetkach lub włączane do struktury materiału opakowaniowego. Materiał saszetki powinien być przepuszczalny dla etylenu, umożliwiając dyfuzję przez niego³⁶. Pochłaniacze etylenu można podzielić na dwa rodzaje: absorbery etylenu i wychwytywacze³⁷. Absorbery to materiały, które fizycznie pochłaniają i zatrzymują cząsteczki etylenu z otaczającego środowiska. W wychwytywaczach etylenu pochłanianie odbywa się za pomocą reakcji chemicznej między dwoma materiałami³⁸.

Obecne technologie aktywnych opakowań są w trakcie intensywnego rozwoju, większość z nich dopiero zostaje pomyślnie wdrażana komercyjnie.

Opakowania modyfikujące atmosferę

Opakowania modyfikujące atmosferę (*Modified Atmosphere Packaging*, MAP) to rozwiązania mające na celu przedłużenie trwałości owoców podczas przechowywania i transportu. Technologia MAP polega na zastąpieniu atmosfery otaczającej produkt w opakowaniu atmosferą złożoną z jednego lub mieszaniny gazów tj. CO₂, N₂ i O₂³⁹. Ma to na celu spowolnienie procesów dojrzewania, ograniczenie rozwoju drobnoustrojów i minimalizację strat jakościowych. Obniżenie poziomu tlenu (O₂) ma na celu zmniejszenie tempa oddychania owoców, spowalniając ich dojrzewanie. Zwiększenie stężenia dwutlenku węgla (CO₂) ma działać hamująco na rozwój pleśni i bakterii. Dodatek azotu (N₂) zastępuje tlen i stabilizuje atmosferę wewnątrz opakowania.

Technologia MAP znajduje zastosowanie w przypadku owoców, które są wrażliwe na zmiany środowiskowe i wymagają kontroli atmosfery, aby zachować swoją jakość. Należą do nich owoce jagodowe (np. truskawki, maliny, borówki), winogrona, banany, owoce tropikalne.

Jako opakowania MAP stosowane są folie o zmiennej przepuszczalności gazów. Umożliwiają one wymianę gazów pomiędzy wnętrzem opakowania a otoczeniem, dostosowując skład atmosfery do intensywności oddychania owoców. Często wykonane są z materiałów takich jak polietylen (PE), polipropylen (PP) czy folie kompozytowe. Innym rozwiązaniem jest regulacja atmosfery przez aktywne składniki takie jak saszetki pochłaniające tlen lub emitujące CO₂ umieszczone wewnątrz opakowania. Wykorzystywane są również specjalne zamknięcia, które zapobiegają wymianie gazów z zewnętrznym środowiskiem.

Ograniczeniem w stosowaniu MAP są większe koszty opakowań oraz konieczność dostosowania składu atmosfery do konkretnych owoców.

³⁶ Yildirim S., Röcker B., Pettersen M.K., Nilsen-Nygaard J., Ayhan Z., Rutkaite R., Radusin T., Suminska P., ... Coma V.: *Active Packaging Applications for Food: Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17, 1, 165-199, 2018.

³⁷ Ghosh T., Katiyar V.: *Advanced Packaging Technology for Improved Delivery of Edible Packaged Products: [w:] Nanotechnology in Edible Food Packaging: Food Preservation Practices for a Sustainable Future*, red. V. Katiyar i T. Ghosh, 351-369, Springer, Singapore, 2021, https://doi.org/10.1007/978-981-33-6169-0_13.

³⁸ Vilela C., Kurek M., Hayouka Z., Röcker B., Yildirim S., Antunes M.D.C., Nilsen-Nygaard J., Pettersen M.K., Freire C.S.R.: *A concise guide to active agents for active food packaging: Trends in Food Science & Technology*, 80, 212-222, 2018.

³⁹ Tinebra I., Sortino G., Inglese P., Fretto S., Farina V.: *Effect of Different Modified Atmosphere Packaging on the Quality of Mulberry Fruit (Morus alba L. cv Kokuso 21): International Journal of Food Science*, 2021, 1, s. 8844502, 2021.

Inteligentne opakowania

Nowym podejściem do systemów pakowania żywności w tym owoców są inteligentne opakowania. Inteligentne pakowanie świeżych produktów to rozwijająca się technologia, która ma na celu redukcję odpadów i ochronę zdrowia, a także bezpieczeństwo konsumentów. Inteligentne systemy pakowania pomagają również wydłużyć okres przydatności do spożycia nietrwałych produktów spożywczych podczas ich transportu.

Opakowania tego rodzaju mogą informować o aktualnym stanie lub historii opakowania i/lub jakości żywności za pomocą wskaźników wewnętrznych lub zewnętrznych⁴⁰. Wskaźniki te mają zdolność monitorowania jakości produktów spożywczych pod kątem degradacji produktów w wyniku ich psucia się⁴¹.

Opakowania te umożliwiają wykrywanie i przesyłanie informacji o jakości i bezpieczeństwie produktu, a także zabezpieczenie przed manipulacją, integralnością opakowania i identyfikowalnością produktu. Wskaźniki czasu i temperatury, wskaźniki wzrostu drobnoustrojów, barwniki wykrywające gaz, wskaźniki wstrząsów fizycznych i liczne przykłady technologii antyfalszerskich, antykradzieżowych i odpornych na manipulację należą do głównych składników inteligentnych systemów pakowania⁴². Inteligentne opakowania nie tylko dostarczają informacji konsumentom, ale także pomagają poprawić bezpieczeństwo i jakość żywności poprzez monitorowanie i ulepszanie warunków transportu i przechowywania⁴³. W rezultacie inteligentne opakowanie jest definiowane jako połączony system monitorowania stanu żywności w opakowaniu, który dostarcza informacji o jakości podczas transportu i dystrybucji. Ponadto, inteligentne opakowanie można szeroko zdefiniować pod względem tożsamości produktu, autentyczności i identyfikowalności, a także obaw dotyczących jakości i bezpieczeństwa⁴⁴.

Wyzwania w transporcie towarów łatwo psujących się

Transport owoców to złożony proces logistyczny, który wiąże się z wieloma wyzwaniami wynikającymi z krótkiego czasu przydatności do spożycia oraz wymagań dotyczących transportu. Dlatego wiąże się z wyzwaniami, które wpływają na jakość, opłacalność i wydajność łańcucha dostaw. Wyzwania te są kluczowe dla zapewnienia świeżości i jakości produktów od miejsca pochodzenia do miejsca przeznaczenia.

Skuteczny transport towarów łatwo psujących się wymaga koordynacji i komunikacji między wszystkimi interesariuszami tego procesu tj. producentami, firmami logistycznymi i sprzedawcami detalicznymi. Wiąże się to z dokładnym przygotowaniem, zgodnością z licznymi wymaganiami i ciągłym doskonaleniem procesów w celu utrzymania jakości produktu⁴⁵.

⁴⁰ Alp-Erbay E.: *Nanomaterials Utilized in Food Packaging: State-of-the-Art: Food Engineering Reviews*, 14, 4, 629-654, 2022.

⁴¹ Mustafa F., Andreescu S.: *Chemical and Biological Sensors for Food-Quality Monitoring and Smart Packaging: Foods*, 7, 10, 2018.

⁴² Robertson G.L.: *Food packaging: principles and practice*, CRC press 2005.

⁴³ Yam K.L., Lee D.S.: *Emerging food packaging technologies: Principles and practice*, Elsevier 2012.

⁴⁴ Alp-Erbay E. *Nanomaterials Utilized in Food Packaging: State-of-the-Art...*, op. cit.

⁴⁵ Iğilar C.: *Analysis of Perishable Goods Transportation: European Journal of Business and Innovation Research*, 2023.

Opóźnienia w obsłudze ładunków, spowodowane rozległą dokumentacją i brakiem elektronicznych systemów przepływu pracy, mogą znacząco wpłynąć na szybkość i wydajność łańcucha dostaw. Wdrożenie elektronicznych systemów przepływu pracy może zmniejszyć te opóźnienia i poprawić ogólną wydajność procesów. Zastosowanie technologii *blockchain*, umożliwiającej śledzenie całego łańcucha dostaw, zapisując dane środowiskowe na każdym etapie, od producenta do odbiorcy, może znacznie poprawić warunki transportu owoców.

Szczególnym wyzwaniem, któremu należy sprostać, jest ścisłe monitorowanie warunków transportu. Nowoczesne technologie i systemy monitorowania warunków transportu owoców stają się ważnym elementem zapewnienia ich jakości, świeżości i trwałości na każdym etapie łańcucha dostaw. Umożliwiają precyzyjne śledzenie parametrów środowiskowych, takich jak temperatura, wilgotność, poziom etylenu i wibracje, co pozwala na szybkie reagowanie na potencjalne zagrożenia. Technologie takie jak identyfikacja radiowa (RFID) i bezprzewodowe sieci czujników (WSN) do monitorowania warunków w czasie rzeczywistym umożliwiają wykonanie niezbędnych korekt, takich jak przekierowywanie przesyłek do bliższych lokalizacji⁴⁶.

Innym wyzwaniem jest konieczność dostosowywania się do regularnych zmian warunków ekonomicznych, które mogą wpływać na procesy logistyczne i wydajność systemów dostaw. Owoce mają sezonowy charakter produkcji, co prowadzi do okresowego wzrostu podaży i trudności w organizacji transportu. Wymaga to ciągłej oceny i dostosowywania schematów transportowych w celu spełnienia zmieniających się wymagań i warunków. Zrównoważenie kosztów operacyjnych można uzyskać poprzez optymalizacje tras i harmonogramów dostaw, korzystając z modeli trasowania pojazdów.

Należy również brać pod uwagę oddziaływanie na środowisko łańcuchów dostaw owoców. Ocenie powinny podlegać emisje gazów cieplarnianych, jak i wpływ na wyczerpywanie się zasobów podczas transportu owoców⁴⁷. Obejmuje to korzystanie z modeli trasowania czy wykorzystania pojazdów ekologicznych w celu zminimalizowania wpływu na środowisko przy jednoczesnym zapewnieniu terminowej dostawy.

Podsumowanie

Owoce są bardzo cenione przez konsumentów ze względu na ich wartości odżywcze i związku prozdrowotne. Wybór owoców przez konsumenta opiera się przede wszystkim na atrybutach wyglądu wizualnego, takich jak kolor, kształt i rozmiar, a także smak, aromat i tekstura. Jednak owoce są produktami nietrwałymi i mają tendencję do utraty atrakcyjnego wyglądu i wartości odżywczych w krótkim czasie. Istotne jest to, że po zbiorach jakość owoców można jedynie utrzymać, a nie poprawić. Jednak różne czynniki wpływają na okres przydatności takich produktów. Wśród nich jedną z najważniejszych odgrywa transport.

⁴⁶ Mejjiaouli S., Babiceanu R.F.: Cold supply chain logistics: System optimization for real-time rerouting transportation solutions: *Computers in Industry*, 95, 68-80, 2018.

⁴⁷ Pedreschi R., Ponce E., Hernández I., Fuentealba C., Urbina A., González-Fernández J.J., Hormaza J.I., Campos D., ... Aguayo E.: Short vs. Long-Distance Avocado Supply Chains: Life Cycle Assessment Impact Associated to Transport and Effect of Fruit Origin and Supply Conditions Chain on Primary and Secondary Metabolites: *Foods*, 11, 12, 2022.

Udany transport owoców jest przede wszystkim funkcją zdolności organizacyjnej transportu dla zminimalizowania tempa pogarszania się ich jakości. Aby to zrealizować, konieczne jest zwrócenie uwagi na fizjologię owoców i zrozumienie wszystkich aspektów operacji transportowych. Straty produktu podczas transportu mogą być związane z niewłaściwym doborem opakowań, nieostrożnym obchodzeniem się podczas załadunku; opóźnieniami w chłodzeniu, nadmiernymi wibracjami lub awarią sprzętu chłodniczego w trakcie transportu lub niewłaściwym wymieszaniem produktów w ładunku. Znaczenie każdego czynnika będzie funkcją jakości produktu w trakcie transportu.

Transport towarów łatwo psujących się wiąże się z pokonaniem kilku wyzwań, w tym ścisłego monitorowania warunków transportu, ograniczeń infrastruktury, koordynacji między interesariuszami, kwestii ekonomicznych i środowiskowych, obsługi opóźnień i dostosowania się do zmieniających się uwarunkowań ekonomicznych. Rozwiązywanie tych wyzwań poprzez postęp technologiczny, ulepszoną infrastrukturę i lepszą koordynację może znacznie zwiększyć wydajność i skuteczność transportu towarów łatwo psujących się.

Bibliografia

- Ahmed Md.W., Haque Md.A., Mohibullah Md., Khan Md.S.I., Islam M.A., Mondal Md.H.T., Ahmmad R.: A review on active packaging for quality and safety of foods: Current trends, applications, prospects and challenges: *Food Packaging and Shelf Life*, 33, s. 100913, 2022.
- Alp-Erbay E.: Nanomaterials Utilized in Food Packaging: State-of-the-Art: *Food Engineering Reviews*, 14, 4, s. 629-654, 2022.
- Álvarez-Hernández M.H., Artés-Hernández F., Ávalos-Belmontes F., Castillo-Campohermoso M.A., Contreras-Esquivel J.C., Ventura-Sobrevilla J.M., Martínez-Hernández G.B.: Current Scenario of Adsorbent Materials Used in Ethylene Scavenging Systems to Extend Fruit and Vegetable Postharvest Life: *Food and Bioprocess Technology*, 11, 3, s. 511-525, 2018.
- Berry T.M., Defraeye T., Shrivastava C., Ambaw A., Coetzee C., Opara U.L.: Designing ventilated packaging for the fresh produce cold chain: *Food and Bioprocess Processing*, 134, s. 121-149, 2022.
- Bieniek-Majka M.: Konsumpcja owoców i warzyw w Unii Europejskiej oraz jej potencjalne środowiskowe i zdrowotne konsekwencje: *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego*, 107, 1, s. 22-41, 2022.
- Chatzidakis S.K., Chatzidakis K.S.: Refrigerated transport and environment: *International Journal of Energy Research*, 28, 10, s. 887-897, 2004.
- Cherian S., Figueroa C.R., Nair H.: 'Movers and shakers' in the regulation of fruit ripening: a cross-dissection of climacteric versus non-climacteric fruit: *Journal of Experimental Botany*, 65, 17, s. 4705-4722, 2014.
- Fernando I., Fei J., Stanley R., Enshaei H.: Measurement and evaluation of the effect of vibration on fruits in transit-Review: *Packaging Technology and Science*, 31, 11, s. 723-738, 2018.
- Gaikwad K.K., Singh S., Negi Y.S.: Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce: *Environmental Chemistry Letters*, 18, 2, s. 269-284, 2020.
- Ghosh T., Katiyar V.: Advanced Packaging Technology for Improved Delivery of Edible Packaged Products: [w:] *Nanotechnology in Edible Food Packaging: Food Preservation Practices for a Sustainable Future*, red. V. Katiyar i T. Ghosh, s. 351-369, Springer, Singapore, 2021, https://doi.org/10.1007/978-981-33-6169-0_13.
- Golański J., Luzak B.: Znaczenie wybranych składników żywności pochodzenia roślinnego hamujących funkcje płytek krwi w profilaktyce pierwotnej chorób sercowo-naczyniowych: *Zywnosc*, 31, 2, 2024.

- Igilar C.: Analysis of Perishable Goods Transportation: *European Journal of Business and Innovation Research*, 2023.
- Kalia A., Parshad V.R.: Novel Trends to Revolutionize Preservation and Packaging of Fruits/Fruit Products: Microbiological and Nanotechnological Perspectives: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55, 2, s. 159–182, 2015.
- Kitazawa H.: Evaluation of Damage to Soft Fruits Due to Cumulative Fatigue Caused by Repetitive Shock: A Review: *The 21st IAPRI World Conference on Packaging*, 2018.
- Lagaron J.M., Cabedo L., Cava D., Feijoo J.L., Gavara R., Gimenez E.: Improving packaged food quality and safety. Part 2: Nanocomposites: *Food Additives & Contaminants*, 22, 10, s. 994-998, 2005.
- Leleń P.: Analiza możliwości wykorzystania transportu kolejowego do przewozu wybranych gatunków świeżych owoców i warzyw – podatność transportowa: *Technical Issues*, 4, s. 40–46, 2016.
- Li Z., Miao F., Andrews J.: Mechanical Models of Compression and Impact on Fresh Fruits: *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16, 6, s. 1296-1312, 2017.
- Lin M., Fawole O.A., Saeys W., Wu D., Wang J., Opara U.L., Nicolai B., Chen K.: Mechanical damages and packaging methods along the fresh fruit supply chain: A review: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63, 30, s. 10283-10302, 2023.
- Maj G., Stoma M., Dudziak A.: Conditions and role of the logistics road transportation of fruits: *Logistyka*, 6, CD 1, s. 218–223, 2014.
- Martínez-Val J.P., Ramos A.: Optimization of an Industrial Sector Regulated by an International Treaty. The Case for Transportation of Perishable Foodstuff: *Entropy*, 23, 1, 2021.
- Mejjaoui S., Babiceanu R.F.: Cold supply chain logistics: System optimization for real-time rerouting transportation solutions: *Computers in Industry*, 95, s. 68-80, 2018.
- Mujtaba A., Masud T., Butt S., Qazalbash M., Fareed W., Shahid A.: Potential role of calcium chloride, potassium permanganate and boric acid on quality maintenance of tomato cv. Rio grandi at ambient temperature: *Int J Biosci*, 5, 9, s. 9-20, 2014.
- Mustafa F., Andreescu S.: Chemical and Biological Sensors for Food-Quality Monitoring and Smart Packaging: *Foods*, 7, 10, 2018.
- Olewnicki D., Jabłońska L., Łazarczyk M.: Znaczenie świeżych owoców i warzyw w codziennej diecie studentów warszawskich uczelni: *Zeszyty Naukowe SGGW - Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, 116, s. 173-186, 2016.
- Panozzo G., Cortella G.: Standards for transport of perishable goods are still adequate?: Connections between standards and technologies in perishable foodstuffs transport: *Central European Congress on Food - CEFood*, 19, 8, s. 432-440, 2008.
- Paul V., Pandey R., Srivastava G.C.: The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene—An overview: *Journal of Food Science and Technology*, 49, 1, s. 1-21, 2012.
- Pedreschi R., Ponce E., Hernández I., Fuentealba C., Urbina A., González-Fernández J.J., Hormaza J.L., Campos D., Chirinos R., Aguayo E.: Short vs. Long-Distance Avocado Supply Chains: Life Cycle Assessment Impact Associated to Transport and Effect of Fruit Origin and Supply Conditions Chain on Primary and Secondary Metabolites: *Foods*, 11, 12, 2022.
- Robertson G.L.: *Food packaging: principles and practice*, CRC press 2005.
- Shewfelt R.L., Prussia S.E.: Chapter 6 - Challenges in handling fresh fruits and vegetables: [w:] *Post-harvest Handling (Fourth Edition)*, red. W.J. Florkowski, N.H. Banks, R.L. Shewfelt, i S.E. Prussia, s. 167–186, Academic Press, San Diego, 2022.
- Tarapata K., Lesiów T.: Zmiany zachodzące w owocach i warzywach w łańcuchu logistycznym i sposoby ich ograniczania. Część 1: *Nauki Inżynierskie i Technologie. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 37, 2021.
- Tinebra I., Sortino G., Inglese P., Fretto S., Farina V.: Effect of Different Modified Atmosphere Packaging on the Quality of Mulberry Fruit (*Morus alba* L. cv Kokuso 21): *International Journal of Food Science*, 2021, 1, s. 8844502, 2021.

- Van Zeebroeck M., Van linden V., Ramon H., De Baerdemaeker J., Nicolai B.M., Tijskens E.: Impact damage of apples during transport and handling: Postharvest Biology and Technology, 45, 2, s. 157-167, 2007.
- Vilela C., Kurek M., Hayouka Z., Röcker B., Yildirim S., Antunes M.D.C., Nilsen-Nygaard J., Pettersen M.K., Freire C.S.R.: A concise guide to active agents for active food packaging: Trends in Food Science & Technology, 80, s. 212-222, 2018.
- Watkins C.: Transport of fresh produce: [w:] Encyclopedia of Applied Plant Sciences, 1, s. 351–360, Academic Press 2016.
- Witczak A., Sikorski Z.: Szkodliwe substancje w żywności, PWN, Warszawa, 2020.
- Yam K.L., Lee D.S.: Emerging food packaging technologies: Principles and practice, Elsevier 2012.
- Yildirim S., Röcker B., Pettersen M.K., Nilsen-Nygaard J., Ayhan Z., Rutkaite R., Radusin T., Suminska P., Marcos B., Coma V.: Active Packaging Applications for Food: Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 17, 1, s. 165-199, 2018.

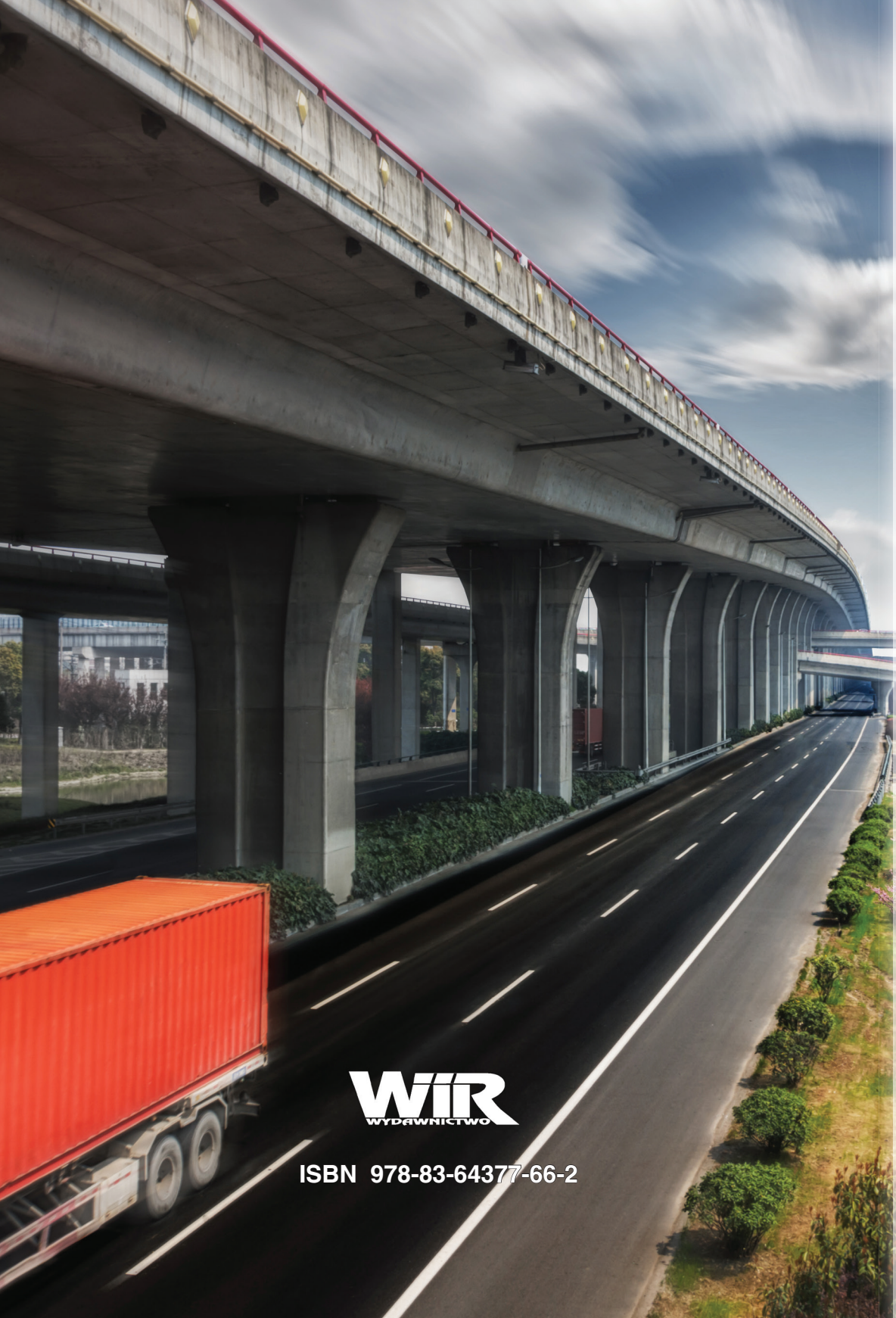
Autor do korespondencji: grzegorz.maj@up.lublin.pl

ORCID: Grzegorz Zając 0000-0002-9025-4551

ORCID: Grzegorz Maj 0000-0001-9052-6265

ORCID: Joanna Szyszlak-Bargłowicz 0000-0001-9273-6725

ORCID: Tomasz Słowik 0000-0001-9449-2234



WIR
WYDAWNICTWO

ISBN 978-83-64377-66-2