

Monografia naukowa

V Konferencja naukowa z cyklu
„Logistyka dziś i jutro”



**TENDENCJE ROZWOJOWE
W TRANSPORCIE I LOGISTYCE**

Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu
Instytut Nauk Technicznych

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

TENDENCJE ROZWOJOWE W TRANSPORCIE I LOGISTYCE

MONOGRAFIA

pod redakcją
Grzegorza Dzieniszewskiego
Macieja Kubonia i Ireneusza Kaczmara

Przemysł, 2022

Materiały z V Konferencji Naukowej z cyklu „Logistyka dziś i jutro”
Przemysł 2022

Opracowanie redakcyjne:

Prof. dr hab. inż. Maciej Kuboń, dr Ireneusz Kaczmar

Recenzenci:

Prof. dr hab. inż. Sławomir Kocira – UP Lublin

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. 23,5; ark. Druk. 21,00

Nakład: 100 egz.

© Copyright by Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków 2020

Wydanie I

ISBN 978-83-64377-53-2

WIR
WYDAWNICTWO

Wydawnictwo „INŻYNIERIA ROLNICZA”

Ul. Balicka 116B

30-149 Kraków

<http://agriceng.ptir.org/>

e-mail: redakcja@ptir.org

Spis treści

Bryła K., Olech E., Kuboń M., Kwaśniewski D., Daniel Z., Kaczmar I.: Logistyka przewozu artykułów żywnościowych na przykładzie wybranych towarów	5
Drózd T., Kielbasa P., Miernik A., Pocheć M.: Analiza struktury obciążenia wybranych linii autobusowych komunikacji miejskiej w Gminie Starachowice	23
Dzieniażewski G., Jakimiak J.: Komputerowe wspomaganie projektowania środków transportowych metodą MES	39
Dzieniażewski G., Bednarz K.: Optymalizacja systemu logistycznego przedsiębiorstwa produkcyjnego branży mechanicznej	57
Dzieniażewski G., Paciorek A.: Optymalizacja wskaźników pracy silnika tłokowego metodą zmian nastaw aparatury zasilającej	71
Dzieniażewski G., Skawiński Ł.: Stan techniczny pojazdów a bezpieczeństwo ruchu drogowego	89
Gorzelański J., Matlok N., Belcar J.: Logistyka przyjęcia, procesu suszenia, przechowywania i odbioru ziarna kukurydzy na przykładzie magazynu zbożowego	105
Juściński S.: Aplikacja autonomicznie sterowanych pojazdów, jako kierunek rozwoju logistycznych systemów transportu wewnętrznego	115
Juściński S.: Rozwój miejskiej logistyki transportowej w aspekcie stosowania alternatywnych źródeł zasilania pojazdów	145
Kaczmar I., Jarmola M., Kwaśniewski D., Kuboń M.: Ekonomiczne i techniczne czynniki wyboru ciągnika siodłowego dla firmy transportowej metodą AHP	177
Kaczmar I., Krupnyk V., Malaga-Toboła U., Olech E., Kuboń M.: Optymalizacja procesów magazynowych na wybranym przykładzie z użyciem symulacji komputerowej.....	189
Kielbasa P., Drózd T., Olszewska K.: Analiza obciążenia psychicznego kierowców wybranych samochodów ciężarowych.....	203
Miernik A., Kielbasa P., Szeliga K.: Wpływ struktury wykorzystywania wybranego przejścia dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej na wielkość zakłóceń w ruchu drogowym.....	223
Nawara P.: Cyfryzacja dokumentów transportowych	241
Nawara P., Jakubowski T., Sobol Z., Baran D.: Elektroniczny dokument normatywny FBL (negotiable fiata multimodal transport bill of lading) opracowany przez fiata	251

Trzyniec K., Kurpaska S.: Sztuczna inteligencja w systemach telematycznych wspierających logistykę	269
Wilk M., Olech E., Kuboń M., Malaga-Toboła U., Grotkiewicz K., Kaczmar I. Matłok N.: Organizacja dostaw na podstawie centrum dystrybucji	277
Zachwieja K., Kwaśniewski D., Kuboń M., Malaga-Toboła U., Olech E., Kaczmar I.: Efektywności procesów transportowych	295
Zajac G., Baryła-Paśnik M., Szyszlak-Bargłowicz J., Słowik T.: Optymalizacja w logistyce transportu mleka	319

LOGISTYKA PRZEWOZU ARTYKUŁÓW ŻYWNOŚCIOWYCH NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH TOWARÓW

**Klaudia Bryła¹, Elżbieta Olech², Maciej Kuboń^{2,3}, Dariusz Kwaśniewski²,
Zbigniew Daniel², Ireneusz Kaczmar³, Natalia Matłok⁴**

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

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

³ Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych Przemysłu

⁴ Zakład Inżynierii Produkcji Rolno-Spożywczej, Uniwersytet Rzeszowski

Wstęp

Transport żywności to jedno z największych wyzwań logistycznych przede wszystkim dlatego, że od odpowiednio zorganizowanego przewozu tych produktów zależy zdrowie konsumentów. Transport takich towarów musi odbywać się szybko i z uwzględnieniem wielu wymagań formalno-prawnych dotyczących jego jakości i bezpieczeństwa. Aby transport produktów spożywczych był zgodny z przepisami, potrzebny jest również cały szereg urządzeń, a także systemów, które nie tylko zabezpieczają ładunek w czasie przewozu oraz pomagają podczas ich załadunku i wyładunku. Proces dostarczania artykułów żywnościowych transportem drogowym musi być ściśle dostosowany zarówno do krajowych, jak i międzynarodowych przepisów dotyczących przewozu artykułów żywnościowych ruchem drogowym. Konieczne jest także dbanie o prawidłowy stan eksploatacyjny pojazdów transportujących te ładunki oraz urządzeń odpowiedzialnych za monitorowanie temperatury i prawidłowe kontrolowanie produktów, od czego w głównej mierze zależy jakość przewożonego ładunku¹.

W ostatnich latach rozwój sektora TSL był bardzo dynamiczny a przewozy ładunków z roku na rok wzrastają². Istotną grupą transportowanych towarów są artykuły żywnościowe.

¹ Satora M., Szkoła M.: Zapewnienie jakości i bezpieczeństwa produktów żywnościowych w transporcie drogowym, *Autobusy* 6, 86-92, 2019

² Ziemkowska D., Wolak M., Lysionok A., Kosturek B., Wiśniewski J., Wawryszuk B., Kawa A., Davidson R., Maćkowiak M., Starzyk M., Kulikowska A.: Rewolucja technologiczna. Kierunki rozwoju branży TSL. Wrocław, Polski Instytut Transportu Drogowego, 12-15, 2019.

Największe znaczenie podczas transportu żywności mają takie czynniki jak: temperatura, wilgotność powietrza, czas realizacji zlecenia, jakość opakowań oraz warunki higieniczne wnętrza pojazdu transportującego³. Szczególną grupą żywności są mrożonki, które wymagają specjalnych wymogów podczas transportu. W celu zapewnienia najwyższej jakości i bezpieczeństwa żywności wprowadzono prawo żywnościowe. Określono w nim wszystkie warunki oraz wymagania jakie należy spełnić, aby transport żywności odbył się w sposób bezpieczny. Najważniejszym dokumentem dotyczącym transportu mrożonych artykułów żywnościowych jest umowa ATP. Zostały zawarte w niej wymagania dotyczące środków transportu artykułów żywnościowych mrożonych, głęboko mrożonych, schłodzonych oraz ich podział i znakowanie, temperatury w jakiej należy przewozić wybrane grupy produktów a także procedury i metody kontroli temperatury⁴.

Dla gospodarki zarówno polskiej, jak i światowej, rynek TSL odgrywa dużą rolę. Średnia roczna dynamika wzrostu dla Unii Europejskiej w ostatnich dziesięciu latach wynosiła ok. 2% i była wyższa niż dynamika PKB. Polska w porównaniu do Unii Europejskiej wypadła nieco lepiej, ponieważ dynamika branży TSL w ostatnich latach wynosiła ok. 3,8%⁵.

Polski sektor rolno-spożywczy jest ważną częścią gospodarki. Wpływ na rozwój tego sektora miało przystąpienie Polski do Unii Europejskiej. Przyczyniło się to do zwiększenia handlu zagranicznego, a co za tym idzie do zbliżenia struktury przemysłu rolno-spożywczego do innych krajów wysoko rozwiniętych.

Tabela 1. Wartość światowego rynku rolno-spożywczego w latach 1995, 2005 i 2016

Wartość globalnego rynku spożywczego	1995	2005	2016
Produkcja żywności (mln USD)	1 394 325	1 803 254	2 323 632
Rolnictwo (% PKB)	4	3	4
Eksport żywności (mln USD)	297 998	453 509	926 686
Import żywności (mln USD)	310 774	473 971	962 538

*Źródło:*⁶

³ Bieńczyk K., Kasperdki M., Ostwald M., Pawłowski F., Rochatka T., Sikora T., Stachowiak A., Tyczewski P., Zwierzycka T., Zwierzycki W.: Pojazdy chłodnicze w transporcie żywności. Poznań, SYSTHERM D. Gazińska S.J., 12-102, 2006.

⁴ Rokicki T., Klepacki B.: Transport żywności – uwarunkowania organizacyjne, techniczne, ekonomiczne oraz jego skala. Warszawa, Wydawnictwo SGGW, 31-82, 2019.

⁵ Zysińska M.: Ocena przedsięwzięć TSL działających w Polsce – dylematy metodyczne badań. Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów / Szkoła Główna Handlowa, (173), 2019, 141-143

⁶ Analiza potencjału oraz perspektyw rozwoju sektora rolno-spożywczego na Mazowszu. Pozy-skano z: <https://innowacyjni.mazovia.pl/upload/pages/2089/2089-0.pdf>

Rozpatrując światowy sektor rolno-spożywczy szacuje się, że do 2023 roku wartość rynku technologii do produkcji żywności wzrośnie o 234,6 mln USD. W tabeli 1 przedstawiono wartość światowego rynku rolno-spożywczego w latach 1995, 2005 i 2016.

Z przedstawionej danych w tabeli wynika, że wartość produkcji żywności od roku 1995 do 2016 zwiększyła się o 929 307 mln USD, podczas gdy wartość PKB we wszystkich latach utrzymywała się na poziomie 3-4%.

Trendy jakie w przyszłości będą wpływały na rozwój sektora rolno-spożywczego to przede wszystkim:⁷ wzrost znaczenia żywności regionalnej i lokalnej, zmniejszenie powierzchni gruntów, wzrost popularności żywności ekologicznej, wzrost w sprzedaży zdrowej żywności, zmiany w trendach konsumenckich, zmniejszenie spożycia mięsa na rzecz diet wegańskiej i wegetariańskiej, zwiększenie popytu na dania gotowe oraz szybkie w przygotowaniu, a także zmniejszenie marnotrawstwa żywności.

Analizując przewozy transportu żywności możemy zauważyć kilka znaczących zmian jakie zaszły w ostatnich latach i jakie będą zachodziły w najbliższym czasie. Jak piszą Rokicki i Klepacki⁸, w 2017 roku zarejestrowano 45,4 tys. naczep typu chłodnia i lodownia. Stanowiły one 11,5% wszystkich naczep i w tej grupie odnotowano wzrost w porównaniu z latami poprzednimi. W przypadku przyczep typu chłodnia i lodownia ich liczba zmniejszyła się, co świadczy o rezygnacji z przyczep na rzecz naczep. Istotną zmianą jeśli chodzi o transport artykułów żywnościowych jest eksport. Wartość produktów żywnościowych, jaka została wyeksportowana w 2017 roku, wyniosła 27,3 mld euro, co stanowiło 13% z całego eksportowanego towaru przez Polskę w tym roku. Głównymi odbiorcami polskich artykułów żywnościowych były kraje Unii Europejskiej, w największym stopniu Niemcy, ale także kraje wschodnie takie jak Rosja, Ukraina czy Białoruś. Praca przewozowa w latach 2008-2017 regularnie zwiększała się. W 2017 roku praca przewozowa dla żywności wyniosła 15,6% i było to najwięcej w ogólnej pracy przewozowej w tym roku⁹.

W przyszłości wpływ nie tylko na transport artykułów żywnościowych, ale także ogólny transport będą miały:¹⁰ rywalizacja z konkurencją, skrócenie czasu dostaw, inwestycje w szkolenia dla pracowników, polepszanie jakości usług, nowoczesny tabor oraz rozwój systemów IT.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa żywności podczas produkcji oraz dystrybucji w przedsiębiorstwach stosuje się prawo żywnościowe. Jedną z ustaw dotyczących żywności jest Ustawa z dnia 11 maja 2001 roku o warunkach zdrowotnych żywności i żywienia. Zawarto w niej wymagania dotyczące transportu a także szczegółowe wymagania co do załadunku, wyładunku oraz przeładunku, które należy spełnić, aby zachować jakość i bezpieczeństwo artykułów żywnościowych i dodatków do żywności. Kolejną z ustaw jest Ustawa z dnia 29 stycznia 2004 roku o wymaganiach weterynaryjnych dla produktów pochodzenia zwierzęcego. Określono w niej wymogi dla podmiotu dotyczące weterynaryjnego numeru identyfikacyjnego nadawanego przez powiatowego lekarza weterynarii. Innym, bardziej złożonym dokumentem dotyczącym artykułów żywnościowych jest umowa ATP. Jest to umowa

⁷ Ibidem

⁸ Rokicki T., Klepacki B., Transport żywności – uwarunkowania organizacyjne, techniczne, ekonomiczne oraz jego skala. Warszawa, Wydawnictwo SGGW, 2019.

⁹ Ibidem

¹⁰ Baranowska-Skimina A.: Branża TSL w latach 2013-2014, 2014 Pozyskano z: <https://www.egospodarka.pl/>

o międzynarodowych przewozach szybko psujących się artykułów żywnościowych i o specjalnych środkach transportu przeznaczonych do tych przewozów. Została przyjęta w Genewie 1 września 1970 roku a przez Polskę podpisana w 1984 roku. Celem umowy jest poprawa jakości transportu artykułów żywnościowych mrożonych, głęboko mrożonych lub schłodzonych.

W umowie ATP zawarte zostały wymagania dotyczące:¹¹

- środków transportu artykułów żywnościowych mrożonych, głęboko mrożonych, schłodzonych oraz ich podział i znakowanie,
- temperatury w jakiej należy przewozić wybrane grupy produktów,
- procedur i metod kontroli temperatury.

Regulacją prawną dotyczącą głęboko mrożonych artykułów żywnościowych stosowaną na terenie Unii Europejskiej jest Dyrektywa nr 89/108/EWG przyjęta przez Radę Europy we współpracy z Parlamentem Europejskim. Według niej temperatura głębokiego zamrożenia żywności powinna być stabilna i wynosić -18°C lub mniej a temperatura podczas transportu nie powinna zmieniać się o więcej niż 3°C . Według Dyrektywy Komisji Wspólnot Europejskich nr 92/1/EWG w sprawie monitorowania temperatur w środkach transportu, podczas magazynowania oraz składowania głęboko mrożonych środków spożywczych przeznaczonych do spożycia przez ludzi, każdy pojazd przeznaczony do transportu artykułów żywnościowych głęboko mrożonych powinien posiadać rejestrator temperatury.¹²

Osoba będąca właścicielem przedsiębiorstwa wykonującego przewozy artykułów żywnościowych lub inna osoba zarządzająca takim przedsiębiorstwem powinna posiadać Certyfikat Kompetencji Zawodowych. Wszystkie pojazdy przeznaczone do transportu żywności powinny być zarejestrowane i zatwierdzone przez powiatowego inspektora sanitarnego a także powinny posiadać świadectwo zgodności środka transportu wydawane przez Laboratorium Badawcze Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej oraz Centralny Ośrodek Chłodnictwa mieszczący się w Krakowie¹³.

Produkowana żywność powinna być w pełni bezpieczna dla zdrowia i życia człowieka oraz spełniać wymagania klientów wysokiej jakości. W Polsce aktem prawnym regulującym kwestię bezpieczeństwa żywności jest ustawa z 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia.¹⁴ Według niej bezpieczeństwo żywności to „...ogół warunków koniecznych do spełnienia podczas produkcji żywności oraz jej obrotu, w celu zapewnienia bezpieczeństwa konsumenta”. Jak pisze Postupolski¹⁵ zgodnie z definicją FAO, „...bezpieczeństwo

¹¹ Bieńczak K., Kasperdki M., Ostwald M., Pawłowski F., Rochatka T., Sikora T., Stachowiak A., Tyczewski P., Zwierzycka T., Zwierzycki W.: Pojazdy chłodnicze w transporcie żywności. Poznań, SYSTHERM D. Gazińska S.J., 12-10, 2006.

¹² Steindel M., Schnotale J.: Mrożona żywność i jej transport zgodnie z przepisami Unii Europejskiej. Chłodnictwo i Klimatyzacja, Samochodowy Transport Chłodniczy. Dodatek miesięcznika Chłodnictwo&Klimatyzacja, 5-8, 2008.

¹³ Krzewińska A., Matysek K.: Wymagania stawiane środkom transportu żywności. Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 5, 240-243, 2012.

¹⁴ Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia. Dz.U. 2006 nr 171 poz. 1225

¹⁵ Postupolski J.: Bezpieczeństwo żywności – podstawowe zagadnienia, aktualne zagrożenia. Narodowe Centrum Edukacji Żywnieniowej, Warszawa, 2020.

żywności odnosi się do zapewnienia, że żywność nie spowoduje szkody dla konsumenta gdy jest przygotowywana i/lub spożywana zgodnie z przeznaczeniem”.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa żywności na wszystkich etapach oraz sprostaniu oczekiwaniom konsumentów, przedsiębiorcy stosują systemy zarządzania jakością i bezpieczeństwem żywności. Należą do nich:

- Dobra Praktyka Produkcyjna (GMP),
- Dobra Praktyka Higieniczna (GHP),
- Dobra Praktyka Rolnicza (GAP),
- System HACCP,
- Norma ISO 9001,
- Kompleksowe Zarządzanie Jakością (TQM).

Dobra Praktyka Rolnicza (GAP – *Good Agricultural Practice*) jest to „niezależny, dobrowolny system zapewniania bezpieczeństwa żywności dla pierwotnej produkcji rolnej, czyli dla rolników”. System GAP stał się standardem światowym lecz nieobowiązkowym¹⁶. System określa wymagania w odniesieniu do¹⁷: wszystkich etapów produkcji żywności tj. zasiew, zbiór czy pakowanie, ochrony środowiska, bezpieczeństwa i higieny pracy oraz stanu zdrowia zwierząt.

Dobra Praktyka Higieniczna (GHP – *Good Hygiene Practice*) – według Ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia, GHP to „działania, które muszą być podjęte, i warunki higieniczne, które muszą być spełniane i kontrolowane na wszystkich etapach produkcji lub obrotu, aby zapewnić bezpieczeństwo żywności”. Wprowadzenie tego systemu w firmie jest podstawą do wprowadzenia w dalszym etapie systemu HACCP¹⁸.

Dobra praktyka higieniczna swoimi działaniami obejmuje: lokalizację zakładu oraz jego otoczenie, układ przestrzenny pomieszczeń w zakładzie, maszyny i urządzenia, procesy mycia i dezynfekcji, jakość wody, usuwanie odpadów, zabezpieczenia przed szkodnikami, zasady higieny pracowników oraz szkolenia pracowników¹⁹.

Dobra Praktyka Produkcyjna (GMP – *Good Manufacturing Practice*) – według Ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia to „działania, które muszą być podjęte i warunki, które muszą być spełniane, aby produkcja żywności oraz materiałów i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z żywnością odbywały się w sposób zapewniający bezpieczeństwo żywności, zgodnie z jej przeznaczeniem”²⁰.

¹⁶ Sałata B.: Zintegrowane zapewnienie bezpieczeństwa i jakości żywności GlobalGAP. Radom, Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Radomiu, 7-17, 2012.

¹⁷ Dzwolak W.: Dobre praktyki rolnicze GAP w produkcji roślinnej i zwierzęcej. Przemysł Spożywczy, 67, 9, 32-34, 2013.

¹⁸ Nowicki P.: Wymagania i wdrażanie zasad GMP i GHP w zakładach żywienia zbiorowego. Kraków, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, 815, 108, 2010.

¹⁹ Turlejska H., Pelzner U., Konecka-Matyjek E., Wiśniewska K.: Przewodnik do wdrażania zasad GMP/GHP i systemu HACCP w zakładach żywienia zbiorowego. Warszawa, Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa, 20-33, 2003.

²⁰ Nowicki P.: Wymagania i wdrażanie zasad GMP i GHP w zakładach żywienia zbiorowego. Kraków, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, 815, 108, 2010.

Celem GMP jest zapewnienie, że żywność jest bezpieczna oraz posiada odpowiednią jakość. Wymagania te powinny być stosowane przez wszystkich producentów, przetwórców oraz dystrybutorów żywności²¹.

System HACCP jest to System Analizy Zagrożeń i Krytycznych Punktów Kontroli. Nazwa HACCP to skrót od angielskich słów *Hazard Analysis and Critical Control Points*. System ma na celu wyeliminowanie zagrożeń dla żywności oraz poprawę jakości i bezpieczeństwa. HACCP zapewnia bezpieczeństwo zdrowotne żywności na wszystkich etapach podczas produkcji, przetwarzania i rozprowadzania żywności²².

System QACP (*Quality Assurance Control Points*) – są to Punkty Kontrolne Zapewniania Jakości, które mają na celu zapewnienie jakości żywności. QACP powstał w oparciu o system HACCP i w swoich zasadach przypomina właśnie ten system, jednakże odnosi się on nie tylko do zapewnienia jakości zdrowotnej ale do całości jakości produktu²³.

Normy ISO 9000 zostały wprowadzone przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną. Dotyczą one zarządzania jakością w przedsiębiorstwach i organizacjach. Najważniejszymi spośród norm są:

- ISO 9000 - Systemy zarządzania jakością. Podstawy i terminologia.
- ISO 9001 - Systemy zarządzania jakością. Wymagania.
- ISO 9004 - Zarządzanie ukierunkowane na trwały sukces organizacji. Podejście wykorzystujące zarządzanie jakością. W 2000 roku zmieniono jej nazwę na „Systemy zarządzania jakością. Wytyczne doskonalenia funkcjonowania”. W normie tej zawarto rozwinięcie normy 9001, a także kwestionariusz samooceny dla organizacji²⁴.

TQM czyli *Total Quality Management*, co można przetłumaczyć na język polski jako kompleksowe zarządzanie jakością. Jak piszą Grudowski oraz Wiśniewska²⁵ TQM to sposób zarządzania organizacją, skoncentrowany na jakości, oparty na udziale wszystkich członków organizacji i nakierowany na osiągnięcie długotrwałego sukcesu dzięki zadowoleniu klienta oraz korzyściom dla wszystkich członków organizacji i dla społeczeństwa²⁶.

²¹ Meghwal M., Heddurshetti U., Biradar R.: *Good Manufacturing Practices for Food Processing Industries: Purposes, Principles and Practical Applications*. New York, Food Technology: Applied Research and Production Techniques, Apple Academic Press, 1-26, 2017.

²² Szymanowski W.: *Zarządzanie Łańcuchami Dostaw Żywności w Polsce*. Kierunki Zmian. Warszawa, Difin, 2, 111-118, 2008.

²³ Grębowiec, M.: *Wpływ integracji Polski z Unią Europejską na zmiany w podejściu do zapewnienia jakości produktów żywnościowych*. Warszawa, Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego, 12(21), z. 1, 67-68, 2012.

²⁴ Rogala, P.: *Ciągłe doskonalenie jakości według norm ISO serii 9000*. Wrocław, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 340, 536-545, 2012.

²⁵ Grudowski, P.; Wiśniewska, M.: *Zarządzanie jakością i innowacyjność w świetle doświadczeń organizacji Pomorza*. Gdańsk, Innobaltica, 10-15, 2014.

²⁶ Ibidem

Analiza uwarunkowań technicznych, technologicznych i organizacyjnych wpływających na logistykę przewozu artykułów żywnościowych

Dane wykorzystane do opracowania zostały pozyskane z hurtowni żywności mrożonej na podstawie wywiadu kierowanego z kierownikiem, zastępcą kierownika oraz jednym z przedstawicieli firmy.

Analizy dokonano w oparciu o pozyskane informacje jakimi były: specyfikacje załadunku, tabele kontroli temperatur, czas załadunku, czas rozładunku, rodzaj pojazdu, ładowność pojazdu, awaryjność, liczba punktów odbioru, pokonana odległość, czas jazdy.

Do charakterystyki procesów transportowych wykorzystano następujące mierniki i wskaźniki logistyczne:²⁷ prędkość techniczną i eksploatacyjną, wskaźnik wykorzystania przebiegu i ładowności, wydajność załadunku, wyładunku oraz transportu, czas operacyjny T_{02} , roboczy T_{04} oraz eksploatacyjny T_{07} , współczynnik wykorzystania czasu operacyjnego K_{02} , roboczego K_{04} i eksploatacyjnego K_{07} .

Do oceny jakości przewożonego ładunku opracowano tabelę z warunkami najwyższych dopuszczalnych temperatur z uzyskanymi wartościami temperatur podczas transportu.

Tabela 2. Najwyższe dopuszczalne wartości temperatur podczas transportu

Nazwa transportowanego artykułu żywnościowego	Najwyższe wartości temperatur podczas transportu według umowy ATP
Mrożonki - warzywa i owoce	-18°C
Mrożonki - żywność	-18°C
Lody	-20°C
Ryby	-18°C

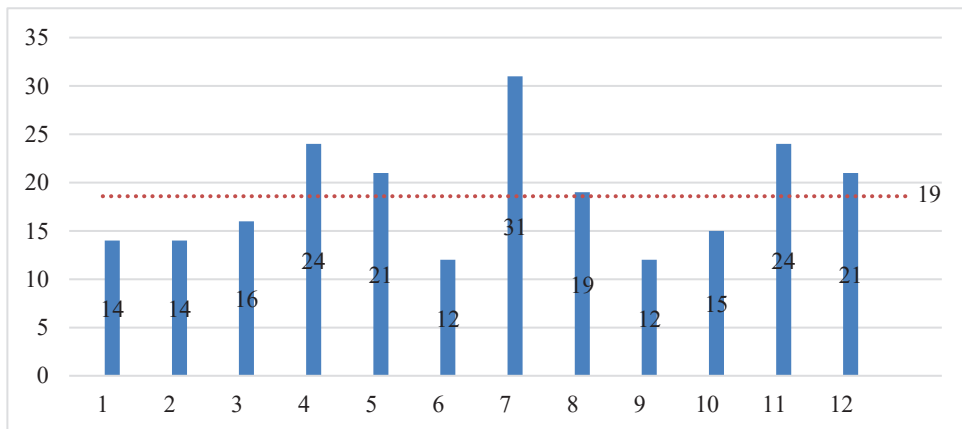
Przedmiotem badań były artykuły żywnościowe, które zostały podzielone na 4 grupy. Pierwszą grupę stanowiły mrożone warzywa i owoce, drugą - mrożona żywność a w niej m.in. kartacze, uszka, pierogi, frytki. Kolejną grupę stanowiły lody, zaś ostatnią mrożone ryby. Specyfikacje załadunku pochodziły z trzech miesięcy: lipca, sierpnia oraz września.

Na rys. 1 zaprezentowano liczbę punktów odbioru dla analizowanych zleceń zrealizowanych w lipcu. Jak można zauważyć, największą liczbą punktów odbioru odnotowano podczas realizacji zlecenia nr 7, którego ilość wynosiła 31, natomiast najniższą podczas realizacji zlecenia nr 6 i 9. W obu przypadkach było to 12 odbiorców. Średnia liczba odbiorów do których dostarczane były towary w miesiącu lipcu wynosiła 19.

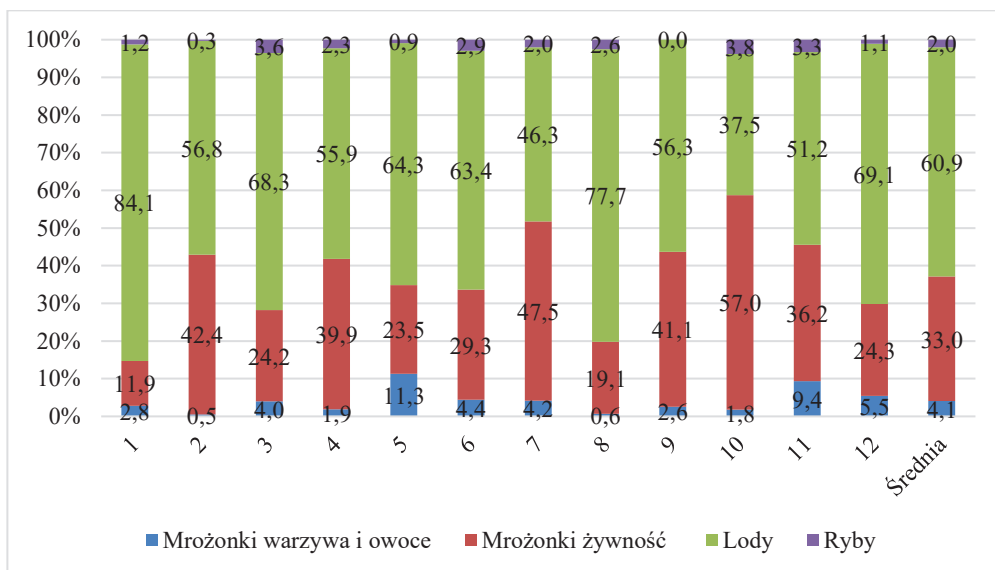
Na rysunku 2 przedstawiono procentowy udział ładunków wraz ze średnią dla zrealizowanych zleceń w miesiącu lipcu. Największy udział w realizowanych przewozach miały mrożone lody (60,9%) a najmniejszy mrożone warzywa i owoce (4,1%). Niewielki udział stanowiły mrożone ryby – 2%. Pozostałe ładunki to mrożona żywność – 33%.

²⁷ Twaróg J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2003.

Udział lodów w strukturze przewożonych ładunków kształtował się na poziomie 37,5-84%. Najmniejszym zainteresowaniem w tym miesiącu cieszyły się mrożone ryby (0-3,6%) oraz warzywa i owoce (0,5-11,3%).

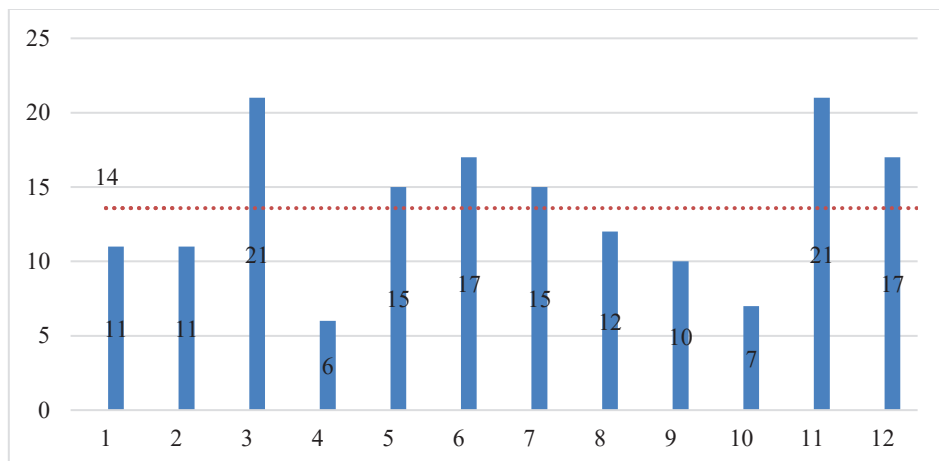


Rys. 1. Liczba punktów odbioru dla wybranych zleceń w miesiącu lipcu



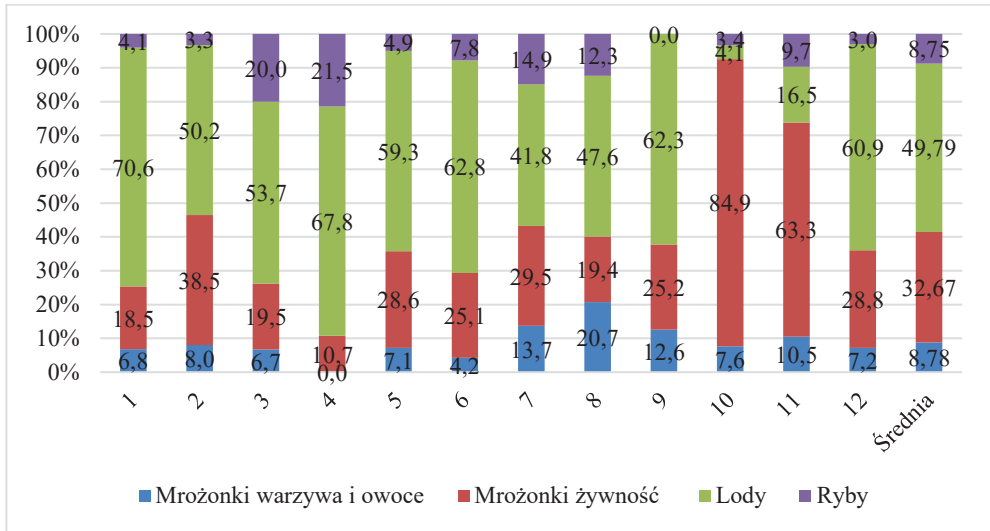
Rys. 2. Procentowy udział ładunków wraz ze średnią dla dwunastu zleceń w miesiącu lipcu

Z danych przedstawionych na rys. 3 wynika, że największa liczba punktów odbioru wystąpiła podczas realizacji zlecenia nr 3 i 11 - 21. Natomiast najniższa liczba punktów odbioru odnotowano dla zlecenia nr 4 - 6. Średnia liczba odbiorców, do których dostarczane były towary w miesiącu sierpniu wyniosła 14.



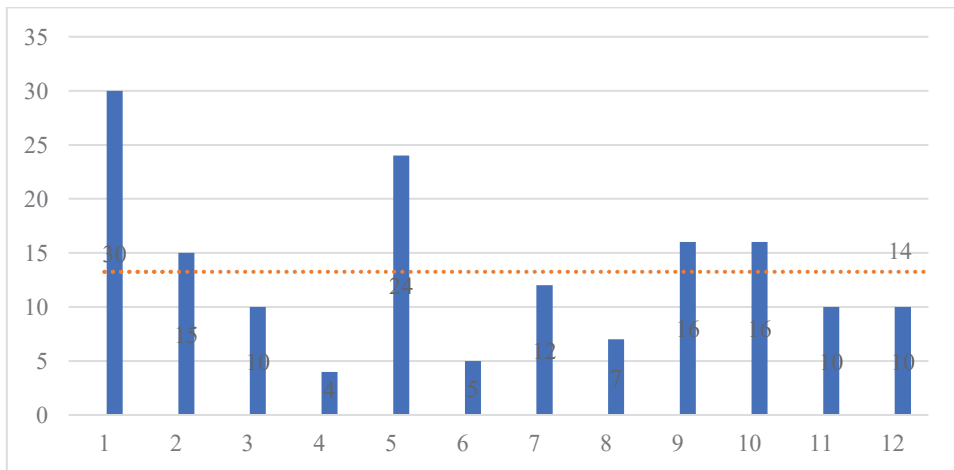
Rys. 3. Liczba punktów odbioru dla wybranych zleceń w miesiącu sierpniu

W miesiącu sierpniu (rys. 4), największy udział w przewozach miały mrożone lody, których udział stanowił 49,79%. Nieco mniejsze zainteresowanie w tym miesiącu miały mrożona żywność - 32,67%. Podobnie jak w poprzednim miesiącu, najmniejszy udział w realizowanych przewozach stanowiły mrożone ryby (8,75%). Udział mrożonych ryb mieścił się w granicach 0-21,5% a żywności od 0 do 20,7%.



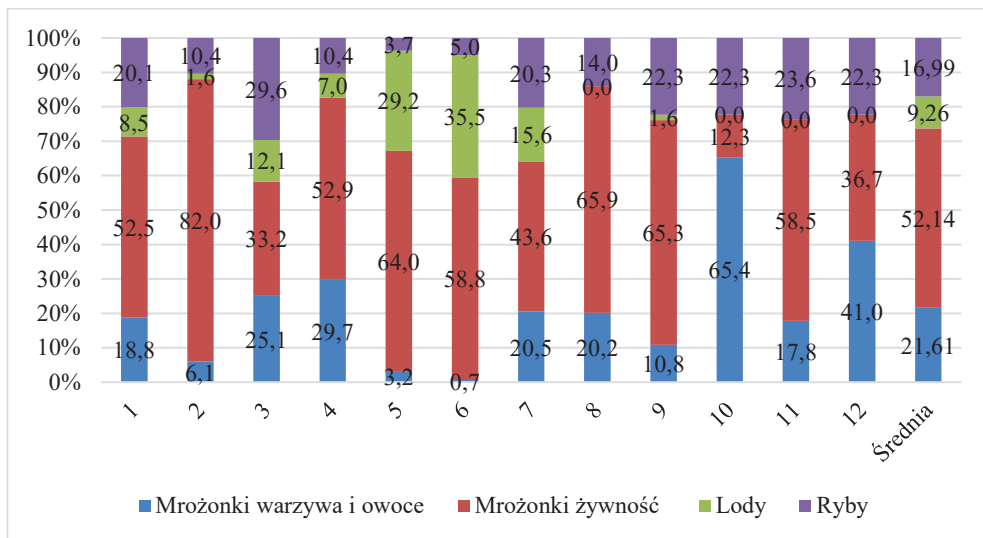
Rys. 4. Procentowy udział ładunków wraz ze średnią dla dwunastu zleceń w miesiącu sierpniu

Rys. 5 przedstawia liczbę punktów odbioru analizowanych zleceń w miesiącu wrześniu.



Rys. 5. Liczba punktów odbioru dla wybranych zleceń w miesiącu wrześniu

We wrześniu największy udział w przewozach miała mrożona żywność - 52,14%. Zainteresowanie wśród mrożonych warzyw i owoców było o ponad połowę mniejsze w porównaniu z poprzednią grupą produktów. Nieznacznie mniejszym udziałem - 16,99% charakteryzowały się mrożone ryby, natomiast przewóz lodów w tym miesiącu spadł na ostatnie miejsce.



Rys. 6. Procentowy udział ładunków wraz ze średnią dla dwunastu zleceń w miesiącu wrześniu

Tabela 3 przedstawia wybrane parametry dotyczące czasów realizacji procesów transportowych dla analizowanych miesięcy.

Tabela 3. Wybrane parametry procesów transportowych

Parametr	Czas realizacji procesu transportowego (h)					
	Czas załadunku	Czas rozładunku wszystkich sklepów	Czas jazdy	Czas usuwania usterek	Inne	Czas ogółem
Lipiec						
Średnia	0,45	1,55	1,46	0,11	0,13	3,70
Min	0,33	1,00	1,03	0,00	0,00	2,45
Max	0,58	2,58	2,23	0,30	0,48	5,40
Sierpień						
Średnia	0,37	1,13	1,21	0,11	0,11	2,93
Min	0,25	0,50	0,82	0,00	0,00	1,78
Max	0,50	1,75	1,92	0,30	0,50	4,32
Wrzesień						
Średnia	0,29	1,10	1,17	0,09	0,17	2,82
Min	0,17	0,33	0,60	0,00	0,00	1,75
Max	0,50	2,50	1,83	0,50	0,75	5,58

Najdłuższy średni czas realizacji zlecenia odnotowano w lipcu - 3,7 h, a najkrótszy we wrześniu - 2,82 h. Biorąc jednak pod uwagę maksymalny czas zlecenia, we wrześniu wartość ta była większa o 0,18 h. Nie wpłynęło to jednak na średnią, która w tym miesiącu była najniższa.

Najwięcej czasu podczas realizacji przewozów przeznaczono na jazdę oraz rozładunek towaru w poszczególnych sklepach. Były to czasy zbliżone w każdym z trzech badanych miesięcy. Najmniej czasu zajmowało usuwanie usterek oraz inne zdarzenia. Czas jazdy i czas rozładunku wszystkich sklepów stanowiły łącznie ok. 80% całego czasu realizacji zleceń. Czas załadunku oscylował w granicach 10%, natomiast zarówno czas poświęcony na usterki, jak i inne czynności, był w granicach 5%.

Aby zachować najwyższą jakość artykułów żywnościowych należy sprawować kontrolę na wszystkich etapach produkcji i dystrybucji. Do najważniejszych czynników wpływających na jakość żywności mrożonej podczas transportu zalicza się²⁸:

- rodzaj, jakość oraz szczelność opakowań a także sposób ich rozmieszczenia. Najczęściej są to folie i kartony. Odpowiednie zapakowanie zabezpiecza produkt przed przedostaniem tlenu, wilgotności, światła oraz zanieczyszczeń mikrobiologicznych a prawidłowe rozmieszczenie ładunku zapewnia poprawną cyrkulację powietrza,
- warunki klimatyczne panujące w powierzchni ładunkowej. Jednym z ważniejszych czynników klimatycznych jest temperatura, która musi być dostosowana do każdej z grup produktów a jej zmiany należy ograniczyć do minimum,
- czystość wnętrza środka transportu,
- czas realizacji transportu.

Transport żywności odbywał się przy użyciu specjalnych środków transportu. Były to środki transportu typu: lodownia oraz chłodnia. Zgodnie z umową ATP każdy środek transportowy posiadał urządzenie rejestrujące temperaturę. O obowiązku zapisu temperatur mówi także rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 grudnia 2002 roku, w którym wymagana jest stała kontrola temperatur. Jest również wiele norm europejskich dotyczących kontroli temperatur, m.in. dyrektywa 92/1/EWG, dyrektywa 92/1/EEC czy dyrektywa HACCP.

Rejestr kontroli temperatur został wykonany osobno dla miesiąca lipca, sierpnia i września. Wszystkie pomiary były przeprowadzane w godzinach od 8:00 do 12:00.

W tabelach 4-6 przedstawiono rejestr kontroli temperatur podczas realizacji procesów transportowych.

W lipcu najniższe wartości temperatur miały ryby oraz mrożonki – warzywa i owoce oscylujące w granicach -28°C. Najwyższe średnie temperatury odnotowano dla lodów. Spośród wszystkich zleceń dotyczących tej grupy ładunku temperatura wzrosła najczęściej podczas zlecenia nr 7, 11 i 12. Był to jednak niewielki spadek w porównaniu do najwyższej możliwej temperatury w jakiej można przewozić lody, która wynosi -20°C. Najwyższą wartość temperatury zanotowano podczas transportu nr 11, gdzie wyniosła -25,78°C.

²⁸ Bieńczak K., Kasperdki M., Ostwald M., Pawłowski F., Rochatka T., Sikora T., Stachowiak A., Tyczewski P., Zwierzycka T., Zwierzycki W.: Pojazdy chłodnicze w transporcie żywności. Poznań, SYSTHERM D. Gazińska S.J., 2006.

Tabela 4. Rejestr kontroli temperatur podczas realizacji transportu w lipcu

Produkty	Liczba zleceń												Średnia (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Mrożonki - warzywa i owoce	godz.: 09:23 temp (°C): - 28	godz.: 09:06 temp (°C): - 28	godz.: 08:38 temp (°C): - 29	godz.: 09:20 temp (°C): - 29	godz.: 09:38 temp (°C): - 26	godz.: 08:44 temp (°C): - 29	godz.: 10:23 temp (°C): - 28	godz.: 09:15 temp (°C): - 29	godz.: 10:08 temp (°C): - 28	godz.: 09:45 temp (°C): - 29	godz.: 10:37 temp (°C): - 26	godz.: 09:53 temp (°C): - 28	- 28,08
Mrożonki - żywność	godz.: 09:23 temp (°C): - 28	godz.: 09:06 temp (°C): - 27	godz.: 08:38 temp (°C): - 29	godz.: 09:20 temp (°C): - 26	godz.: 09:38 temp (°C): - 28	godz.: 08:44 temp (°C): - 27	godz.: 10:23 temp (°C): - 25	godz.: 09:15 temp (°C): - 28	godz.: 10:08 temp (°C): - 26	godz.: 09:45 temp (°C): - 26	godz.: 10:37 temp (°C): - 25	godz.: 09:53 temp (°C): - 27	- 27
Lody	godz.: 09:23 temp (°C): - 26	godz.: 09:06 temp (°C): - 27	godz.: 08:38 temp (°C): - 28	godz.: 09:20 temp (°C): - 26	godz.: 09:38 temp (°C): - 26	godz.: 08:44 temp (°C): - 28	godz.: 10:23 temp (°C): - 25	godz.: 09:15 temp (°C): - 26	godz.: 10:08 temp (°C): - 26	godz.: 09:45 temp (°C): - 28	godz.: 10:37 temp (°C): - 25	godz.: 09:53 temp (°C): - 25	- 26,83
Ryby	godz.: 09:23 temp (°C): - 29	godz.: 09:06 temp (°C): - 28	godz.: 08:38 temp (°C): - 30	godz.: 09:20 temp (°C): - 28	godz.: 09:38 temp (°C): - 29	godz.: 08:44 temp (°C): - 29	godz.: 10:23 temp (°C): - 28	godz.: 09:15 temp (°C): - 29	godz.: 10:08 temp (°C): - 29	godz.: 09:45 temp (°C): - 29	godz.: 10:37 temp (°C): - 27	godz.: 09:53 temp (°C): - 29	- 28,67
Średnia (°C)	-28,25	-27,5	-29	-27,25	-27,25	-28,25	-26,5	-28	-27,25	-28	-25,75	-27,25	-

Tabela 5. Rejestr kontroli temperatur podczas realizacji transportu w sierpniu

Produkty	Liczba zleceń												Średnia (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Mrożonki - warzywa i owoce	godz.: 09:06 temp (°C): - 29	godz.: 09:21 temp (°C): - 29	godz.: 10:13 temp (°C): - 27	godz.: 08:37 temp (°C): - 30	godz.: 10:08 temp (°C): - 27	godz.: 09:39 temp (°C): - 29	godz.: 08:55 temp (°C): - 29	godz.: 09:44 temp (°C): - 28	godz.: 09:20 temp (°C): - 28	godz.: 08:49 temp (°C): - 29	godz.: 10:15 temp (°C): - 27	godz.: 09:40 temp (°C): - 29	- 28,42
Mrożonki - żywność	godz.: 09:06 temp (°C): - 28	godz.: 09:21 temp (°C): - 28	godz.: 10:13 temp (°C): - 26	godz.: 08:37 temp (°C): - 29	godz.: 10:08 temp (°C): - 26	godz.: 09:39 temp (°C): - 28	godz.: 08:55 temp (°C): - 28	godz.: 09:44 temp (°C): - 29	godz.: 09:20 temp (°C): - 28	godz.: 08:49 temp (°C): - 28	godz.: 10:15 temp (°C): - 25	godz.: 09:40 temp (°C): - 28	- 27,58
Lody	godz.: 09:06 temp (°C): - 27	godz.: 09:21 temp (°C): - 27	godz.: 10:13 temp (°C): - 25	godz.: 08:37 temp (°C): - 28	godz.: 10:08 temp (°C): - 25	godz.: 09:39 temp (°C): - 27	godz.: 08:55 temp (°C): - 27	godz.: 09:44 temp (°C): - 27	godz.: 09:20 temp (°C): - 27	godz.: 08:49 temp (°C): - 29	godz.: 10:15 temp (°C): - 26	godz.: 09:40 temp (°C): - 27	- 26,83
Ryby	godz.: 09:06 temp (°C): - 29	godz.: 09:21 temp (°C): - 29	godz.: 10:13 temp (°C): - 26	godz.: 08:37 temp (°C): - 29	godz.: 10:08 temp (°C): - 26	godz.: 09:39 temp (°C): - 29	godz.: 08:55 temp (°C): - 28	godz.: 09:44 temp (°C): - 29	godz.: 09:20 temp (°C): - 29	godz.: 08:49 temp (°C): - 29	godz.: 10:15 temp (°C): - 27	godz.: 09:40 temp (°C): - 29	- 28,25
Średnia (°C)	-28,25	-28,25	-26	-29	-26	-28,25	-29,25	-28	-28,25	-28,75	-26,25	-28,25	-

W sierpniu, podobnie jak w lipcu, najniższe wartości temperatur w jakich przewożono towary dotyczyły ryb oraz mrozonek – warzyw i owoców. Również najwyższe temperatury odnotowano dla lodów, gdzie wartość wyniosła $-26,83^{\circ}\text{C}$. W przypadku wszystkich zleceń różnica pomiędzy najwyższą a najniższą temperaturą wynosiła maksymalnie $3,25^{\circ}\text{C}$. Analizując temperatury mierzone we wrześniu można zauważyć, że lody miały najniższą średnią temperaturę, która wyniosła $-28,42^{\circ}\text{C}$, natomiast najwyższą mrożonki – żywność w wysokości – $26, 42^{\circ}\text{C}$. Porównując ze sobą średnie dla wszystkich zleceń można zauważyć, że najwyższą temperaturą odznaczało się zlecenie nr 5, gdzie temperatura wyniosła -25°C . Podczas tego transportu lody oraz mrożonki – żywność osiągnęły temperaturę -24°C . Wszystkie przewozy, w każdym z badanych miesięcy zostały zrealizowane w sposób poprawny i żadna z temperatur nie przekroczyła najwyższej dopuszczalnej wartości podczas realizacji transportu.

Tabela 6. Rejestr kontroli temperatur podczas realizacji transportu we wrześniu

Produkty	Liczba zleceń												Średnia (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Mrożonki - warzywa i owoce	godz.: 09:16 temp (°C): -27	godz.: 08:54 temp (°C): -28	godz.: 09:05 temp (°C): -28	godz.: 09:20 temp (°C): -28	godz.: 10:06 temp (°C): -26	godz.: 08:46 temp (°C): -30	godz.: 09:15 temp (°C): -28	godz.: 09:32 temp (°C): -27	godz.: 10:02 temp (°C): -27	godz.: 11:16 temp (°C): -25	godz.: 09:38 temp (°C): -27	godz.: 08:49 temp (°C): -27	- 27,33
Mrożonki - żywność	godz.: 09:16 temp (°C): -26	godz.: 08:54 temp (°C): -27	godz.: 09:05 temp (°C): -28	godz.: 09:20 temp (°C): -26	godz.: 10:06 temp (°C): -24	godz.: 08:46 temp (°C): -27	godz.: 09:15 temp (°C): -27	godz.: 09:32 temp (°C): -26	godz.: 10:02 temp (°C): -26	godz.: 11:16 temp (°C): -26	godz.: 09:38 temp (°C): -26	godz.: 09:16 temp (°C): -28	- 26,42
Lody	godz.: 09:16 temp (°C): -28	godz.: 08:54 temp (°C): -30	godz.: 09:05 temp (°C): -28	godz.: 09:20 temp (°C): -29	godz.: 10:06 temp (°C): -24	godz.: 08:46 temp (°C): -28	godz.: 09:15 temp (°C): -28	godz.: 09:32 temp (°C): -30	godz.: 10:02 temp (°C): -28	godz.: 11:16 temp (°C): -29	godz.: 09:38 temp (°C): -29	godz.: 09:16 temp (°C): -30	- 28,42
Ryby	godz.: 09:16 temp (°C): -27	godz.: 08:54 temp (°C): -28	godz.: 09:05 temp (°C): -28	godz.: 09:20 temp (°C): -28	godz.: 10:06 temp (°C): -26	godz.: 08:46 temp (°C): -29	godz.: 09:15 temp (°C): -28	godz.: 09:32 temp (°C): -28	godz.: 10:02 temp (°C): -27	godz.: 11:16 temp (°C): -26	godz.: 09:38 temp (°C): -27	godz.: 09:16 temp (°C): -28	- 27,5
Średnia (°C)	-27	-28,25	-28	-27,75	-25	-28,5	-27,75	-27,75	-27	-26,5	-27,25	-28,25	-

Na efektywność procesów transportowych wpływa wiele czynników. Jest to pojęcie bardzo istotne w dzisiejszej logistyce, ale także jest to niemałe wyzwanie dla przedsiębiorców, ponieważ stanowi ona o funkcjonowaniu całego przedsiębiorstwa.²⁹

W tabeli 7 przedstawiono wybrane parametry procesu transportowego dzięki którym możliwe było określenie wskaźnika wykorzystania ładowności (C) i wskaźnika wykorzystania przebiegu (B). Współczynniki wykorzystania ładowności (C) w poszczególnych miesiącach były bardzo niskie, czego powodem była duża przestrzenność ładunku a nie jego masa.

²⁹ Waściński T.; Zieliński P.: Efektywność procesu transportowego. Systemy Logistyczne Wojsk, 42, 1, 221-225, 2015.

W lipcu wartość średnia wyniosła 0,2, natomiast w sierpniu i we wrześniu 0,1. Współczynnik wykorzystania przebiegu (B) w każdym miesiącu był taki sam i wynosił 0,5. Świadczy to o braku ładunków powrotnych.

Tabela 8 przedstawia wydajność prac ładunkowych i transportowych. W każdym miesiącu wydajność załadunku była znacznie wyższa od wyładunku. Najwyższą wydajność załadunku i wyładunku odnotowano w miesiącu lipcu. Biorąc pod uwagę wydajność prac ładunkowych stwierdzono, że najwyższa była w miesiącu sierpniu – 0,31 t/h. Wydajność prac transportowych była równie niska jak prac ładunkowych i kształtowała się na poziomie 0,12 w miesiącach sierpień i wrzesień do 0,31 w lipcu.

Tabela 7. Zestawienie parametrów dotyczących ładowności pojazdu, masy ładunku, odległości, wskaźnika wykorzystania ładowności oraz wskaźnika wykorzystania przebiegu

Parametr	Ładowność pojazdu	Masa ładunku	C	Średnia odległość	B
	(t)	(t)	(-)	(km)	(-)
Lipiec					
Średnia	3,5	0,6	0,2	59,5	0,5
Min	3,5	0,3	0,1	42,5	0,5
Max	3,5	1,1	0,3	83,3	0,5
Sierpień					
Średnia	3,5	0,4	0,1	50,6	0,5
Min	3,5	0,1	0,03	34,7	0,5
Max	3,5	0,6	0,2	75,2	0,5
Wrzesień					
Średnia	3,5	0,3	0,1	49,5	0,5
Min	3,5	0,1	0,04	28,3	0,5
Max	3,5	0,8	0,2	68,9	0,5

Tabela 8. Wydajność prac ładunkowych i transportowych

Parametr	Wydajność			
	załadunku	wyładunku	prac ładunkowych	prac transportowych
	(t/h)			
Lipiec				
Średnia	1,30	0,39	0,30	0,16
Min	1,00	0,25	0,20	0,11
Max	1,83	0,57	0,38	0,21
Sierpień				
Średnia	0,93	0,23	0,31	0,12
Min	0,47	0,16	0,23	0,06
Max	1,18	0,31	0,42	0,18
Wrzesień				
Średnia	1,11	0,31	0,24	0,12
Min	0,51	0,15	0,12	0,05
Max	1,85	0,54	0,41	0,23

W tabeli 9 przedstawiono parametry dotyczące czasu pracy (T) oraz wykorzystania czasu pracy (K). Najwyższe wartości współczynników wykorzystania czasu pracy były we wrześniu a najniższe w lipcu, natomiast parametry dotyczące czasu pracy przedstawiają się odwrotnie. W lipcu były najwyższe, a we wrześniu najniższe. Czasy operacyjne i robocze znacznie przewyższają czas jazdy, co ma swoje odzwierciedlenie w obliczonych współczynnikach. Ogólnie należy stwierdzić, że pomiędzy analizowanymi miesiącami różnice dla współczynników K_{02} , K_{04} i K_{07} były niewielkie.

Tabela 9. Zestawienie parametrów dotyczących czasu pracy oraz współczynników eksploatacyjnych

Parametr	T ₁	T ₀₂	T ₀₄	T ₀₇	K ₀₂	K ₀₄	K ₀₇
Lipiec							
Średnia	1,46	3,45	3,57	3,59	0,42	0,41	0,41
Min	1,03	2,45	2,45	2,45	0,33	0,33	0,33
Max	2,23	5,40	5,40	5,40	0,51	0,50	0,50
Sierpień							
Średnia	1,21	2,71	2,82	2,82	0,45	0,43	0,43
Min	0,82	1,68	1,68	1,78	0,38	0,36	0,37
Max	1,92	4,17	4,32	4,17	0,55	0,55	0,52
Wrzesień							
Średnia	1,17	2,57	2,65	2,82	0,47	0,46	0,44
Min	0,60	1,68	1,75	1,75	0,36	0,27	0,25
Max	1,83	4,83	4,83	5,58	0,72	0,72	0,72

Podsumowanie

Przeprowadzone badania i analiza rejestrów kontroli temperatur podczas przewozów potwierdził, że wszystkie wykonane przewozy zostały wykonane w sposób prawidłowy, zgodnie z obowiązującymi wymaganiami i przepisami. Do realizacji procesów transportowych mrożonych artykułów żywnościowych wykorzystywane były sprawne i odpowiednio przygotowane specjalistyczne środki transportu, co zapewniło utrzymania odpowiedniej jakości przewożonych towarów.

Znaczący wpływ na zmiany temperatury podczas transportu miały otwarcia drzwi pojazdu związane z rozładunkiem towaru. Należałoby w przyszłości ograniczyć liczbę odbiorów przepadających na jedno zlecenie.

Współczynnik wykorzystania ładowności podczas realizacji zleceń był na bardzo niskim poziomie, co było spowodowane większą objętością mrożonych artykułów żywnościowych a małą masą.

Wskaźniki efektywności procesu transportowego, w tym współczynnik wykorzystania czasu eksploatacyjnego kształtowały się również na niskim poziomie, a spowodowane to było przede wszystkim długim czasem rozładunku towarów w punktach odbioru, jak również dużą liczbą punktów odbioru.

Bibliografia

- Analiza potencjału oraz perspektyw rozwoju sektora rolno-spożywczego na Mazowszu. Pozyskano z: <https://innowacyjni.mazovia.pl/upload/pages/2089/2089-0.pdf>
- Bieńczyk K., Kasperdki M., Ostwald M., Pawłowski F., Rochatka T., Sikora T., Stachowiak A., Ty-czewski P., Zwierzycka T., Zwierzycki W.: Pojazdy chłodnicze w transporcie żywności. Poznań, SYSTHERM D. Gazińska S.J., 2006
- Dzwołak W.: Dobre praktyki rolnicze GAP w produkcji roślinnej i zwierzęcej. Przemysł Spożywczy, 67, 9, 2013
- Grębowiec M.: Wpływ integracji Polski z Unią Europejską na zmiany w podejściu do zapewnienia jakości produktów żywnościowych. Warszawa, Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego, 12(21), z. 1, 2012.
- Grudowski P., Wiśniewska M.: Zarządzanie jakością i innowacyjność w świetle doświadczeń organi-zacji Pomorza. Gdańsk, Innobaltica, 2014.
- GUS, Przewozy ładunków i pasażerów w 2018 r., 2018. Pozyskano z: <https://stat.gov.pl/>, Dostęp (19.12.2022)
- Krzewińska A., Matysek K.: Wymagania stawiane środkom transportu żywności. Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 5, 2012.
- Meghwal M., Heddurshetti U., Biradar R., Good Manufacturing Practices for Food Processing Indus-tries: Purposes, Principles and Practical Applications. New York, Food Technology: Applied Re-search and Production Techniques, Apple Academic Press, 2017.
- Nowicki P.: Wymagania i wdrażanie zasad GMP i GHP w zakładach żywienia zbiorowego. Kraków, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, 815, 2010.
- Postupolski J.: Bezpieczeństwo żywności – podstawowe zagadnienia, aktualne zagrożenia. Narodowe Centrum edukacji Żywnościowej, 2020.
- Rogała P.: Ciągłe doskonalenie jakości według norm ISO serii 9000. Wrocław, Prace Naukowe Uni-wersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 340, 2012.
- Rokicki T., Klepacki B.: Transport żywności – uwarunkowania organizacyjne, techniczne, ekono-miczne oraz jego skala. Warszawa, Wydawnictwo SGGW, 2019.
- Satora M., Szkoła M.: Zapewnienie jakości i bezpieczeństwa produktów żywnościowych w transporcie drogowym, Autobusy 6, 2019.
- Steindel M.; Schnotale J.: Mrożona żywność i jej transport zgodnie z przepisami Unii Europejskiej. Chłodnictwo i Klimatyzacja, Samochodowy Transport Chłodniczy. Dodatek miesięcznika Chłod-nictwo&Klimatyzacja, 2008.
- Szymanowski W.: Zarządzanie Łańcuchami Dostaw Żywności w Polsce. Kierunki Zmian. Warszawa, Difin, 2, 2008.
- Turlejska H., Pelzner U., Konecka-Matyjek E., Wiśniewska K.: Przewodnik do wdrażania zasad GMP/GHP i systemu HACCP w zakładach żywienia zbiorowego. Warszawa, Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa, 2003.
- Twaróg J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne. Poznań, Instytut Logistyki i Magazynowania, 2003.
- Waściński T., Zieliński P.: Efektywność procesu transportowego. Systemy Logistyczne Wojsk, 42, 1, 2015.
- Ziemkowska D., Wolak M., Lysionok A., Kosturek B., Wiśniewski J., Wawryszak B., Kawa A., David-son R., Maćkowiak M., Starzyk M., Kulikowska A., Rewolucja technologiczna. Kierunki rozwoju branży TSL. Wrocław, Polski Instytut Transportu Drogowego, 2019.
- Zysińska M.: Ocena przedsiębiorstw TSL działających w Polsce – dylematy metodyczne badań. Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów, Szkoła Główna Handlowa, 173, 2019.
- Zysińska M.; Krysiuk C.: Analiza trendów na polskim rynku TSL w latach 2007-2016. Autobusy: tech-nika, eksploatacja, systemy transportowe. R. 19, nr 6, 2018.

Adres do korespondencji: maciej.kubon@urk.edu.pl
ORCID: Elżbieta Olech 0000-0003-4405-701X
ORCID: Maciej Kuboń 0000-0003-4847-8743
ORCID: Dariusz Kwaśniewski 0000-0002-1873-1456
ORCID: Zbigniew Daniel 0000-0001-5507-8911
ORCID: Ireneusz Kaczmar 0000-0002-5394-1168
ORCID: Natalia Matłok 0000-0003-3658-7176

ANALIZA STRUKTURY OBCIĄŻENIA WYBRANYCH LINII AUTOBUSOWYCH KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ W GMINIE STARACHOWICE

Tomasz Dróżdź¹, Paweł Kielbasa¹, Anna Miernik¹, Marcin Pocheć²

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

² Zakład Energetyki Ciepłej Spółka z Ograniczoną Odpowiedzialnością w Starachowicach

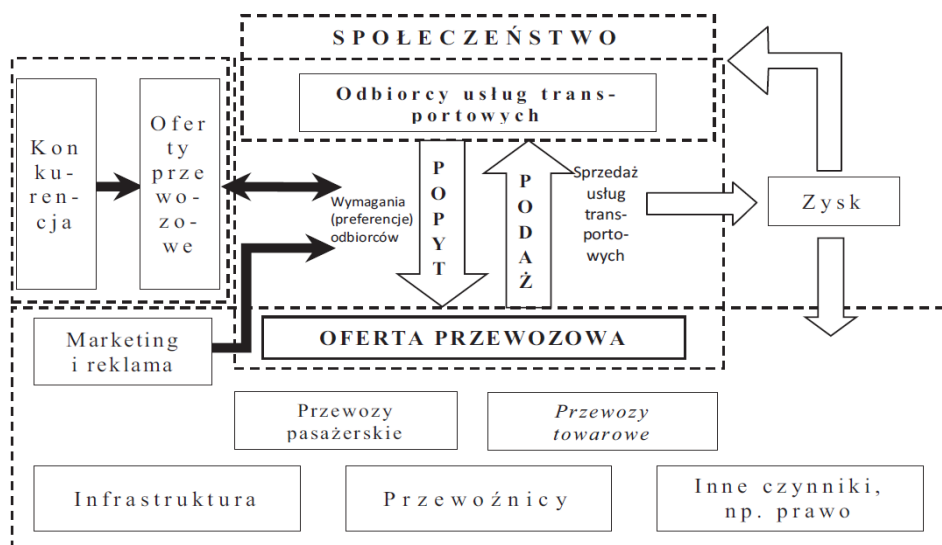
Wstęp

Mobilność mieszkańców współczesnych aglomeracji miejskich jest kluczowym zagadnieniem związanym z rozwojem gospodarczym danego regionu oraz komfortem życia lokalnej społeczności. Z uwagi na wieloaspektowość zagadnienia nieodzownym staje się dobrze działająca i niskoemisyjna komunikacja miejska. Funkcjonowanie komunikacji miejskiej jest nieodłącznym elementem systemu transportowego każdego miasta. Świadczenie usług przez przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej wymaga zaspokojenia potrzeb przewozowych potencjalnych klientów, co wiąże się również z koniecznością ciągłego podnoszenia jakości tych usług¹. Najpowszechniej stosowanym środkiem transportu zbiorowego są autobusy. Popularność ich stosowania wynika z faktu, że wykorzystują ogólnodostępną infrastrukturę drogową. Elementami infrastruktury transportu miejskiego są trasy, przystanki, węzły przesiadkowe, zajezdnie oraz wszelkie urządzenia służące obsłudze pasażerów (w tym biletomaty, systemy informacji pasażerskiej itp.). Rozwiązania techniczne w zakresie projektowania przystanków autobusowych zależą od klasy drogi, liczby pasów ruchu na jezdni, natężenia ruchu samochodowego, autobusowego i pasażerskiego. Średnia odległość między przystankami autobusowymi w Polsce wynosi 0,4-0,6 km². Przystępując do projektowania organizacji publicznych przewozów pasażerskich zakłada się, że proponowane rozwiązanie powinno usprawniać funkcjonowanie komunikacji publicznej w badanym mieście, bez istotnego zwiększenia zasobów wykorzystywanych do obsługi transportowej tego miasta. Przede

¹ Kłos Z., et al.: Znaczenie jakości w funkcjonowaniu komunikacji miejskiej. *Marketing i Zarządzanie*, 2012, 27, 27-36.

² Zych M., Baran J.: Porównanie organizacji komunikacji miejskiej w wybranych miastach świata i Polski. *Logistyka*, 2012, 6.2, 637.

wszystkim dotyczy to liczby środków transportu, które są potrzebne do obsługi linii komunikacji publicznej³. Oferta przewozowa, która dotyczy publicznego transportu zbiorowego, jest zazwyczaj wynikiem porównania potrzeb pasażerów, którzy są stroną popytową na rynku usług transportowych, z możliwościami zaspokojenia tych potrzeb przez dostawców usług transportowych (rys. 1).



Rys. 1. Elementy wpływające na proces kształtowania oferty przewozowej

Źródło: (Kwaśnikowski, 2011⁴)

Król (2012)⁵ zaproponował użycie algorytmu genetycznego do projektowania harmonogramu przewozów, a w szczególności do projektowania układu linii komunikacyjnych i rozkładu jazdy. W odróżnieniu od większości prac poruszających podobną tematykę efektem jest również uzyskanie optymalnego układu linii komunikacyjnych. Należy zaznaczyć, że dobrze zorganizowana komunikacja miejska minimalizuje zjawisko kongestii, które jest szczególnie uciążliwe w dużych aglomeracjach miejskich. Przeprowadzone badania i analiza w oparciu o analizę dla World Knowing w oparciu o wskaźnik wykorzystania transportu publicznego w poszczególnych krajach pozwoliły stwierdzić, że najlepiej sprawdzającymi się systemami transportowymi są systemy europejskie, północno-amerykańskie oraz funkcjonujące w niektórych krajach azjatyckich. Do państw znajdujących się w pierwszej dziesiątce, których miasta posiadają najlepsze systemy transportowe zaliczyli odpowiednio:

³ Poznański J.: Wybrane elementy organizacji publicznych przewozów pasażerskich w systemie transportu miejskiego. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, 2017.

⁴ Kwaśnikowski J., Gramza G.: Kształtowanie oferty przewozowej w publicznym transporcie pasażerskim, Logistyka nr 6/2011. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2011.

⁵ Król A.: Zastosowanie algorytmu genetycznego do projektowania harmonogramu przewozów. TTS Technika Transportu Szynowego, 2012, 19.

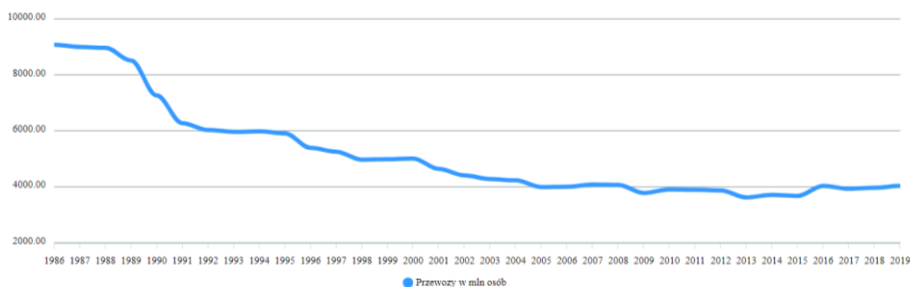
Hongkong, Singapur, Zjednoczone Emiraty Arabskie, Holandię, Szwajcarię, Japonię, Niemcy, Francję, Hiszpanię oraz Wielką Brytanię. Biorąc pod uwagę np. Kraków, to inwestycje krakowskich przewoźników sprawiły, że na przestrzeni lat 2010–2015 tabor autobusowy powiększył się z 543 sztuk pojazdów (z czego ponad 83% w 2010 roku stanowiły autobusy z silnikami charakteryzującymi się najgorszymi parametrami emisji spalin Euro I – Euro IV) do 576 sztuk (z czego blisko 40% stanowią pojazdy spełniające najnowsze normy emisji spalin Euro V, EEV oraz Euro VI). W przeciągu pięciu lat sumaryczna emisja tlenków azotu z komunikacji miejskiej została ograniczona o ponad 28%, a pyłu zawieszonego PM10 o blisko 35%⁶. Analizując wydatki ponoszone na komunikację miejską np. w Toruniu stwierdzono, że w budżetach miejskich w 2018 r. kształtował się na poziomie od 5,0% w Toruniu, poprzez 9,0% we Wrocławiu, do 16,0% w Warszawie, co w przeliczeniu na mieszkańca wynosiło odpowiednio od 332,0 zł, poprzez 637,0 zł, do 1595,0 zł. Wyniki kontroli NIK⁷ w województwie dolnośląskim wykazały, że w Legnicy, Jeleniej Górze i Wrocławiu w wyniku częściowej wymiany taboru został on unowocześniony, przez co podwyższony został również standard jego wyposażenia. Przy czym średni wiek autobusów w latach 2016–2019 obniżył się w dwóch kontrolowanych miastach, tj. w Jeleniej Górze o trzy lata (z 12 do dziewięciu lat), w Legnicy o cztery lata (z 13 do dziewięciu lat). Najnowszy tabor był użytkowany w Wałbrzychu, gdzie średni wiek pojazdów w 2019 r. wynosił sześć lat. Natomiast we Wrocławiu pomimo wycofania z eksploatacji najstarszych środków transportu i zasilenia floty 66 autobusami, średni ich wiek nie uległ zasadniczej zmianie i wynosił blisko 10 lat. Pomimo zakupu 56 nowych tramwajów, ich średni wiek wynosił aż 24 lata, a najstarszy użytkowany tramwaj został wyprodukowany w 1975 r. W zmieniających się realiach, uwarunkowanych znaczącym wzrostem liczby pojazdów i realizacją polityki miejskiej na rzecz preferowania alternatywnych wobec samochodowych osobowych środków transportu, skuteczność działania systemu ITS we Wrocławiu w skracaniu czasu przejazdu samochodów⁷, z roku na rok spadała, z 18,3% w 2015 r. do 5,7% w 2018 r. Natomiast w Legnicy skuteczność systemu ITS wzrosła, doprowadzając m.in. do znacznego spadku liczby kursów opóźnionych powyżej 3 minut z 40,7% kursów opóźnionych w 2016 r. do 21,4% w I połowie 2019 r. Krótki okres funkcjonowania systemu ITS w Wałbrzychu uniemożliwił ocenę jego skuteczności. Podwyższenie standardu i wprowadzenie preferencji dla komunikacji miejskiej nie we wszystkich miastach przełożyło się na wzrost liczby podróży tymi środkami transportu. W latach 2016–2018 liczba pasażerów komunikacji miejskiej wzrosła w Legnicy o 6,0%, pozostawała na porównywalnym poziomie we Wrocławiu i Jeleniej Górze, a w Wałbrzychu spadła o 4,0%. W 2018 r. najwięcej osób, tj. 201 828,0 tys., podróżowało komunikacją miejską we Wrocławiu, a najmniej, tj. 6 515,4 tys. w Legnicy. Statystycznie najczęściej, komunikacją miejską podróżował mieszkaniec Wrocławia – 315 razy, a najrzadziej mieszkaniec Jeleniej Góry – 102 razy⁷.

Kluczowym zagadnieniem w analizie komunikacji zbiorowej jest liczba pasażerów przemierzających się na danym odcinku trasy w określonym czasie i kierunku. Na podstawie

⁶ Bździuch P., Bogacki M.: Autobusowy transport publiczny w Krakowie na tle najlepszych światowych systemów komunikacji miejskiej oraz ocena wpływu jego modernizacji na wielkość emisji zanieczyszczeń. Transport Miejski i Regionalny, 2017.

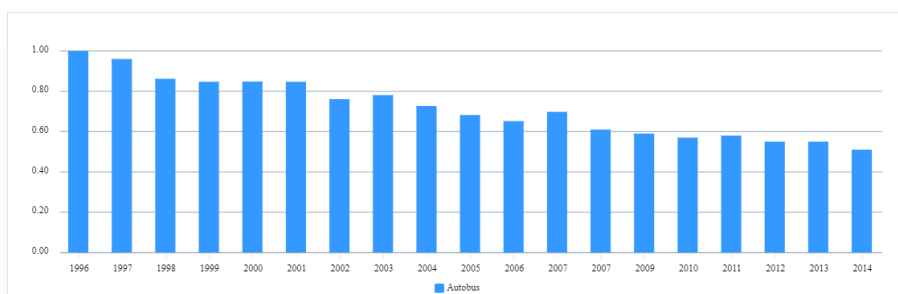
⁷ <https://www.nik.gov.pl/plik/id,22268,vp,24938.pdf>

analizy potoków pasażerskich Reguiski i in.⁸ przeprowadzili badania potwierdzające potrzebę włączenia ruchu pociągów pasażerskich do komunikacji miejskiej ze względu na liczbę pasażerów, tj. na wszystkich badanych odcinkach średnia liczba pasażerów w ciągu dnia przekroczyła 2,5 tys., a na 4 odcinkach – 11 tys. osób. Fajczak i in.⁹ zauważyli, że statystyczni mieszkańcy aglomeracji: łódzkiej, poznańskiej i wrocławskiej, którzy wzięli udział w ankiecie autorów artykułu, korzystają z transportu autobusowego średnio 2 razy dziennie, pokonując przy tym przeciętnie 7,5-kilometrowe odcinki z około 10 przystankami i poświęcając każdorazowo na kurs mniej więcej 21–26 minut swojego czasu. Na stronach Izby Gospodarczej Komunikacji Miejskiej przedstawiono charakterystyki ilościowe¹⁰ dotyczące liczby przewożonych osób w Polsce (rys. 2).



Rys. 2. Przewozy pasażerskie komunikacji miejskiej w Polsce (wg GUS)

Źródło: (<https://igkm.pl>)¹⁰



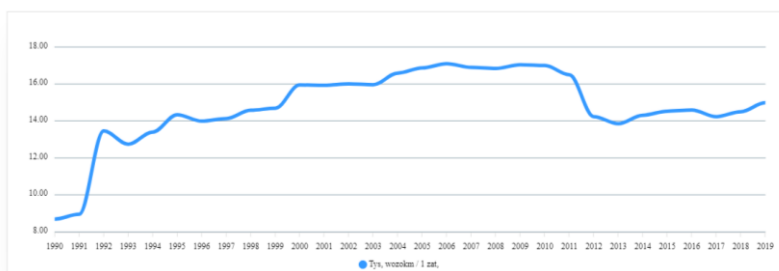
Rys. 3. Zmiany wskaźnika pracochłonności obsługi autobusów (robotników zapł, technicznego/1 autobus) - wg IGKM

Źródło: (<https://igkm.pl>)¹⁰

⁸ Reguiski P., Abramek K.: Analiza potoków pasażerskich komunikacji miejskiej na trasie przebiegającej wzdłuż linii kolejowej nr 406 na odcinku Szczecin Główny–Police. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe 18, 2017.

⁹ Fajczak-Kowalska A., Wojcieszak A., Siedlecki T.: Stan i ocena pracy przewozowej oraz potoków pasażerskich autobusowego transportu miejskiego w wybranych miastach wojewódzkich. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe 17, 2016.

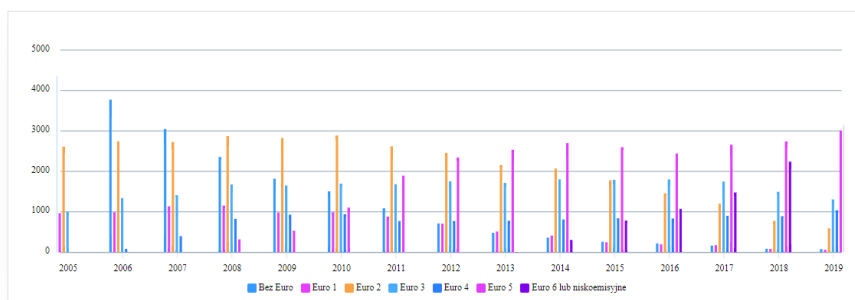
¹⁰ <https://igkm.pl/statystyka/>



Rys. 4. Wydajność pracy w komunikacji miejskiej (w tys, wozokm / 1 zatrudnionego) - wg IGKM

Źródło: (<https://igkm.pl>¹⁰)

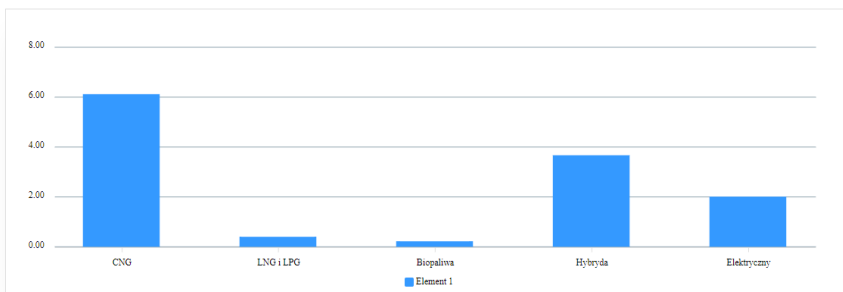
Stosunkowo nieznaczną część eksploatowanego taboru autobusowego stanowią pojazdy wyposażone w silniki niespełniające norm szeregu Euro – 1% lub spełniające tylko normę Euro 1 (zakres obowiązywania do roku 1996) – 1%. Grupa 6% – to pojazdy spełniające normę emisji spalin Euro 2. Silniki zgodne z normą Euro 3 pracują w 14% pojazdów (rys. 5). Natomiast 67% stanowią wozy wyposażone w nowoczesne silniki (Euro 5 i Euro 6). Gwałtowny wzrost liczby autobusów z nowoczesnymi silnikami odzwierciedla świadomość ekologiczną wynikającą z konieczności poprawy jakości powietrza w miastach (rys. 6).



Rys. 5. Historia udziału silników wg norm czystości spalin (%)

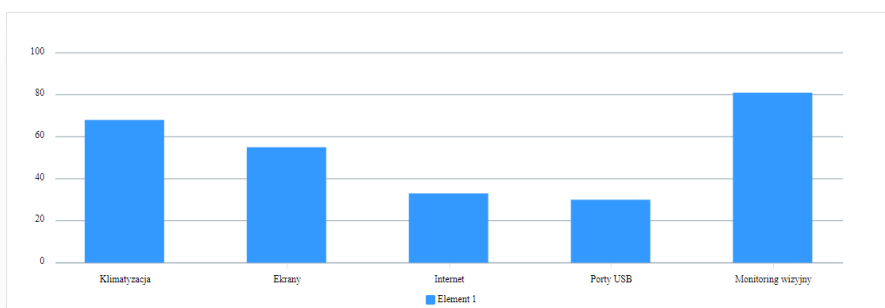
Źródło: (<https://igkm.pl>¹⁰)

W wielu miastach obserwowany jest wzrost poziomu satysfakcji pasażerów z jakości usług w komunikacji miejskiej. Jednym z elementów tego stanu jest wyposażenie nowego taboru w dodatkowe urządzenia i systemy (rys. 7). Z pewnością klimatyzowanie przestrzeni pasażerskiej, udostępnienie Internetu czy wbudowanie portów USB do ładowania osobistych urządzeń mobilnych przez pasażerów jest ważnym elementem podnoszenia jakości. Nie bez znaczenia pozostaje wprowadzanie monitoringu wizyjnego, bo wzmaga on poczucie bezpieczeństwa w pojazdach.



Rys. 6. Udział pojazdów zeroemisyjnych i niskoemisyjnych w strukturze taboru autobusowego w 2019 roku (%)

Źródło: (<https://igkm.pl¹⁰>)



Rys. 7. Wyposażenie autobusów komunikacji miejskiej w 2019 roku (w %)

Źródło: (<https://igkm.pl¹⁰>)

Cel, zakres i metodyka badań

Celem badań było określenie ilościowej struktury obciążenia poszczególnych linii autobusowych w aglomeracji starachowickiej.

Obecne spotykane rozwiązania sposobów pomiarów liczby pasażerów w środkach transportu zbiorowego, zdaniem Bieńczak, podzielić można na 3 zasadnicze grupy: pomiar automatyczny, w którym wykorzystuje się dedykowane systemy zliczania pasażerów, np. firmy DILAX, Infotron Sp. z o.o., MACRO-SYSTEM, INTERAUTOMATION Deutschland GmbH, pomiar ręczny z wykorzystaniem osób zliczających znajdujących się w środkach transportu lub na przystankach, pomiar ręczny wspomagany dodatkowymi urządzeniami (np. zapisem z monitoringu).

Przeprowadzane badania składały się z trzech części: (a) wywiadów ankietowych wśród pasażerów, podróżujących autobusami komunikacji miejskiej, (b) badań potoków pasażerskich, z wykorzystaniem obserwacji bezpośrednich oraz (c) pomiarów struktury biletowej, w oparciu o informacje uzyskane w badaniach ankietowych.

Do badań potoków pasażerskich w analizowanym przypadku wykorzystano metodę obserwacji bezpośredniej. Przeprowadzane pomiary dotyczyły ścisłego określenia liczby pasażerów wsiadających i wysiadających na każdym przystanku występującym na badanej trasie oraz obliczenia liczby pasażerów, znajdujących się wewnątrz pojazdu po jego ruszeniu z przystanku.

Rejon badań

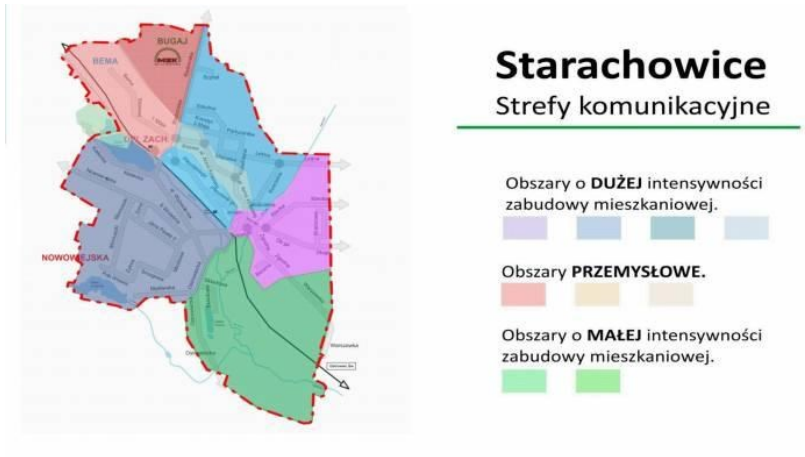
Starachowice są siedzibą powiatu i jednym z największych miast województwa świętokrzyskiego, należącego do najczystszych regionów Polski, usytuowane w pięknej dolinie rzeki Kamiennej, w odległości 20 km od Łysogór - głównego pasma Gór Świętokrzyskich, jednych z najstarszych w Europie. Położone są w centrum aglomeracji staropolskiej, między dwoma ośrodkami przemysłowymi o podobnej strukturze: Skarżyskiem-Kamienną i Ostrowcem Świętokrzyskim, a także w połowie dróg między Kielcami a Radomiem i między Warszawą a Krakowem. Starachowice zajmują powierzchnię 32 km². Otoczone są zwartymi kompleksami lasów, stanowiących pozostałość Puszczy Świętokrzyskiej. Najbliższe otoczenie miasta stanowią trzy gminy wiejskie: Brody Iłżeckie, Mirzec, Pawłów oraz miasto i gmina Wąchock. Obszar miasta wraz z sąsiednimi gminami wynosi 559 km². Miasto liczy ok. 52 tysiące mieszkańców¹¹.

System komunikacji zewnętrznej obsługiwany jest przez prywatnych przewoźników autobusowych. Funkcję publicznej komunikacji wiążącej miasto z regionem pełni również PKP. Istniejące obiekty dworcowe na stacjach Starachowice Wschodnie i Starachowice oraz przystanek kolejowy Starachowice Michałów zaspokajają potrzeby w zakresie obsługi podróży. Miasto posiada zapewnioną obsługę w następujących kierunkach: Kielce, Skarżysko-Kamienna, Iłża, Ostrowiec, Łągów a także posiada bezpośrednie połączenie z Warszawą, Łodzią, Lublinem, Krakowem i Katowicami. Autobusy te odjeżdżają z przystanku dworcowego zlokalizowanego przy przystanku kolejowym Starachowice Zachodnie, stanowiącym węzeł przesiadkowy PKP i MZK.

Komunikację miejską obsługuje spółka miejska Zakład Energetyki Ciepłej Sp. z o.o. w Starachowicach, która wozi pasażerów na 16 liniach autobusowych na terenie miasta (z czego jedna z nich jest obsługiwana tylko w okresie wakacji szkolnych w dni słoneczne). Obsługa komunikacją miejską jest zapewniona dla większości terenów zabudowy oraz pozwala powiązać wszystkie ważne cele podróży w obrębie miasta¹². Zgodnie z hierarchią systemu osadnictwa przyjętą w „Planie zagospodarowania przestrzennego województwa świętokrzyskiego”, Starachowice zostały zakwalifikowane do ukształtowanych ośrodków subregionalnych, które będą spełniać rolę wielofunkcyjnych ośrodków dyspozycyjno-usługowych, kreujących rozwój społeczno-gospodarczy otaczających je obszarów. Na rysunku 8 przedstawiano strefy komunikacyjne miasta Starachowice.

¹¹ https://bip.um.starachowice.pl/bip/54_umstarachowice/fckeditor/file/NW//Plan%20transportowy%20Gminy%20Starachowice.pdf

¹² Zmiana studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Starachowice - Załącznik nr 1 do Uchwały Nr III/10/2021 Rady Miejskiej w Starachowicach z dnia 26 marca 2021 r (https://bip.um.starachowice.pl/bip/54_umstarachowice/fckeditor/file/Architektura%20i%20Planowanie%20Przestrzenne/Plany%20zagospodarowania%20przestrzenego/MPZP%20iSUIKZP%20Starachowice/2021%20Studium%20m%20Starachowice//Załącznik%20nr%201%20tekst.pdf).



Rys. 8. Strefy komunikacyjne w Starachowicach

Źródło: (www.starachowicki.eu¹³)

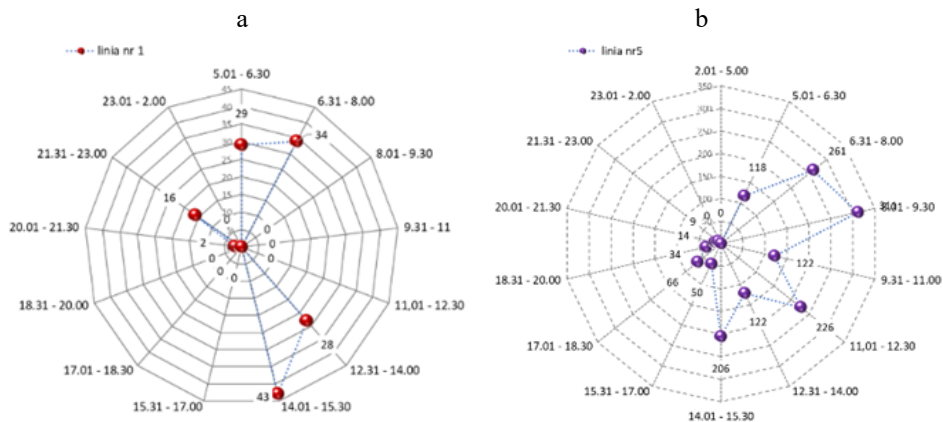
Wg stanu na 10 grudnia 2018 r., sieć połączeń starachowickiej komunikacji miejskiej tworzyło 17 linii autobusowych dziennych – oznaczonych numerami i literami: 1, 5, 6, 10, 16, 17, 18, 20, 21, 25, 27, 28, 29, B, N, R i S (rys. 9).

Kryterium zakresu kursowania podzieliło całoroczne linie starachowickiej komunikacji miejskiej na trzy kategorie, obejmujące odpowiednio: dziewięć linii całotygodniowych – 5, 6, 17, 18, 21, 25, 27, B i N; dwie linie funkcjonujące od poniedziałku do soboty, oprócz świąt – 20 i 28; pięć linii funkcjonujących tylko w dni powszednie od poniedziałku do piątku – 1, 10, 16, 29 i S. Poszczególne grupy obejmowały: piętnaście linii miejskich (1, 6, 10, 16, 17, 18, 20, 21, 25, 27, 28, 29, B, N i S) – o trasach w całości zawierających się w granicach administracyjnych miasta Starachowice; jedną linię podmiejską (5) – o trasie łączącej miasto Starachowice z położonymi w gminie Brody miejscowościami Dziurów i Kuczów. Do grupy linii obsługujących obszar poza miastem Starachowice można zaliczyć jeszcze linię 21, której końcowy wschodni fragment trasy przebiega wzdłuż granicy miasta Starachowice i wsi Dziurów, obsługując tym samym zachodnią część tej miejscowości.

Kryterium liczby obsługiwanych jednostek administracyjnych pozwoliło na wyodrębnienie w starachowickiej komunikacji miejskiej dwóch grup linii – miejskich i podmiejskich.

Sieć linii starachowickiej komunikacji miejskiej obsługiwała obszar zamieszkały przez 50 432 osoby. Poza liczącym 48 569 mieszkańców miastem Starachowice, linie ZEC docierały tylko do dwóch miejscowości ościennych, zamieszkałych łącznie przez 1 863 osoby. Poza Starachowicami zamieszkiwało więc jedynie 3,7% mieszkańców całego obszaru obsługiwanego liniami ZEC. Analizując strukturę połączeń na liniach starachowickiej komunikacji miejskiej wykonywano łącznie 337 kursów w dniu powszednim, 186 kursów w sobotę i 112 w niedzielę. Liczba kursów oferowana w sobotę stanowiła 55,2% liczby kursów w dniu powszednim. W niedzielę realizowano natomiast 33,2% liczby kursów wykonywanych w dniu powszednim i zarazem 60,2% liczby kursów wykonywanych w sobotę.

¹³ <https://starachowicki.eu/artykul/nowy-rozklad-jazdy-mzk/965399>



Rys. 10. Elementy wpływające na proces kształtowania oferty przewozowej

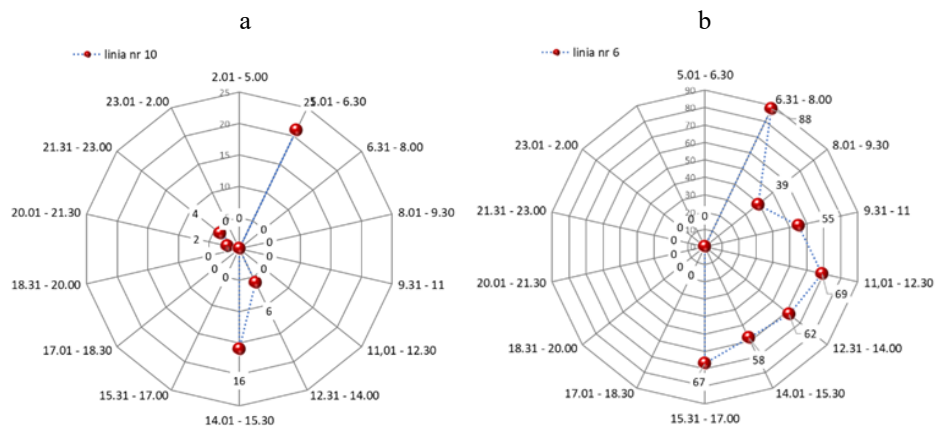
Źródło: (opracowanie własne)

Na rysunku 11 przedstawiono liczbę pasażerów odnotowanych ma liniach o numerach (a) dziesięć, (b) sześć w wybranych przedziałach czasu. Stwierdzono, że w przypadku linii nr „10” sumaryczna liczba pasażerów wynosiła 49 osób, co w przeliczeniu na jeden kilometr trasy na kierunku Południowa – Zakłady mięsne dawało wartość 0,9 pasażera/km. Należy zaznaczyć, że dla obu analizowanych kierunków kumulacja pasażerów występowała w dwóch okresach tj. pierwszym były godziny poranne (czas drogi do pracy), natomiast drugim były godziny wczesno popołudniowe (głównie czas powrotów z pracy). W pozostałym okresie liczba pasażerów była niewielka, albo zerowa.

Analizując obciążenie linii autobusowej nr „6” (rys.11b) stwierdzono że sumaryczna liczba pasażerów wynosiła 438 osób co w przeliczeniu na jeden trasy Bugaj – Boczna wynosiła 3,3 pasażera/km. Na rysunku 12 przedstawiono liczbę pasażerów odnotowanych ma liniach o numerach (a) siedemnaście, (b) osiemnaście w wybranych przedziałach czasu. Stwierdzono, że w przypadku linii nr „17” sumaryczna liczba pasażerów wynosiła 1739 osób, co w przeliczeniu na jeden kilometr trasy na kierunku Bugaj – Dworzec Zachodni dawało wartość 4,1 pasażera/km.

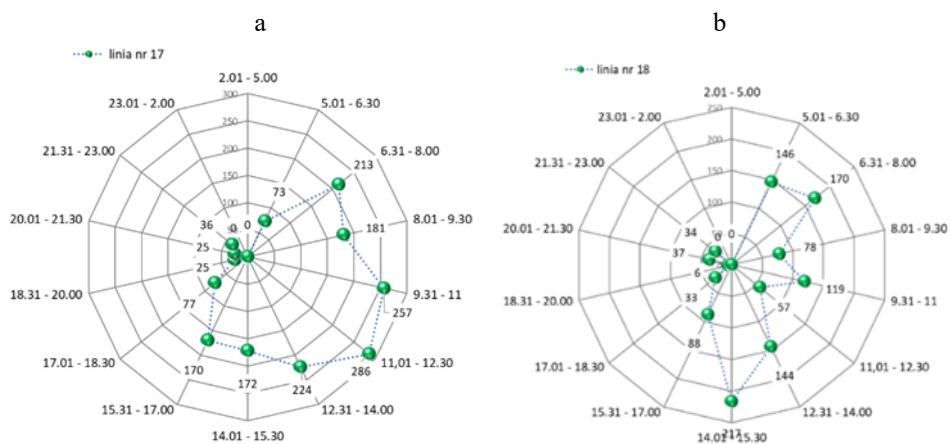
Analizując obciążenie linii autobusowej nr 18 (rys.12b) stwierdzono że sumaryczna liczba pasażerów wynosiła 1129 osób co w przeliczeniu na jeden trasy Grobla – Grobla wynosiła 2,3 pasażera/km.

Na rysunku 13 przedstawiono wykres obciążenia linii autobusowej „20” oraz „21” w czasie. Największe obciążenie linii 20 (Bugaj – Bema) notuje się w godzinach porannych od 5.30 do 7.30 (czas drogi do pracy), kolejnym maksimum obserwujemy w godzinach 12.30 do 14 .30 są to godziny wczesno popołudniowe (głównie czas powrotów z pracy). W pozostałym okresie liczba pasażerów jest ponad 6 krotnie mniejsza. Znaczne różnice widać przy analizie linii 21 (Bema - Warszawka) , linia ta jest w miarę równomiernie obciążona w godzinach 5.50 do 14.30 (czas drogi do pracy) w pozostałym czasie obciążenie linii jest niewielkie lub zerowe.



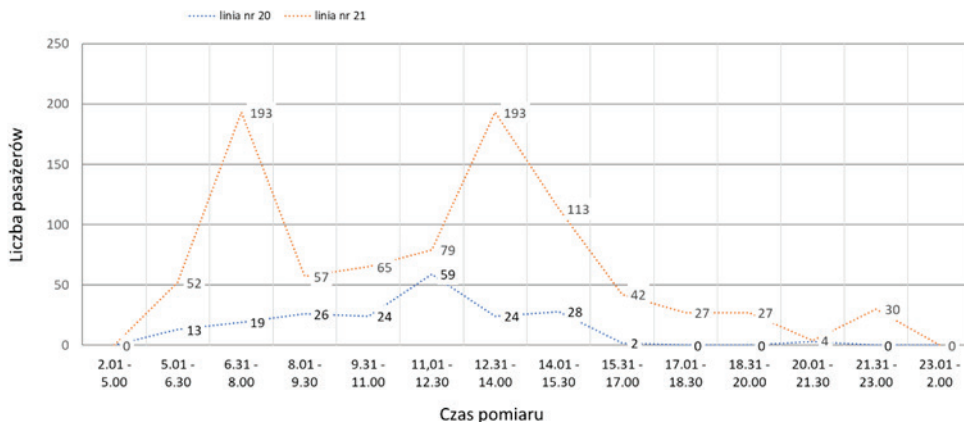
Rys. 11. Elementy wpływające na proces kształtowania oferty przewozowej

Źródło: (opracowanie własne)



Rys. 12. Elementy wpływające na proces kształtowania oferty przewozowej

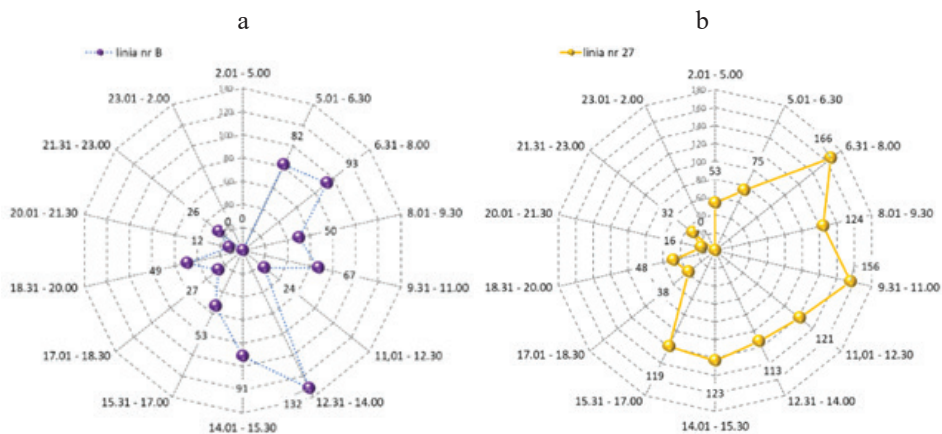
Źródło: (opracowanie własne)



Rys. 13. Elementy wpływające na proces kształtowania oferty przewozowej

Źródło: (opracowanie własne)

Na rysunku 14 przedstawiono liczbę pasażerów odnotowanych na liniach o numerach (a) „B”, (b) dwadzieścia siedem w wybranych przedziałach czasu.



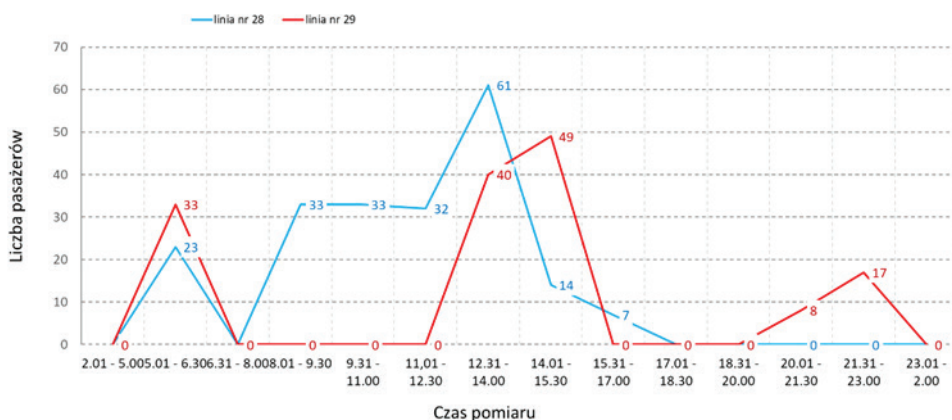
Rys. 14. Elementy wpływające na proces kształtowania oferty przewozowej

Źródło: (opracowanie własne)

Stwierdzono, że w przypadku linii nr „B” sumaryczna liczba pasażerów wynosiła 706 osób, co w przeliczeniu na jeden kilometr trasy na kierunku Bema – Południowa dawało wartość 2,3 pasażera/km. Należy zaznaczyć, że dla obu analizowanych kierunków kumulacja pasażerów występowała w dwóch okresach tj. pierwszym były godziny poranne (czas drogi do pracy), natomiast drugim były godziny wczesno popołudniowe (głównie czas powrotów z pracy). W pozostałym okresie liczba pasażerów była niewielka, albo zerowa.

Analizując obciążenie linii autobusowej nr „27” (rys.14b) stwierdzono że sumaryczna liczba pasażerów wynosiła 1184 osób co w przeliczeniu na jeden trasy Bugaj – Bugaj wynosiła 2,2 pasażera/km.

Na rysunku 15 przedstawiono liczbę pasażerów odnotowanych na linii o numerze „N” w wybranych przedziałach czasu. Stwierdzono, że w przypadku linii nr „N” sumaryczna liczba pasażerów wynosiła 1320 osób, co w przeliczeniu na jeden kilometr pasaży na kierunku Nowowiejska – Nowowiejska dawało wartość 2,6 pasażera/km. Analiza danych przedstawionych na rysunku 15 potwierdza założenia, że nie można uogólnić wyników badań z kilku linii komunikacji miejskiej. Każdą linię należy analizować oddzielnie i dla każdej przeprowadzać szczegółowe pomiary obciążenia linii. Linia „28” (Bema - Zakłady Mięsne) jest obciążona w czasie drogi do pracy (szczyt 5.30 oraz 13.00), ale jednocześnie wykazuje stałe obciążenie także w godzinach 8.30 do 12.00.

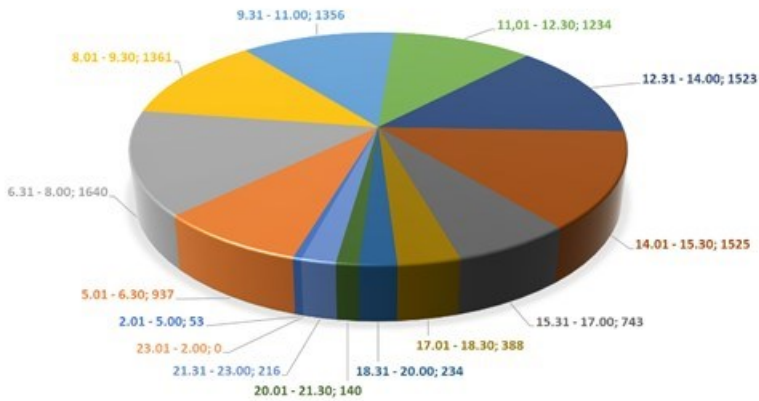


Rys. 15. Elementy wpływające na proces kształtowania oferty przewozowej

Źródło: (opracowanie własne)

Natomiast analiza obciążenia linii „29” (Bema - Zakłady Mięsne – inna trasa) pokazuje, że jest to linia obsługująca tylko i wyłącznie pracowników dojeżdżających do pracy i z niej powracających (szczyty 5.50 oraz 14.30) w pozostałym okresie linia jest praktycznie nieobciążona. Analiza pasażera na osobę pokazuje że bardziej efektywna jest linia „29” która ma 2,3 pasażera/km, natomiast linia „28” przy przewozie 203 osób ma wynik 1,8 pasażera /km.

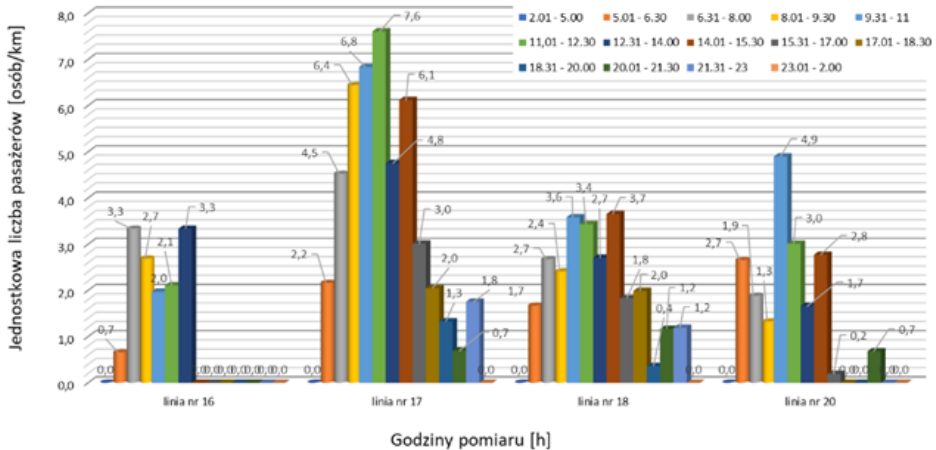
Na rysunku 16 przedstawiono zbiorczą analizę ilości pasażerów na wszystkich liniach autobusowych z podziałem na 1.5 godzinne przedziały czasowe. Potwierdza to założenie teoretyczne, że najmniejsze obciążenie pasażerów na liniach aglomeracji starachowickiej jest w godzinach 23.00 do 2.00 zero pasażerów oraz w godzinach 2.00 do 5.00, 53 pasażerów na wszystkich liniach. Pełna analiza struktury ilości pasażerów pozwala na prawidłowe dobranie ilości autobusów obsługujących poszczególne linie autobusowe oraz na dobranie rozkładów jazdy w połączeniu z przewidywaną ilością pasażerów.



Rys. 16. Elementy wpływające na proces kształtowania oferty przewozowej

Źródło: (opracowanie własne)

Na rysunku 17 przedstawiono wykres na którym porównano ilość osób na km dla 4 linii autobusowych, linia „1” Bema – Południowa, linia „5” Bugaj – Dziurów, linia „6” Bugaj - Boczna oraz linia „10” Południowa - Zakłady Mięsne. Analiza pokazuje, że są linie które najprawdopodobniej służą wyłącznie do dojazdów do pracy i z pracy Linie „10” i „1” oraz linie na których ruch pasażerów odbywa się w sposób w miarę równomierny w godzinach 5.00 do 15.30.



Rys. 17. Elementy wpływające na proces kształtowania oferty przewozowej

Źródło: (opracowanie własne)

Podsumowanie

1. Szczegółowe wyniki badań marketingowych mogą zostać poddane wnikliwej analizie. Można analizować poszczególne kursy w przedziale czasowym. Pozwala to na ewentualne zrezygnowanie z dalszego wykonywania kursów na przykład w godzinach 23.00 do 2.00 gdzie ilość przewożonych pasażerów wynosiła zero.
2. Można założyć określony próg efektywności eksploatacyjnej utrzymywania kursów (np. wykorzystanie pojazdów na poziomie 1.0 pasażera na kilometr przynajmniej w jednym z kierunków w parze kursów) i eliminować połączenia niespełniającego przyjętego warunku.
3. Jest możliwość w opracowaniu teoretycznym zasymulować jednocześnie skutki zmian w podaży – w postaci przeniesienia części popytu na kursy sąsiednie. Wnioski z tak przeprowadzonej analizy są następujące: należałoby zrezygnować z utrzymywania kursów wczesno porannych i późnowieczornych na większości linii oraz części kursów niedzielnych.
4. Wszelkie analizy a następnie zmiany w strukturze oferty przewozowej mają na celu przede wszystkim poszukiwanie oszczędności w liczbie wykonywanych wozokilometrów, i determinuje kształt oferty przewozowej. W omawianej analizie oferty przewozowej starachowickiej komunikacji miejskiej wnioski z analiz były następujące:
 - pięciu liniom („16”, „18”, „25”, „27” i „N”) nadano okrężny, jednokierunkowy charakter, przez co utrudniono dwukierunkową synchronizację ich rozkładów jazdy z innymi połączeniami (godzina realizacji kursu w jednym kierunku determinuje godzinę powrotu), ale unikając drugiej pętli i obsługiwania dwukierunkowo końcowych odcinków tras o najmniejszym wykorzystaniu, zracjonalizowano jednocześnie koszty obsługi komunikacyjnej przedmiotowych linii.
 - wprowadzono cząstkową synchronizację odjazdów pojazdów różnych linii – np. rozkładając naprzemiennie odjazdy autobusów na wspólnych odcinkach tras linii „25” i „27” o przeciwbieżnym przebiegu. Wcześniej rozkłady jazdy różnych linii synchronizowano w bardzo niewielkim stopniu – każde z połączeń stanowiło osobne przedsięwzięcie planistyczne, z rozkładem jazdy dostosowanym do indywidualnych potrzeb jego użytkowników.
5. Przedstawiony sposób analizy pozyskanych danych ankietowych oraz liczbę obecnie wykonywanych wozokilometrów na wszystkich liniach, pozwala wysnuć wniosek, że najlepszym rozwiązaniem byłoby zaproponowanie modułowej częstotliwości 20-minutowej, obowiązującej w dni powszednie w godzinach od 6:30-8 i 13-16 oraz częstotliwości 30-minutowej obowiązującej w godzinach 8-13. Dla pasażerów znacznie korzystniejsza byłaby częstotliwość 15-minutowa, w dodatku bez ograniczeń w godzinach międzyszczytowych, ale jej zaproponowanie oznaczałoby duże zwiększenie liczby wykonywanych wozokilometrów.

Bibliografia

- Bieńczyk M., Kiciński M., Fierek Sz., Majewski T., Kisielewicz G., Kamuda W.: Badania napelnień pojazdów publicznego transportu zbiorowego przy użyciu monitoringu wewnątrz-pojazdowego. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, 2017, 19, 29-39.
- Bździuch P., Bogacki M.: Autobusowy transport publiczny w Krakowie na tle najlepszych światowych systemów komunikacji miejskiej oraz ocena wpływu jego modernizacji na wielkość emisji zanieczyszczeń. *Transport Miejski i Regionalny*, 2017.
- Dudek M., Rudnicki A.: Optymalizacja obsługi pasażerów transportem zbiorowym. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, 2007, 63, 51-59.
- Fajczak-Kowalska A., Wojcieszak A., Siedlecki T.: Stan i ocena pracy przewozowej oraz potoków pasażerskich autobusowego transportu miejskiego w wybranych miastach wojewódzkich. *Autobusy, technika, eksploatacja, systemy transportowe* 17, 2016.
- Kłós Z.: Znaczenie jakości w funkcjonowaniu komunikacji miejskiej. *Marketing i Zarządzanie*, 2012, 27, 27-36.
- Król A.: Zastosowanie algorytmu genetycznego do projektowania harmonogramu przewozów. *TTS Technika Transportu Szynowego*, 2012, 19.
- Kwaśnikowski J., Gramza G.: Kształtowanie oferty przewozowej w publicznym transporcie pasażerskim, *Logistyka* nr 6/2011. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2011.
- Poznański J.: Wybrane elementy organizacji publicznych przewozów pasażerskich w systemie transportu miejskiego. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, 2017.
- Regulski P., Abramek K.: Analiza potoków pasażerskich komunikacji miejskiej na trasie przebiegającej wzdłuż linii kolejowej nr 406 na odcinku Szczecin Główny–Police. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe* 18, 2017.
- Wyszomirski O.: Tendencje rozwoju komunikacji miejskiej w Polsce. *Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Materiały Konferencyjne*, nr 12, 2001, 86, 271-283.
- Zych M., Baran J.: Porównanie organizacji komunikacji miejskiej w wybranych miastach świata i Polski. *Logistyka*, 2012.
- <https://www.nik.gov.pl/plik/id,22268,vp,24938.pdf>
<https://igkm.pl/statystyka/>

Adres do korespondencji: pawel.kielbasa@urk.edu.pl
ORCID: Tomasz Dróżdź 0000-0001-6624-9798
ORCID: Paweł Kielbasa: 0000-0003-0249-8626;
ORCID: Anna Miernik 0000-0002-4497-8858

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA ŚRODKÓW TRANSPORTOWYCH METODĄ MES

Grzegorz Dzieniszewski^{1,2}, Jakub Jakimiak²

¹ Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

Wstęp

Zróżnicowane potrzeby motocyklistów w zakresie transportu motocykli wynikające z różnic w wymiarach gabarytowych, przeznaczeniu czy przewidywanej ilości motocykli do jednoczesnego przewożenia, spowodowały wypełnienie rynku dużą ilością przyczep o uniwersalnych możliwościach dotyczących przewożonego ładunku¹. Częste przypadki przewracania motocykla podczas załadunku wynikające z konieczności wprowadzania motocykla na dużą wysokość, niewielkiego prześwitu motocykli lub ich dużej masy (motocykle ważące powyżej 250 kg), spowodowały powstawanie, coraz większej ilości rozwiązań dedykowanych oferujących udogodnienia tj. możliwość samodzielnego wprowadzania motocykla na przyczepę po jej uprzednim obniżeniu oraz mechanizmy blokujące przednie koło w celu czasowego unieruchomienia motocykla i możliwości swobodnego spięcia pasami transportowymi bez ryzyka przewrócenia maszyny.²

Na rynku światowym, jak i polskim istnieje wiele rozwiązań podobnych do przedstawionego w niniejszym projekcie³. Poniżej znajduje się zestawienie niektórych z nich wraz z opisem ich charakterystycznych cech.

W przeszłości przepisy prawne obowiązujące w Polsce umożliwiały rejestrację samodzielnie wykonanych pojazdów jako tzw. SAM. „Z dniem wejścia w życie nowelizacji prawa o ruchu drogowym, tj. 22 czerwca 2013 r. i zapisami załącznika XIX dyrektywy 2007/46/WE, kompletne i niekompletne pojazdy kategorii O od 29 października 2012 r. powinny być homologowane wg dyrektywy 2007/46/WE, którą wprowadza ww. prawo o ruchu drogowym, a do rejestracji wymagany jest dokument CoC (świadectwo zgodności WE) potwierdzający uzyskanie europejskiego świadectwa homologacji”⁴.

¹ Osiecki J.: Pojazdy samochodowe technika transportu ładunków. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2009.

² Ociepko J.: Jak przewieźć motocykl? Bus czy przyczepa? Czasopismo Motocykl, 2016.

³ Polaski R., Zimnicki K.: Projekt i analiza wytrzymałościowa stojaka motocyklowego w środowisku Autodesk Inventor, Postępy w inżynierii mechanicznej, Nr 6, 7-66, 2015.

⁴ http://www.knott.pl/wp-content/uploads/katalog_knott_PL_01.pdf Katalog komponentów do przyczep KNOTT Group, dostęp 15.05.2022

Model testowy wykonano jako konstrukcję spawaną z zastosowaniem inwertorowej spawarki, drutem topliwym w osłonie gazów. Zastosowane urządzenie umożliwia spawanie metodą MAG, polegającą na podawaniu rozwijanego ze szpuli drutu i topieniu go w osłonie aktywnego gazu ochronnego (mieszanki CO₂, Ar i O₂).⁵

Inwertorowe zasilanie spawarki polega na zwiększeniu częstotliwości 20-100 kHz a następnie obniżeniu w transformatorze i prostowniku, co w efekcie daje zalety takie jak: zwiększony współczynnik mocy czy redukcja masy urządzenia.⁶

Opracowanie projektu wstępnego

Projekt wstępny zawiera analizę rozwiązań technicznych powszechnie stosowanych w przyczepach do transportu motocykli ze wskazaniem na korzyści oraz negatywne aspekty zastosowanych rozwiązań. Poniżej przedstawiono przykładowe rozwiązania.

Bardzo popularnym rozwiązaniem ze względu na stosunkowo niską cenę, masę przyczepy oraz możliwość przewożenia do trzech motocykli na raz jest przyczepa przedstawiona na rysunku 1.

Przedstawiona na rysunku 2 lekka przyczepa z uchylną płytą transportową stanowi uniwersalne rozwiązanie, ale nie do końca wygodne w załadunku ze względu na znaczne jej pochylenie.



Rys. 1. Typowa przyczepa do przewożenia motocykli

Źródło: www.unitrailer.pl dostęp 20.03.2022



Rys. 2. Przyczepa Unitrailer kompakt 300

Źródło: www.unitrailer.pl dostęp 20.03.2022

Przedstawione na rysunku 3 rozwiązanie stanowi przykład, w którym istnieje duże prawdopodobieństwo doprowadzenia do sytuacji kolizji w trakcie załadunku, ze względu na konieczność pokonania przełamania na granicy płyty najazdowej i płyty transportowej oraz bardzo małego przeswitu pod motocyklem.

⁵ Jarmoszuk S.: Spawanie metodą MAG. Wydawnictwo szkolne i pedagogiczne, Warszawa, 1996.

⁶ Ferenc K.: Podręcznik spawania, zagadnienia ogólne. Agenda wydawnicza SIMP, Sympozja Spawalnicze Linde, 2017.



Rys. 3. Uniwersalna przyczepa bez możliwości opuszczania platformy transportowej oraz motocykl o bardzo małym prześwicie

Źródło: <https://commons.wikimedia.org> dostęp 21.03.2022



Rys. 4. Bardzo lekka konstrukcja umożliwiająca podnoszenie rampy wraz z załadunkiem za pomocą siły rąk

Źródło: <https://www.youtube.com/watch?v=xC-OuiL-WKQ> dostęp 20.05.2022



a)



b)

Rys. 5. Ciężkie przyczepy z możliwością opuszczania rampy a) za pomocą mechanizmu korbowego, b) silnika elektrycznego

Źródło: <https://www.autoevolution.com/news/ramp-free-motorcycle-trailers-are-as-cool-as-it-gets-video-74565.html>

<https://www.youtube.com/watch?v=3W0Bb3mpyNc> dostęp 5.03.2022



Unbraked Torsion Axle 4 on 4" PCD (750 kg)

£363.12
Excl. VAT: £302.60

ADD TO BASKET



Unbraked Torsion Axle 4 on 100mm PCD (750 kg)

£329.32
Excl. VAT: £274.43

ADD TO BASKET



Unbraked Torsion Axle 4 on 5.5" PCD (750 kg)

£374.39
Excl. VAT: £311.99

ADD TO BASKET

Rys. 6. Belki do przyczep bez układu hamowania oferowane przez Trailertek

Źródło: <https://www.trailertek.com/trailer-parts/axles-suspension/axles/unbraked-torsion-axles> Sprzedawca komponentów do przyczep, dostęp 23.01.2022

Rysunek 7 przedstawia belkę z mechanizmem zawieszenia. Analogiczne rozwiązanie istnieje w belce zawieszenia przyczepy bazowej.



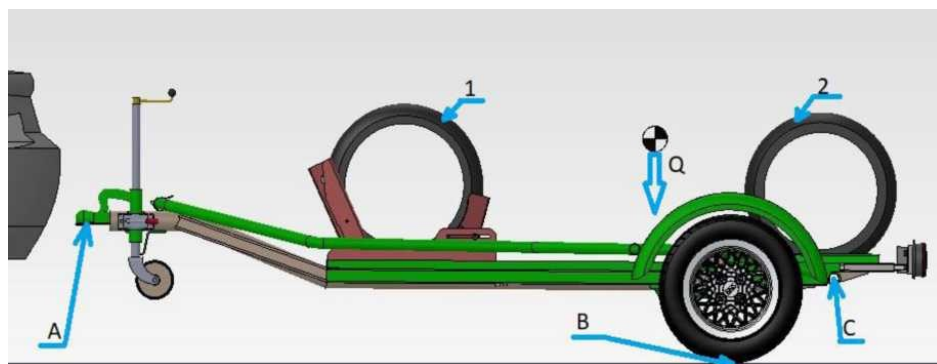
Rys. 7. Wałek skrętny zawieszenia

Źródło: <https://www.diamondc.com/trailer-suspension/> dostęp 15.05.2022

Projekt koncepcyjny

Opracowana finalnie koncepcja została poprzedzona analizą masy i rozmieszczenia środków ciężkości przyczepy oraz motocykla względem osi przyczepy i haka holowniczego. Wykorzystano wiodący program CAD/CAE Inventor, który umożliwia analizy wytrzymałościowe.⁷ W związku z tym wykonano model 3D przyczepy oraz charakterystycznych elementów motocykla istotnych do niniejszych sprawdzeń.

Przyjęto wstępną koncepcję przyczepy z funkcją opuszczania rampy przewozowej.



A – punkt oparcia przyczepy na haku samochodu,

B – punkt styku opony z podłożem,

C – oś łącząca ramę tracyjną z rampą załadunkową przyczepy,

Q – masa przyczepy i motocykla wyrażona w postaci wektora siły zaczepionego w jego środku ciężkości rozpatrywanej koncepcji,

1 i 2 – przednia i tylna opona motocykla obrazująca jego miejsca na przyczepie w pozycji transportowej.

Rys. 8. Charakterystyczne punkty przyczepy - pozycja transportowa

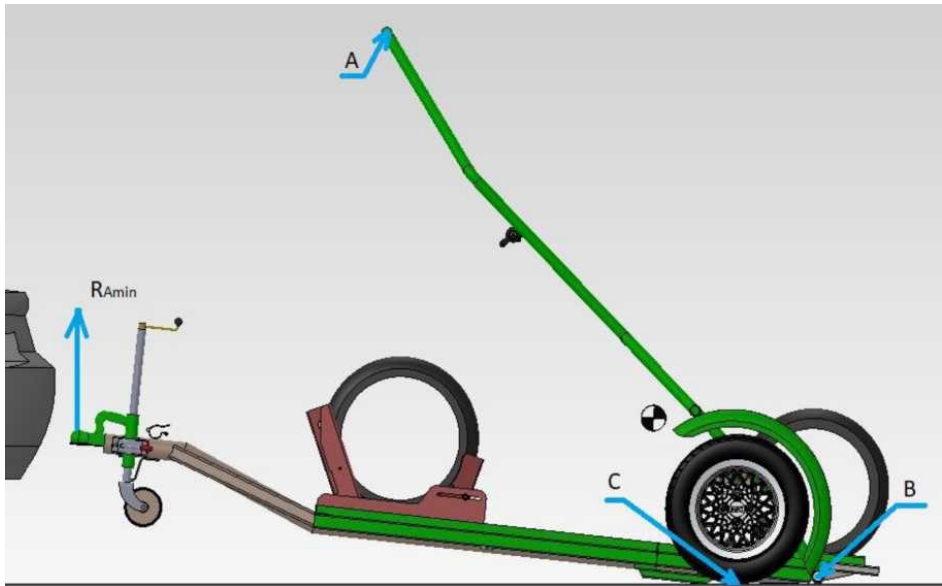
Źródło: Opracowanie własne

Przyjęto wstępnie możliwość unoszenia obciążonej masą motocykla rampy transportowej przyczepy za pomocą siły rąk osoby dokonującej załadunku. Wyznaczono środek ciężkości motocykla.

Dokonano pomiaru wymiarów gabarytowych motocykla w tym również punktów styku kół z podłożem i szerokości kierownicy potrzebnej do bezkolizyjnego otwierania ramy tracyjnej. Masę motocykla wynoszącą 144 kg, rozstaw osi 1445 mm, wartość prześwitu 255 mm oraz wielkość zastosowanych kół odpowiednio przód 21 cali i tył 18 cali, określono na podstawie instrukcji użytkownika motocykla. Ponadto dokonano pomiarów charakterystycznych (nieziemnych) elementów samochodu, takich jak np.: wysokość zaczepienia dysza

⁷ Bąk R., Burezyński T.: Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego. WNT, Warszawa, 2009.

przyczepy na haku, rozstaw kół oraz średnicy kół przyczepy bazowej, geometrię zespołu belki skrętnej oraz zamocowanych w niej ramion wahaczy.



- A – rękkojęść z blokadą ramy trakcyjnej,
- B – oś łącząca ramę trakcyjną z rampą załadunkową przyczepy,
- C – punkt styku opony z podłożem.

Rys. 9. Charakterystyczne punkty przyczepy – pozycja załadunkowa

Źródło: Opracowanie własne



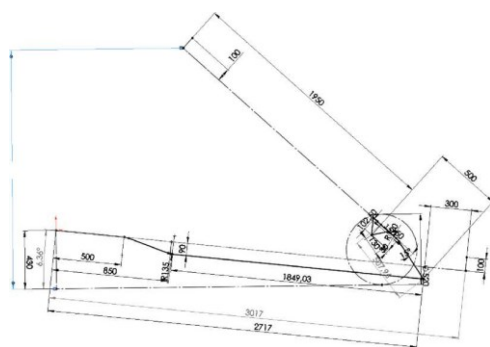
Rys. 10. Sposób wyznaczenia środka ciężkości motocykla

Źródło: Opracowanie własne

Dopuszczalna wartość statycznego obciążenia haka rozpatrywanego samochodu osobowego została przyjęta w granicach 50-80 kg. Zakres ten obowiązuje zarówno dla pustej przyczepy, jak i z zamocowanym na niej ładunkiem. Ponieważ projektowana przyczepa była dedykowana do przewozu motocykla o wymiarach zbliżonych do długości platformy transportowej, istniały nieznaczne możliwości regulowania umiejscowienia go na przyczepie, a tym samym niewielkiej ingerencji w wartość siły nacisku na hak samochodu. Trzeba mieć również na uwadze, że zmiana położenia punktu środka ciężkości motocykla powoduje zmianę zakładanych wartości siły potrzebnej do zamykania ramy trakcyjnej (podnoszenia ramy transportowej wraz z motocyklem) przez jedną osobę. Stąd położenie motocykla na przyczepie ustalono jako niezmiennicze, optymalne dla spełnienia obu wymagań tj. nacisku na hak i siły na rękojeści ramy. W przypadku przewozu innego rodzaju motocykla jako priorytetowe będzie traktowane wymaganie obciążenia haka i jego uzyskanie przez zmianę ustawienia motocykla na przyczepie, natomiast może się to wiązać z koniecznością użycia większej siły do podnoszenia ramy.

Wykonanie modelu 3D przyczepy

Środowiskiem pracy wspomagającym projektowanie w zakresie modelowania 3D i tworzenia dokumentacji konstrukcyjnej było oprogramowanie Autodesk Inventor 2022⁸. W oparciu o wykonane szkice 2D i 3D, były tworzone układy kinematyczne lub ściany i bryły tworzące części a następnie, po nadaniu odpowiedniej ilości więzów (odebraniu wszystkich punktów swobody) wykonano złożenia. Podczas projektowania stosowano tzw. dobre praktyki modelowania, czyli wykonywanie brył przy jak najmniejszej ilości operacji, co w przypadku dużych złożań ma kluczowe znaczenie.⁹ Dodatkowe operacje stanowią obciążenie komputera zarówno przy każdym uruchomieniu modelu ale również podczas tworzenia widoków na rysunkach. W przypadku złożań składających się z kilku tysięcy części, może to nawet powodować problemy z otwieraniem wykonanych rysunków.¹⁰



Rys. 11. Kinematyka układu załadunku – przyczepa otwarta do załadunku

Źródło: Opracowanie własne

⁸ Jaskulski A.: Autodesk Inventor 2020 PL/2020+ Podstawy metodyki projektowania. PWN, Warszawa, 2019.

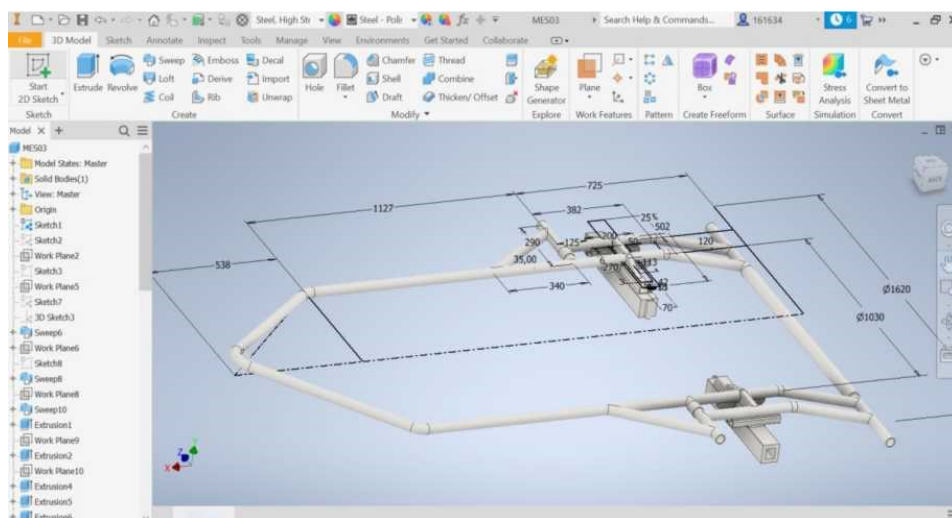
⁹ Jonak J.: Komputerowo wspomagane projektowanie maszyn. Część 1,2., Politechnika Lubelska, Lublin, 2016.

¹⁰ Sydor M.: Wprowadzenie do CAD. Podstawy komputerowo wspomagane projektowania. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2009.

Opracowanie projektu technicznego

Opracowany projekt koncepcyjny podlega na tym etapie szczegółowej analizie w odniesieniu do postawionych wymagań w celu uzyskania wytycznych do opracowania dokumentacji prototypu. Należy wykonać model 3D do obliczeń MES, przeprowadzić obliczenia i analizę otrzymanych wyników. Następnie po wprowadzeniu zmian opracować dokumentację konstrukcyjną przyczepty.

Wykonanie modelu 3D do obliczeń MES



Rys. 15. Rama trakcyjna przyczepty wykonana w programie Inventor 2022

Źródło: Opracowanie własne

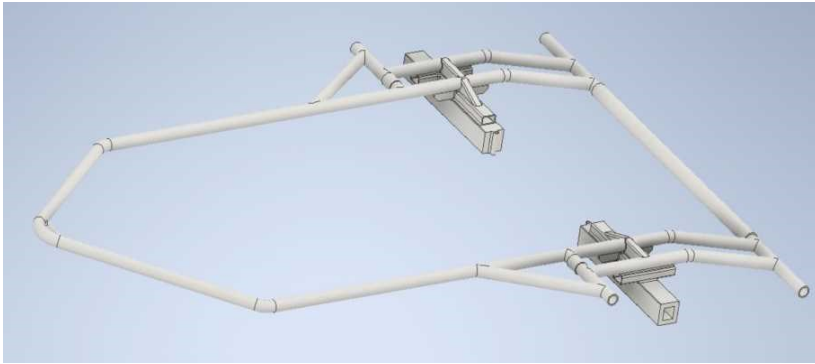
Do analizy MES wytypowano ramę trakcyjną A01.0041.00 zawierającą dzieloną belkę zawieszenia jako element potencjalnych problemów wytrzymałości i sztywności konstrukcji. Opracowano model 3D zgodnie z zasadą modelowania jednej, spójnej bryły uwzględniającej ciągłość materiału pomiędzy częściami złożenia. Metoda ta nie wymaga określania rodzaju kontaktu, jak by to było w przypadku zastosowania złożenia. Dodatkowo umożliwiło to łatwe zamodelowanie spoin i uwzględnienie ich w obliczeniach wytrzymałościowych. Na poniższej grafice przedstawiono opracowany model.¹¹

Elementy pozyskane ze starej przyczepty sprawdzone i produkowane seryjnie tj. koła, piasty wahacze i belki skrętne potraktowano jako nieistotne z punktu widzenia sztywności ramy i zobrazowano w postaci jednej bryły profilu o przekroju kwadratu i celowo zawyżonej gru-

¹¹ Rakowski G, Kacprzyk Z.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji, wyd. 3 popr., Warszawa, 2015.

¹¹ Bruzda J.: Stale konstrukcyjne i ich spawalność. Instytut Spawalnictwa Gliwice, 2007.

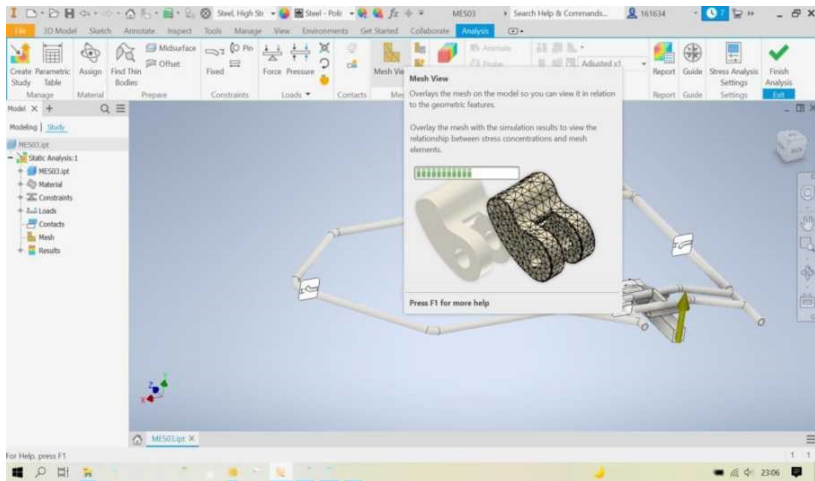
bości ścianki, aby program traktował ten element jako nieodkształcalny. Dalsza część konstrukcji odzwierciedla dokładnie rodzaj zastosowanych wzmocnień i wielkości spoin. Przyjęto, że zastosowane spoiny spełniają wymagania odnośnie ich miejscowych własności i ich wpływu na konstrukcję¹².



Rys. 16. Rama trakcyjna przyczepy

Źródło: Opracowanie własne

Naniesienie siatki na model wykonano za pomocą narzędzia Mesh View programu Inventor.



Rys. 17. Praca w programie Inventor – narzędzie Mesh View

Źródło: Opracowanie własne

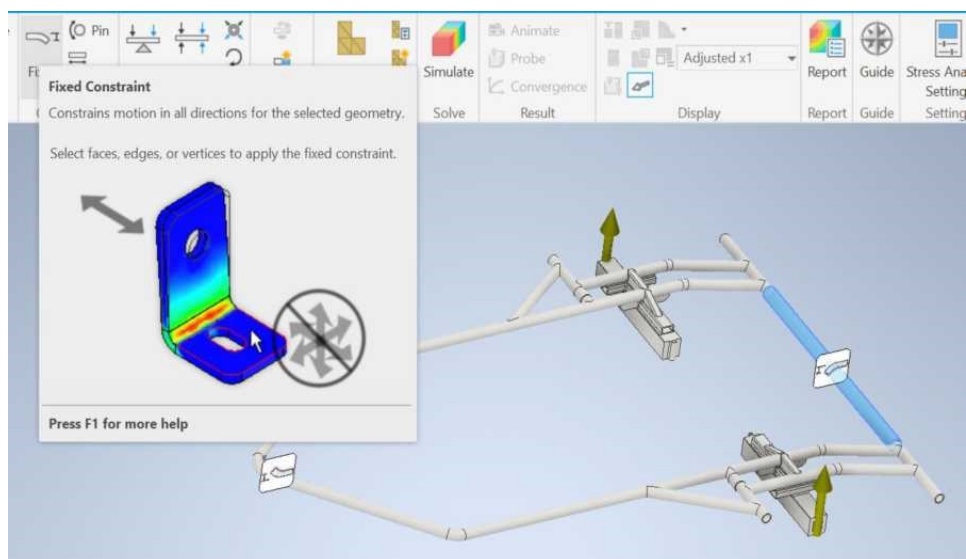
¹² Rakowski G., Kacprzyk Z.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji, wyd. 3 popr., Warszawa, 2015.

Obliczenia i interpretacja otrzymanych wyników

Poniższe wyniki reprezentują główne zagadnienia przyjęte w kolejnych krokach prowadzonej analizy.

Warunki brzegowe stanu obciążenia to¹³:

- materiał: stal konstrukcyjna EN 10025-2-S355 J2+N;
- przypadek statycznego obciążenia przyczepy maksymalnym ładunkiem DMC o wartości 7000 N reprezentowany w modelu w postaci dwóch wektorów równych co do wartości po 3500 N każdy zaczepionych w miejscach podzielonej belki zawieszenia czyli miejscach reakcji podłoża na działanie DMC;
- powierzchnię walcową w tylnej części ramy będącą elementem sztywno połączonym z ramą transportową przyjęto jako ustaloną i utwierdzono narzędziem „FIX”;
- w przedniej części ramy, w miejscu zaczepienia zamkiem blokującym ramę w położeniu transportowym przyjęto wiązanie „FIX”.

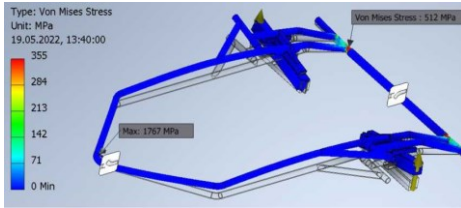


Rys. 18. Analiza MES wariant 1

Źródło: Opracowanie własne

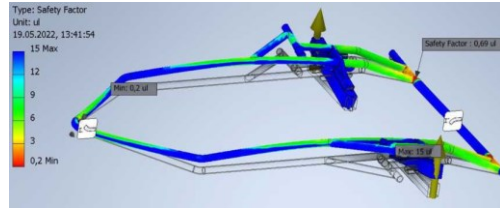
Wykonano symulację z następującymi rezultatami:

¹³ Dobrzański L.A.: Podstawy nauk o materiałach i materiałoznawstwo. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2019.



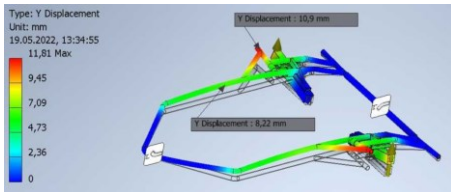
Rys. 19. Naprężenia zredukowane (von Misesa)

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 20. Współczynnik bezpieczeństwa

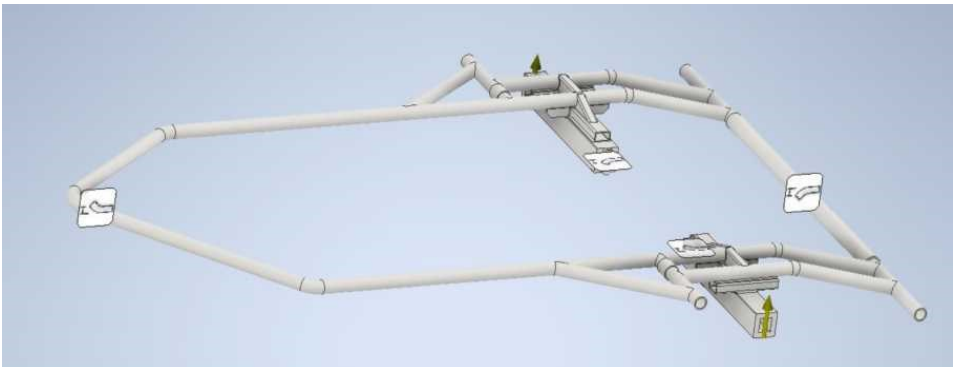
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 21. Odształcenie w kierunku Y (zgodnie z kierunkiem zadanych sił)

Źródło: Opracowanie własne

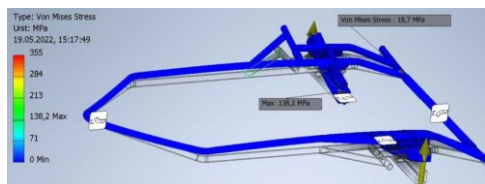
W wyniku analizy otrzymanych wyników stwierdzono niedopuszczalne przekroczenia wartości naprężeń. Wartość minimalna współczynnika bezpieczeństwa wyznaczona na poziomie 0,2 w przedniej części, mogła by stanowić podstawę do wykonania szczegółowej analizy węzła wraz z wykonaniem obliczeń spoiny przewidzianej w tym miejscu. Biorąc pod uwagę wystąpienie słabych punktów w tylnej części ramy, jak również negatywny rezultat w zakresie sztywności konstrukcji (odkształcenia powyżej 10 mm), do dalszych analiz wprowadzono dodatkowe węzły łączące projektowaną ramę trakcyjną z platformą transportową.



Rys. 22. Analiza MES wariant 2 (wprowadzono dodatkowe punkty mocowania)

Źródło: Opracowanie własne

Wykonano symulację z następującymi rezultatami:



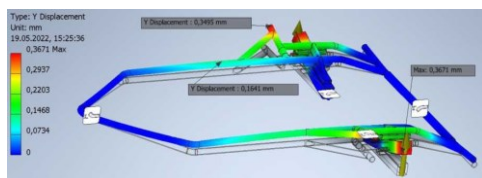
Rys. 23. Naprężenia zredukowane (von Mises)

Źródło: Opracowanie własne



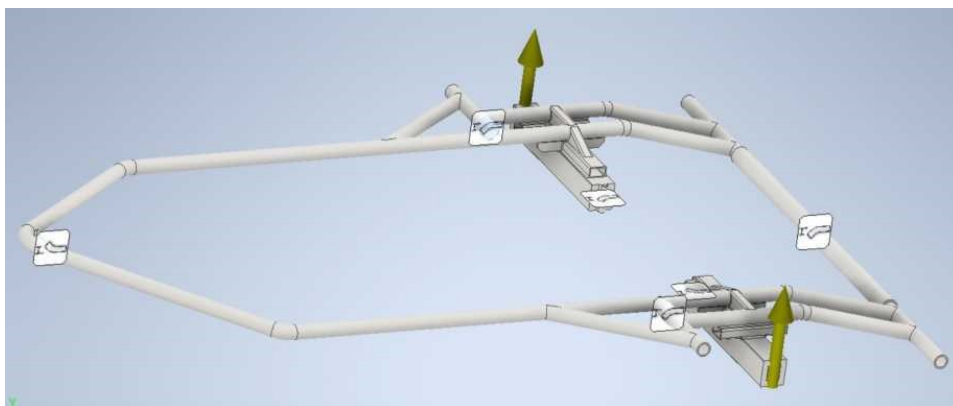
Rys. 24. Współczynnik bezpieczeństwa

Źródło: Opracowanie własne

Rys. 25. Odształcenie w kierunku Y
(zgodnie z kierunkiem zadanych sił)

Źródło: Opracowanie własne

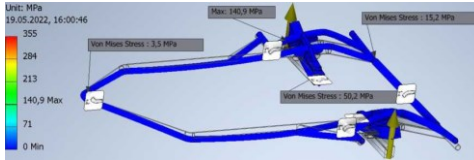
Otrzymane wyniki wskazują na znaczną poprawę. Spełniono wymagania w zakresie wytrzymałości, o czym świadczą uzyskane wartości minimalne współczynnika bezpieczeństwa na poziomie 2,57 oraz naprężenia nie przekraczające wartości 138,2 MPa. Niestety pomimo poprawy sztywności w stosunku do wariantu bazowego maksymalne odkształcenie o wartości 0,36 mm uznano za niewystarczające, w związku z tym wprowadzono dodatkowe węzły łączące projektowaną ramę trakcyjną z platformą transportową i powtórnie przeprowadzono analizę MES.



Rys. 26. Analiza MES wariant 3 (wprowadzono dodatkowe punkty mocowania)

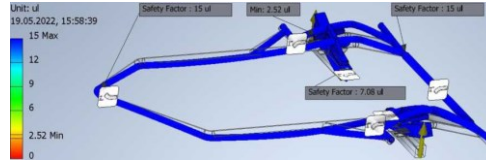
Źródło: Opracowanie własne

Poniżej przedstawiono rezultaty wykonanych symulacji:
Type: Von Mises Stress.



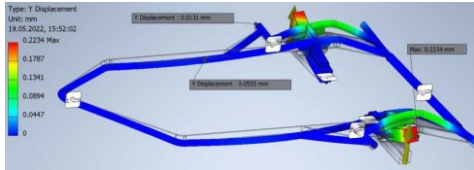
Rys. 27. Naprężenia zredukowane (von Misesa)

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 28. Współczynnik bezpieczeństwa

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 29. Odkształcenie w kierunku Y (zgodnie z kierunkiem zadanych sił)

Źródło: Opracowanie własne

Wyniki naprężeń oraz współczynnika bezpieczeństwa są ponownie zadowalające. W zakresie przemieszczenia uzyskano znacznie lepszy rezultat w miejscach dotychczas nie akceptowanych. Biorąc pod uwagę stopień uproszczenia modelu w miejscu wystąpienia największego przemieszczenia oraz nieznaczną wartość 0,22 mm odnotowaną w tym miejscu, wynik ten traktuje się jako akceptowalny. Na tym etapie zakończono analizę MES. Można stwierdzić, że rama trakcyjna wykonana w wersji pozmianowej spełnia wymagania wytrzymałościowe dla zadanych warunków pracy. Na tej podstawie potwierdza się hipotezę o możliwości opracowania konstrukcji przyczepy samochodowej do przewozu motocykla z zastosowaniem dzielonej belki skrętnej zawieszenia.

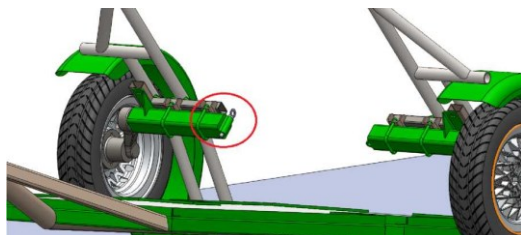
Tabela 1. Zestawienie wyników analizy MES rozpatrywanych wersji ramy

Wariant ramy	Naprężenia maksymalne (MPa)	Współczynnik bezpieczeństwa	Odkształcenie (mm)	Uwagi
1	1767	0,2	10,9	Nie spełnia wymagań
2	138,2	2,57	0,35	Nie spełnia wymagań
3	140,9	2,52	0,02	Spełnia wymagania

Źródło: Opracowanie własne

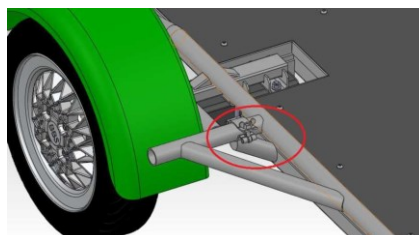
Wprowadzenie zmian wynikających z obliczeń MES

W wyniku oceny wyników symulacji MES wprowadzono do konstrukcji przyczepy zmiany w postaci dodatkowych punktów podparcia ramy trakcyjnej. Poniżej zobrazowano dodatkowe rozwiązania.



Rys. 30. Połączenie elementów belki zawieszenia z ramą transportową stosowane na czas transportu motocykla

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 31. Dodatkowe podparcia tamy trakcyjnej

Źródło: Opracowanie własne

Opracowanie struktury złożenia modelu 3D uwzględniającej podział na podzespoły wykonawcze

Opracowanie struktury złożenia jeszcze na etapie modelowania 3D jest istotne ze względu na prawidłowe dostosowanie kolejnych kroków implementacji części i podzespołów w procesie produkcyjnym pojazdu. Należy uwzględnić kolejność wykonania montażu wyrobu finalnego. Nie jest również zalecane łączenie wielu operacji takich jak np. spawanie i montaż.

Empiryczne sprawdzenie ergonomii przyczepy

Zbudowany model został zbadany pod kątem ergonomii obsługi, zostały wyznaczone siły niezbędne do obsługi oraz potwierdzona została słuszność symulacji komputerowych.

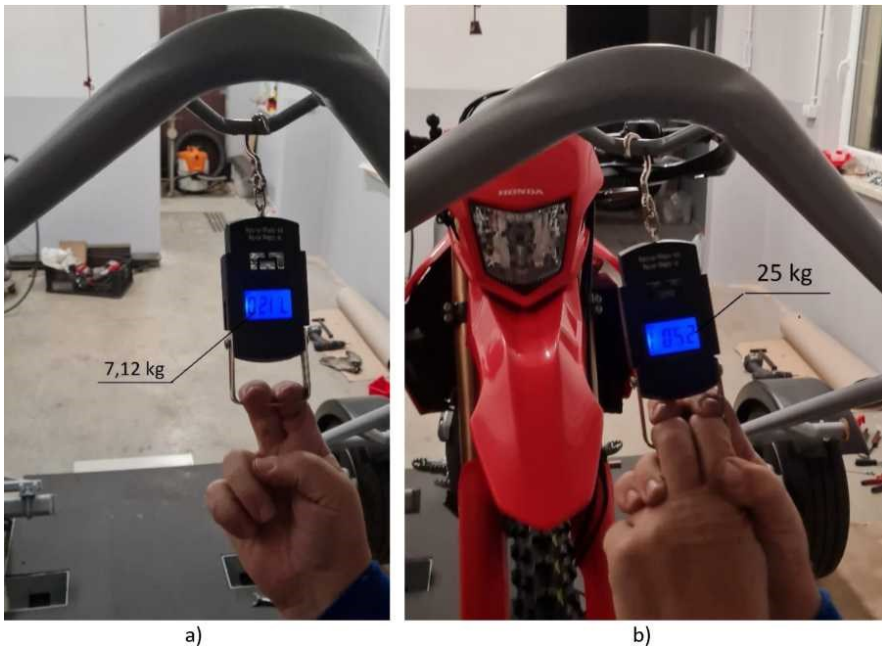
Rysunek 32 przedstawia zbudowaną przyczepę.



Rys. 32. Przyczepa z ładunkiem. Pomiar obciążenia haka samochodu

Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 33 przedstawia parametry ergonomiczne obsługi przyczepy podczas załadunku motocykla.



Rys. 33. Siła potrzebna do zamykania przyczepy do pozycji transportowej: a) na pusto, b) z załadowanym motocyklem

Źródło: Opracowanie własne

Wnioski

Możliwe jest opracowanie konstrukcji przyczepy samochodowej do przewozu motocykla z zastosowaniem dzielonej belki skrętnej zawieszenia wraz ze spełnieniem przyjętych w projekcie założeń technicznych.

Analiza MES wykazała konieczność wprowadzenia zmian w projekcie w postaci dodatkowych punktów mocowania ramy trakcyjnej. Zmiany zostały wprowadzone rzeczowo oraz w dokumentacji konstrukcyjnej.

W trakcie rzeczowego wykonania przyczepy ujawniły się błędy konstrukcyjne polegające na nie uwzględnieniu uginania się zawieszenia samochodu w wyniku obciążenia haka po zaczepieniu przyczepy. Spowodowało to konieczność dokonania korekty geometrii dyszla przyczepy. Ostatecznie zmiany te uwzględniono w dokumentacji konstrukcyjnej.

Pomiary sił występujących przy zamykaniu przyczepy do pozycji transportowej oraz siły obciążenia haka samochodu, są zgodne z wynikami obliczeń.

Projekt zakończono na etapie przygotowania przyczepy do procesu homologacji na zgodność z przepisami obowiązującymi w Unii Europejskiej.

Bibliografia

- Bąk R., Burczyński T.: Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego. WNT, Warszawa, 2009.
- Bruzda J.: Stale konstrukcyjne i ich spawalność, Instytut Spawalnictwa Gliwice, 2007.
- Dobrzański L.A.: Podstawy nauk o materiałach i materiałoznawstwo, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- Ferenc K.: Podręcznik spawania, zagadnienia ogólne, Agenda wydawnicza SIMP, Sympozja Spawalnictwa Linde, 2017.
- http://www.knott.pl/wp-content/uploads/katalog_knott_PL_01.pdf Katalog komponentów do przyczep KNOTT Group, dostęp 15.05.2022.
- Jarmoszuk S.: Spawanie metodą MAG, Wydawnictwo szkolne i pedagogiczne, Warszawa, 1996.
- Jaskulski A.: Autodesk Inventor 2020 PL/2020+ Podstawy metodyki projektowania, PWN, Warszawa 2019.
- Jonak J.: Komputerowo wspomagane projektowanie maszyn. Część 1,2, Politechnika Lubelska, Lublin 2016.
- Ociepko J.: Jak przewieźć motocykl? Bus czy przyczepa?, Czasopismo Motocykl, 2016.
- Osiecki J.: Pojazdy samochodowe technika transportu ładunków. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności Warszawa, 2009.
- Polaski R., Zimnicki K.: Projekt i analiza wytrzymałościowa stojaka motocyklowego w środowisku Autodesk Inventor, Postępy w inżynierii mechanicznej, Nr 6, 2015.
- Rakowski G., Kacprzyk Z.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji, wyd. 3 popr., Warszawa, 2015.
- Sydor M.: Wprowadzenie do CAD. Podstawy komputerowo wspomaganego projektowania, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2009.

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

OPTIMALIZACJA SYSTEMU LOGISTYCZNEGO PRZEDSIĘBIORSTWA PRODUKCYJNEGO BRANŻY MECHANICZNEJ

Grzegorz Dzieniszewski^{1,2}, Krystian Bednarz²

¹ Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

Wstęp

Jedną z kluczowych kategorii logistyki są procesy logistyczne, polegające na fizycznym przepływie dóbr przez kolejne fazy działalności gospodarczej danego przedsiębiorstwa¹. Procesem logistycznym nazywany jest uregulowany oraz uporządkowany łańcuch operacji, które ściśle związane są z przepływem materiałów w przedsiębiorstwie². Proces logistyczny polega przede wszystkim na fizycznym przemieszczaniu się produktów przez kolejne fazy działalności przedsiębiorstwa tak, aby w rezultacie zrealizować określony cel.³

Procesy logistyczne wspomagane są przez wyspecjalizowane systemy informatyczne takie jak SAP ERP i związane są z dostawcami informacji oraz materiałów⁴. Coraz częściej procesy logistyczne są poddawane, przez zarządzające przedsiębiorstwem osoby, outsourcingowi logistycznemu, czyli inaczej rzecz ujmując oddawanie pracy innej zewnętrznej firmie z lepiej opracowanymi procesami logistycznymi co daje przedsiębiorstwu gwarancję lepszej terminowości, jakości bądź ceny⁵. Efektem tego rodzaju usługi logistycznej czyli zorganizowania przez zewnętrzne przedsiębiorstwo jest zorganizowanie transportu oraz magazynowania produktu wraz całą obsługą jaką życzy sobie dany klient.⁶

Wszystkie procesy logistyczne, które zachodzą w danym przedsiębiorstwie specjalizującym się w tego rodzaju działaniach, powinny być zbudowane zgodnie z zasadą 7R (*7 Right*),

¹ Fechner I.: Logistyka na progu nowego stulecia, Logistyka 2000, nr 1. ILiM Poznań, 2000.

² Piniński R.: Planowanie i sterowanie procesami logistycznymi. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Karola Adameckiego, Katowice, 1996.

³ Kauf S.: Vademecum logistyki. Wydawnictwo Difin, Warszawa, 2016.

⁴ Matwiejczuk R.: Zarządzanie marketingowo-logistyczne. C.H. Beck, Warszawa, 2006.

⁵ Lysons K.: Zakupy zaopatrzeniowe. Wydawnictwo PWE, Warszawa, 2003.

⁶ Gołębiewska E.: Kompendium wiedzy o logistyce. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005.

która definiuje postępowanie tak, aby zrealizować podstawowe działanie przedsiębiorstwa.^{7,8}

Procesy logistyczne powiązane są ze wszystkimi działaniami przedsiębiorstwa i ukierunkowane są przede wszystkim na zwiększenie wartości wymiennej oraz użytkowej produktów o walory takie jak przestrzenny oraz czasowy walor przestrzenny jest w szczególności powiązany z faktem, iż procesy logistyczne doprowadzają w sprawny sposób produkty na jego docelowe miejsce przeznaczenia⁹. Walor czasowy natomiast, wynika z uwzględnienia stosownego momentu dostaw oraz z bezpośredniego zapotrzebowania.¹⁰

Powszechnie mówi się również o tym, iż procesy logistyczne powodują transformację produktów¹¹. Na przykład proces transportu odnosi się do zmian przestrzeni, procesy magazynowania odnoszą się do realizacji zmian czasowych natomiast procesy związane z przeładunkiem wprowadzają zmiany ilości oraz gatunku.¹²

Optymalizacja systemu logistycznego przedsiębiorstwa produkcyjnego branży mechanicznej

Przedsiębiorstwo BorgWarner (BW) jest w swojej branży liderem systemów napędowych zarówno do pojazdów spalinowych, hybrydowych i elektrycznych. Przedsiębiorstwo BW jest polskim oddziałem amerykańskiego koncernu. Działalność przedsiębiorstwa BW w Polsce sięga początku 2009 r., kiedy w Podkarpackim Parku Naukowo-Technologicznym w Jasionce uruchomiono zakład produkcji turbosprężarek. Wówczas na uruchomienie tej inwestycji wydano 18 mln dolarów. Już w początkowej fazie działalności fabryki powstało ponad 100 miejsc pracy. Docelowo w tamtym okresie planowano zwiększenia zatrudnienia do 300 osób. Pierwszym klientem przedsiębiorstwa BW w Polsce była fabryka Fiata w Bielsku-Białej, dla której produkowano wówczas cztery modele turbosprężarek do silników diesla.

Na przełomie ostatnich dziesięciu lat przedsiębiorstwo BW poprzez dynamiczny rozwój stworzyło pod Rzeszowem kluczowy kampus składający się z trzech zakładów produkcyjnych, trzech różnych dywizji firmy rozlokowanych w dwóch spółkach. Całkowita powierzchnia zakładu to 17 500 m².

Od lat przedsiębiorstwo kładzie nacisk na rozwój, jakość swoich produktów i procesów, ale również na najwyższe standardy, których dowodem są liczne certyfikaty i nagrody oraz wdrażane nowe technologie. Przedsiębiorstwo wykazuje się niezwykle zaangażowaniem oraz osiągnięciami. Zakład zlokalizowany w Jasionce już niedługo będzie największym tego typu tzw. nowoczesnym parkiem przemysłowym dla globalnego koncernu przedsiębiorstwa pod kątem generowanych przychodów, jak i kompleksowości.

⁷ Deepen J.: *Logistics Outsourcing Relationships. Measurements, Antecedents, and Effects of Logistics Outsourcing Performance*. Physica-Verlag, A. Springer Company, Heidelberg, 2019.

⁸ Kummer S., Weber J.: *Logistyka*. Wydawnictwo PWE, Warszawa, 2001.

⁹ Grabiński T., Picuch L.: *Systemy informacyjne zarządzania*. Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Kraków, 2018.

¹⁰ Ballou R.: *Basic Business Logistics*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, London, 1987.

¹¹ Lech P.: *Zintegrowane systemy zarządzania ERP/ERP II. Wykorzystanie w biznesie, wdrażanie*, Difin, Warszawa, 2020.

¹² Pfohl H.: *Systemy logistyczne*. Biblioteka Logistyka, Poznań, 1998.

Do tej pory przedsiębiorstwo korzystało z klasycznych wózków widłowych. W celu usprawnienia procesów przedsiębiorstwo zdecydowało się na implementację usprawnień logistycznych w formie pojazdów AGV. Pojazdy AGV wykorzystujące system nawigacji satelitarnej mają zastosowanie przede wszystkim na terenach otwartych, bez wysokiej zabudowy¹³. Najczęściej spotkać można je w bazach przeładunkowych kontenerów i na nabrzeżach portów morskich. Wdrożenie systemu nawigacji satelitarnej jest stosunkowo proste. W celu zwiększenia dokładności wykorzystuje się dodatkowe stacje referencyjne.

Głównym celem ich stosowania jest redukcja kosztów działalności gospodarczej. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na wykorzystanie tych systemów jest konieczność eliminowania niebezpiecznej, ciężkiej i monotonnej pracy ludzkiej. Magazyn przedsiębiorstwa BW pracuje 5 dni w tygodniu na trzy zmiany.

Pojazdy wyposażone są w systemy nawigacji laserowej i indukcyjnej. Nawigacja laserowa wykorzystywana jest w głównych korytarzach, natomiast indukcyjna w wąskich. Zastosowanie AGV pozwoliło na zredukowanie oświetlenia korytarza, a tym samym zmniejszenie zużycia energii. Obniżone zostało również ryzyko uszkodzenia palet, towarów, stojaków i pojazdów samochodowych. Ponadto podniesiono bezpieczeństwo pracy personelu poprzez ograniczenie ryzyka zaistnienia wypadków.

Wprowadzenie systemu transportowego bazującego na automatycznych środkach transportu wymaga znacznych nakładów finansowych. Oszacowanie całkowitych kosztów wprowadzanego systemu można określić na podstawie liczby pojazdów pracujących w systemie transportowym oraz poziomu funkcjonalności systemu i jego złożoności. Opłacalność inwestycji uzależniona jest od wielu czynników. Decydujące są tu koszty eliminowanej pracy ludzkiej i liczba zmian produkcyjnych. Istnieje wiele elementów, które powinny zostać poddane analizie przy podejmowaniu decyzji o zakupie systemu zautomatyzowanych AGV. Jednym z nich jest przewidywany okres zwrotu z inwestycji (ROI). Przy obliczaniu zwrotu z inwestycji należy uwzględnić koszty bezpośrednie i pośrednie. Do kosztów bezpośrednich zalicza się płace godzinowe, nadgodziny, ubezpieczenia, urlopy, chorobowe, koszt urządzeń itp. Natomiast do kosztów pośrednich: koszty użytkowania, koszty wydziałowe i koszty uszkodzenia produktów¹⁴.

Przedsiębiorstwo miało do tej pory w magazynie 5 wózków widłowych i zatrudniało 5 operatorów na jedną zmianę. Stawka godzinowa dla jednego operatora wynosi 25 PLN. Do kwoty tej doliczone są świadczenia pracownicze, które stanowią 30% stawki godzinowej pracownika. Nadgodziny płacone są w wysokości 1,5 stawki godzinowej. Każdy operator ma średnio 5 godzin nadliczbowych tygodniowo. Koszt wózka do kompletacji zamówień wynosi 100 000 tysięcy PLN. Wózki mają cykl życia wynoszący 4 lata (10000-20000 mtH). W wyniku inwestycji 5 wózków wraz z operatorami zastąpionych zostanie dziesięcioma pojazdami AGV. W przeprowadzonych analizach przyjęto koszt pojedynczego pojazdu AGV wynoszący 150 tys. PLN. W cenie tej znajduje się także centralny układ sterowania oraz oprogramowanie.

W tabeli 1 przedstawione zostały dane i wyniki symulacji kosztów przeprowadzone dla systemu produkcyjnego jedno, dwu i trzyzmianowego.

¹³ Śmieszek M.: Wykorzystanie środków automatycznego transportu w logistyce. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Katowice, 2016.

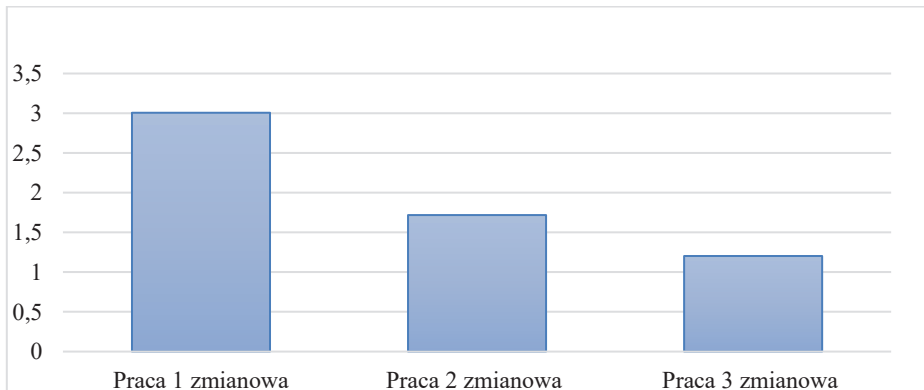
¹⁴ Sołtyński M.: O dynamice zmian w logistyce, Kierunki rozwoju logistyki w Polsce w świetle tendencji światowych, Sołtysek M. (red). Wyd. AE w Katowicach, Katowice, 2004.

Tabela 1. Zestawienie danych do symulacji

Lp.	Liczba zmian	1 zmiana	2 zmiany	3 zmiany
1	Liczba operatorów wózków do kompletacji zamówień	5	10	15
2	Normatywny czas pracy pracownika(251 dni), h	2080	2080	2080
3	Roczny koszt jednego pracownika (PLN)	66000	66000	66000
4	Przyjęty koszt godzin nadliczbowych pracownika (PLN)	8800	8800	8800
5	Całkowity koszt pracowników (liczba pracowników*(3+4)), PLN	374000	748000	1122000
6	Koszt zakupu wózków widłowych (PLN)	500000	500000	500000
7	Roczny koszt wózków widłowych (6/4,0), (PLN)	125 000	125 000	125 000
8	Łączny koszt operatorów+ wózki (5+7), (PLN)	499 000	873 000	1 247 000
9	Koszt systemu AGV, PLN	1 500 000	1 500 000	1 500 000
10	Okres zwrotu z inwestycji (9/8)	3	1,7	1,2

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa BW

Podsumowując inwestycja zwraca się po 1 roku i 4 miesiącach przy 3-zmianowej pracy. Dokonując analizy ROI (przewidywany okres zwrotu z inwestycji) można dokonać obliczenia i porównania przy różnych systemach zmianowych. Wyniki przedstawia rysunek 1.



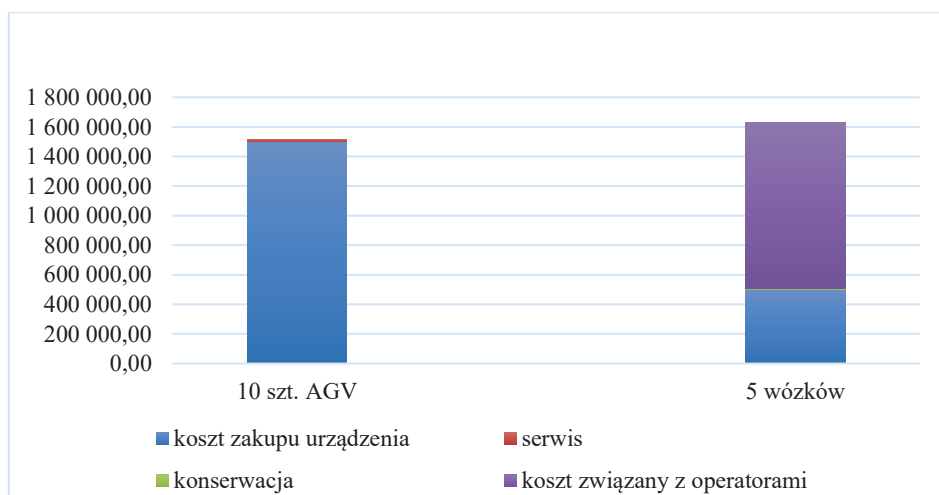
Rys. 1. Okres zwrotu inwestycji (ROI) w latach

Źródło: Opracowanie własne

Okres zwrotu inwestycji został obliczony na podstawie danych zawartych w tabeli 1. Obliczenia zostały dokonane na podstawie: koszt systemu AGV (PLN) dzielony przez łączny koszt operatorzy + wózki. Przy 1 zmianowym systemie jest to po 3 latach, przy dwu zmianowym systemie jest to po półtora roku oraz przy 3 zmianowym systemie jest to po roku czasu.

Porównanie rocznych kosztów posiadania 10 szt. AGV vs 5 wózków do kompletacji zamówień przy 3 zmianowej pracy. W rocznych kosztach będą brane pod uwagę: koszt zakupu urządzenia, koszty związane z operatorami, serwis oraz konserwacja. Dla wykonania zadań realizowanych przez 5 wózków do realizacji zamówień przy średniej prędkości 6 km/h potrzeba 10 wózków AGV poruszających się z prędkością 3 km/h. Wykresy przedstawiają całkowity i średni koszt w okresie 4 lat.

Na rysunku 2 pokazano wszystkie koszty, które musi podjąć przedsiębiorstwo w pierwszym roku inwestycji.

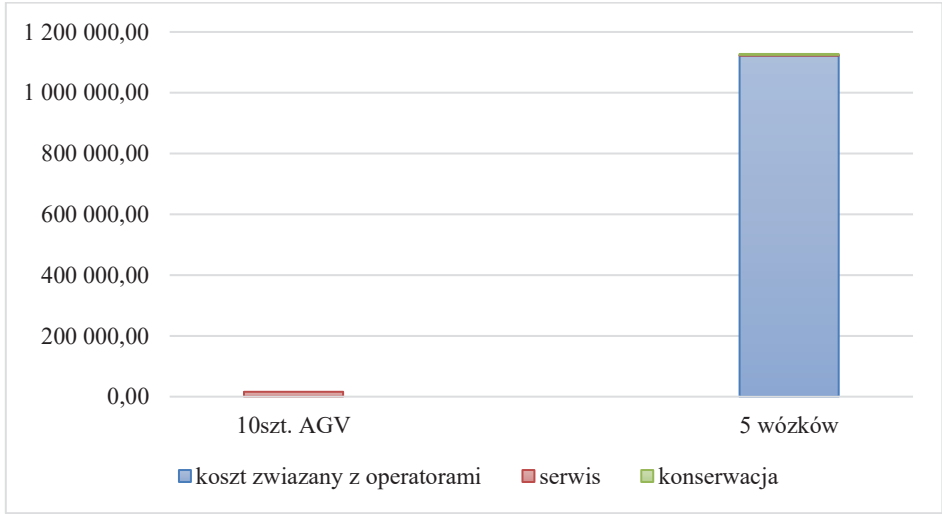


Rys. 2. Pierwszy rok inwestycji (PLN)

Źródło: Opracowanie własne

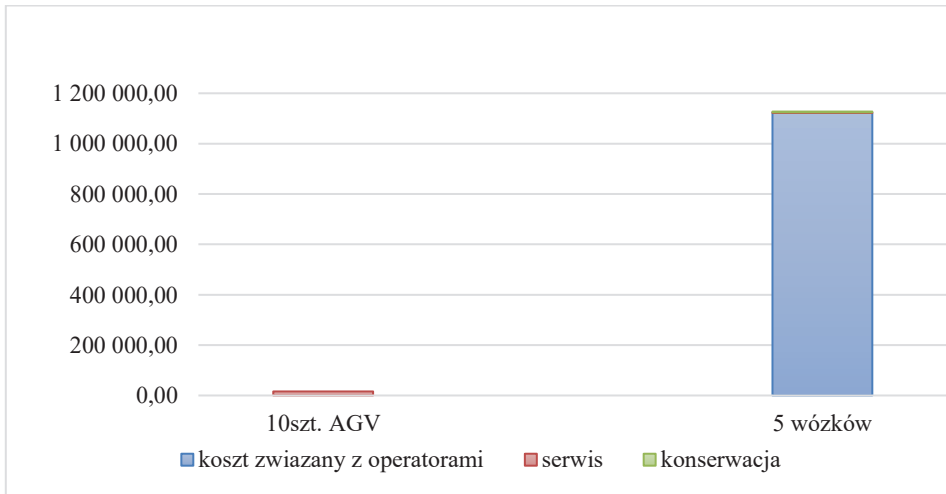
Przedstawiony na rysunku 3 koszt inwestycji poniesiony w drugim roku jest bardzo podobny. Zostały wzięte pod uwagę koszty zakupu urządzenia, koszt serwisu i konserwacji oraz koszt związane z operatorami.

W drugim roku inwestycji znacznie zmniejszają się koszty związane z robotami mobilnymi AGV, zostają tylko wydatki związane z serwisem. Wówczas drugi słupek przedstawia iż wydatki roczny związane z wózkami do realizacji zamówień są dalej bardzo wysokie ponieważ zostają wydatki personelu, które wpływają w znaczący sposób na roczne koszty posiadania wózków.



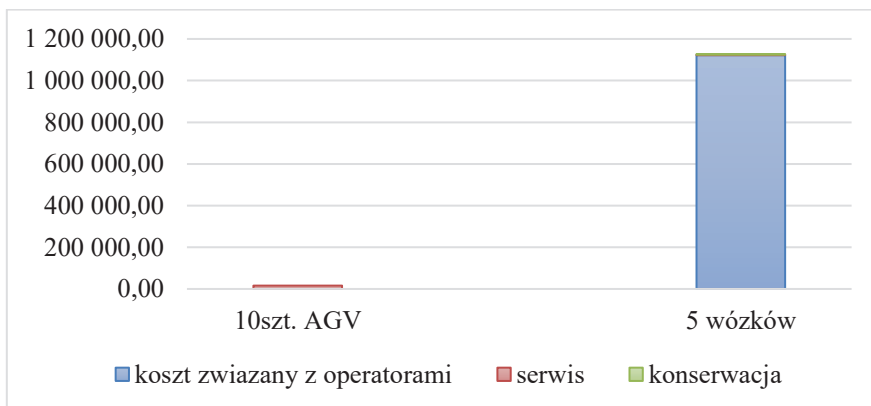
Rys. 3. Drugi rok inwestycji (PLN)

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4. Trzeci rok inwestycji (PLN)

Źródło: Opracowanie własne

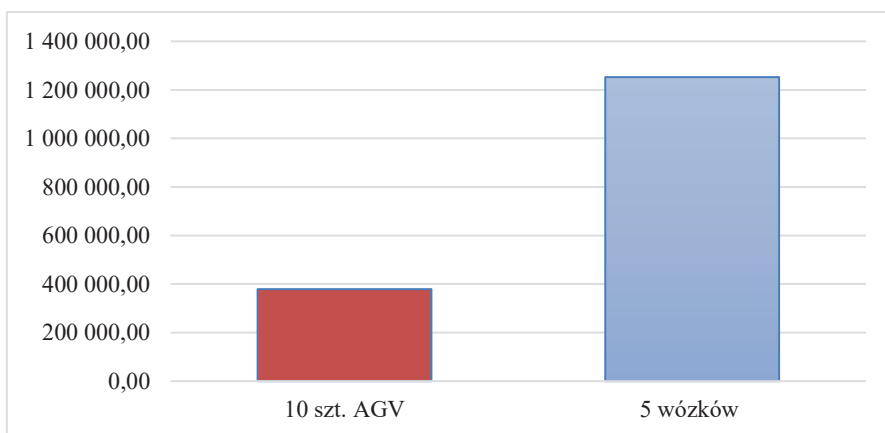


Rys. 5. Czwarty rok inwestycji (PLN)

Źródło: Opracowanie własne

W 2, 3 i 4 roku można zauważyć, iż wykresy zbyt wiele się nie zmieniają, co widać na rysunku 3, rysunku 4 i rysunku 5. Jediną rzeczą, która przez ten okres może się zmienić jest to koszt serwisowania, ponieważ w takich robotach, jak i wózkach następuje wymiana takich podzespołów jak bateria trakcyjna, koła oraz inne elementy, które mogą ulec uszkodzeniu przez ten okres użytkowania.

Rysunek 6 przedstawia średni roczny koszt posiadania w okresie 4 lat, dla 10 pojazdów AGV to ok. 1/3 średniego kosztu dla 5 wózków do kompletacji zamówień.



Rys. 6. Średni roczny koszt posiadania (PLN)

Źródło: Opracowanie własne

Jak można zauważyć w pierwszym roku, finansowo obie inwestycje nie różnią się znacząco, tak naprawdę po upływie kilku lat można stwierdzić, że wyniki finansowe stają się

coraz bardziej zbieżne oraz, że główną przyczyną tych wyników są wydatki związane z personelem.

W tabeli 2 zostały zaprezentowane dane przyjęte do symulacji. Zostały do symulacji przyjęte: liczba operatorów na magazynie, normatywny czas pracownika, roczny koszt pracownika, przyjęty koszt godzin nadliczbowych pracownika, całkowity koszt pracowników, koszt robotów do paletyzacji + dodatki (chwytnak + system wizyjny + integracja + zewnętrzne funkcje bezpieczeństwa oraz dodatkowe koszty) oraz okres zwrotu inwestycji.

Tabela 2. Zestawienie danych do symulacji

Lp.	Liczba zmian	1 zmiana	2 zmiana	3 zmiana
1	Liczba operatorów na magazynie	5	10	15
2	Normatywny czas pracownika, h	2080	2080	2080
3	Roczny koszt pracownika (PLN)	40800	40800	40800
4	Przyjęty koszt godzin nadliczbowych pracownika (PLN)	5368	5368	5368
5	Całkowity koszt pracowników (2*(3+4)), PLN	230 840	461 680	692 520
6	Koszt robotów do paletyzacji + dodatki*	905 000	905 000	905 000
7	Okres zwrotu inwestycji (6/5)	3,9	1,9	1,3

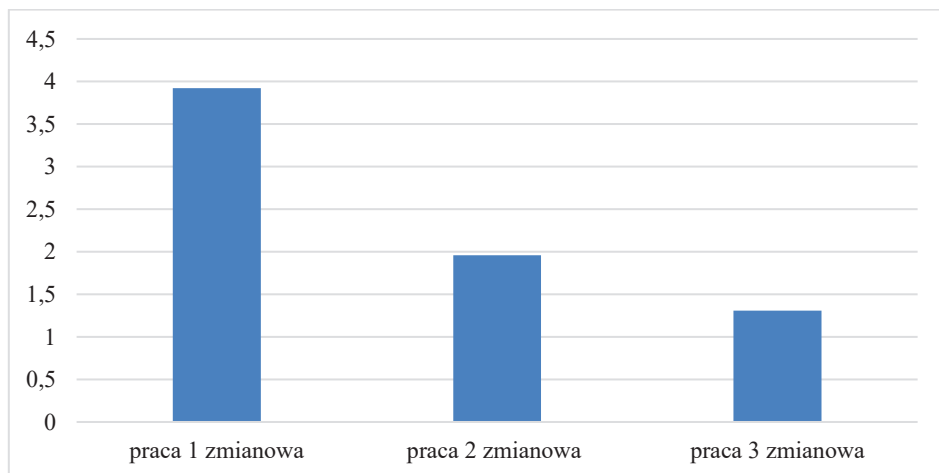
Źródło: Opracowanie własne

Podsumowując, inwestycja zwraca się po 1 roku i 3 miesiącach przy 3-zmianowej pracy. Dokonując analizy ROI (przewidywany okres zwrotu z inwestycji) można dokonać obliczenia i porównania przy różnych systemach zmianowych. Wyniki przedstawia rysunek 7.

Okres zwrotu inwestycji został obliczony na podstawie danych zawartych w tabeli 2. Obliczenia zostały dokonane na podstawie: koszt robotów do paletyzacji łącznie w dodatkowymi kosztami (PLN) dzielony przez łączny koszt operatorów od pakowania. Przy 1-zmianowym systemie zwrot inwestycji jest to po prawie 4 latach, przy dwu-zmianowym systemie jest to po 2 latach oraz przy 3-zmianowym systemie jest to po 1 roku i 4 miesiącach.

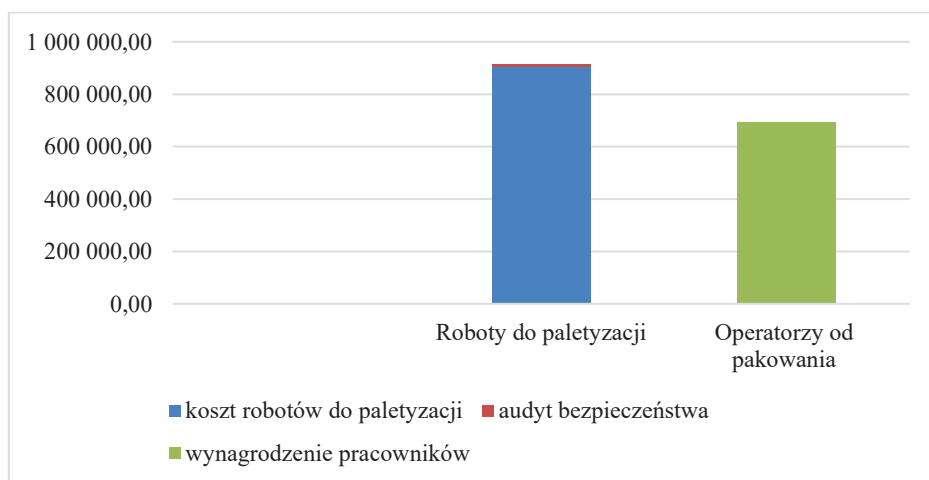
Porównanie rocznych kosztów posiadania 5 sztuk robotów do paletyzacji vs 5 operatorów magazynu przy 3-zmianowej pracy. W rocznych kosztach będą brane pod uwagę: koszt zakupu urządzenia, koszty związane z operatorami, koszt audytu bezpieczeństwa przez zewnętrzną firmę. Dla wykonania zadań realizowanych przez 5 operatorów magazynu potrzeba robotów do paletyzacji.

Rysunek 8, rysunek 9, rysunek 10 i rysunek 11 przedstawiają wysokość inwestycji w robotach do paletyzacji oraz koszty wynagrodzenia operatorów od pakowania.



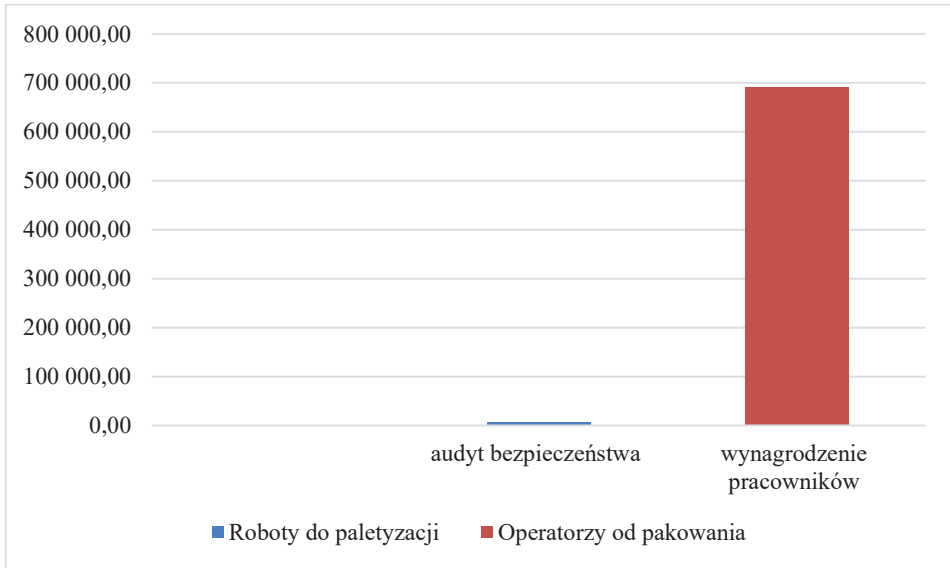
Rys. 7. Okres zwrotu inwestycji (ROI) w latach

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 8. Koszty w pierwszym roku inwestycji

Źródło: Opracowanie własne



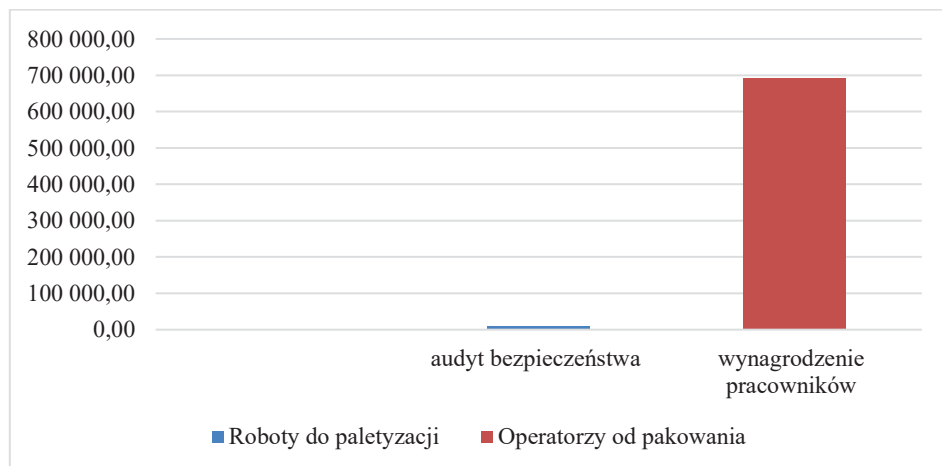
Rys. 9. Wydatki w 2 roku inwestycji

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 10. Wydatki w 3 roku inwestycji

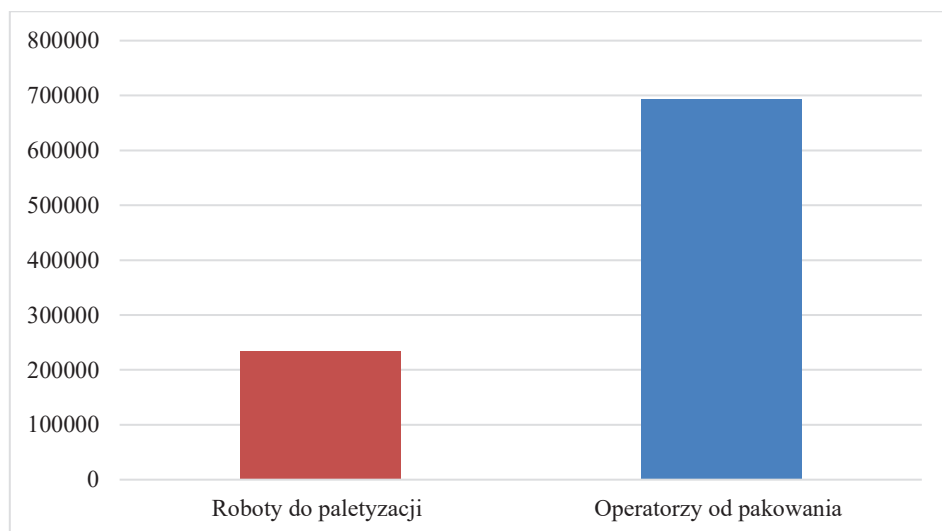
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 11. Wydatki w 4 roku inwestycji

Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 12 przedstawia całkowity i średni koszt w okresie 4 lat.



Rys 12. Średni roczny koszt posiadania (PLN)

Źródło: Opracowanie własne

Jak można zauważyć w pierwszym roku, taka inwestycja w robotach jest droższa niż zatrudnienie 5 operatorów, ale z biegiem czasu wszelkie wydatki powiązane z robotami stają

się znikome, a w przypadku operatorów wiele się nie zmienia, tak jak przedstawiono w kolejnych wykresach. Rysunek 10. przedstawia średni roczny koszt posiadania w okresie 4 lat, dla 5 robotów do paletyzacji, a to ok. 1/3 średniego kosztu dla 5 operatorów od pakowania.

Implementacja w przedsiębiorstwie robotów do paletyzacji jest również doskonałym rozwiązaniem, które przyniesie dla przedsiębiorstwa wymierne korzyści w postaci oszczędności czasu, poprawy konkurencyjności oraz automatyzacji procesów zachodzących na magazynie.

Podsumowanie i wnioski

Analizie zostało poddane przedsiębiorstwo, na którego przykładzie zostały przeprowadzone badania. Dla usprawnienia modelu logistycznego zostały przedstawione propozycje zaimplementowania robotów mobilnych AGV oraz roboty służące do paletyzacji.

Na podstawie przeprowadzonej analizy odnoszącej się do optymalizacji w przedsiębiorstwie BW można uznać, że do tej pory w magazynie korzystano z klasycznych wózków widłowych oraz paletyzacja odbywała się z pośrednictwem pracy fizycznej pracowników. Wprowadzenie systemu transportowego bazującego na automatycznych środkach transportu wymaga znacznych nakładów finansowych, jednakże takowa inwestycja zwraca się w szybkim tempie. Przeprowadzona analiza wykazała że w okresie 4 letnim, średni roczny koszt obsługi oraz eksploatacji 10 szt. robotów mobilnych AGV wynosi 379 tys. PLN, to w zestawieniu z dotychczasowym modelem pracy przy którym wykorzystywane jest 5 wózków do kompletacji, jest o 873,5 tys. PLN mniejszy. Adekwatnie oszczędność ma miejsce przy analizie implementacji robota paletyzującego. Średni roczny koszt takiego rozwiązania to 234 250 PLN, gdzie w zestawieniu z dotychczasowym rozwiązaniem roczna oszczędność wynosi 458 270 PLN.

Zakładając że praca w badanym przedsiębiorstwie BW, odbywa się w systemie 3- zmianowym to zwrot inwestycji zakupu robotów mobilnych AGV następuję już po ok. 14 miesiącach. W przypadku robota do paletyzacji jest to okres nieco dłuższy, a dokładnie inwestycja zwraca się po 16 miesiącach pracy przedsiębiorstwa na 3 zmianach.

Wdrożenie w przedsiębiorstwie autonomicznych wózków może skonfigurować magazyn w taki sposób aby obniżyć koszty eksploatacji oraz zminimalizować ilość przestojów, wypadków oraz uszkodzeń towarów. Autonomiczne, samojezdne wózki nadają się idealnie do wykonywania powtarzalnych zadań, tak jak transportowanie palet czy też załadunek bądź rozładunek towaru. Nowoczesne floty samojezdnych wózków sterowane są w czasie rzeczywistym oraz nawigowane wewnątrz magazynu bez konieczności zastosowania dodatkowej infrastruktury bądź pracy człowieka.

Po wdrożeniu robotów paletyzujących jedną z najważniejszych korzyści, jakie przedsiębiorstwo jest w stanie osiągnąć jest znaczne zwiększenie wydajności procesu paletyzacji. Maszyny, które są zaprogramowane do konkretnej czynności, pracują znacznie szybciej od człowieka. Ponadto nie odczuwają zmęczenia, nie myślą się i w efekcie – nie powodują strat materiałowych

Usprawnienia poddane analizie wykazały że implementacja robotów w dziale logistycznym przedsiębiorstwa jest kosztowna, ale zwraca się ona po krótkim okresie i gwarantuje oszczędności w kolejnych latach użytkowania w porównaniu do dotychczasowego systemu

logistycznego. Firma po wdrożeniu nowoczesnych systemów robotów mobilnych AGV oraz robotów służących do paletyzacji, odnotuje zwrot inwestycji po 16 miesiącach od implementacji.

Bibliografia

- Ballou R. H.: Basic Business Logistics. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1987.
- Deepen J.: Logistics Outsourcing Relationships. Measurements, Antecedents, and Effects of Logistics Outsourcing Performance, Physica-Verlag, A. Springer Company, Heidelberg.
- Fechner I.: Logistyka na progu nowego stulecia, Logistyka 2000, nr 1, ILiM Poznań, 2000.
- Gołębiewska E.: Kompendium wiedzy o logistyce, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005.
- Grabiński T., Piecuch L.: Systemy informacyjne zarządzania, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Kraków, 2012.
- Kauf S.: Vademecum logistyki, Wydawnictwo Difin, Warszawa, 2016.
- Kummer S.: Logistyka, Wydawnictwo PWE, Warszawa 2001.
- Lech P.: Zintegrowane systemy zarządzania ERP/ERP II. Wykorzystanie w biznesie, wdrażanie, Difin, Warszawa, 2020.
- Lysons K.: Zakupy zaopatrzeniowe, Wydawnictwo PWE, Warszawa 2003.
- Matwiejczuk R.: Zarządzanie marketingowo-logistyczne. C.H. Beck. Warszawa 2006.
- Pfohl H.: Systemy logistyczne, Biblioteka Logistyka, Poznań 1998.
- Piniecki P.: Planowanie i sterowanie procesami logistycznymi, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Karola Adameckiego, Katowice 1996.
- Sołtycki M.: O dynamice zmian w logistyce, Kierunki rozwoju logistyki w Polsce w świetle tendencji światowych, Sołtysek M. (red), Wyd. AE w Katowicach 2004.
- Śmieszek M.: Wykorzystanie środków automatycznego transportu w logistyce. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Katowice, 2016.

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

OPTIMALIZACJA WSKAŹNIKÓW PRACY SILNIKA TŁOKOWEGO METODĄ ZMIAN NASTAW APARATURY ZASILAJĄCEJ

Grzegorz Dzieniszewski^{1,2}, Adrian Paciorek²

¹ Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

Wstęp

Na współpracę aparatury paliwowej z silnikiem wysokoprężnym decydujący wpływ mają parametry konstrukcyjne poszczególnych zespołów. Są one związane z typem oraz wielkością zespołu i mogą być w pewnych warunkach regulowane.¹ Niemniej jednak są to regulacje w głównej mierze bardziej stosowane, aby silnik pracował poprawnie, tak jak zaleca jego producent. W przypadku zmian nastaw fabrycznej aparatury zasilającej pod kątem zwiększenia mocy silnika, uzyskane wartości mogą nie być zadowalające oraz mogą powodować szybsze zużycie aparatury zasilającej². Każda aparatura zasilająca silnik wysokoprężny ma ściśle określoną przez producenta wydajność i w przypadku jej nastaw na pracę na maksymalnej wydajności drastycznie skraca się jej żywotność oraz może to skutkować nadmiernym zadymieniem lub w skrajnych przypadkach nawet uszkodzeniem jednostki napędowej³.

Do modyfikacji oraz zmian nastaw aparatury zasilającej wykorzystano silnik 1.9 TDI o kodzie 1Z. Silnik zasilany jest pompą wtryskową VP37⁴.

W tabeli 1 przedstawiono fabryczne parametry pracy pompy VP37.

¹ Mysłowski J., Kołtun J.: Elastyczność tłokowych silników spalinowych. WNT, Warszawa, 2000.

² Zajac P.: Silniki pojazdów samochodowych. WKŁ, Warszawa, 2015.

³ Kasedorf J.: Zasilanie wtryskowe olejem napędowym. WKŁ, Warszawa, 2010.

⁴ Janiszewski T., Mavrantzas S.: Elektroniczne układy wtryskowe silników wysokoprężnych. WKŁ, Warszawa, 2013.

Tabela 1. Fabryczne parametry pracy pompy VP37

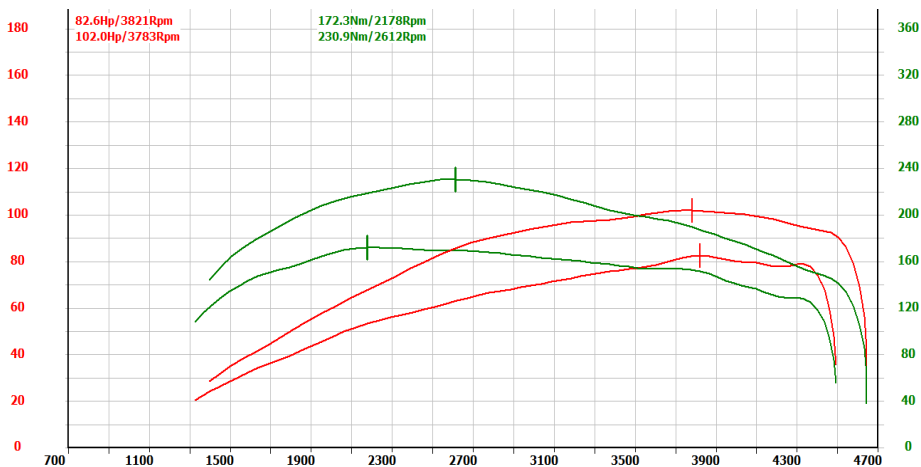
Fabryczne parametry pracy pompy VP37 w silniku 1.9 TDI 1Z	
Minimalne ciśnienie tłoczenia	17 MPa
Maksymalne ciśnienie tłoczenia	22 Mpa
Średnica tłoczyska tłokorozdzielacza	10 mm
Dawka paliwa na biegu jałowym	2,2-9mg/skok.
Dawka paliwa pod obciążeniem	48 mg/suw
Napięcie nastawnika na biegu jałowym	1,35-2,10 V

Źródło: Materiały firmy BOSCH

Optymalizacja nastaw aparatury wtryskowej

Aby z poprawnością przystąpić do modyfikacji oraz regulacji aparatury zasilającej silnika należy sprawdzić moc seryjnego silnika. Moc seryjnego silnika w dużej mierze informuje o zużyciu jednostki napędowej⁵. W przypadku zużytej jednostki najpierw należałoby naprawić usterki, a następnie zmieniać nastawy aparatury. W innym przypadku nastawy mogłyby nie dać satysfakcjonujących rezultatów. W tym celu dokonano pomiarów na stanowisku hamowni silnikowej.

Na rysunku 1 przedstawiono wykres pomiaru mocy badanej jednostki.



Rys. 1. Pomiar mocy badanej jednostki

Źródło: Opracowanie własne

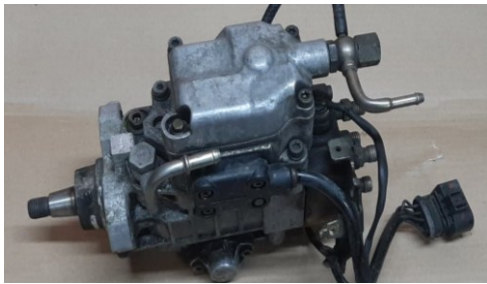
⁵ Günther H.: Diagnostowanie silników wysokoprężnych. WKŁ, Warszawa, 2018.

Po zmierzeniu mocy badanej jednostki zauważono, że jednostka jak większość silników TDI charakteryzuje się większą mocą niż deklaruje producent. Pomiar wykazał 102 KM oraz 231 Nm. Bez wątpienia jednostka nadawała się do modyfikacji aparatury zasilającej oraz zmian jej nastaw.

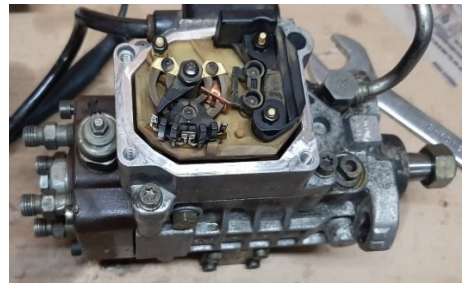
Modyfikacja pompy wtryskowej VP37

Prace rozpoczęto od zmiany tłokorozdzielacza pompy wtryskowej VP37 pochodzącej z silnika AFN. Pompa zastosowana w tym silniku charakteryzuje się inną tarczą skokową od pompy zastosowanej w silniku 1Z. Tarcza skokowa posiada wyższy wznios krzywek, co korzystnie wpływa na ciśnienie paliwa⁶. Na rys. 2 przedstawiono pompę VP37 przed modyfikacjami.

Kolejno zdjęto pokrywę nastawnika. Demontaż nastawnika pompy wtryskowej nie wymaga zdejmowania pokrywy nastawnika, niemniej jednak umożliwia to zaobserwowanie stany zabrudzenia wnętrza nastawnika. Na rys. 3 przedstawiono proces demontażu pokrywy nastawnika.



Rys. 2. Pompa VP37



Rys. 3. Zdjęta pokrywa nastawnika

Źródło: Opracowanie własne

Źródło: Opracowanie własne

Następnie wymontowano nastawnik pompy. Na rysunku 4 przedstawiono proces demontażu nastawnika pompy wtryskowej.

Ostatnim elementem, który demontowano był sam tłokorozdzielacz. Istotne jest obrócenie pompy tarczą skokową do dołu. W innym przypadku dojdzie do wysypania się rolek tarczy. Na rysunku 5 przedstawiono proces demontażu tłokorozdzielacza.

Gdy zdemontowano wyżej wymienione elementy przystąpiono do przygotowania do montażu tłokorozdzielacza z tłokiem 11 mm. Większy tłokorozdzielacz pozwala na dostarczenie większej ilości paliwa do wtryskiwaczy. Na rysunku 6 przedstawiono proces przygotowywania nastawnika do montażu w pompie wtryskowej.

Ostatnim krokiem było zmontowanie pompy wtryskowej. Ważne, aby podczas skręcania tłokorozdzielacza do pompy trafić tłokiem na kołek ustalający na tarczy skokowej. W innym

⁶ Sterowanie silników o zapłonie samoczynnym. Informator techniczny Bosch. WKŁ, Warszawa, 2018.

przypadku może dojść do uszkodzenia tłokorozdzielacza oraz tarczy skokowej. Istotne również jest równomierne skręcanie, ponieważ może dojść do uszkodzenia uszczelnienia głowicy tłokorozdzielacza, co może skutkować wyciekami paliwa.

Na rysunku 7 przedstawiono proces montażu tłokorozdzielacza do pompy wtryskowej.



Rys. 4. Pompa wtryskowa po demontażu nastawnika

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5. Pompa wtryskowa ze zdemontowanym tłokorozdzielaczem

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 6. Tłokorozdzielacz przygotowany do montażu

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 7. Montaż tłokorozdzielacza

Źródło: Opracowanie własne

Zmiana rozpylaczy wtryskiwaczy

Oryginalne rozpylacze zastosowane w silniku 1Z mają otwory 0.195. Celem nadrzędnym jest zapewnienie właściwych parametrów ekologicznych.⁷ Są to mało wydajne końcówki wystarczające na około 115/120 KM. Postanowiono zastosować rozpylacze z otworami 0.216. Są to rozpylacze stosowane w silnikach 2.5 TDI występujące m.in w VW transporter. Większe otwory w rozpylaczu pozwalają na dostarczenie większej ilości paliwa do silnika. W tym celu postanowiono wymienić oryginalne rozpylacze na 0.216.

Na rysunku 8 przedstawiono wtryskiwacz TDI.

Zmianę rozpylaczy rozpoczęto od umieszczenia wtryskiwaczy w imadle oraz od odkręcenia nakrętki rozpylacza.

Na rysunku 9 przedstawiono wtryskiwacz z odkręconą nakrętką rozpylacza

Na rysunku 10 przedstawiono wtryskiwacz z zdemontowanym rozpylaczem.



Rys. 8. Wtryskiwacz TDI

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 9. Wtryskiwacz z odkręconą nakrętką rozpylacza

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 10. Rozpylacz zdemontowany z wtryskiwacza

Źródło: Opracowanie własne

⁷ Bocheński C., Janiszewski T.: Diagnostyka silników wysokoprężnych. WKŁ, Warszawa, 1996.

Po zdemontowaniu oryginalnych rozpylaczy założono rozpylacze 0.216, a nakrętkę rozpylaczy dokręcono momentem 50 Nm. Kolejno wtryskiwacze sprawdzono pod kątem ciśnienia otwarcia oraz rozpylania paliwa. Ciśnienie otwarcia wtryskiwaczy nie zmieniono, ponieważ ciśnienie otwarcia około 200 barów jest odpowiednie.

Zmiana turbosprężarki

Oryginalna turbosprężarka zastosowana w silniku 1Z ma wydajność do doładowania około 1 bar. Jest to za mała wydajność chcąc uzyskać większą moc postanowiono zastosować turbosprężarkę Garrett GT1549⁸. Na rysunku 11 przedstawiono turbosprężarkę Garrett GT1549.

Turbosprężarka Garrett GT1549 charakteryzuje się sterowaniem ciśnieniowym przy zastosowaniu zaworu wastegate, tak jak w przypadku oryginalnej turbosprężarki. Jej wydajność dochodzi nawet do 1,5 bara doładowania. Charakteryzuje się również podobnej wielkości wirnikiem napędzającym, co ma korzystny wpływ na spool turbosprężarki. Jej główną zaletą jest większe koło kompresji w stosunku do oryginalnej turbosprężarki. Turbosprężarkę Garrett GT1549 pochodzącą z silnika stosowanego w silnikach 1.9TDI Renault oraz 2.0TDI Rover przystosowano pod montaż w silniku 1.9TDI, a następnie zamontowano w silniku. Dzięki przystosowaniu, turbosprężarka pasowała bez modyfikacji układu wydechowego, dolotowego oraz zasilania olejem. Na rysunku 12 przedstawiono proces wymiany turbosprężarki.



Rys. 11. Turbosprężarka Garrett GT1549

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 12. Garrett GT1549 podczas montażu

Źródło: Opracowanie własne

⁸ Kneba Z., Makowski S.: Pojazdy samochodowe. Zasilanie i sterowanie silników. WKŁ, Warszawa, 2004.

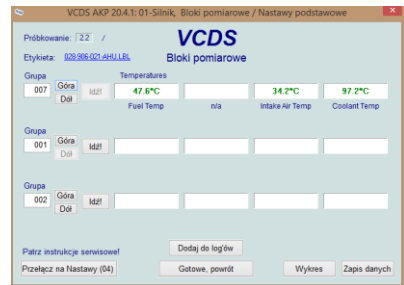
Montaż intercoolera centralnego

Istotnym parametrem pracy silnika diesla jest temperatura w układzie dolotowym. Im niższa temperatura w układzie dolotowym tym w większą ilość tlenu zaopatrywany jest silnik.⁹ Oryginalny intercooler zamontowany jest w dość niefortunnym miejscu (lewa strona pojazdu). Oryginalne umiejscowienie powoduje, że lamelki intercoolera słabo są opływane przez powietrze, co w ciepłe dni skutkuje dużą temperaturą w układzie dolotowym. Montaż intercoolera centralnie powoduje lepsze schładzanie lamelki chłodnicy, co skutkuje lepszym chłodzeniem powietrza doładowującego silnik. W tym celu zamontowano centralnie i przystosowano pod wspomniane chłodnice powietrza z Fiata Bravo 2. Na rysunku 13 przedstawiono proces montażu intercoolera centralnego.

Dzięki zamontowaniu intercoolera centralnego temperatura w układzie dolotowym oscyluje w okolicach 30-45°C. Na rysunku 14 przedstawiono pomiar temperatury powietrza w układzie dolotowym.



Rys. 13. Intercooler centralny podczas montażu w pojeździe



Rys. 14. Odczyt temperatury powietrza w układzie dolotowym

Źródło: Opracowanie własne

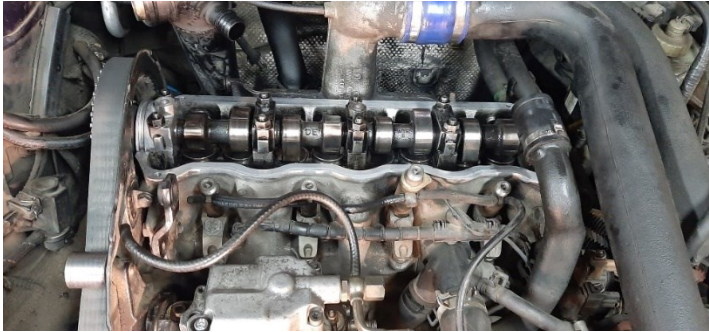
Źródło: Opracowanie własne

Montaż wałka rozrządu z silnika 1.9 SDI

Wałek rozrządu zastosowany w silniku SDI różni się od wałka rozrządu oryginalnie zamontowanego w pojeździe. Charakteryzuje się wyższym wzniosem krzywek wydechowych oraz kształt krzywki jest bardziej obły. Skutkuje to dłużej otwartymi zaworami wydechowymi. Dłużej otwarte zawory wydechowe poprawiają opróżnianie cylindrów z spalin oraz mają pozytywny wpływ na pracę turbosprężarki.

Na rysunku 15 przedstawiono proces wymiany wałka rozrządu.

⁹ Kowalewicz A.: Doładowanie silników spalinowych. Politechnika Radomska, Radom, 1998.



Rys. 15. Wałek rozrządu SDI zamontowany w silniku

Źródło: Opracowanie własne

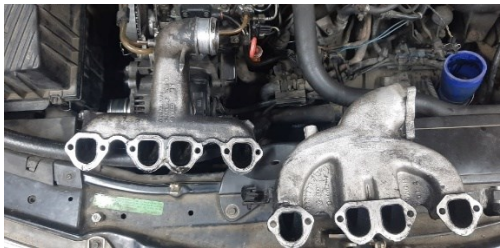
Montaż kolektora dolotowego z silnika 1.9 TDI AWX

Kolektor dolotowy oryginalnie zastosowany w silniku 1Z nierównomiernie uzupełnia kanały w powietrze. W celu wyeliminowania tej nieprawidłowości zastosowano kolektor z silnika 1.9TDI o kodzie AWX zasilanego pompowtryskiwaczami.

Na rysunku 16 przedstawiono porównanie kolektorów dolotowych.

Na rysunku 17 przedstawiono proces przymierzania kolektora dolotowego.

Na rysunku 18 przedstawiono kolektor dolotowy z silnika 1.9TDI PD zamontowany w silniku 1.9TDI 1Z



Rys. 16. Porównanie kolektorów dolotowych. Po lewej kolektor z silnika 1Z, a po prawej kolektor AWX



Rys. 17. Kolektor zamontowany w celach pomiarowych

Źródło: Opracowanie własne

Rys. 18. Kolektor zamontowany w silniku

Źródło: Opracowanie własne



Zmiana MAP Sensora

Oryginalny MAP Sensor pozwala na doładowanie silnika maksymalnie do 1 bar. Wartości odczytane przez komputer powyżej 1 bara uznawane są za krytyczne i sterownik silnika nie pozwala na przekroczenie tej wartości. W tym celu oryginalny MAP Sensor zamieniono na taki, który pozwala przekroczyć granicę 1 bara doładowania (MAP Sensor 1,5 bar). Komputer po wymianie odczytuje wartości takie jak poprzednio, ale rzeczywiste wartości są inne. Po zmianie MAP sensora zmienia się interpretacja odczytu doładowania. Wartości doładowania w VCDS wyświetlane są uwzględniając ciśnienie atmosferyczne. Jeżeli odczytamy wartość 2000 mbar to w rzeczywistości jest to 1 bar doładowania (od wartości 2000 mbar odejmujemy 1000 i wychodzi 1 bar doładowania). Po zmianie map sensora wartości odczytujemy inaczej. Po podzieleniu krytycznej wartości dla sensora 1 bar przez krytyczną wartość dla sensora 1,5 bar wychodzi 0,8 ($2000/2500 = 0,8$). Każdą wartość odczytaną po modyfikacji dzieli się przez 0,8, a potem odejmuje się 1000.

Na rysunku 19 przedstawiono MAP Sensor stosowany w silnikach TDI.



Rys. 19. Oryginalny MAP Sensor

Źródło: Opracowanie własne

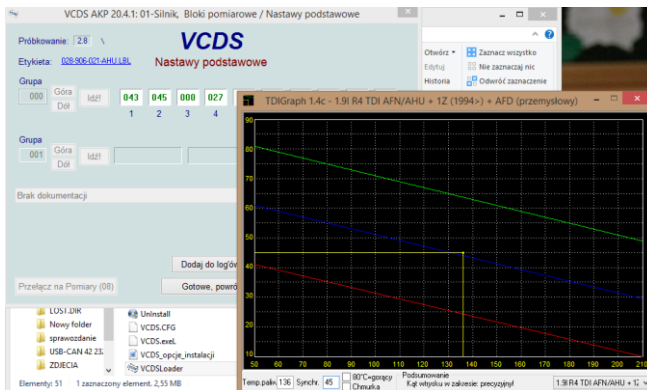
Wstępne (mechaniczne) regulacje pompy wtryskowej

Po zamontowaniu wyżej wymienionych podzespołów należało wyregulować dawkę oraz kąt wtrysku na biegu jałowym. W tym celu rozgrzano silnik oraz rozpoczęto regulacje. Kąt wtrysku reguluje się przesuując pompę wtryskową od silnika oraz do silnika uprzednio popuszczając śruby regulacyjne. Przesuwając pompę wtryskową w stronę silnika przyspieszamy kąt wtrysku, natomiast oddalając opóźniamy. Po każdym ruchu należy odpalić silnik i skontrolować kąt wtrysku w programie VCDS. Kąt wtrysku kontrolowano wchodząc w nastawy podstawowe grupy 0 oraz sprawdzano na wykresie jego przebieg kontrolując TDI Timing. Wartości 45-50 są wartościami prawidłowymi, które zaleca producent pojazdu.

Na rysunku 20 przedstawiono pomiar kąta wtrysku.

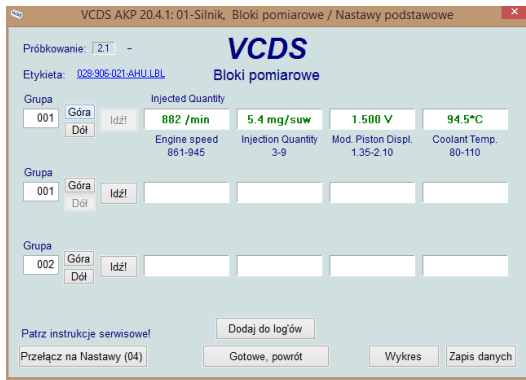
Po regulacji kąta wtrysku przystąpiono do regulacji dawki paliwa na wolnych obrotach. Również w tym przypadku pomiary dokonuje się na rozgrzanym silniku i wartości odczytuje się w VCDS. Im mniejsza wartość odczytana na VCDS tym mieszanka staje się bogatsza. Regulacje dokonuje się podczas pracującego silnika. Uprzednio popuszczając śruby nastawnika przesuwało nastawnik. Dawkę kontroluje się w blokach pomiarowych w grupie 001. Przesuwając nastawnik w stronę rozrządu zmniejsza się dawkę (wartość większa na VCDS),

natomiast przesuwając nastawnik w stronę skrzyni biegów zwiększamy dawkę (wartość mniejsza na VCDS). Po wykonaniu regulacji dawka wynosiła 5,4 mg/suw. Taka wartość dla pompy wtryskowej z oryginalnym tłokorozdzielaczem jest wartością normalną. Natomiast w przypadku pompy wtryskowej z tłokorozdzielaczem 11 jest to wartość bogatsza. Na rysunku 21 przedstawiono pomiar dawki paliwa.



Rys. 20. Pomiar kąta wtrysku

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 21. Pomiar dawki paliwa

Źródło: Opracowanie własne

Analiza fabrycznych parametrów pracy aparatury zasilającej

Zmianę nastaw aparatury zasilającej rozpoczęto od wykonania log’ów. Wykonano log’i grupy 1 i grupy 11. Grupa 1 informuje o dawce paliwa, natomiast grupa 11 informuje o doładowaniu. Najpierw analizie poddano dawkę paliwa.

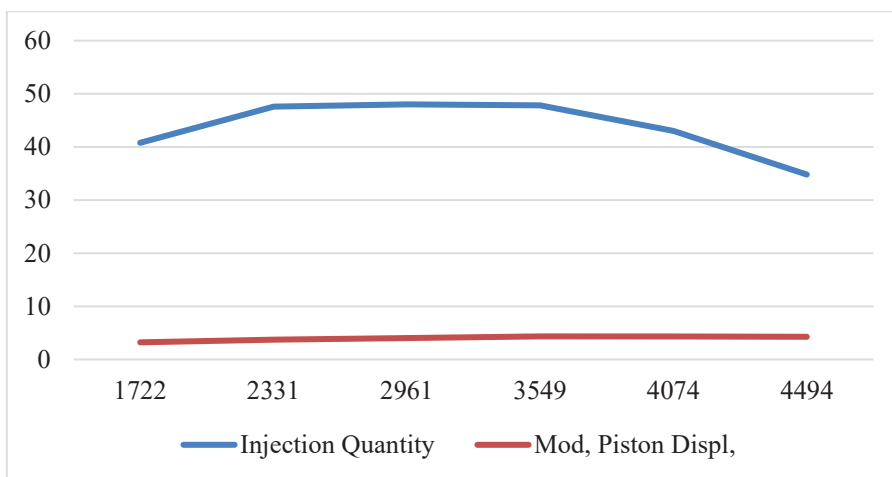
W tabeli 2 przedstawiono logi na fabrycznych nastawach dawki paliwa.

Tabela 2. Ilość paliwa oraz napięcie nastawnika

Dawka paliwa		
Engine speed	Injection Quantity	Mod, Piston Displ,
prędkość obr	ilość paliwa	napięcie nastawnika
861-945	03.wrz	1,35-2,10
/min	mg/suw	V
1722	40,8	3,22
2331	47,6	3,74
2961	48	4,04
3549	47,8	4,34
4074	43	4,32
4494	34,8	4,24

Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 22 przedstawiono zależność prędkość obrotowa silnika-dawka paliwa.



Rys. 22. Prędkość obrotowa – dawka paliwa seryjne parametry

Źródło: Opracowanie własne

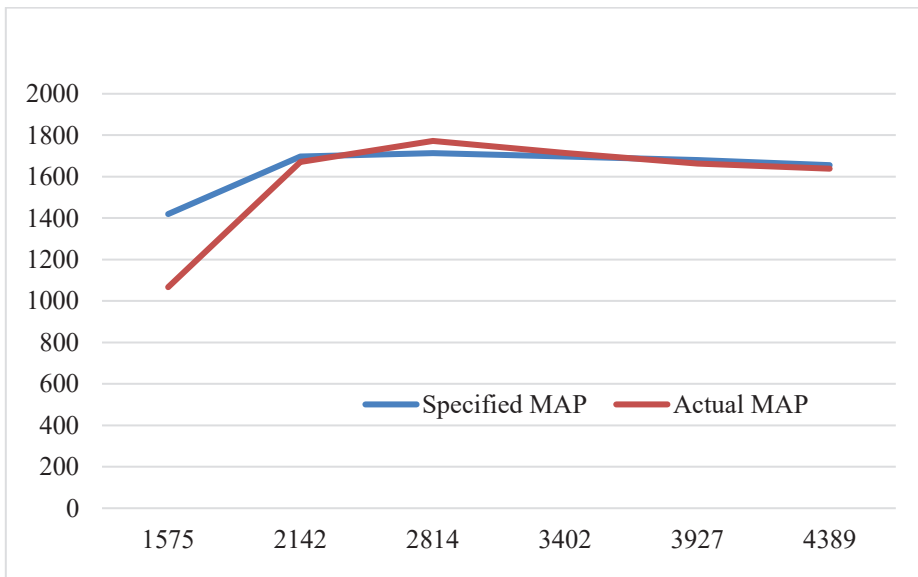
Kolejno dokonano analizy doładowania na podstawie log'ów grupy 11. W tabeli 3 przedstawiono logi doładowania na fabrycznych nastawach.

Tabela 3. Doładowanie

Doładowanie		
Engine speed	Specified MAP	Actual MAP
prędkość obr	zadane	Zmierzone
/min	mbar	Mbar
1575	1419,6	1066,8
2142	1696,8	1671,6
2814	1713,6	1772,4
3402	1696,8	1713,6
3927	1680	1663,2
4389	1654,8	1638

Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 23 przedstawiono zależność prędkości obrotowej do doładowania na fabrycznych nastawach.



Rys. 23. Prędkość obrotowa-doładowanie

Źródło: Opracowanie własne

Po analizie logów seryjnych nastaw aparatury zasilającej stwierdzono, że dawka paliwa przy maksymalnym obciążeniu oscyluje w granicy 48 mg/suw, natomiast doładowanie wyniosło 1,15 bara. Jest to wartość wyższa od seryjnej (0,6 bar), ponieważ po zmianie MAP sensora zmienia się interpretacja doładowania odczytywanego przez sterownik silnika.

Zmiana nastaw aparatury zasilającej (regulacje)

Postanowiono zwiększyć dawkę paliwa do 51 mg/suw oraz uzyskać doładowanie około 1,3 bar. Doładowanie 1,3 bar jest wartością bezpieczną dla silnika jak i również turbosprężarki, której wydajność określono na około 1,5 bar. Przy doładowaniu około 1,5 bar dochodzi do rozciągnięcia szpilek głowicy, a w konsekwencji wydmuchania uszczelki pod głowicą¹⁰. Po zmianie nastaw aparatury zasilającej postanowiono sprawdzić parametry pracy silnika wykonując logi. Sprawdzono również organoleptycznie zadymienie oraz moc silnika. Nadmiernego zadymienia nie stwierdzono, natomiast stwierdzono większą moc silnika.

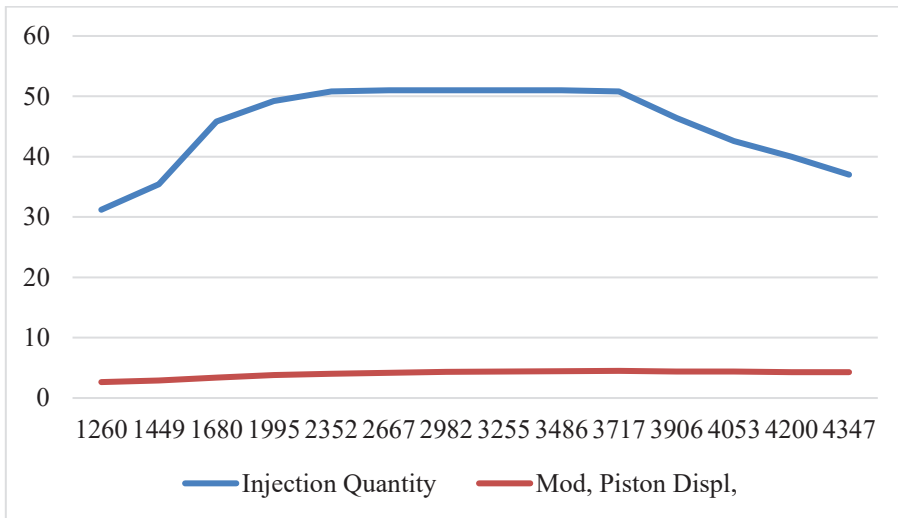
W tabeli 4 przedstawiono logi dawki paliwa po zmianie nastaw aparatury.

Tabela 4. Dawka paliwa po zmianach nastaw

Dawka paliwa		
Prędkość obr		Napięcie nastawnika
Engine speed	Injection Quantity	Mod, Piston Displ,
861-945	03.wrz	1,35-2,10
/min	mg/suw	V
1260	31,2	2,64
1449	35,4	2,92
1680	45,8	3,4
1995	49,2	3,78
2352	50,8	4,02
2667	51	4,16
2982	51	4,32
3255	51	4,4
3486	51	4,44
3717	50,8	4,5
3906	46,4	4,38
4053	42,6	4,38
4200	40	4,26
4347	37	4,3

¹⁰ Mysłowski J.: Pojazdy samochodowe. Doładowanie silników. WKŁ, Warszawa, 2011.

Na rysunku 24 przedstawiono zależność prędkość obrotowa-dawka paliwa po zmianach nastaw.



Rys. 24. Prędkość obrotowa-dawka paliwa po zmianach nastaw aparatury

Źródło: Opracowanie własne

Po analizie logów dawki paliwa stwierdzono, że pompa wtryskowa po zmianach równo trzyma założoną dawkę 51 mg/suw w zakresie obrotowym od 2000 do 4000 obr/min. Taki zakres jest zakresem użytkowym silnika.

Kolejno przeanalizowano logi doładowania.

W tabeli 5 przedstawiono logi doładowania po zmianach nastaw.

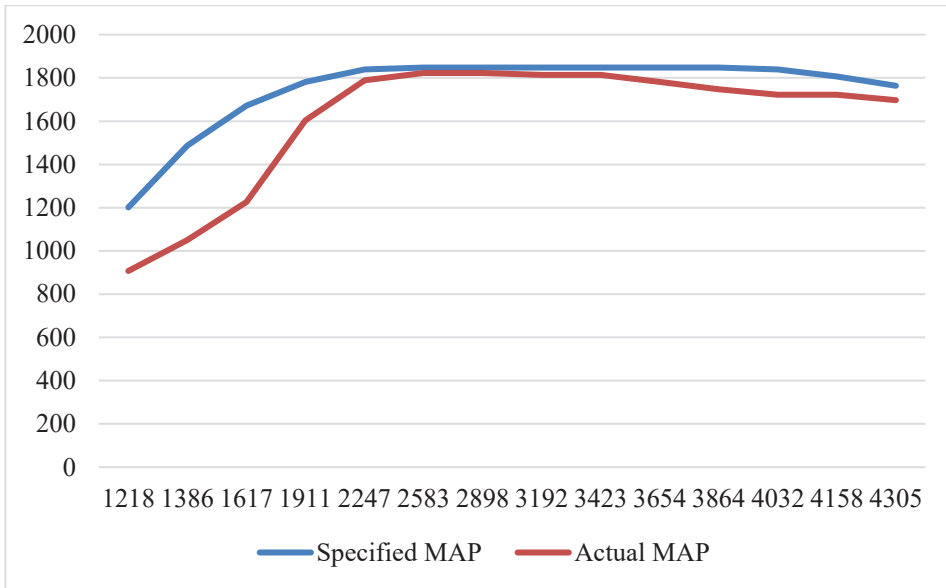
Tabela 5. Doładowanie po zmianach

Doładowanie		
Engine speed	Specified MAP	Actual MAP
prędkość obr	zadane	zmierzone
obr/min	mbar	mbar
1218	1201,2	907,2
1386	1486,8	1050
1617	1671,6	1226,4
1911	1780,8	1604,4
2247	1839,6	1789,2
2583	1848	1822,8
2898	1848	1822,8

Doładowanie		
Engine speed	Specified MAP	Actual MAP
prędkość obr	zadane	zmierzone
/min	mbar	mbar
3192	1848	1814,4
3423	1848	1814,4
3654	1848	1780,8
3864	1848	1747,2
4032	1839,6	1722
4158	1806	1722
4305	1764	1696,8

Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 25 przedstawiono zależność prędkości obrotowej do doładowania po zmianach nastaw.



Rys. 25. Prędkość obrotowa-doładowanie po zmianach nastaw aparatury

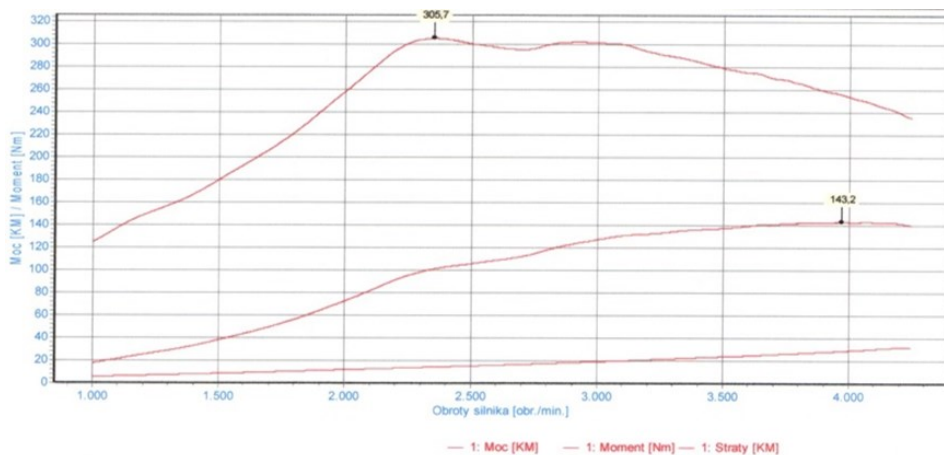
Źródło: Opracowanie własne

Po analizie logów doładowania stwierdzono, że turbosprężarka utrzymuje założony wcześniej parametr doładowania 1,3 bar. Podobnie jak w przypadku dawki paliwa również założone doładowanie utrzymywało się w zakresie użytkowym silnika.

Pomiar mocy silnika po zmianach parametrów aparatury zasilającej

Po wykonaniu modyfikacji oraz zmianie nastaw aparatury zasilającej zmierzono moc silnika na hamowni stacjonarnej.

Na rysunku 26 przedstawiono wynik pomiaru mocy badanej jednostki po zmianach nastaw.



	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Nazwa	TEST SERIA			
Maks. moc	143,2 / 105,3 przy 3968 obr./min.			
Maks. moment	306 przy 2349 obr./min.			
Maks. prędkość	4245			
Avr. Power [HP/kW]	97,8 / 71,9			
Avr. Torque [Nm]	253			
Przełożenie	77			
Temperatura	6,0			
Ciśnienie	971,4			
Moc na silniku				
Norma	DIN 70020			
Data/Czas	2022-01-20 09:47:48			

Rys. 26. Pomiar mocy silnika

Źródło: Opracowanie własne

Po wykonaniu pomiarów mocy silnika stwierdzono, że silnik dysponuje mocą 143 KM przy 3968 obr./min oraz momentem obrotowym 306 Nm przy 2349 obr./min.

Pomiar zadymienia

Wartość zadymienia w silniku wysokoprężnym może informować o kondycji jednostki napędowej oraz o stanie układu wtryskowego lub o parametrach regulacji pompy wtryskowej¹¹. W związku z tym niezbędny jest po zmianie nastaw aparatury zasilającej pomiar zadymienia. Wartość zadymienia informuje o poprawności bądź nieprawidłowości w regulacjach aparatury zasilającej. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych pojazdu oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia, Dz.U 2003 nr. 32 poz. 262 z późn. zm. wartość zadymienia dla pojazdów zarejestrowanych przed 30 czerwca 2008r. turbodoładowanych wynosi 3 m^{-1} . W tym celu wykonano pomiar zadymienia.

Na rysunku 27 przedstawiono wyniki pomiaru zadymienia po zmianach nastaw aparatury zasilającej.

Exhaust Emissions Free Test Report					
				Data testu 15.02.2022	
				Czas testowania 16:20	
Stacja testowania					
Dane pojazdu					
Tablica rej.					
VIN					
Producent					
Model					
Data rejestracji	rrrr/mm/dd				
Klasa	W przypadku pojazdów wyprodukowanych po dniu 30 czerwca 2008 r.				
Przyspieszenie zadymienia					
Zadymienie (l/m)	Zadymienie (%)	Prędkość jądowa (rpm)	Obroty maksymalne (rpm)		
1,70	29,00	900	3990		
Producent	Model	Numer seryjny	Numer potwierdzenia certyfikacji	Koniec ważności przeglądu okresowego	Uwagi
TEXA	OPABOX	GOBKT003710	OM00372EST001b/NET2	22.05.2020	
SPA	Autopower				
TEXA	RC2	GR2KT001460	OM00598f/NET		

Rys. 27. Pomiar zadymienia

Źródło: Opracowanie własne

Po wykonaniu pomiaru zadymienia stwierdzono, że zadymienie po zmianach nastaw aparatury zasilającej wynosi $1,70 \text{ m}^{-1}$. Jest to wartość bardzo mała, która informuje o dużej poprawności wykonanych regulacji.

¹¹ Wajand, A. Wajand T.: Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe. WNT, Warszawa, 2005.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań dotyczących zmiany odpowiednich podzespołów aparatury zasilającej silnika oraz jej odpowiedniego nastawienia w celu zmiany mocy silnika przy zachowaniu norm zadymienia spalin stwierdzono, że zmiana nastaw aparatury zasilającej jest metodą do optymalizacji wskaźników pracy silnika tłokowego. Dzięki temu zwiększono moc badanej jednostki do 143 KM oraz 300 Nm z fabrycznej zmierzonej mocy 103 KM i 230 Nm zachowując zadymienie na poziomie $1,70 \text{ m}^{-1}$. Uzyskane powyższe parametry pozwoliły zbliżyć parametrowo przestarzałą jednostkę napędową do osiągnięć jednostek współczesnych. Podczas modyfikacji oraz regulacji aparatury zasilającej zachowano również trwałość badanej jednostki, ponieważ moc oraz moment obrotowy podniesiono w bezpiecznym zakresie w przypadku tego silnika wynoszącego aż dwukrotność deklarowanej mocy przez producenta pojazdu.

W przypadku zastosowania śrub mocujących głowice do silnika z silników TDI zasilanych pompowtryskiwaczami można by bezpiecznie podnieść wartość doładowania do 1,5 bara uzyskując jeszcze większą moc jednostki.

Zmieniając turbosprężarkę na turbosprężarkę o zmiennej geometrii łopatek oraz idące za tym sterowanie można by uzyskać precyzyjniejsze sterowanie pracą turbosprężarki.

W przypadku zastosowania większych rozpylaczy, np. o średnicy 0,230 można by uzyskać większą moc oraz moment obrotowy.

Stosując orurowanie układu doładowania z stali nierdzewnej o większym przekroju zamiast oryginalnego orurowania uzyskano by lepszy przepływ sprężonego powietrza.

Stosując bardziej wydajny intercooler można by uzyskać jeszcze niższą temperaturę w układzie dolotowym.

Bibliografia

- Bocheński C., Janiszewski T.: Diagnostyka silników wysokoprężnych. WKŁ, Warszawa 1996.
Günther H.: Diagnostowanie silników wysokoprężnych. WKŁ, Warszawa, 2018.
Janiszewski T., Mavrantzas S.: Elektroniczne układy wtryskowe silników wysokoprężnych. WKŁ, Warszawa 2013.
Kasedorf J.: Zasilanie wtryskowe olejem napędowym. WKŁ, Warszawa 2010.
Kneba Z., Makowski S.: Pojazdy samochodowe. Zasilanie i sterowanie silników. WKŁ, Warszawa 2004.
Kowalewicz A.: Doładowanie silników spalinowych. Politechnika Radomska Wydawnictwo, Radom 1998.
Mysłowski J., Kołtun J.: Elastyczność tłokowych silników spalinowych. WNT, Warszawa, 2000.
Mysłowski J.: Pojazdy samochodowe. Doładowanie silników. WKŁ, Warszawa 2011.
Sterowanie silników o zapłonie samoczynnym. Informator techniczny Bosch. WKŁ, Warszawa 2018.
Wajand A., Wajand T.: Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe. WNT, Warszawa 2005.
Zając P.: Silniki pojazdów samochodowych. WKŁ, Warszawa 2015.

Adres do korespondencji: e-mail: g.dzieniaiszewski@pansp.pl
ORCID: Grzegorz Dzieniaiszewski 0000-0002-2712-1131

STAN TECHNICZNY POJAZDÓW A BEZPIECZEŃSTWO RUCHU DROGOWEGO

Grzegorz Dzieniszewski^{1,2}, Łukasz Skawiński²

¹ Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu

² Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

Wstęp

Bezpieczeństwo ruchu drogowego jest zależne od wielu czynników, które wpływają na kierowcę. W każdym roku możemy usłyszeć wiadomości o wypadkach drogowych, w których często dochodzi do uszkodzenia ciała, a nawet śmierci¹. W pracy Goniewicza możemy przeczytać, że: „Wypadki drogowe stanowią poważny problem współczesnego świata. Są jedną z głównych przyczyn wszystkich urazów, które to stanowi trzecią przyczynę zgonów na świecie. Każdego roku na drogach świata ginie około miliona osób (dorosłych i dzieci), a kilkanaście milionów zostaje rannych². Umieralność z powodu obrażeń poniesionych w wyniku wypadków drogowych stanowi 2,2% wszystkich zgonów na świecie.”³ Wynika z tego, że bezpieczeństwo ruchu drogowego powinno stanowić sprawę priorytetową, lecz do dzisiaj nie można sobie poradzić z wypadkami drogowymi, które występują na całym świecie. „W Polsce ilość eksploatowanych pojazdów stale wzrasta, niestety są to w większości samochody używane. Taki niewłaściwy stan techniczny eksploatowanych na polskich drogach pojazdów samochodowych przyczynia się do powstawania wielu wypadków.⁴ Na ilość wypadków wpływ ma także stan infrastruktury drogowej, brak dróg szybkiego ruchu, mała przepustowość istniejących węzłów komunikacyjnych.⁵ Badacze wskazują też na kluczowy wpływ konstrukcji i stanu układu zawieszenia na bezpieczeństwo ruchu drogowego.⁶ Duża ilość remontów oraz modernizacji dróg i ulic przeprowadzanych w tzw. godzinach szczytu ma istotny wpływ na ilość wypadków, wpływ również mają także sami uczestnicy ruchu

¹ Rajchel K., Wieczorek S.: Wypadki drogowe w świetle badań. Erwico, Rzeszów, 2000.

² Szymanek A.: Teoria i metodologia zarządzania ryzykiem w ruchu drogowym. Politechnika Radomska, Radom, 2012.

³ Goniewicz M., Goniewicz K.: Wypadki drogowe w Polsce – czynniki sprawcze i zapobieganie. Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka, Lublin, 2010.

⁴ Gawlik Z.: Vademecum Diagnosty. Auto-Transbud, Kraków, 2017.

⁵ Basiewicz T., Gołaszewski A., Rudziński L.: Infrastruktura transportu. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2007.

⁶ Reński A.: Bezpieczeństwo czynne samochodu. Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2011.

drogowego”.⁷ Według słów Edyty Zielińskiej na bezpieczeństwo wpływa wiele aspektów, dlatego ta praca skupiać będzie się na analizie bezpieczeństwa ruchu drogowego⁸. Na potrzebę wykonywanych analiz zgromadzono dane z podmiotów takich jak: komendy policji oraz stacje diagnostyczne. Zebrano statystyki, które pozwolą dokonać dokładnych analiz odnośnie bezpieczeństwa w ruchu drogowy m.in. ze źródła Bank Danych GUS.

Analiza stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego w aspekcie stopnia zużycia pojazdów samochodowych w powiecie tarnobrzeskim i stalowowolskim

„Na bezpieczeństwo w ruchu drogowym mają wpływ umiejętności kierowców, konstrukcja samochodów i infrastruktura drogowa. Problemem, z jakim muszą mierzyć się obecnie zarządcy dróg jest systematyczne zwiększanie się liczby rejestrowanych w Polsce pojazdów. O ile kierowca decyduje, z jaką prędkością, w jakim stanie oraz w jaki sposób prowadzi pojazd, o tyle na zdarzenie drogowe wpływa otoczenie drogi.”⁹ Do głównych czynników wpływających na stan bezpieczeństwa w ruchu drogowym zaliczyć można umiejętności kierowców, konstrukcję samochodów i infrastrukturę drogową.¹⁰ To te zagadnienia sprawiają, że temat bezpieczeństwa w ruchu drogowym jest taki przestrzenny. Na umiejętności kierowców w głównej mierze wpływa ich wiek. Młody kierowca dopiero uczy się poruszać pojazdami, często towarzyszy mu brawurowa jazda, pośpiech, a nawet nieostrożna jazda. Natomiast starszy kierowca pomimo wieloletniej praktyki jazdy pojazdami, nie uniknie takich problemów zdrowotnych jak: pogorszenie wzroku, słuchu, refleksu, a nawet sprawności i szybkości.

W badaniach prezentowanych w niniejszej pracy skorzystano z pomocy pięciu stacji diagnostycznych z powiatu stalowowolskiego i pięciu stacji diagnostycznych z powiatu tarnobrzeskiego. Zebrano dane odnośnie ilości aut, które zdały przegląd za pierwszym podejściem, drugim oraz ile aut nie zdało badania technicznego. „Dopuszczenie samochodu osobowego (ale także ciężarowego, motocykla czy ciągnika rolniczego) do ruchu zależy od pozytywnego przejścia badania technicznego. Zwolnione są z niego samochody fabrycznie nowe posiadające homologację. Dla nich pierwsze badanie odbędzie się dopiero po trzech latach od daty pierwszej rejestracji, drugie po kolejnych dwóch latach, a kolejne nie później niż rok od poprzedniego badania.”¹¹

Na rysunku 1 można zauważyć, że powiecie tarnobrzeskim w roku 2020 było 43606 pojazdów zarejestrowanych, natomiast w roku 2021 liczba ta wzrosła do 46321 pojazdów zarejestrowanych. W ciągu roku liczba ta wzrosła o 2715. Jest to duży wzrost, patrząc na to, że

⁷ Zielińska E.: Eksploatacja, Wybrane aspekty bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce. TTS Technika Transportu Szynowego, Warszawa, 2015.

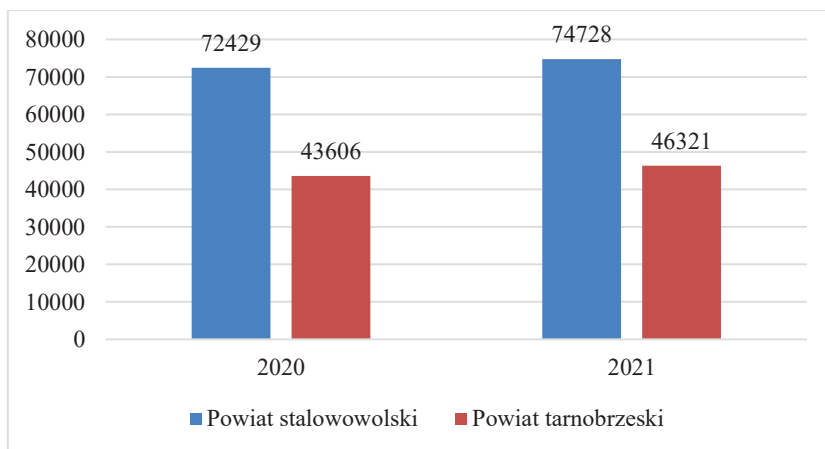
⁸ Zielińska E.: Eksploatacja, Wybrane aspekty bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce. Wyd. PW, Warszawa, 2015.

⁹ Łukasik Z., Kuśmińska-Fijałkowska A., Kołodziejczyk P.: Analiza stanu bezpieczeństwa na polskich drogach, Bezpieczeństwo i ekologia. Autobusy 10/2016, Radom, 2016.

¹⁰ Sitek K., Syta S.: Badania stanowiskowe i diagnostyka. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Wydanie 1, Warszawa, 2011.

¹¹ Dąbrowski M., Kowalczyk S., Trawiński G.: Diagnostyka pojazdów samochodowych. Podręcznik do nauki zawodu technik pojazdów samochodowych, WSIP, Warszawa, 2018.

powiat tarnobrzeski w 2020 roku zamieszkiwało 52871 ludzi. Natomiast w powiecie stalowowolskim w roku 2020 zarejestrowanych było 72429 pojazdów i liczba ta wzrosła do 74728, co daje 2299 więcej zarejestrowanych pojazdów w porównaniu do poprzedniego roku. Jest to też duży wzrost, jak na ilość zamieszkujących w latach 2020-2021 104263 osób.



Rys. 1. Liczba zarejestrowanych pojazdów w powiecie tarnobrzeskim i stalowowolskim

Źródło: <https://www.polskawliczbach.pl>

Pokazuje to dobrze jak rozwija się dostępność pojazdów dla każdego człowieka lecz również do tego trzeba zaliczyć auta, które są w słabej kondycji, które mają swoje lata i nie posiadają wielu udogodnień, które poprawiałyby bezpieczeństwo lub komfort jazdy. Pojazdy te mogą stanowić duże zagrożenie na drogach.

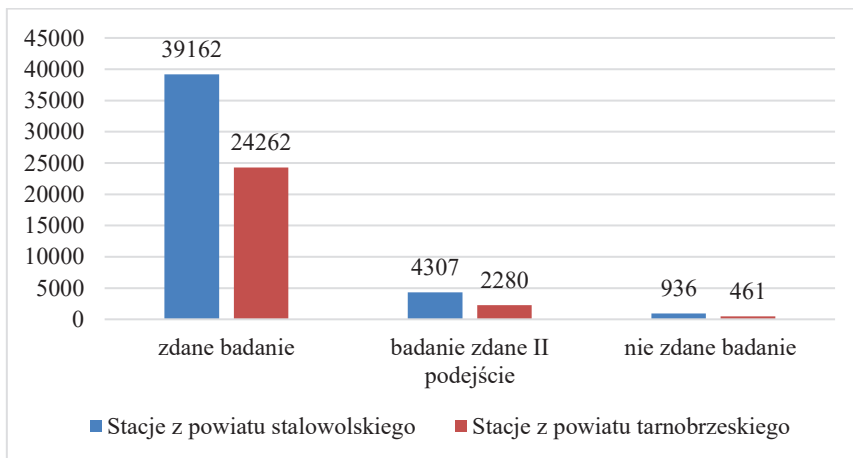
W ramach badań zostały zebrane dane na temat ilości przeglądów technicznych w powiatach tarnobrzeskim i stalowowolskim.

Na rysunku 2 szczegółowo zostało przedstawiono dane zebrane z pięciu stacji diagnostycznych zebranych z powiatu tarnobrzeskiego i pięciu stacji diagnostycznych z powiatu stalowowolskiego.

Można zauważyć, że duża część pojazdów zdaje badanie techniczne dopiero za drugim razem, co jest dużym problemem w temacie bezpieczeństwa, ponieważ dużo pojazdów nie jest odpowiednio eksploatowane, gdyż duża część kierowców nie dba o swoje pojazdy. Jest to problem, który występuje w całej Polsce. Wpływa to na ogólne bezpieczeństwo w ruchu drogowym, ponieważ takie auto od ostatniego badania mogło zostać uszkodzone, przez co nie nadaje się do użytkowania w ruchu publicznym. Zmniejsza to bezpieczeństwo kierowcy, a także innych użytkowników ruchu drogowego.

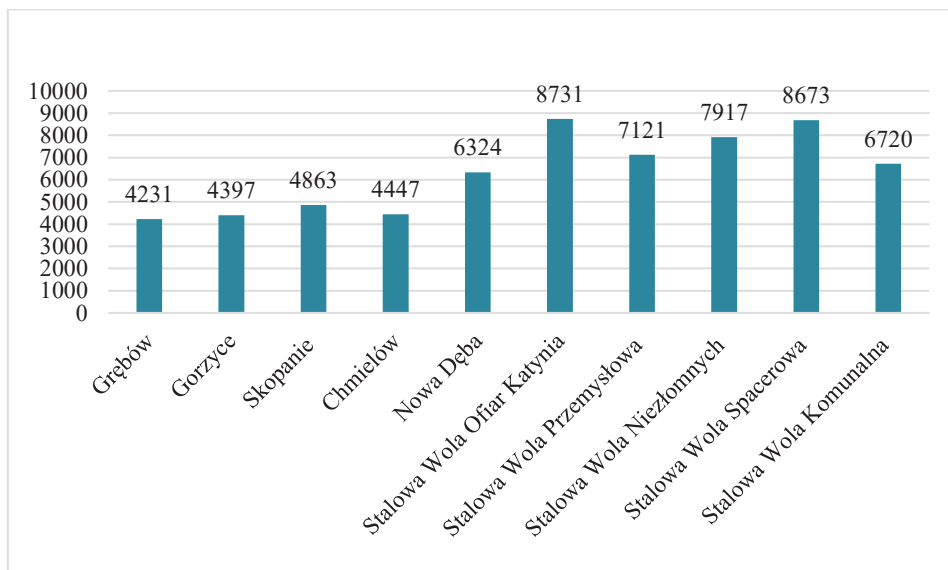
Rysunek 3 zawiera dane odnośnie ilości wykonanych przeglądów w Stacjach Kontroli Pojazdów w powiatach tarnobrzeskim i stalowowolskim.

Najwięcej przeglądów wykonano w Stacji Kontroli Pojazdów w Stalowej Woli na ulicy Ofiar Katynia, a najmniej w Stacji Kontroli Pojazdów w Grębowie.



Rys. 2. Liczba przeglądów wykonanych w powiatach stalowowolskim i tarnobrzeskim z 5 stacji diagnostycznych w 2021

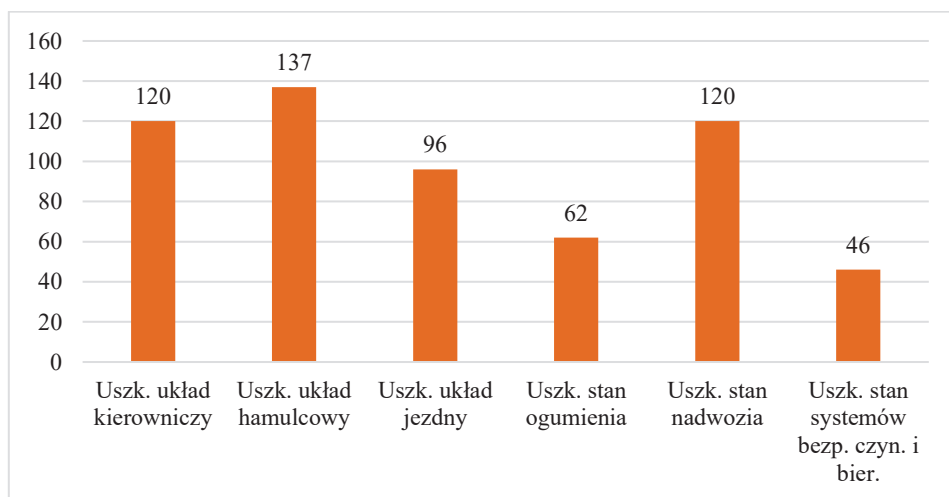
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3. Liczba wykonanych przeglądów na poszczególnych Stacjach Kontroli Pojazdów

Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 4 sporządzono wykres uszkodzeń, jakie występowały na stacji diagnostycznej w Grębowie podczas badań pojazdów w 2021 roku.



Rys. 4. Liczba uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Grębowie

Źródło: Opracowanie własne

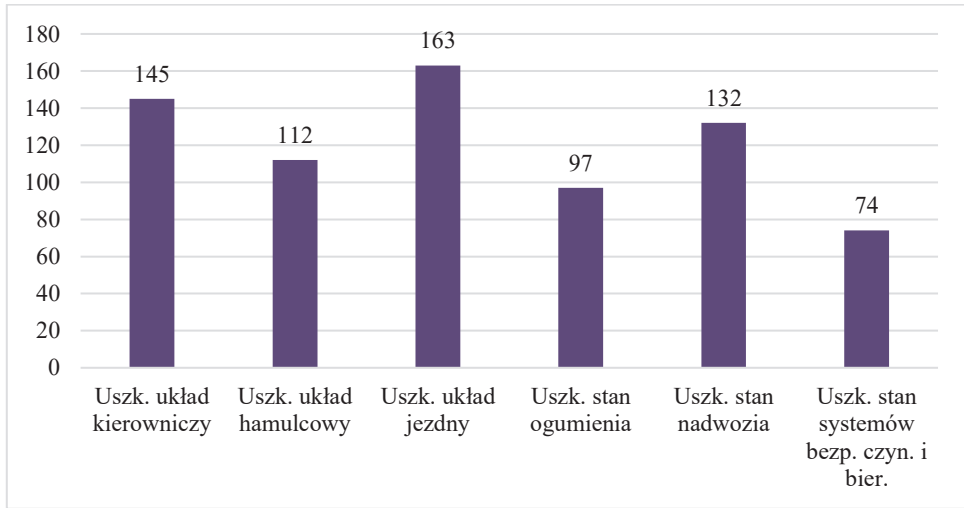
W roku 2021 zbadanych na Stacji Kontroli Pojazdów w Grębowie zostało 4231 pojazdów. Głównym problemem podczas badań diagnostycznych wykazywały się uszkodzenia układu hamulcowego. Uszkodzenia tego typu odnotowano w 137 autach. W 120 pojazdach stwierdzono, że do naprawy jest układ kierowniczy i nadwozie. Wystąpiło 96 przypadków uszkodzenia układu jezdny, 62 pojazdy miały do wymiany ogumienie natomiast w 46 pojazdach wystąpiło uszkodzenie systemów bezpieczeństwa czynnego i biernego.

Na rysunku 5 przedstawiono wykres pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Gorzycach.

Na stacji wykonano 4397 przeglądów. Podczas badań na stacji diagnostycznej w Gorzycach zbadano, że w głównej mierze uszkodzeniu ulega układ jezdny - 163 pojazdy nie zdały przeglądu właśnie z tego powodu. Odnotowano 145 uszkodzenia układu kierowniczego, 132 przypadki uszkodzeń nadwozia, 112 - układu hamowania, 97 - złego stanu opon i 74 uszkodzenia systemów bezpieczeństwa.

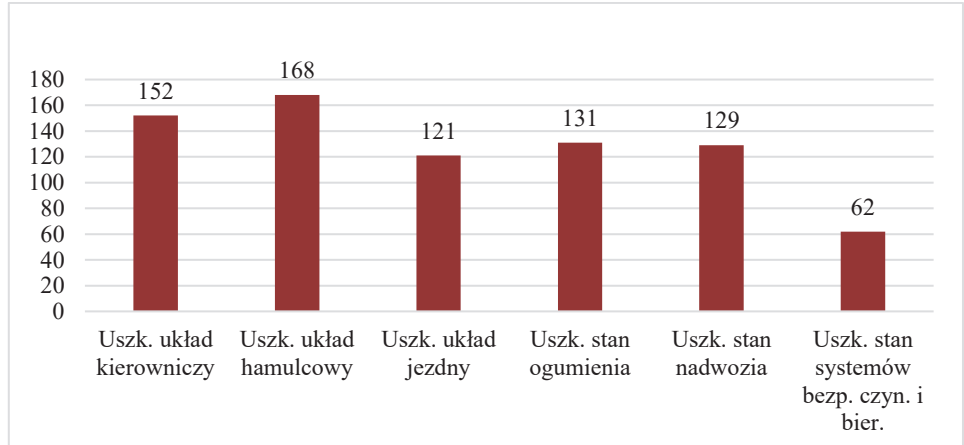
Na rysunku 6 pokazano ilość uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Skopaniu.

Na Stacji Diagnostycznej w Skopaniu zbadano 4863 sztuk pojazdów. Głównym powodem nie zdanych przeglądów były uszkodzenia układu hamulcowego - wystąpiło tu 168 takich przypadków. Następnym było uszkodzenie układu kierowniczego - 152 zdarzeń podczas badań i 131 przypadków złego stanu ogumienia, 129 uszkodzeń nadwozia, 121 uszkodzeń układu jezdny i 62 uszkodzenia systemu bezpieczeństwa czynnego i biernego.



Rys. 5. Liczba uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Gorzyczach

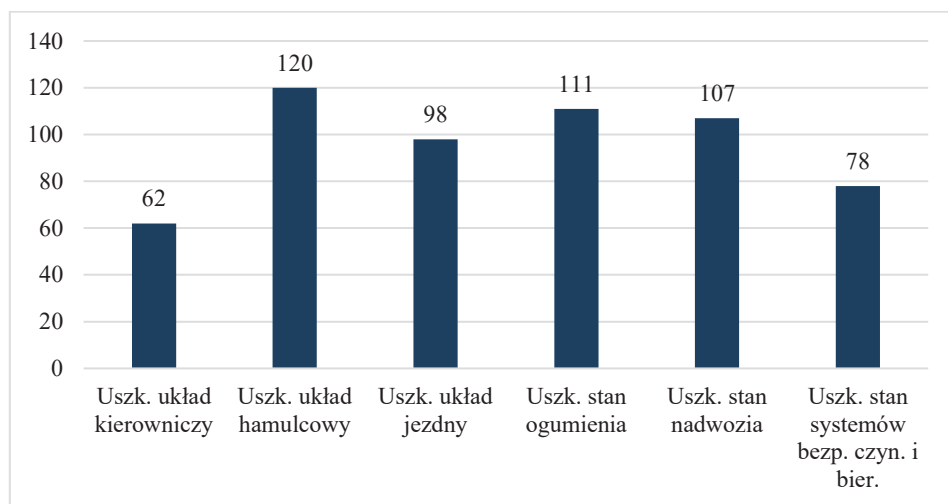
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 6. Liczba uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Skopaniu

Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 7 przedstawia ilość uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Chmielowie.



Rys. 7. Liczba uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Chmielowie

Źródło: Opracowanie własne

W Chmielowie wykonano 4447 przeglądów. Najwyższy wskaźnik uszkodzeń podczas badań występował podczas badania układu hamulcowego - 120 zdarzeń takiego uszkodzenia. Wiele pojazdów posiadało uszkodzone ogumienie - 111 aut, 107 uszkodzeń nadwozia, 98 usterek układu jezdny, 78 nieprawidłowości w systemie bezpieczeństwa i 62 awarie układu kierowniczego. Na stacji stwierdzono 576 uszkodzeń.

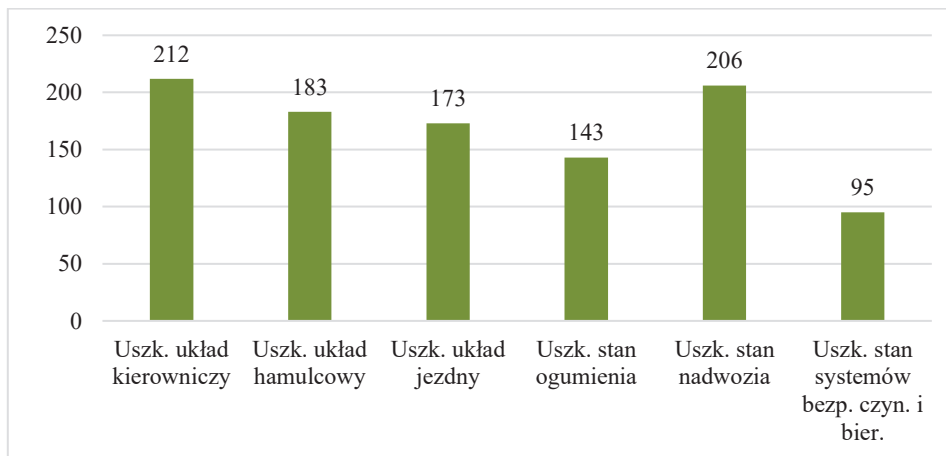
Na rysunku 8 pokazano ilość uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Nowej Dębie.

W Nowej Dębie odbyło się 6324 przeglądów. Głównym awariom podlegał układ kierowniczy - 212 uszkodzeń. Odnotowano także 206 usterek stanu nadwozia, układ hamulcowy uszkodzony był 183 razy, 173 przypadków - uszkodzenia układu jezdny, stanu ogumienia - 143 i najniższy wskaźnik wynosił 95 incydentów odnośnie stanu systemów bezpieczeństwa. Łącznie odnotowano 1012 uszkodzeń.

Wszystkie z wymienionych stacji znajdowały się w powiecie tarnobrzeskim.

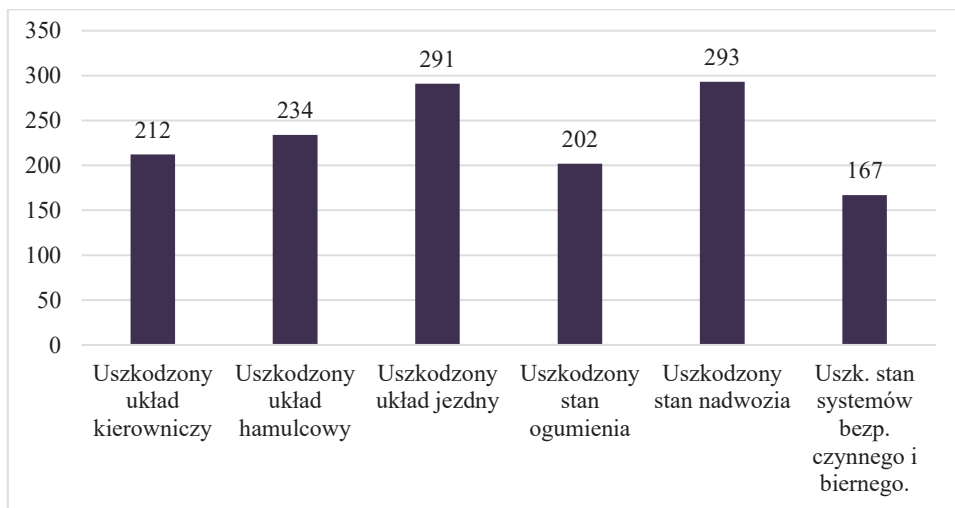
Na rysunku 9 pokazano ilość uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Stalowej Woli Ofiar Katynia 30.

Na stacji tej odnotowano 8731 przeglądów technicznych. Odnotowano 293 przypadki uszkodzenia nadwozia i jest to najwyższy wskaźnik uszkodzeń na tej stacji. Następne miejsca zajmowały uszkodzenia układu jezdny - 291 przypadków, uszkodzeń układu hamulcowego wystąpiło 234, awaria układu kierowniczego wystąpiła w 212 autach, stwierdzono także 202 przypadki uszkodzonego stanu ogumienia i 167 uszkodzeń systemów bezpieczeństwa.



Rys. 8. Liczba uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Nowej Dębie

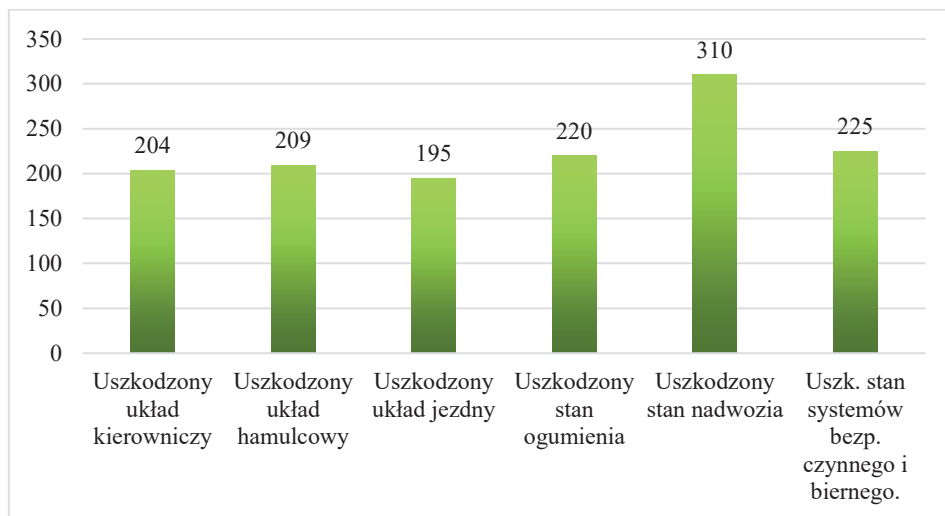
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 9. Liczba uszkodzeń pojazdów które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Stalowej Woli Ofiar Katynia 30

Źródło: Opracowanie własne

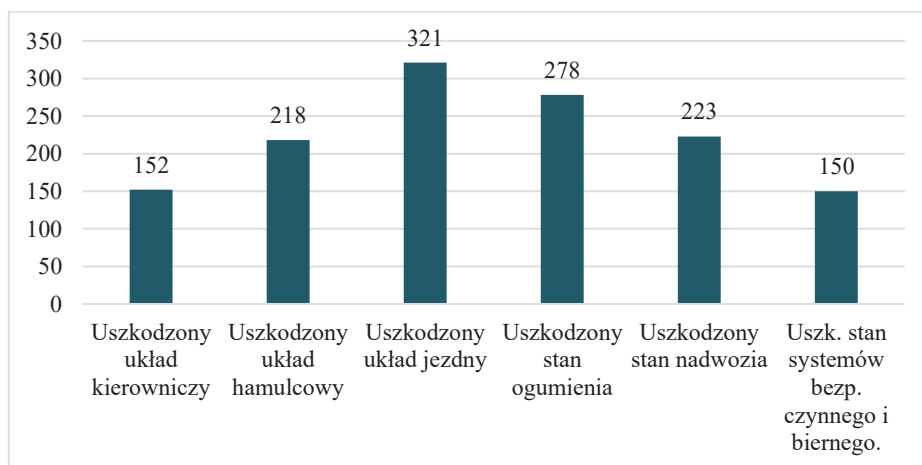
Na rysunku 10 pokazano ilość uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Stalowej Woli Przemysłowa 4.



Rys. 10. Liczba uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Stalowej Woli Przemysłowa 4

Źródło: Opracowanie własne

Zbadanych zostało 7121 pojazdów. Głównym awariom ulegał stan nadwozia 310 uszkodzeń. Stwierdzono 225 przypadków wadliwości systemów bezpieczeństwa, w 220 pojazdach stan ogumienia nie pozwolił na zdanie przeglądu, układ hamulcowy uszkodzony był w 209 pojazdach, układ kierowniczy uległ zniszczeniu 204 razy, natomiast w układzie jezdnym stwierdzono 195 awarii.

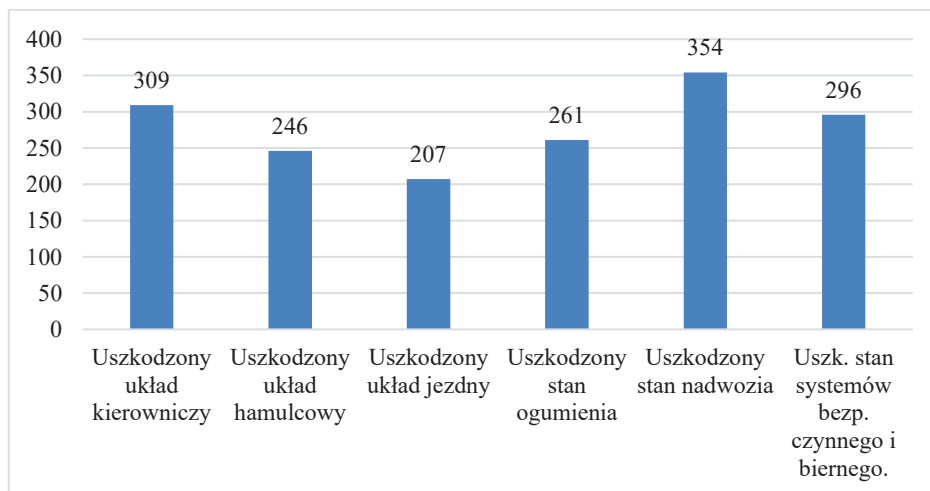


Rys. 11. Liczba uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Stalowej Woli Niezłomnych 24

Źródło: Opracowanie własne

Z rysunku 11 wynika, że w Stalowej Woli na ulicy Niezłomnych 24 odnotowano 7917 przeglądów technicznych. Podczas badań stwierdzono, że 321 pojazdów posiada uszkodzony układ jezdnny, 278 z badanych pojazdów posiadało problemy ze stanem ogumienia. Stan nadwozia wykazał wady w 223 autach, z układem hamulcowym miało problem 218 pojazdów mechanicznych, uszkodzony układ kierowniczy występował w 152 samochodach oraz 150 pojazdów posiadało awarie systemu bezpieczeństwa.

Na rysunku 12 pokazano stan uszkodzeń ze Stacji Kontroli Pojazdów w Stalowej Woli Spacerowa 2.



Rys. 12. Liczba uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Stalowej Woli Spacerowa 2

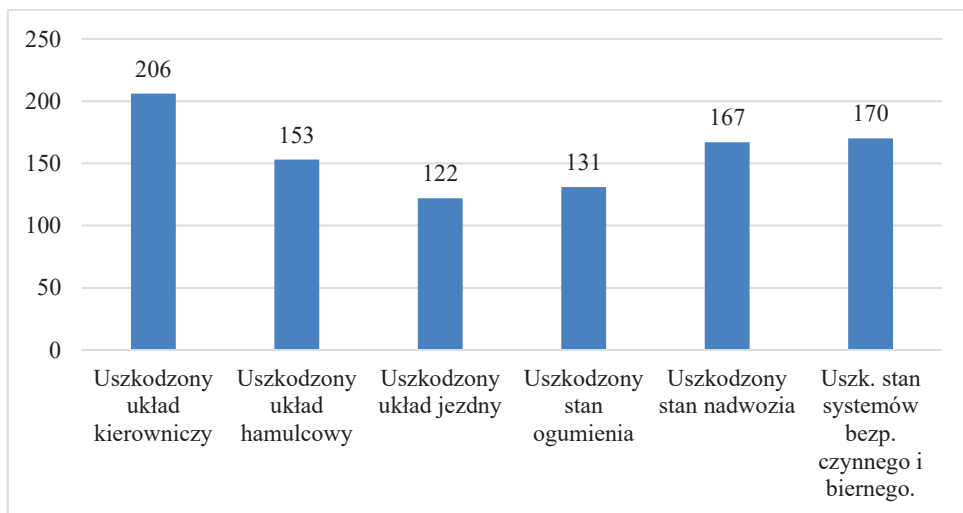
Źródło: Opracowanie własne

Na Stacji Kontroli Pojazdów w Stalowej Woli na ulicy Spacerowej odnotowano 8673 prób badań technicznych. Największą ilością uszkodzeń charakteryzuje się stan nadwozia - 354 problemów, układ kierowniczy uszkodzony był w 309 autach, 296 pojazdów miało niesprawność związaną z systemem bezpieczeństwa, a w 206 pojazdach stwierdzono problemy z ogumieniem. Układ hamulcowy zniszczony był w 246 samochodach, a układ jezdnny w 207 pojazdach.

Podobnie, co widać na rysunku 13, sytuacja przedstawia się w Stacji Kontroli Pojazdów w Stalowej Woli Komunalna 3.

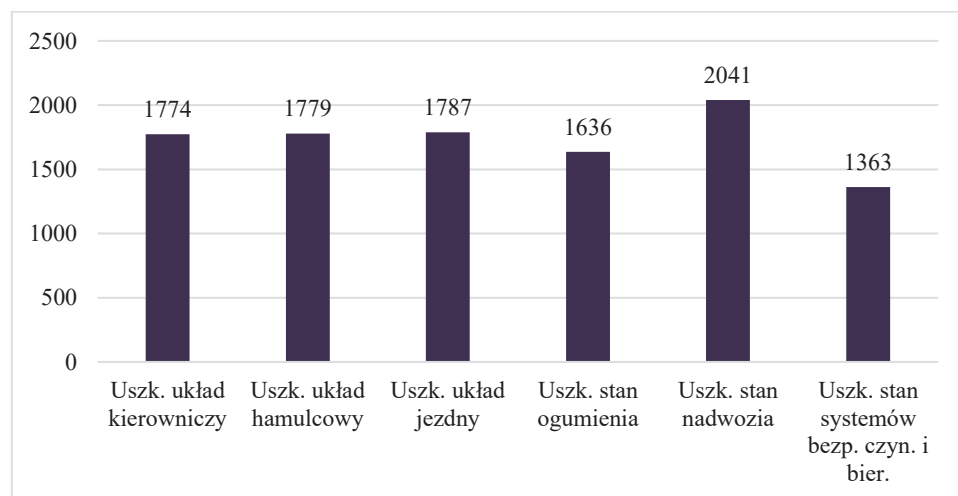
Na stacji zbadanych zostało 6720 pojazdów. Awariom ulegał głównie układ kierowniczy - 206 przypadków. Odnotowano także 170 problemów z systemem bezpieczeństwa. W 167 pojazdach stwierdzono niedoskonałości w stanie nadwozia, 153 auta miało awarie układu hamulcowego, 131 aut posiadało problemy z stanem ogumienia, a 122 pojazdów miało uszkodzony układ jezdnny.

Rysunek 14 przedstawia zestawienie uszkodzeń zdiagnozowanych na stacjach kontroli.



Rys. 13. Liczba uszkodzeń pojazdów, które nie zdały przeglądu technicznego w Stacji Kontroli Pojazdów w Stalowej Woli Komunalna 3

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 14. Łączna liczba uszkodzeń występująca w analizowanych Stacjach Kontroli pojazdów

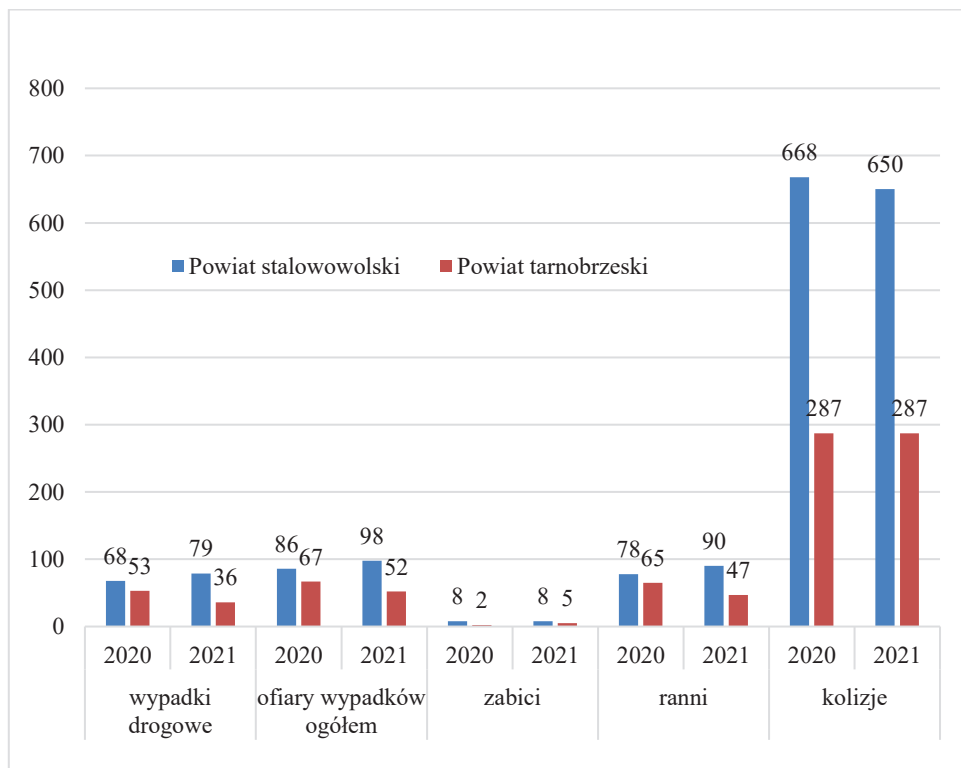
Źródło: Opracowanie własne

Z wykonanych analiz wynika, że w głównym stopniu uszkodzeniom ulega stan nadwozia stanowi to 19,7% uszkodzeń, które nie zdają badania technicznego w powiatach tarnobrzeskim i stalowowolskim. Jest to największy problem aut poruszających się na okolicznych

drogach. Następnie uszkodzeniom ulega układ jezdy, który stanowi 17,2% uszkodzeń pojazdów. Z kolei 17,14% uszkodzeń stanowi układ hamowania, 17,1% to problemy z uszkodzeniami układu kierowniczego. Blisko 16% stanowią wadliwości w stanie ogumienia natomiast system bezpieczeństwa czynnego i biernego to 13,13% uszkodzeń. Z analiz wynika, że najmniejszym uszkodzeniem ulega system bezpieczeństwa, a największym stan nadwozia.

Analiza zależności przyczynowo – skutkowych wypadków drogowych i stopnia zużycia pojazdów

Według danych zebranych z komend w powiatach tarnobrzeskim i stalowowolskim w latach 2020 i 2021 wystąpiło wiele wypadków, co widać na rysunku 15.



Rys. 15. Wypadki drogowe i ich ofiary w powiatach stalowowolskim i tarnobrzeskim

Źródło: GUS 2020 i 20210, Komenda Miejska Policji w Tarnobrzegu oraz Komenda Powiatowa w Stalowej Woli

W roku 2020 wystąpiło 68 wypadków drogowych w powiecie stalowowolskim, natomiast w roku 2021 liczba ta wynosiła 79 wypadków. Liczba wypadków wzrosła o 10 takich wydarzeń. Natomiast w powiecie tarnobrzeskim w roku 2020 wypadków drogowych było

53, a w roku 2021 liczba ta wynosiła 36. Zauważyć można mniejszą powtarzalność wypadków o 17, co jest dużym spadkiem. W 2020 roku w powiecie stalowowolskim ofiar wypadków drogowych było 86 osób. W porównaniu do roku 2021 liczba osób wynosiła 98. Liczba ofiar wzrosła o 12 osób. W powiecie tarnobrzeskim liczba ofiar wynosiła 67 osób w roku 2020, a w roku 2021 liczba ta wynosiła 52 osoby. Liczba ofiar zmniejszyła się o 15 osób. Osób zmarłych w wypadkach w powiecie stalowowolskim było 8 w roku 2020 i 2021, natomiast w powiecie tarnobrzeskim w roku 2020 ofiar śmiertelnych było dwie, a w roku 2021 liczba ofiar wzrosła do pięciu. Osób rannych w roku 2020 w powiecie stalowowolskim było 78 i w roku 2021 liczba ta wzrosła do 90. Liczba ta wzrosła o 12 osób rannych w wypadkach drogowych.

Kolizji w powiecie stalowowolskim w roku 2020 było 668, natomiast w roku 2021 liczba ta zmniejszyła się do 650 zdarzeń. Jest to o 18 kolizji mniej niż w poprzednim roku. Natomiast w powiecie tarnobrzeskim liczba kolizji była taka sama i wynosiła 287 kolizji.

Z zebranych danych można wywnioskować, że liczba wypadków i kolizji powoli maleje w ciągu kilku lat. Liczby te systematycznie mogą maleć, wpływ na to ma wiele czynników i powinno się dążyć do zmniejszenia ryzyka wypadków do jak najmniejszego stopnia. „Zdarzenia drogowe najczęściej powstają podczas dobrej pogody w dzień, na prostym odcinku drogi. Kolejną przyczyną to nierozważne zachowanie pieszych, którzy nagle wchodzą na jezdnię lub przechodzą przez nią w miejscach niedozwolonych.”¹² Według badań Ireneusza Jędra główne przyczyny wypadków występują na odcinkach prostych oraz przez nierozważne zachowanie pieszych.

W Polsce wprowadza się coraz lepsze sposoby spadków ofiar wypadków, a przyczyny można przeczytać w materiale Magdaleny Płacheckiej, która opisuje, że „do znaczącego spadku liczby ofiar śmiertelnych i rannych w wypadkach drogowych przyczyniły się m.in.:

- rozbudowa i modernizacja infrastruktury drogowej,
- rozbudowa systemu nadzoru nad ruchem drogowym,
- rozwój służb ratowniczych,
- działania w zakresie zarządzania systemem BRD.

W wyniku realizacji wydatków publicznych istotnie poprawiła się dostępność dróg krajowych. Polepszeniu uległ także ich stan.”¹³ Widać to na rysunku 16.

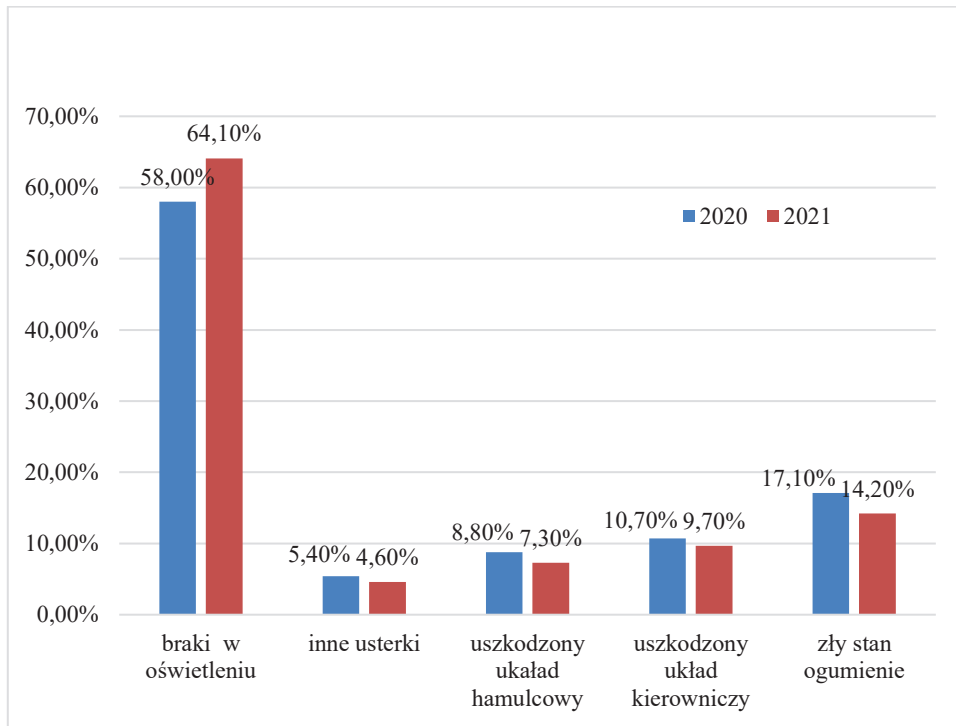
Wprowadzanie oraz ulepszanie nowych metod ratowania ofiar wypadków jest bardzo ważne i jest to rozwijane z każdym dniem, aby bezpieczeństwo na drogach było jak największe.

Według Komendy Głównej Policji najwięcej wypadków spowodowane jest brakami w oświetleniu. Zaliczyć do tego można brak włączonych świateł, uszkodzone światła, źle ustawione światła albo uszkodzone żarówki. Następnym powodem wypadków drogowych jest zły stan ogumienia. Uszkodzony układ kierowniczy i uszkodzony układ hamulcowy wpływał na bezpieczeństwo w ruchu drogowym. Najmniejsze zagrożenie stwarzały inne usterki.

Rysunek 17 pokazuje zależności liczby wypadków od złego stanu technicznego pojazdu.

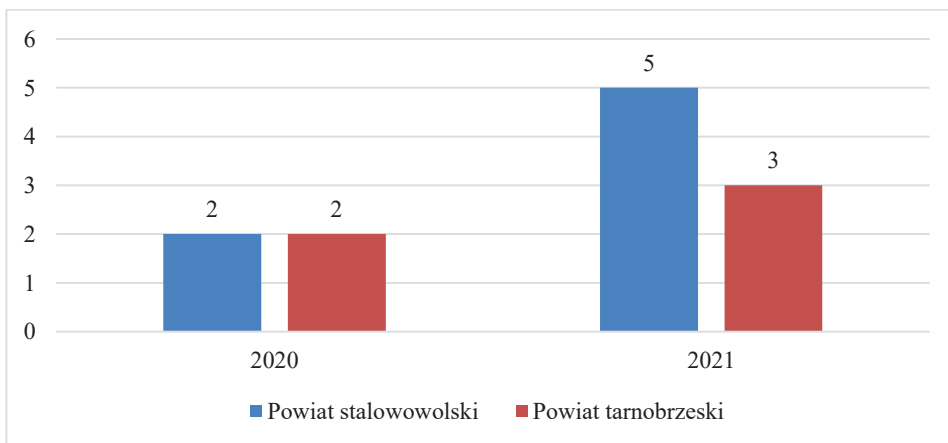
¹² Jędra L.: Wpływ wieku samochodów na bezpieczeństwo w transporcie drogowym. Autobusy, Radom, 2017.

¹³ Płachecka M.: Efekty działań na rzecz poprawy bezpieczeństwa w transporcie publicznym w Polsce. Autobusy 10, Radom, 2016.



Rys. 16. Rodzaje usterek technicznych stwierdzonych w pojazdach biorących udział w wypadkach drogowych w latach 2020 i 2021 według Komendy Głównej Policji

Źródło: <http://bip.kgp.policja.gov.pl/>



Rys. 17. Liczba wypadków spowodowanych przez zły stan techniczny pojazdu

Źródło: Opracowanie własne

W roku 2021 odnotowano 22816 wypadków drogowych w całej Polsce. Podczas oględzin stwierdzono 1483 usterki, które były powiązane z wypadkami drogowymi, co stanowi 6,5% szans, że wypadek został spowodowany przez zły stan techniczny pojazdu.

W powiecie stalowowolskim na 79 wypadków, 5 było spowodowanych złym stanem technicznym. W powiecie tarnobrzeskim było na 36 wypadków drogowych trzy, które mogły być spowodowane złym stanem technicznym pojazdu. Natomiast w roku 2020 wydarzyło się 23540 wypadków, podczas oględzin stwierdzono 927 usterek co stanowi 4% szans, że wypadek został spowodowany z powodu złego stanu pojazdu. W powiecie stalowowolskim wypadków był 68, a z powodu złego stanu technicznego mogły wystąpić dwa wypadki. W powiecie tarnobrzeskim było 53 wypadków, więc z powodu złego stanu pojazdu mogły być dwa wypadki. Z wykresu można zauważyć wzrost możliwych wypadków przez zły stan pojazdu w przeciągu jednego roku.

Wnioski

Dokonano zestawienia danych dotyczących stanu technicznego pojazdów oraz danych dotyczących wypadków drogowych. Zebrano dane z Komendy Powiatowej Policji w Stalowej Woli oraz z Komendy Miejskiej Policji w Tarnobrzegu. Dane dotyczyły ilości wypadków, ofiar wypadków, ofiar śmiertelnych i rannych, a także kolizji w powiatach stalowowolskim i tarnobrzeskim. W wyniku analizy wytypowano główne przyczyny wypadków implikowanych przez zły stan techniczny pojazdów, którymi są braki w oświetleniu, uszkodzony układ hamulcowy, kierowniczy, stan ogumienia i inne usterki. Są to główne przyczyny wypadków drogowych spowodowane złym stanem technicznym pojazdu. Dlatego należy zwrócić uwagę na odpowiednią eksploatację wymienionych elementów pojazdu. W ciągu roku, z przyczyn złego stanu technicznego pojazdu, dochodzi do kilku wypadków drogowych, które mogą powodować ofiary ranne, a nawet śmiertelne. Zebrano też informacje o ilości aut, które zdały przegląd techniczny w pięciu stacjach diagnostycznych w powiecie tarnobrzeskim i pięciu stacjach diagnostycznych w powiecie stalowowolskim. Z analiz zebranych danych stwierdzono, że głównym uszkodzeniem ulegało nadwozie, natomiast najmniejszym uszkodzeniem ulegał system bezpieczeństwa czynnego i biernego.

Zauważono, że w obu powiatach można zaobserwować dużą ilość pojazdów, które mają ponad 15 lat. Duża część pojazdów posiada usterki, które nie pozwalają im zdać przeglądu technicznego i wpływa to na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Główne przyczyny wypadków to zły stan techniczny pojazdów, braki w oświetleniu, uszkodzony układ hamulcowy i kierowniczy, zły stan ogumienia i inne usterki. Z każdym rokiem liczba zarejestrowanych pojazdów w wymienionych powiatach prężnie wzrasta. Na okolicznych drogach występuje duża liczba wypadków drogowych, a z analiz wynika, że kilka z nich jest wywołane właśnie przez zły stan pojazdów. Z wykonanych analiz wynika, że w obu powiatach łącznie największą liczbę usterek odnotowano w stanie nadwozia, a najmniejszą w stanie bezpieczeństwa biernego i czynnego.

Bibliografia

- Basiewicz T., Gołaszewski A., Rudziński L.: Infrastruktura transportu, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2007.
- Brożyna E.: Czynniki ludzkie a bezpieczeństwo w ruchu drogowym, Bezpieczeństwo i ekologia, 2017.
- Dąbrowski M., Kowalczyk S., Trawiński G.: Diagnostyka pojazdów samochodowych. Podręcznik do nauki zawodu technik pojazdów samochodowych, WSIP, Warszawa, 2018.
- Gawlik Z.: Przewodnik po przepisach prawnych w zakresie badań technicznych pojazdów, Auto-Transbud, Kraków, 2017.
- Gawlik Z.: Vademecum Diagnosty, Auto-Transbud, Kraków, 2017.
- Gębiś P.: Niezbędnik diagnosty SKP 2021, SIMP, Tarnów, 2021.
- Goniewicz M., Goniewicz K.: Wypadki drogowe w Polsce – czynniki sprawcze i zapobieganie, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka, 2010.
- Jędra I.: Wpływ wieku samochodów na bezpieczeństwo w transporcie drogowym, Autobusy, 2017.
- Łata K.: Bezpieczeństwo na drogach, Wydawnictwo Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji, Kraków, 2001.
- Łukasik Z., Kuśmińska-Fijałkowska A., Kołodziejczyk P.: Analiza stanu bezpieczeństwa na polskich drogach, Bezpieczeństwo i ekologia, Autobusy 10, 2016.
- Płachecka M., Efekty działań na rzecz poprawy bezpieczeństwa w transporcie publicznym w Polsce, Autobusy 10, 2016.
- Prochowski L., Żuchowski A.: Właściwości nadwozia w zakresie pochłaniania energii podczas uderzenia samochodu w sztywną przeszkodę, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Mechanika, 2016.
- Rajchel K., Wieczorek S.: Wypadki drogowe w świetle badań, Erwico, Rzeszów 2000.
- Reński A.: Bezpieczeństwo czynne samochodu. Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
- Sitek K., Syta S.: Badania stanowiskowe i diagnostyka, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Wydanie 1, Warszawa 2011.
- Szymanek A.: Teoria i metodologia zarządzania ryzykiem w ruchu drogowym, Politechnika Radomska, Wydawnictwo, 2012.
- Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym, Dz. U. 1997 Nr 98 poz. 602.
- Wojtas A., Szkoda M.: Analiza wybranych czynników wpływających na bezpieczeństwo w ruchu drogowym, Logistyka, 2018.
- Zielińska E.: Eksploatacja, Wybrane aspekty bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce, 2015.

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

LOGISTYKA PRZYJĘCIA, PROCESU SUSZENIA, PRZECHOWYWANIA I ODBIORU ZIARNA KUKURYDZY NA PRZYKŁADZIE MAGAZYNU ZBOŻOWEGO

Józef Gorzelany¹, Natalia Matłok¹, Justyna Belcar¹

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

Wstęp

Kukurydza (*Zea mays* L.) jest drugą, po pszenicy, najczęściej uprawianą rośliną na świecie¹. W Polsce z roku na rok wzrasta zainteresowanie rolników uprawą roślin, które będą cechowały się stosunkowo wysokim plonowaniem, a ich produkcja może być prowadzona na słabych i średniej jakości glebach. Kukurydza jest rośliną ciepłolubną, której wysiew następuje w kwietniu, natomiast zbiór przypada na miesiące jesienne (głównie październik i listopad). Wzrost produkcji kukurydzy w Polsce związany jest dużą możliwością przetwórczą ziarna oraz w miarę stabilnymi cenami za tonę dostarczanego surowca². Od roku 2010 do 2017 prawie dwukrotnie wzrosła zarówno powierzchnia upraw, jak i ilość zebranego ziarna kukurydzy w Polsce³.

Zbiór kukurydzy następuje gdy ziarno cechuje się wilgotnością na poziomie około 30% (wartość ta zależy w głównej mierze od terminu siewu, warunków środowiskowych w okresie wegetacji czy zastosowanej odmiany). Aby ziarno mogło być przechowywane przez dłuższy czas, najczęściej stosuje się proces suszenia do wilgotności ziarna około 14%⁴. Proces suszenia powoduje zwiększenie kosztów produkcji kukurydzy na ziarno o około 20-37%^{5,6}, a nawet do 40-60%⁷.

¹ FAOSTAT 2019: Pozyskano z: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

² Sapińska E., Balcerek M., Stanisz M.: Fermentacja alkoholowa gęstych zacierów kukurydźnianych. *Acta Agrophysica*. 18(2); 431-441, 2011.

³ GUS 2018. Rocznik Statystyczny Rolnictwa; strony 140, 147

⁴ Belcar J., Gorzelany J.: Ocena wybranych parametrów jakościowych ziarna kukurydzy mokrej dostarczanej do Spółdzielni Rolników SAN w Głuchowie w latach 2015-2019. Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów, 2020.

⁵ Krzyśko-Łupicka T., Kręcido M., Kręcido Ł., Mystek M.: Kondycjonowanie kukurydzy do produkcji bioetanolu. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 587, 93-102, 2016.

⁶ Grochowicz J., Zawiślak K.: Energooszczędne przetwarzanie ziarna kukurydzy. *Inżyniera Przetwórstwa Spożywczego*. 2/4, 15-18, 2012.

⁷ Rechnio C., Ruciński A.: Analiza efektywności procesu suszenia kukurydzy w urządzeniu o działaniu okresowym. *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna*. 3; 138-145, 2018.

Magazyn zbożowy może być traktowany jako 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}. 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 magazynu¹². Proces suszenia kukurydzy mokrej musi być poprzedzony szlakiem logistycznym zapewniającym ciągłość pracy suszarni dlatego w magazynach zbożowych stosuje się w pełni zautomatyzowany, logistyczny system dostarczania surowca, procesu suszenia oraz odbioru wysuszonej partii materiału najczęściej na podstawie ustalonych harmonogramów. 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^{13,14,15}.

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.

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, 2016, 173-181.

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

¹² Kulińska E. Rut J.: Magazyn zbożowy w łańcuchu logistycznym. Logistyka. Nr. 2, Poznań, 2010.

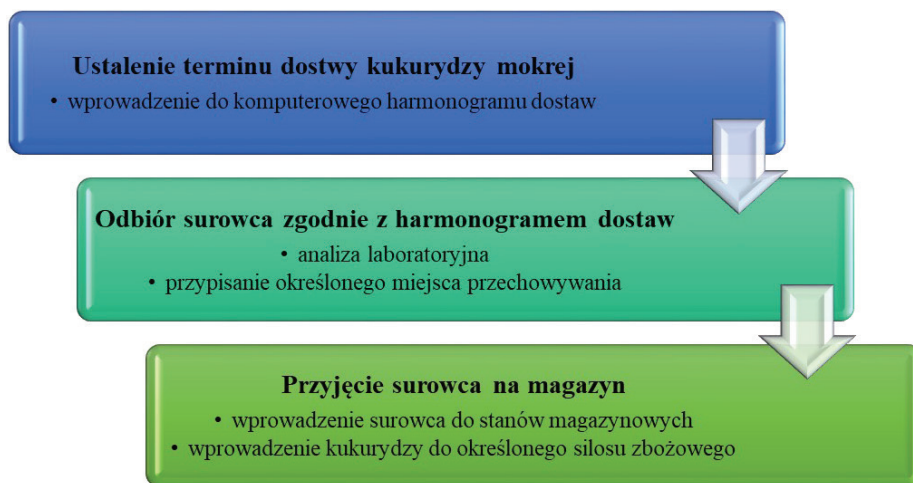
¹³ Kuziemska B., Pieniak-Lendzion K., Klej P.: Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań logistycznych w rolnictwie. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie. 109, 173-181, 2016.

¹⁴ Kulińska E. Rut J.: Magazyn zbożowy w łańcuchu logistycznym. Logistyka. Nr. 2, Poznań, 2010.

¹⁵ Kuboń M. Miejsce i rola infrastruktury logistycznej w funkcjonowaniu przedsiębiorstw rolniczych. Inżynieria Rolnicza. 9(97), 87-93, 2007.

Logistyka dostaw ziarna kukurydzy mokrej

Logistyka transportu kukurydzy mokrej obejmuje dostawę określonej partii surowca na podstawie harmonogramu dowozu, ważenie, pobór próby, przeprowadzenie oceny jakościowej, wyładunek i transport wewnętrzny (rys. 1).



Rys. 1. Schemat logistyki dostaw surowca do magazynu zbożowego

Spółdzielnia rolnicza skupuje kukurydzę mokrą na podstawie umów kontraktacyjnych z rolnikami oraz z wolnego skupu. Ponieważ wydajność suszarni zależy od wilgotności dostarczanej kukurydzy oraz ciągłości dostarczanego surowca, spółdzielnia od października do grudnia prowadzi harmonogram dostaw, który obejmuje wprowadzenie do systemu komputerowego danych rolnika wraz z określoną ilością dostarczanego surowca na konkretny dzień (za wyjątkiem niedziel – brak dostaw kukurydzy mokrej). Średni dzienny limit dostaw kukurydzy mokrej oscyluje około 170 ton (tab. 1.). Ilość może się zmieniać w zależności od wilgotności surowca (im mniejsza wilgotność tym więcej surowca należy zakupić aby suszarnia mogła pracować w sposób ciągły). Dzienny zakup kukurydzy mokrej może się także zwiększyć, gdy przewidywane są niekorzystne warunki atmosferyczne.

Tabela 1. Średnia dzienna ilość dostarczanej kukurydzy mokrej wg harmonogramu dostaw magazynu zbożowego

	Średnia dzienna ilość dostarczonej kukurydzy mokrej (t)
Październik 2020	156,25
Listopad 2020	182,11

Źródło: Obliczenia własne

Łańcuch dostaw pozwala na sprawny przepływ strumienia materiałowego w obrębie kooperujących ze sobą podmiotów, celem zapewnienia ciągłości produkcyjnej¹⁶. Opracowywanie dostaw surowcowych od poszczególnych klientów (rolników) wraz z opracowywaniem harmonogramów odbioru surowca wiąże się z opracowaniem pewnego rodzaju sieci logistycznej. Prowadzi to do optymalizacji współpracy pomiędzy podmiotem skupowym a poszczególnymi rolnikami, gdzie obie strony łańcucha logistycznego współdziałają ze sobą¹⁷. 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 funkcjonowania¹⁸.

Tabela 2. Ilość oraz średnia wilgotność dostarczonej kukurydzy mokrej w miesiącu X i XI 2020 r. do magazynu zbożowego

Październik 2020			Listopad 2020		
Podział dostaw kukurydzy w zależności od wilgotności	Ilość dostarczonej kukurydzy (t)	Średnia wilgotność kukurydzy (%)	Podział dostaw kukurydzy w zależności od wilgotności	Ilość dostarczonej kukurydzy (t)	Średnia wilgotność kukurydzy (%)
<29%	166,66	27,55	<29%	1918,80	27,42
29-33,9%	1280,24	31,74	29-33,9%	2213,47	31,01
>34%	584,40	36,12	>34%	85,90	34,41
	2013,30	32,08		4218,17	29,57

Źródło: Obliczenia własne

Magazyn zbożowy posiada własne laboratorium, w którym następuje ocena jakościowa dostarczonego surowca. Dla ziarna kukurydzy mokrej głównym parametrem określającym jej jakość jest zawartość wody, ponieważ wartość ta determinuje całkowite koszty procesu suszenia m.in. zwiększenie nakładów energetycznych na czynnik grzewczy suszarni, energii elektrycznej do napędu i obsługi urządzeń wspomagających pracę suszarni np. przenośniki kufelkowe i taśmowe czy nakłady pracy ludzkiej operatorów suszarni¹⁹. W miesiącu październiku 2020 roku do magazynu zbożowego dostarczono 2013,3 ton mokrej kukurydzy o średniej wilgotności 32,08%, natomiast w miesiącu listopadzie ilość dostarczonej kukurydzy mokrej była dwukrotnie wyższa, a ziarno cechowało się średnią wilgotnością na poziomie 29,57% (tab. 2.). Różna średnia zawartość wody w dostarczonym ziarnie kukurydzy związana była z przebiegiem warunków środowiskowych w okresie sezonu wegetacyjnego, a zwłaszcza z wysoką miesięczną sumą opadów w miesiącach jesiennych. Na podstawie analizy laboratoryjnej (zawartość wody w badanej próbie kukurydzy mokrej) przyjęty surowiec jest kierowany do jednego z trzech zbiorników buforowych o pojemności 300 ton każdy.

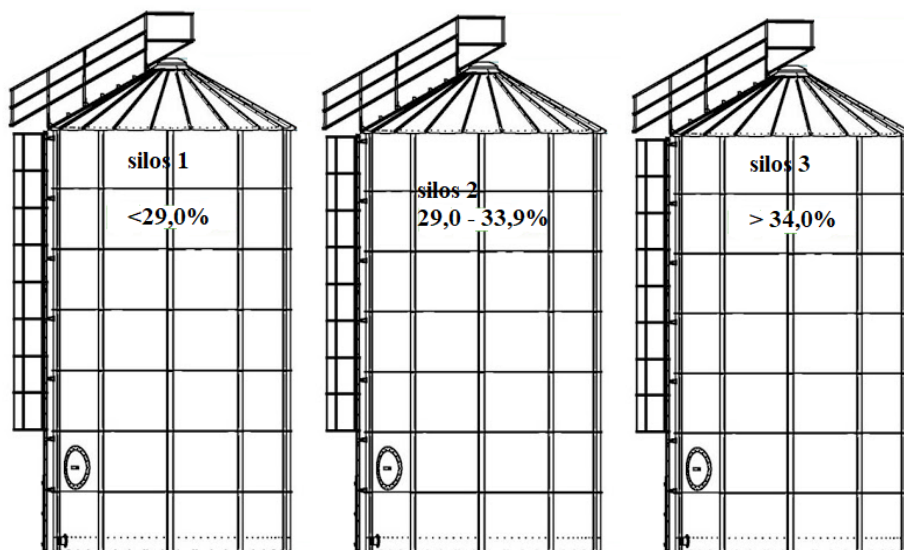
¹⁶ Waściński T.: Procesy logistyczne w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie. 103, 25-38, 2014.

¹⁷ Świerczek A.: Od łańcuchów dostaw do sieci dostaw. Logistyka. 1, 74-77, 2007.

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

¹⁹ Belcar J., Gorzelany J.: Ocena wybranych parametrów jakościowych ziarna kukurydzy mokrej dostarczanej do Spółdzielni Rolników SAN w Głuchowie w latach 2015-2019. Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów, 2020.

Jeśli wilgotność dostarczanej kukurydzy mokrej jest zbliżona, wówczas następuje zasyp jednego z silosów do osiągnięcia maksymalnego wypełnienia, a następnie kukurydzę kieruje się do kolejnego silosu, natomiast jeśli surowiec jest zróżnicowany wtedy następuje rozdział na poszczególne silosy zgodnie z przyjętym zakresem wilgotności ziarna (rys. 2.). Umożliwia to zoptymalizowanie procesu suszenia tak aby uniknąć niepotrzebnych zwiększonych nakładów energetycznych. Optymalne działanie poszczególnych etapów procesu logistycznego pozwala na przepływ materiałów do zaopatrzenia i produkcji przy jednoczesnym maksymalnym obniżeniu kosztów bezpośrednich i pośrednich²⁰.



Rys. 2. Miejsce składowania kukurydzy mokrej w zależności od wilgotności dostarczonego surowca (schemat silosu: www.michal-silosy.pl)

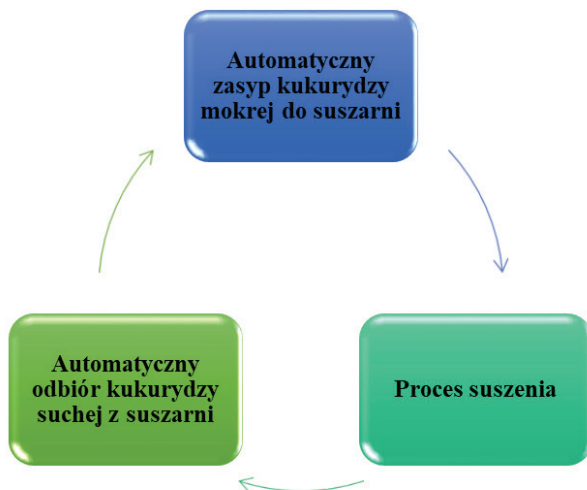
Logistyka procesu suszenia

Agrosuszenie jest procesem, z którym następuje usunięcie nadmiaru wody zawartej w materiale roślinnym poprzez działanie czynnika grzewczego zgodnie z przyjętą technologią. Prowadzi to do ograniczenia aktywności wody w ziarnie oraz powoduje wydłużenie procesu przechowywania płodów rolnych bez negatywnego wpływu na ich ilość i jakość. Końcowa wilgotność suszonego materiału zależy od rodzaju suszącego materiału, czasu i temperatury suszenia oraz początkowej wilgotności²¹. Proces suszenia kukurydzy mokrej w magazynie zbożowym jest w pełni zautomatyzowany. Rozpoczęcie pracy suszarni zaczyna

²⁰ 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.

²¹ Walczak R.: Zastosowanie wskaźników oceny efektywności energetycznej do diagnozowania systemu suszącego. Diagnostyka, 34, 127-136, 2005.

się od zasypu zbiornika o pojemności 47 ton, zadania odpowiednich parametrów pracy (m.in. temperatury na palniku, czasu suszenia, ilości wysypów, czy czasu chłodzenia kukurydzy) i włączeniu na pulpicie sterowniczym pracy okresowej suszarni. Po określonym czasie operator suszarni przestawia pracę suszarni z okresowej na ciągłą. Prowadzenie pracy suszarni w ruchu ciągłym nie tylko wpływa pozytywnie na sprawność pracy i niższe jednostkowe zużycie ciepła na odprowadzenie kilograma wilgoci z suszonego ziarna ale także ogranicza czas potrzebny na zasyp nowej porcji i czas studzenia wysuszonej kukurydzy jak ma to miejsce w pracy porcjowej suszarni²². W pracy ciągłej suszarni mokra kukurydza jest automatycznie zadawana z jednego z trzech zbiorników buforowych do zbiornika zasypu suszarni. Jednocześnie sucha kukurydza jest usuwana poprzez układ wysypu i kierowana do określonego zbiornika celem przechowywania (rys. 3.).



Rys. 3. Schemat logistyki procesu suszenia kukurydzy

Logistyka procesu przechowywania i odbioru ziarna kukurydzy suchej

Ziarno kukurydzy po przejściu przez sekcję schładzania w suszarni zostaje usunięte przez układ wysypu na przenośnik kbelkowy, a następnie przenośnikiem taśmowym trafia do odpowiedniego silosu (cały proces jest sterowany automatycznie). Maksymalne napełnienie silosu jest sygnalizowane poprzez pojawienie się litery M (max) na pulpicie sterowniczym komputera. Wówczas automatycznie droga wysypu wysuszonej kukurydzy zostaje wyłączona. Aby nie doszło do przerwy pracy suszarni operator powinien zadać inny silos jako miejsce docelowe suchej kukurydzy.

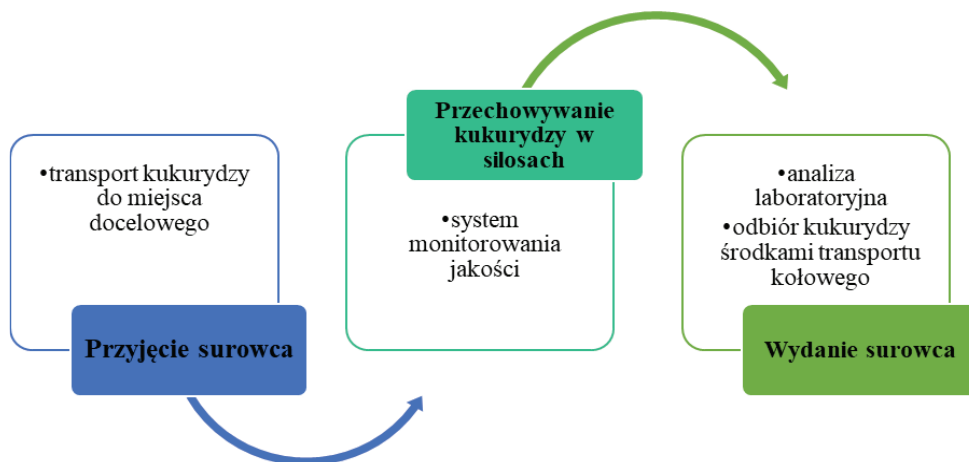
²² Rechnio C., Ruciński A.: Analiza efektywności procesu suszenia kukurydzy w urządzeniu o działaniu okresowym. Aparatura Badawcza i Dydaktyczna. 3, 138-145, 2018.

Tabela 3. Ilość oraz średnia wilgotność wysuszonej kukurydzy przyjętej do przechowywania w miesiącu X i XI 2020 r. do magazynu zbożowego

Październik 2020		Listopad 2020	
Ilość wysuszonej kukurydzy (t)	Średnia wilgotność kukurydzy (%)	Ilość wysuszonej kukurydzy (t)	Średnia wilgotność kukurydzy (%)
1571,78	14,0	3425,17	14,0

Źródło: Obliczenia własne

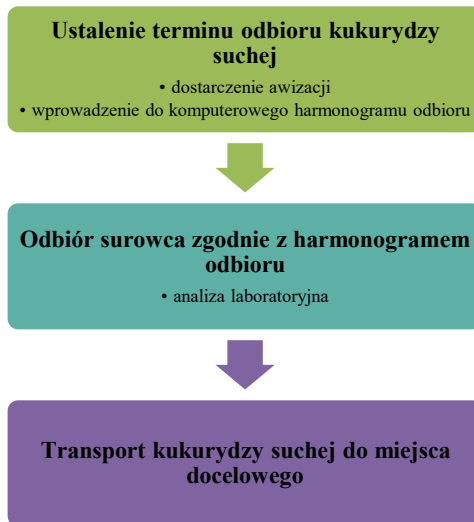
Do magazynowania płodów rolnych najczęściej wykorzystuje się silosy i hale magazynowe, przed którymi stawia się wymagania dotyczące ich stosunkowo prostej i jednocześnie niezawodnej obsługi, oraz wyposażenia w urządzenia pozwalające na pomiar temperatury, wentylację, chłodzenie, oczyszczanie czy osuszanie materiału, aby zachować składowany surowiec w jak najwyższej jakości przez określony czas²³. W miesiącu październiku roku skierowano do przechowywania 1571,78 ton, natomiast w listopadzie 2020 roku 3425,17 ton kukurydzy charakteryzującej się średnią wilgotnością na poziomie 14,0%. Taka wilgotność ziarna kukurydzy 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.



Rys. 4. Schemat logistyki procesu przechowywania kukurydzy

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

Logistyczny schemat procesu przechowywania kukurydzy suchej w magazynie zbożowym przedstawiono na rys. 4. 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 wewnątrzzakładowych (przyjęcia, magazynowania i wydania określonej partii zboża) ale także pomiędzy producentami rolnymi i przewoźnikami. 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 gospodarczej²⁴. Jakość wysuszonej kukurydzy i przechowywanej w silosach jest codziennie kontrolowana poprzez monitorowanie temperatury i wilgotności surowca 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.



Rys. 5. Schemat logistyki procesu odbioru kukurydzy suchej

Spółdzielnia rolnicza kooperuje z wiodącymi firmami zajmującymi się przetwórstwem suchej kukurydzy. 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 kukurydżę) do komputerowego programu magazyno-

²⁴ Żuk J.: Koncepcja logistyki nowoczesnej technologii magazynowania i przetwórstwa zbóż. Przemysł Zbożowo-Młynarski. 9, 72-74, 2018.

wego. Proces załadunku kukurydzy suchej jest w pełni zautomatyzowany 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 wydawniczy, z którym udaje się do miejsca docelowego (rys. 5.).

Tabela 4. Tygodniowy harmonogram odbiorów kukurydzy suchej w miesiącu styczniu 2021

Styczeń 2021		
Tydzień	Partia odebranej kukurydzy (t)*	Ilość samochodów (szt./tydzień)
I	585,59	23
II	613,95	24
III	455,36	18
IV	25,88	1

*na podstawie umowy sprzedaży i harmonogramu odbiorów

Źródło: Obliczenia własne

W miesiącu styczniu 2021 roku zrealizowano kontrakt wydaniowy obejmujący 1680,78 ton suchej kukurydzy. Przez dwa pierwsze tygodnie ładowano średnio dziennie około 4-5 samochodów, w 3 tygodniu były to średnio 3-4 samochody dziennie, natomiast w ostatnim tygodniu stycznia jednym transportem zakończono proces wydaniowy. Sprawny transport płodów rolnych z miejsca załadunku do miejsca docelowego jest jednym 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 zewnątrz firmy przetwórcze (odbiorcy produktu finalnego). Automatyzacja procesów logistycznych wraz z odpowiednio dobraną infrastrukturą logistyczną 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 kukurydzy.

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.

Bibliografia

- Belcar J., Gorzelany J.: Ocena wybranych parametrów jakościowych ziarna kukurydzy mokrej dostarczonej do Spółdzielni Rolników SAN w Głuchowie w latach 2015-2019. W: Postęp w naukach rolniczych i produkcji żywności (red. Gajdek G., Puchalski Cz.). Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów, 2020.
- FAOSTAT 2019. Pozyskano z: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>, Dostęp w dniu: 24.04.2021r.
- Grochowicz J., Zawisłak K.: Energooszczędne przetwarzanie ziarna kukurydzy. Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego. 2/4; 15-18, 2012.
- GUS 2018. Rocznik Statystyczny Rolnictwa; strony 140, 147.
- Krzyśko-Lupicka T., Kręcidło M., Kręcidło Ł., Mystek M.: Kondycjonowanie kukurydzy do produkcji bioetanolu. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. 587; 93-102, 2016.
- 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. Nr 2, Poznań, 2010.
- Kulińska E.: Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw. Logistyka. 1; 18-21, Poznań, 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.
- Rechnio C., Ruciński A.: Analiza efektywności procesu suszenia kukurydzy w urządzeniu o działaniu okresowym. Aparatura Badawcza i Dydaktyczna. 3; 138-145, 2018.
- Rokicki T., Wicki L.: Transport i magazynowanie w rolnictwie jako element logistyki. Wieś Jutra. 01; 41-42, 2010.
- Sapińska E., Balcerek M., Stanisław M.: Fermentacja alkoholowa gęstych zacierów kukurydzianych. Acta Agrophysica. 18(2); 431-441, 2011.
- Świerczek A.: Od łańcuchów dostaw do sieci dostaw. Logistyka. 1; 74-77, 2007.
- Walczak R.: Zastosowanie wskaźników oceny efektywności energetycznej do diagnozowania systemu suszącego. Diagnostyka. 34; 127-136, 2005.
- Waściński T.: Procesy logistyczne w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie. 103; 25-38, 2014.
- 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: Natalia Matłok 0000-0003-3658-7176

ORCID: Justyna Belcar 0000-0002-2306-8716

APLIKACJA AUTONOMICZNIE STEROWANYCH POJAZDÓW, JAKO KIERUNEK ROZWOJU LOGISTYCZNYCH SYSTEMÓW TRANSPORTU WEWNĘTRZNEGO

Sławomir Juściński¹

¹ Zakład Logistyki i Zarządzania Przedsiębiorstwem, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wprowadzenie

Systemy logistyczne, które organizują, koordynują proces przygotowań, zarządzają realizacją i kontrolują wykonanie wszystkich zadań na poszczególnych etapach łańcuchów dostaw dla kolejnych poziomów funkcjonalnych od rynków krajowych po globalny, muszą sprostać wyzwaniom współczesności. Innowacyjne rozwiązania w obszarze technicznym, technologicznym oraz informatycznym i komunikacyjnym oferują bardzo szerokie możliwości ich adaptacji i wdrożeń w celu uzyskania zarówno bieżących, jak też długofalowych pozytywnych efektów. Wszystkie podmioty gospodarcze uczestniczą na wolnym rynku w permanentnej grze o zdobycie i utrzymanie klientów na oferowane usługi i/lub produkty^{1,2,3}.

Poziom konkurencji, która nie ma ograniczeń geograficznych i prawnych, kreuje obszary zmian w systemach logistycznych. Przejawem tych działań jest nieustanny rozwój w aspekcie jakościowym logistyki poprzez innowacje oraz ilościowym, który dąży do jej rozbudowy funkcjonalnej. Systemy logistyczne stanowią kluczową dla uzyskania przewagi konkurencyjnej część struktury organizacyjnej wszystkich podmiotów gospodarczych: produkcyjnych, handlowych i usługowych^{4,5,6}.

¹ Tundys B., Rzczycki A., Drobiazgiewicz J.: Decyzje strategiczne w łańcuchach dostaw, Wyd. edu-Libri, ISBN 978-83-65648-53-2, Kraków-Legionowo, 2018.

² Cieśla M., Hat-Garncarz G., Opaśiak T., Nowakowski P.: Logistyka w łańcuchach dostaw, Wybrane zagadnienia, Wyd. Politechniki Śląskiej, ISBN 978-83-7880-422-2, Gliwice, 2017.

³ Matwiejczuk R.: Logistyka w zarządzaniu strategicznym, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2465-0, Warszawa, 2021.

⁴ Januła E., Kasińska M., Kwiatkiewicz P., Laskowski M.: Zapasy i magazynowanie, Wyd. As Pik, ISBN 978-83-66264-17-5, Warszawa, 2020.

⁵ Fajfer P., Koliński A., Andrzejczyk P.: Logistyka w jednostkach gospodarczych, Wyd. Instytut Logistyki i Magazynowania, ISBN: 978-83-63186-13-5, Poznań, 2015.

⁶ Banaszyk P., Kauf S., Szoltysek J.: Logistyka jako czynnik dobrostanu, Wyd. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2462-9, Warszawa, 2021.

Wyższy poziom rozwoju systemów logistycznych to szansa na efektywne funkcjonowanie w turbulentnym otoczeniu i redukcję poziomu zagrożeń dla płynności procesu wytwórczego i dystrybucyjnego produktów. Nowoczesne strategie pomagają dostosować się do preferencji konsumentów tak szybko, jak następują zmiany na rynku krajowym lub globalnym. Podstawowym wyzwaniem jest nieustanne kreowanie wartości produktów dla odbiorcy zarówno instytucjonalnego w zakresie logistyki przemysłowej B2B, (*ang. Business-to-Business*) i/lub logistyki dystrybucji zarówno dla firm, jak i dla klientów indywidualnych B2C, (*ang. Business-to-Consumer*)^{7,8,9}.

Reorientacja strategii i rekonfiguracja posiadanych zasobów może być realizowana we wszystkich strukturach systemów logistycznych, poczynając od^{10,11,12,13,14}:

- wyboru kluczowych dostawców,
- metody dostaw (*np. just in time*),
- kompleksowej obsługi procesu magazynowania materiałów i wyrobów gotowych,
- posiadanych lub wynajmowanych powierzchni magazynowych,
- rodzaju i struktury wyposażenia magazynów,
- zarządzania obsługą transportową własną lub wynajętą,
- wykorzystania własnych zasobów i sieci w procesach dystrybucyjnych lub korzystania z usług centrów logistycznych,
- poziomu wykorzystania systemów telematycznych do obsługi zleceń na potrzeby produkcji lub dystrybucji,
- aplikacji oprogramowania informatycznego do zarządzania magazynem.

⁷ Matwiejczuk R.: Logistyka w zarządzaniu strategicznym, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2465-0, Warszawa, 2021.

⁸ Banaszyk P., Kauf S., Szołtysek J.: Logistyka jako czynnik dobrostanu, Wyd. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2462-9, Warszawa, 2021.

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.: Analiza rynku nowoczesnych powierzchni magazynowych w centrach logistycznych, [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.): Logistyka dla regionu, ISBN 78-83-64377-27-3, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysł, s. 123-141, 2018.

¹¹ Krzyżaniak S., Niemczyk A., Majewski J., Andrzejczyk P.: Organizacja i monitorowanie procesów magazynowych, Instytut Logistyki i Magazynowania, ISBN 978-83-63186-76-0, Poznań, 2014.

¹² 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.

¹³ Juściński, S.: Analiza systemów telematycznych stosowanych w logistyce magazynowej i dystrybucyjnej, [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. 99-114, 2019.

¹⁴ 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, ISBN 978-83-64377-49-5, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, s. 155-180, 2021.

Rodzaje działań wspierających inteligentną fabrykę

Istotnym problemem dla logistyki magazynowej i dystrybucyjnej jest wysoki, ale niestabilny poziom podaży i popytu, problem sezonowości oraz nierównowaga rynkowa wywołana przez bieżące zdarzenia i zjawiska społeczne oraz gospodarcze. Spektakularny i bezprecedensowy wpływ na funkcjonowanie zarówno logistyki w podmiotach gospodarczych, jak też eurologistyki, a nawet logistyki globalnej wywarła pandemia COVID-19, a od lutego 2022 r. wojna w Ukrainie. Brak siły roboczej do ciężkiej i monotonnej pracy kompletacyjnej w przemyśle i handlu, drastycznie rosnące oczekiwania klientów dotyczące coraz tańszych i szybszych dostaw w odniesieniu do skokowego wzrostu zapotrzebowania na usługi handlu elektronicznego (*e-commerce*) w połączeniu z kurierską obsługą tych dostaw, a jednocześnie presja na ochronę środowiska, przyspieszyły działania mające na celu reorganizację procesu funkcjonowania logistyki produkcyjnej i magazynowej^{15,16,17,18}.

Wyzwaniem dla systemów logistycznych jest permanentna presja na redukcję kosztów, a to oznacza ocenę poziomu wydajności pracy, jakości świadczonych usług kompletacyjnych zleceń, generowanych kosztów stałych i zmiennych oraz porównanie pracy wykonywanej z udziałem pracowników z tymi obszarami, w których człowiek może być zastąpiony przez pojazdy i urządzenia autonomiczne. W podsumowaniu rentowności prowadzonej działalności w zakresie logistyki magazynowej aspekt cyklicznych comiesięcznych kosztów generowanych przez pracownika, wynikający z poziomu płacy brutto i narzutów (m.in. składek na ZUS) w poszczególnych podmiotach gospodarczych analizowany jest w kontekście jednorazowej ceny zakupu autonomicznego pojazdu transportowego, a później już tylko kosztów jego eksploatacji^{19,20,21}.

Logistyka 4.0 jest definiowana, jako sieć wzajemnych powiązań szeregu niezależnych systemów logistycznych z wykorzystaniem dużej ilości danych, które wspierają automatyzację, organizację i przebieg procesów, a tym samym stanowi filar dla idei Przemysłu 4.0. Wyrażenie to zostało użyte po raz pierwszy w 2011 r. na międzynarodowych targach HANNOVER MESSE, na których corocznie wystawia swoje produkty ponad 2500 firm z

¹⁵ Matwiejczuk R.: Logistyka w zarządzaniu strategicznym, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2465-0, Warszawa, 2021.

¹⁶ Galińska B. (red.): Współczesne aspekty zarządzania logistyką, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, ISBN: 978-83-66287-40-2, Łódź, 2019.

¹⁷ Szymonik A., Stanisławski R., Błaszcyk A.: Nowoczesna koncepcja ekologistyki, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-66491-30-4, Warszawa, 2021.

¹⁸ Juściński S.: Rynek usług pocztowych i kurierskich, Monografia naukowa, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, ISBN 978-83-7259-336-8, Lublin, 2021.

¹⁹ Kauf S., Kramarz M., Sadowski A.: Zarządzanie marketingowo-logistyczne. Kontekst zrównoważonego rozwoju, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-20534-8, Warszawa, 2019.

²⁰ Choromański W., Grabarek I., Kozłowski M., Czerepicki A., Marczuk K.: Pojazdy autonomiczne i systemy transportu autonomicznego, Wyd. Naukowe PWN SA, ISBN 978-83-01-21102-8, Warszawa, 2020.

²¹ Gąsowska M. K.: Zarządzanie procesami logistycznymi we współczesnych przedsiębiorstwach, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8270-091-6, Warszawa, 2022.

wszystkich kluczowych sektorów przemysłu. Główne cele stawiane przed współczesną logistyką, która obsługuje inteligentną fabrykę (*ang. Smart factory*) to redukcja kosztów zakupu i kapitału zaangażowanego w zapasy, oszczędność pracy i redukcja zatrudnienia, standaryzacja, elastyczność i bezpieczeństwo relacji w łańcuchach współpracujących podmiotów oraz dopasowanie do rosnących potrzeb klientów. Wykorzystywane do tego narzędzia to m.in. urządzenia autonomiczne, systemy automatyczne, drony oraz technologia RFID^{22,23,24,25}.



Rys. 1. Kluczowe elementy dla funkcjonowania inteligentnej fabryki

Źródło: <https://automatykab2b.pl/wydarzenia/53496-smart-factory-wspiera-walke-z-kryzysem-wywolany-pandemia-koronawirusa>

²² 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, Kraków, s. 143-161, 2018.

²³ <https://wdx.pl/2020/11/19/logistyka-4-0-przewodnik/>

²⁴ Bozarth C.C., Handfield R.,B.: Wprowadzenie do zarządzania operacjami i łańcuchem dostaw, Wyd. Helion, ISBN: 978-83-283-6747-0, 2021.

²⁵ Juściński S.: Analiza możliwości aplikacyjnych bezzałogowych statków powietrznych w innowacyjnych łańcuchach dostaw żywności, [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M., (red.) Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej, ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysław, s. 89-115, 2020.

Inteligentna fabryka to nowoczesny zakład produkcyjny, wykorzystujący szereg innowacyjnych technologii. Koncepcja SMAC (społeczność, mobilność, analityka i chmura, *ang. social, mobile, analytics and cloud*) stanowi połączenie czterech technologii stanowiących wsparcie dla innowacji biznesowych i praktyczne przejście z e-biznesu do biznesu cyfrowego (rys. 1).

Do najważniejszych elementów kształtujących obraz współczesnych systemów logistycznych m.in. należy zaliczyć:

- proces *Big Data* polegający na gromadzeniu, przetwarzaniu oraz analizie dużych strumieni danych, pozyskiwanych w czasie rzeczywistym z różnych źródeł, a w tym z podsystemów logistycznych, pod kątem ich praktycznego wykorzystania;
- autonomiczne pojazdy obsługujące logistyczne procesy transportowe przy zapewnieniu optymalnych tras zaplanowanych komputerowo,
- cyfrową integrację z dostawcami, która umożliwi łatwy dostęp do stanu zapasów i kontrolę dostaw tzw. „w drodze”;
- cyfrowe czujniki i technologie sieciowe określane, jako Internet rzeczy (IoT).

Automatyzacja procesów transportowych

Amerikanin Arthur M. (Mac) Barrett Jr. wynalazł w 1953 r. prototyp pojazdu AGV (*ang. Automated Guided Vehicle*) do przewozu towarów. W 1954 r. jako właściciel Barrett Electronics, Inc. w Northbrook w stanie Illinois, wdrożył wynalazek i wprowadził na rynek pojazd o nazwie „*Guide-O-Matic*”, czyli zmodyfikowany ciągnik holowniczy do zbiorowego transportu towarów. Arthur M. (Mac) Barrett Jr. nazwał swój wynalazek „pojazdem bez kierowcy”. Był on pierwszym rozwiązaniem stanowiącym praktyczne wykorzystanie automatyzacji do prac magazynowych. Wyposażony został w system elektroniczny na bazie lamp elektronowych i mógł poruszać się podążając za sygnałem emitowanym przez elektryczny przewód napowietrzny, rozmieszczony na terenie magazynu (sterowanie metodą indukcyjną). Po modyfikacji układu ciągnik uzyskał możliwość poruszania się wzdłuż przewodu zainstalowanego w szczelinie na podłodze. Pionierski automatyczny system transportowy pojazdów kierowanych (*ang. Automated Guided Vehicle System, AGVS*) został zainstalowany w 1954 r. w firmie Mercury Motor Freight Company w mieście Columbia w stanie Południowa Karolina w USA. Barrett Electronics, Inc. przekształciła się w Savant Automation, Inc., która kontynuuje dziedzictwo biznesowe polegające na dostarczaniu wydajnych, niedrogich i uniwersalnych systemów AGV do szerokiej gamy zastosowań w systemach logistycznych. Wczesne rozwiązania AGV dostępne na rynku wymagały wielu etapów, na których następowało ich udoskonalanie tak, aby były łatwiejsze w instalacji i obsłudze serwisowej oraz niezawodne i konkurencyjne cenowo w stosunku do innych rozwiązań^{26,27,28}.

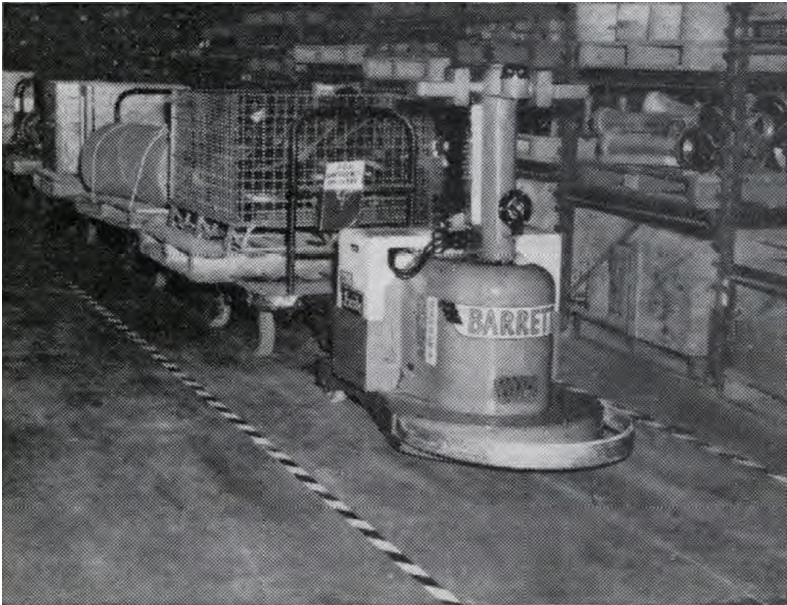
²⁶ <https://agvsystems.com/>

²⁷ Ullrich G.: *Automated Guided Vehicle Systems, A Primer with Practical Applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-662-44813-7, DOI 10.1007/978-3-662-44814-4, 2015.

²⁸ <https://www.mhlnews.com/chain-of-thought/article/22053693/agvs-follow-paths-undreamed-of-by-inventor>

Przykładem dużych projektów wdrożonych do eksploatacji były²⁹:

- pierwszy wielkoskalowy system AGV uruchomiony w 1973 r. w fabryce Volvo w Kalmar w Szwecji, służący do transportu nadwozi samochodów w montażu końcowym, do którego wykorzystano samojezdne platformy;
- pierwszy automatyczny system transportowy pomiędzy magazynami i wydziałami produkcyjnymi, wdrożony do eksploatacji w latach 80. XX wieku w zakładach John Deere w Waterloo w stanie Iowa w USA.



Rys. 2. Pierwszy pojazd AGV zastosowany w 1954 r., jako ciągnik do przemieszczania pięciu przyczep w firmie Mercury Motor Freight Company w Kolumbii, Południowa Karolina w USA

Źródło: https://www.it-production.com/wp-content/uploads/2019/05/web_159628_fruhesFTS.jpg

Wózek samojezdny AGV, aby mógł być traktowany, jako element wpływający na uzyskanie przewagi nad konkurencją musiał być pojazdem bezzałogowym sterowanym za pomocą odpowiednich układów nawigacji, które nie wymagały bezpośredniej obsługi operatora podczas wykonywania czynności transportowej. Ładowność wózków AGV stopniowo rozbudowywana jest obecnie w przedziale od kilku kilogramów do nawet kilkuset ton³⁰.

²⁹ Choromański W., Grabarek I., Kozłowski M., Czerepicki A., Marczuk K.: Pojazdy autonomiczne i systemy transportu autonomicznego, Wyd. Naukowe PWN SA, ISBN 978-83-01-21102-8, Warszawa, 2020.

³⁰ <https://moffettautomatedstorage.com/industry-4-0/>

Czynniki wpływające na rozwój pojazdów AGV dla logistyki magazynowej i logistyki produkcji na przestrzeni ostatnich kilku dekad, to³¹:

- dążenie do jednoczesnej redukcji kosztów pracy i podwyższenia wydajności pracy,
- rozwiązanie problemu niedoboru wykwalifikowanej siły roboczej na rynku, fluktuacji kadr oraz kosztów szkoleń przy wysokiej rotacji zatrudnienia;
- organizacja pracy na trzy zmiany,
- redukcja potencjalnych zagrożeń dla pracowników poprzez wyeliminowanie ich obecności podczas wykonywania czynności transportowych w obiektach o bardzo wysokim udziale instalacji technicznych i stanowisk wchodzących w skład parku maszynowego;
- zwiększenie elastyczności procesów transportowych.

Rodzaje systemów nawigacji AGV

Każdy rodzaj autonomicznego pojazdu kierowanego bez udziału operatora, takiego jak: ciągnik holowniczy, wózek transportowy czy wózek widłowy wymaga automatycznego systemu naprowadzania, który informując na bieżąco o jego położeniu, stanowi punkt odniesienia dla systemu zarządzającego jego ruchem. Należy podkreślić, że wszystkie z istniejących systemów nawigacji dla pojazdów AGV posiadają zalety i wady, a także zróżnicowany jest sumaryczny poziom kosztów ich zakupu i użytkowania. Rozwój pojazdów autonomicznych w intralogistyce wypracował i rozwinął szereg technologii, które pozwoliły na powstanie pierwszych pojazdów autonomicznych w transporcie drogowym ładunków³².

Stąd kryterium wyboru technologii prowadzenia i rodzaju pojazdu autonomicznego powinno być oceniane w zakresie warunków istotnych dla wybranego projektu, biorąc pod uwagę^{33,34}:

- dedykowane rozwiązanie dla danego rodzaju pojazdu,
- rodzaj przestrzeni użytkowej (np. magazyn, hala produkcyjna czy linia montażowa);
- oczekiwaną wydajność godzinową, dzienną lub długookresową pojazdu,
- konieczność pracy w szerokim zakresie temperatur (np. od -40°C do 70°C);
- odporność na wstrząsy i wibracje podłoża w fabrykach i magazynach,
- posiadanie lub brak magistrali CAN (*ang. Controlled Area Network*), czyli standaryzowanego systemu informatycznego, który umożliwi komunikację pomiędzy różnymi elektronicznymi układami odpowiadającymi za sterowanie ruchem i kierunkiem, w którym porusza się pojazd AGV;
- posiadane cyfrowe porty I/O (*Input/Output*) i porty szeregowo do podłączenia czujników i elementów wykonawczych;

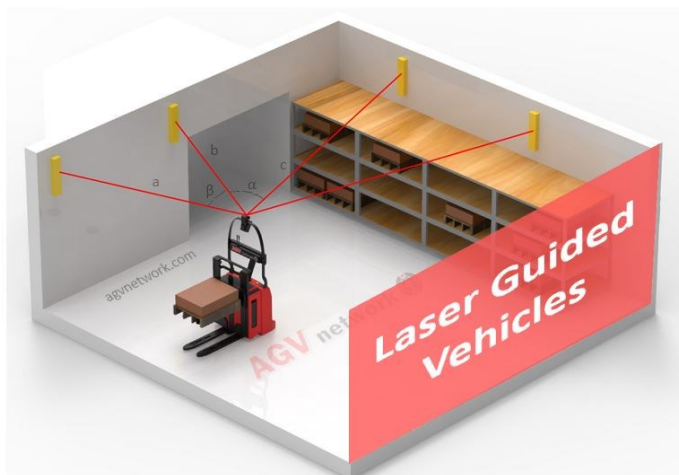
³¹ <https://www.fredagv.com/news/worker-shortages-in-manufacturing-make-agvs-more-beneficial-than-ever/>

³² Choromański W., Grabarek I., Kozłowski M., Czerepicki A., Marczuk K.: Pojazdy autonomiczne i systemy transportu autonomicznego, Wyd. Naukowe PWN SA, ISBN 978-83-01-21102-8, Warszawa, 2020.

³³ Ullrich G.: Automated Guided Vehicle Systems, A Primer with Practical Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-662-44813-7, DOI 10.1007/978-3-662-44814-4, 2015.

³⁴ <https://www.neousys-tech.com/en/discover/fanless-in-vehicle-pc/automated-guided-vehicle>

- posiadane moduły komunikacji bezprzewodowej: Wi-Fi, 4G lub obu w systemie, które zapewniają bezprzewodową komunikację z innymi urządzeniami, komputerem centralnym lub systemami chmurowymi (*ang. cloud computing*).



Rys. 3. Zasada działania nawigacji pojazdu AGV z technologią laserową

Źródło: https://www.agvnetwork.com/images/technology/navigation-systems/laser_navigation_LGV.jpg

LGV (*ang. Laser Guided Vehicle*), to pojazd AGV, który wykorzystuje laserową technologię pozycjonowania do nawigacji swojego położenia w obsługiwanej przestrzeni (rys. 3). Mapowanie przestrzeni realizowane jest dzięki zainstalowanemu na pojeździe dalmierzowi laserowemu i głowicy mapującej, która nawiguje urządzeniem. Urządzenie nawigacyjne emituje wiązkę promieni lasera w zakresie 360 stopni, które po dotarciu do odbłyśników płaskich lub cylindrycznych zostają odbite i wracają do głowicy. Istota działania systemu polega na uzyskaniu minimum trzech sprzężeń zwrotnych, które umożliwiają triangulację, czyli obliczenie pozycji dzięki zaawansowanym algorytmom. Istotną dla procesora jest różnica czasu pomiędzy wyemitowanym i odebrany sygnałem laserowym. Dostępne na rynku technologie laserowe obliczają i korygują położenie obiektu od 30 do 40 razy na sekundę. Stąd technologia laserowa odznacza się najwyższą precyzją, dzięki której pojazd automatyczny jest w stanie niezwykle dokładnie omijać przeszkody na obszarze roboczym^{35,36}.

Zalety nawigacji laserowej, to^{37,38}:

- łatwość i stosunkowo krótki czas aplikacji technologii LGV w magazynach i halach przemysłowych, poprzedzony symulacją trasy w systemie zarządzania pojazdu z jednoczesną możliwością wyznaczenia w tym samym korytarzu transportowym dowolnej ilości wirtualnych tras przejazdu;

³⁵ <https://www.agvnetwork.com/types-of-navigation-systems-automated-guided-vehicles>

³⁶ <https://www.neousys-tech.com/en/discover/fanless-in-vehicle-pc/automated-guided-vehicle>

³⁷ <https://www.agvnetwork.com/types-of-navigation-systems-automated-guided-vehicles>

³⁸ <https://www.neousys-tech.com/en/discover/fanless-in-vehicle-pc/automated-guided-vehicle>

- pojazdy LGV mają wysoką wydajność transportową dzięki uzyskiwaniu prędkości roboczej dochodzącej do 2 m/s,
- instalacja składająca się z szeregu odbłyśników jest łatwa do montażu na wysokości 2,5 m (jako taśmy samoprzylepne lub mocowane śrubami), a dodatkowo elementy tego typu nie ingerują w żaden sposób w przestrzeń użytkową obiektu;
- technologia gwarantuje bardzo dokładne pozycjonowanie pojazdu za równo na trasie, jak też w punktach załadunku i rozładunku z tolerancją ± 5 mm;
- instalacja nie generuje kosztów eksploatacyjnych, ponieważ odbłyśniki są pasywne i trwałe, a jedyną czynnością serwisową jest utrzymywanie ich powierzchni w czystości oraz kontrola ustawienia.

Wady nawigacji laserowej, to³⁹:

- wysoka cena pojazdów LGV z uwagi na skomplikowane sterowanie pokładowe i precyzyjne urządzenia nawigacyjne,
- laser skanujący umieszczony jest na górze pojazdu w celu łatwego dostępu do punktów pozycjonowania, stąd triangulacja laserowa nie jest zalecana do systemów transportu na podwoziach lub platformach;
- modyfikacje systemu w zakresie tras i czynności roboczych wymagają udziału pracowników serwisu producenta urządzeń.

Technologia nawigacji laserowej jest dedykowana do projektów, w których niezbędne są szybkie i wydajne pojazdy, konieczność zachowania wysokiej precyzji ich przemieszczania się i zatrzymania oraz wyznaczenie dużej ilości tras z wieloma punktami obsługi. Stąd nawigacja laserowa jest obecnie jednym z najbardziej rozwijanych systemów nawigacji, które są szeroko stosowane w zautomatyzowanych wózkach widłowych użytkowanych w wysokich magazynach ze względu na niezawodność i dokładność pracy.

Nawigacja pojazdu AGV z wykorzystaniem taśmy magnetycznej wymaga wyznaczenia trasy przejazdu, po której będzie transportowany ładunek poprzez wykorzystanie specjalnego materiału ferromagnetycznego. Linia tworzona jest za pomocą taśmy naklejanej na powierzchnię podłogi magazynu lub hali przemysłowej. Taśma, z której tworzony jest tor magnetyczny jest łatwa w montażu z użyciem kleju o wysokiej przyczepności, a jej standardowe wymiary (grubość 1 mm i szerokość 50 mm) nie stanowią w praktyce ingerencji w płaskość i równość podłoża. Zautomatyzowany pojazd wyposażony jest w czujniki, które wykrywają pole magnetyczne wytwarzane przez taśmę i kierują pojazdem po torze przez nią utworzonym⁴⁰.

Zalety nawigacji z wykorzystaniem taśmy magnetycznej^{41,42}:

- prosty i szybki montaż taśmy oraz modyfikacja tras przejazdu poprzez dodanie lub usunięcie wybranego odcinka taśmy samoprzylepnej z podłogi,
- brak trwałej i inwazyjnej ingerencji w podłoże oraz konieczności czasowego wyłączenia pomieszczeń z użytkowania,
- pojazdy AGV korzystające z tej technologii są tańsze i mają wysoką wydajność użytkową,
- pojazdy AGV otrzymują bardzo dokładne pozycjonowanie z tolerancją ± 2 mm,

³⁹ <https://www.agvnetwork.com/types-of-navigation-systems-automated-guided-vehicles>

⁴⁰ j.w.

⁴¹ <https://www.solving.com/products/automated-guided-vehicles-agv-for-heavy-loads/>

⁴² <https://www.agvnetwork.com/types-of-navigation-systems-automated-guided-vehicles>

- niezawodna i odporna na zakłócenia technologia nawigacji, na którą nie ma wpływu ota-
cające środowisko pracy poprzez kurz, hałas i drgania;



Rys. 4. Zasada działania nawigacji pojazdu AGV z wykorzystaniem taśmy magnetycznej na powierzchni transportowej

Źródło: https://www.agvnetwork.com/images/technology/navigation-systems/magnetic_navigation_agv.jpg

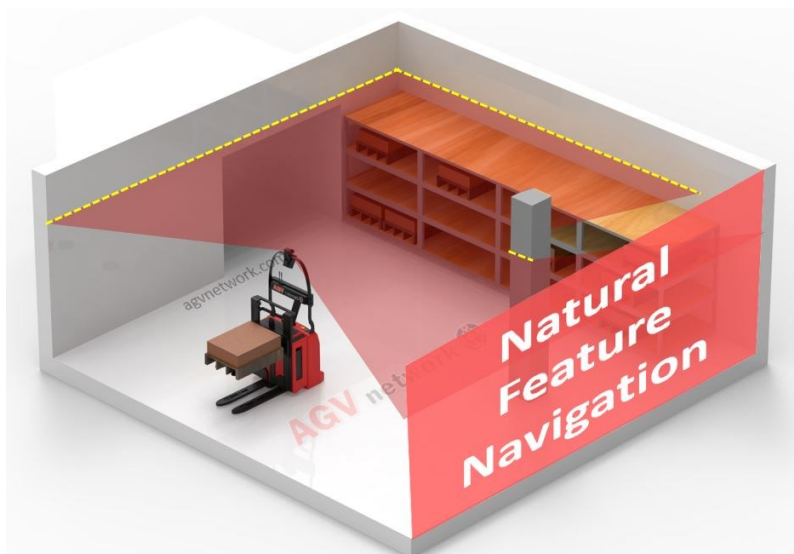
Wady nawigacji z wykorzystaniem taśmy magnetycznej⁴³:

- wysokie koszty zakupu taśmy magnetycznej, szczególnie istotne w przypadku rozbudowanych instalacji z długimi drogami transportowymi;
- technologia nie jest polecana do budowy ścieżek transportowych o bardzo złożonej strukturze (liczne zakręty, nawroty i skrzyżowania);
- trudne warunki eksploatacji w długim horyzoncie czasowym powodują zużywanie mechaniczne taśmy (przetarcia, uszkodzenia), a tym samym wadliwe działanie nawigacji lub wyłączenie trasy z użytkowania, stąd konieczność konserwacji np. przez pokrycie jej żywicą epoksydową lub innymi taśmami ochronnymi.

Nawigacja magnetyczna jest preferowana przede wszystkim w przypadku użytkowania wózków AGC (*ang. Automated Guided Carts*), czyli wózków platformowych. Tego typu nisko profilowe pojazdy AGV wykorzystują dokładność nawigacji magnetycznej w czasie przewozu ładunku, który jest zaczepiany do nich od dołu. Nawigacja magnetyczna powinna być stosowana do dobrze zdefiniowanych tras bez konieczności ich częstej modyfikacji⁴⁴.

⁴³ j.w.

⁴⁴ https://www.niguru.com/2019/10/mengenal-agv-automated-guided-vehicle_3.html



Rys. 5. Zasada działania nawigacji pojazdu AGV z wykorzystaniem tzw. nawigacji naturalnej

Źródło: https://www.agvnetwork.com/images/technology/navigation-systems/Natural_Feature_Navigation_1.jpg

Pojęcie nawigacji naturalnej (*ang. Natural Navigation*) to umowne określenie zbioru kilku nowoczesnych technologii, określane także mianem nawigacji opartej na konturach. Kluczowym elementem tego typu nawigacji jest SLAM (*ang. Simultaneous Localization And Mapping*), czyli Jednoczesna Lokalizacja i Mapowanie. SLAM to algorytm obliczeniowy, który rozwiązuje problem konstruowania i/lub aktualizowania mapy nieznanego środowiska przy jednoczesnym śledzeniu lokalizacji obiektu, który się w nim porusza. Algorytmy tego typu zostały opracowane przy wykorzystaniu koncepcji geometrii obliczeniowej i wizji komputerowej, stanowiącej interdyscyplinarną dziedzinę nauki zajmującą się sposobem, w jaki komputery mogą wypracować wysoki poziom zrozumienia obserwowanej rzeczywistości z analizy cyfrowych obrazów lub filmów^{45,46,47}. Nawigacja SLAM zamontowana na pojeździe AGV zapewnia bezbłędne odwzorowanie parametrów przestrzennych otoczenia, w którym aktualnie jest pojazd z jednoczesną funkcją lokalizacji tego miejsca. Pozycjonowanie następuje poprzez porównanie danych zebranych w czasie rzeczywistym z informacjami, które otrzymuje z bazy danych o przestrzeni transportowej. Technologia SLAM do wykonania stosownych obliczeń potrzebuje bardzo dużych pakietów danych, dlatego pojazdy AGV muszą mapować otoczenie za pomocą różnych czujników optycznych⁴⁸. Do grupy tego typu czujników zalicza się: kamery wizyjne, dalmierze laserowe lub czujniki LiDAR (*ang. Light Detection and Ranging*), stanowiące połączenie lasera z teleskopem. Jest to nowoczesna metoda tworzenia numerycznego modelu terenu poprzez pomiar odległości za pomocą promieni

⁴⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Simultaneous_localization_and_mapping

⁴⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_geometry

⁴⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_vision

⁴⁸ <https://ucgosu.pl/2018/03/slam-simultaneous-localisation-and-mapping/>

laserowych. Laser emituje bardzo krótkie i dokładnie odmierzone, lecz silne impulsy światła o wybranej długości fali w ściśle określonym kierunku. Promienie, które ulegają rozproszeniu są obserwowane przez teleskop wewnątrz urządzenia i rejestrowane przez detektory: fotodiody oraz kamery CCD (*ang. Charged Coupled Device*) z przetwornikami kondensatorowymi i kamery CMOS (*ang. Complementary Metal Oxide Semiconductor*) z przetwornikami tranzystorowymi, który rejestrują i badają natężenie rozproszonego światła, a uzyskane informacje podlegają analizie programem komputerowym.^{49,50} Komplet danych jest łączony z wewnętrzną bezwładnościową jednostką pomiarową (*ang. Inertial Measurement Unit IMU*), aby określić i ponownie obliczyć aktualną pozycję pojazdu AGV. IMU jest jednostką do nawigacji inercyjnej, która jest wyposażona w jeden lub kilka trójosiowych żyroskopów i trójosiowych przyspieszeniomierzy. Technologia tego typu umożliwi bieżące śledzenie orientacji badanego obiektu w dwóch osiach⁵¹.

*Zalety SLAM Natural Navigation*⁵²:

- jest technologią przyszłości o bardzo wysokim potencjale rozwojowym, w którą inwestuje grupa czołowych producentów pojazdów i robotów mobilnych;
- zapewnia prostą metodykę aplikacji poprzez narysowanie trasy na ekranie monitora komputerowego lub fizyczne poprowadzenie pojazdu po wyznaczonej trasie, aby mógł ją zmapować;
- modyfikacja i tworzenie nowych tras jest tak samo proste, jak pierwsza ich aplikacja;
- niskie sumaryczne koszty prac związanych z instalacją,
- brak jakichkolwiek elementów fizycznych zewnętrznej infrastruktury sieciowej, stąd nie ma potrzeby mechanicznej ingerencji ani w podłoże, ani w otoczenie (np. ściany, elementy konstrukcyjne);
- brak typowych kosztów serwisowania i konserwacji elementów materialnych sieci, gdyż one nie istnieją.

*Wady SLAM Natural Navigation*⁵³:

- ograniczona niezawodność technologii na obecnym etapie jej rozwoju, wynikająca z potrzeby dynamicznego przetwarzania bardzo dużych strumieni danych z jednoczesną ich analizą, niezbędna do sterowania procesem przemieszczania – problem jest istotny w pomieszczeniach przemysłowych i/lub magazynowych o bardzo zróżnicowanej, nietypowej lub zmiennej konfiguracji wyposażenia;
- pojazdy wyposażone w taką technologię mają nadal bardzo wysoką cenę,
- zapewnia mniejszą dokładność pozycjonowania na trasie punktów załadunku i wyładunku w porównaniu z innymi metodami nawigacji.

⁴⁹ <https://pl.wikipedia.org/wiki/Lidar>

⁵⁰ <https://www.izabezpieczenia.pl/kompendium-wiedzy/faq-pytania/czym-rozni-sie-kamera-cmos-od-ccd-jaki-rodzaj-kamery-jest-lepszy/>

⁵¹ https://pl.wikipedia.org/wiki/Nawigacja_inercyjna

⁵² <https://www.agvnetwork.com/types-of-navigation-systems-automated-guided-vehicles>

⁵³ <https://www.agvnetwork.com/types-of-navigation-systems-automated-guided-vehicles>

SLAM Natural Navigation jest innowacyjnym, dynamicznie rozwijanym wyższym poziomem nawigacji w odniesieniu do technologii laserowej z użyciem znaczników (odbłyśników) lub taśm magnetycznych. Pojazd AGV wyposażony w tego typu nawigację posiada możliwość przededefiniowania trasy przejazdu i omijania przeszkód w czasie rzeczywistym, ale tylko w otoczeniu o niskim lub ograniczonym poziomie zmienności w czasie. Generalnie dedykowana jest do automatycznych wózków paletowych i automatyzowanych pojazdów holowniczych⁵⁴.

Nawigacja pojazdu AGV z wykorzystaniem punktów magnetycznych (*ang. Magnetic Spots Navigation*) realizowana jest za pomocą małych cylindrycznych znaczników magnetycznych osadzonych w sposób trwały na podłodze hali i/lub magazynu. Znaczniki to cylindryczne magnesy o wymiarach rzędu 20x10 mm (0,8x04 cala). Są one osadzone w odległości co 250-500 mm tak, aby utworzyły wirtualną trasę. Pojazdy AGV przemieszcza się wzdłuż ścieżki transportowej korzystając z informacji, jaką jest pole magnetyczne wytwarzane przez znaczniki. W tym procesie istotną rolę odgrywa zjawisko Halla, polegające na wystąpieniu różnicy potencjałów w przewodniku, w którym płynie prąd elektryczny wówczas, gdy ten przewodnik jest w poprzecznym do płynącego prądu polu magnetycznym. Do nawigowania konieczne są również enkodery, czyli przetworniki, których zadaniem jest generowanie impulsów stosownie do przyrostów kątowych podczas ruchu obrotowego oraz czujniki żyroskopowe, aby możliwe było kalibrowanie ruchu w aspekcie błędów kąta skrętu^{55,56}. Ruch pojazdu AGV realizowany jest dokładnie wzdłuż trasy, która wcześniej została wprowadzona do jego systemu zarządzania, a znaczniki magnetyczne stanowią punkty kontrolne.



Rys. 6. Zasada działania nawigacji pojazdu AGV z wykorzystaniem punktów magnetycznych

Źródło: https://www.agvnetwork.com/images/technology/navigation-systems/magnetic_spot_navigation_agv.jpg

⁵⁴ j.w.

⁵⁵ https://pl.wikipedia.org/wiki/Enkoder_przyrostowy

⁵⁶ https://pl.wikipedia.org/wiki/Zjawisko_Halla

Zalety *Magnetic Spots Navigation*⁵⁷:

- zapewnia wysoką precyzję pozycjonowania pojazdu podczas czynności roboczych z dokładnością do $\pm 2,5$ mm,
- relatywnie prosty proces budowy sieci, wymagający tylko wykonania niewielkich otworów w podłodze, w których montowane są pojedyncze znaczniki, a same otwory są następnie zalewane żywicą epoksydową;
- niskie sumaryczne koszty wdrożenia i budowy instalacji,
- instalacja wyróżnia się wysoką trwałością w procesie eksploatacji i nie wymaga konserwacji ani serwisowania.

Wady *Magnetic Spots Navigation*⁵⁸:

- modyfikacja istniejących tras transportowych lub dodawanie nowych punktów jest stosunkowo czasochłonne w porównaniu do innych metod nawigacji,
- metoda jest działaniem inwazyjnym, stąd utrudnienia na czas montażu dla innych procesów produkcyjnych lub magazynowych.

Inne metody sterowania stosowane przez producentów pojazdów AGV, to:

- Pętla indukcyjna, która wykorzystuje pole magnetyczne wytwarzane przez przepływ prądu elektrycznego o stałej, określonej częstotliwości w kablu umieszczonym pod podłogą na trasie przejazdu. Analogicznie do metody z taśmą magnetyczną czujniki zamontowane w pojeździe rejestrują natężenie pola. Istota metody polega na zachowaniu takiego kierunku ruchu przez pojazd AGV, aby rejestrowane natężenie pola magnetycznego miało cały czas jak najwyższą wartość. Użycie przewodu pod napięciem umożliwia bieżące ładowanie akumulatorów pojazdu podczas transportu.
- Metoda refleksyjna jest tożsama, co do zasady działania z metodą wykorzystującą taśmę magnetyczną. Elementem naklejanym na podłozę jest taśma refleksyjna, a utworzona przez nią linia podlega śledzeniu za pomocą czujników światła zamontowanych na pojeździe AGV.
- Nawigacja za pomocą kodów QR także korzysta z metody odczytu informacji rozmieszczonej na podłodze. Kody QR są instalowane wzdłuż zaprojektowanej trasy transportowej, a zintegrowana z systemem napędu kamera w pojeździe AGV kontroluje kolejne pozycje poprzez skanowanie informacji na etykiecie tego kodu.

Ewolucyjny rozwój nawigacji pojazdów AGV następował równolegle do aplikacji na rynku kolejnych nowoczesnych technologii informacyjnych i informatycznych. Należy jednak podkreślić, że kolejny etap ich rozwoju muszą być skorelowane z rozbudową i wdrażaniem jeszcze nowszych technologii przez podmioty gospodarcze, które wybrały drogę pełnej cyfryzacji.

Obecna generacja pojazdów AGV jest sterowana dzięki wykorzystaniu sieci WLAN (Wi-Fi) lub sieci 4G/LTE. Sieć Wi-Fi obsługuje pojazdy AGV w zakresie bezpośredniej komunikacji typu: pojazd-pojazd V2V (*ang. Vehicle to Vehicle*) i pojazd-infrastruktura V2I (*ang. Vehicle-to-Infrastructure*), natomiast systemy 4G/LTE obsługują ponadto łączność pojazd-

⁵⁷ <https://www.agvnetwork.com/types-of-navigation-systems-automated-guided-vehicles>

⁵⁸ <https://www.agvnetwork.com/types-of-navigation-systems-automated-guided-vehicles>

sięć V2N (*ang. Vehicle-to-Network*). Należy podkreślić, że oba systemy mają istotne ograniczenia w zakresie komunikacji równorzędnej. Wi-Fi posiada niski zasięg i niską niezawodność przy jednoczesnym dużym opóźnieniu, a 4G/LTE oferuje wyższe parametry w zakresie zasięgu i niezawodności, ale nadal nierozwiązanym problemem pozostało duże opóźnienie⁵⁹.

Technologia przyszłości w transporcie to „pojazd do wszystkiego” V2X (*ang. Vehicle-to-Everything*). Są z nią związane takie obszary nawigacji i sterowania, które gwarantują budowanie^{60,61,62}.

- rzeczywistości Rozszerzonej AR (*ang. Augmented Reality*), czyli systemu łączącego świat rzeczywisty z generowanym komputerowo;
- kooperacyjnej jazdy z zapewnieniem komunikacji między pojazdami będącymi w ruchu,
- rozszerzonej wizji elektronicznej NLOS (*ang. Non-Line-Of-Sight*), która zapewni bezbłędną lokalizację obiektu w zróżnicowanym i zawierającym liczne przeszkody terenie;
- jeszcze bardziej precyzyjnego pozycjonowania.

Realizacja technologii typu V2X wymaga przede wszystkim wdrożenia nowych standardów komunikacji, które zapewnią ogromną przepustowość podczas realizacji sesji łączności i wymiany danych, zapewniając:

- czas opóźnienia poniżej milisekundy dla aplikacji czasu rzeczywistego,
- mobilny Internet szerokopasmowy z wydajnością powyżej jednego Gigabita na sekundę,
- niezawodność transmisji.

Technologią generującą nowe standardy w łączności i komunikacji jest 5G, które należy traktować, jako drogę do dalszego rozwoju pojazdów autonomicznych w kierunku pełnej ich cyfryzacji⁶³.

Rodzaje systemów AGV

Usługi transportowe realizowane są w przestrzeni magazynowej i produkcyjnej przez pojazdy o różnej konstrukcji, wielkości, nośności i systemie sterowania. Każda duża wytwórnia takich pojazdów posiada w swojej ofercie firmowe modele, zazwyczaj reprezentowane przez klasy wielkości, wersje i odmiany z możliwością wyboru opcji wyposażenia w zakresie systemów sterowania i zarządzania ruchem pojazdu, dokonywanej w aspekcie zadań przypisanych do realizacji systemowi logistycznemu w przedsiębiorstwie^{64,65,66}.

⁵⁹ <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21213076/where-are-automated-guided-vehicles-going-and-how-will-they-get-there>

⁶⁰ https://pl.wikipedia.org/wiki/Rzeczywistość_rozszerzona

⁶¹ <https://www.media.stellantis.com/pl-pl/opel/press/opel-prezentuje-kooperacyjny-system-wysoce-zautomatyzowanej-jazdy>

⁶² https://en.wikipedia.org/wiki/Non-line-of-sight_propagation

⁶³ <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21213076/where-are-automated-guided-vehicles-going-and-how-will-they-get-there>

⁶⁴ Banaszyk P., Kauf S., Szołtysek J.: Logistyka jako czynnik dobrostanu, Wyd. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2462-9, Warszawa, 2021.

⁶⁵ Gąsowska M. K.: Zarządzanie procesami logistycznymi we współczesnych przedsiębiorstwach, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8270-091-6, Warszawa, 2022.

⁶⁶ Januła E., Kasińska M., Kwiatkiewicz P., Laskowski M.: Zapasy i magazynowanie, Wyd. As Pik, ISBN: 978-83-66264-17-5, Warszawa, 2020.

Najbardziej popularne rodzaje AGV do zastosowań magazynowych i przemysłowych dostępne na rynku, to przede wszystkim⁶⁷:

- pojazdy holownicze (*ang. Towing Vehicles*), to grupa, która reprezentowana jest przez modele różnych producentów, powstała na samym początku rozwoju tej metody transportu, a dedykowana jest do holowania wózków oraz przyczep o masie do 25 ton;
- pojazdy pojedynczego załadunku (*ang. Unit Load Vehicles*), to wózki o kompaktowej konstrukcji mające postać platformy transportowej, na której są umieszczone ładunki, a konstrukcja takiej platformy umożliwia załadunek i przewiezienie towarów o różnych rozmiarach, kształtach i masie do 27 ton;
- pojazdy widłowe (*ang. Fork Vehicles*) zapewniają transportu ładunków z możliwością ich przemieszczania zarówno w poziomie, jak i w pionie, a będące na wyposażeniu czujniki i czytniki umożliwiają również automatyczną identyfikację ładunku, stąd w magazynie mają możliwość wyszukiwaniem produktów, kontroli stanów i inwentaryzacji w czasie rzeczywistym;
- proste wózki transportowe (*ang. Cart Vehicles*) stanowią najbardziej liczną kategorię pojazdów, które są przystosowane do wykonywania zadań, jako holowniki lub wózki pojedynczego załadunku, ale generalnie są to pojazdy mniejsze i zdecydowanie tańsze od ww. typów pojazdów, a ich ładowność jest rzędu do 1400 kg.



Rys. 7. Pojazdy AGV z konfiguracją osprzętu firmy Savant Automation obsługują praktycznie każdą opcję transportu wewnętrznego

Źródło: https://agvsystems.com/?page_id=6798

⁶⁷<https://www.haleprzemyslowe.plus/wozki-agv-w-halach-przemyslowych-rodzaje-i-stosowanie/>

- Pojazdy AGV ze względu na zakres czynności można podzielić na dwie grupy⁶⁸:
- przeznaczone do kompletacji, czyli przemieszczające ładunki pomiędzy dwoma wyznaczonymi punktami od miejsca składowania do stanowiska kompletacyjnego, obsługując zamknięte, wydzielone strefy w magazynie, a najczęściej tego typu rozwiązania stosowane są przy realizacji zamówień dla rynku *e-commerce* lub przy dostawach elementów niezbędnych w procesie montażu;
 - wykonujące transport ładunków pomiędzy stanowiskami lub strefami składowania, czyli na etapie przyjęcia ładunku do magazynu, przewożenia na regały, obsługi miejsc składowania oraz dostaw na linie produkcyjne, stąd są eksploatowane w strefach, w których występuje możliwość interakcji z ludźmi i/lub innymi maszynami.

Obszary zastosowań systemów AGV

Wózki AGV od momentu swojego pierwszego wdrożenia do działalności gospodarczej były wykorzystywane do usprawnienia procesów transportowych i osiągnięcia w ten sposób wyższej wydajności, a tym samym redukcji kosztów. Głównym obszarem zastosowań wózków AGV w latach 70. i 80. XX wieku był przemysł motoryzacyjny, a koncerny Volvo i Volkswagen używały w swych zakładach AGV, jako platform transportowych do przemieszczania karoserii samochodów osobowych podczas montażu wyposażenia. Na początku lat 90. XX wieku powszechna dominacja pojazdów AGV w przemyśle motoryzacyjnym została zredukowana na rzecz wdrożonej przez koncerny japońskie bardzo taniej produkcji samochodów osobowych na dedykowanych liniach montażowych dla każdego modelu oddzielnie. Było to impulsem do opracowań nowych modeli i wdrożeń realizowanych przez producentów pojazdów AGV, którzy musieli szukać klientów w innych obszarach zastosowań. W latach 90. XX wieku po rozbudowie w pojazdach AGV elementów sterujących, wdrożeniu systemów gwarantujących wyższą niezawodność ich nawigacji, zmianie kinematyki podwozia oraz wprowadzenia szeregu nowych czujników bezpieczeństwa osobistego, rozpoczął się proces wdrożeń tego typu systemów w dużych magazynach i centrach logistycznych, obsługujących rynek dystrybucji towarów⁶⁹.

W XXI wieku pojazdy AGV zaczęto powszechnie wdrażać do czynności transportowych w ramach intralogistyki, obsługującej zakłady przemysłowe, magazyny, budynki biurowe oraz inne duże obiekty. Automatyzacja prac transportowych jest szczególnie istotna w przypadku procesów cyklicznych, przy przemieszczaniu ciężkich ładunków oraz konieczności uzyskania wysokiej wydajności pracy przy czynnościach kompletacyjnych (rys. 8).

Sektory gospodarki, w których są stosowane pojazdy AGV, to m.in.⁷⁰:

- motoryzacja – do dostaw elementów na linie montażowe realizujące produkcję silników i elektroniki samochodowej, a następnie odbieranie produkcji w toku lub produktów gotowych i zabezpieczanie procesu montażu na kolejnych etapach;

⁶⁸ <https://www.haleprzemyslowe.plus/wozki-agv-w-halach-przemyslowych-rodzaje-i-stosowanie/>

⁶⁹ <https://www.it-production.com/fertigungsnahe-it/35-jahre-fahrerlos-unterwegs/>

⁷⁰ 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.

- elektronika – do transport części na stanowiska produkcyjne i montażowe,
- przemysł spożywczy – do przewozu surowców na linie przetwórcze, transport półproduktów oraz prace załadunku i rozładunku na magazynach;
- branża FMCG – do transport towarów i półproduktów we współpracy z liniami przenośników zarówno w zakresie produkcji, jak i magazynowania;
- przemysł meblarski – do zabezpieczenia linii produkcyjnych w drobne elementy oraz do przewozu gotowych produktów,
- magazyny dystrybucyjne – automatyzacja prac podczas rozładunku oraz wspieranie procesu kompletacji zleceń w *e-commerce*,
- logistyka medyczna – procesy transportowe na terenie szpitali przy realizacji takich prac, jak odbiór i dostarczanie posiłków, dostarczanie pościeli na oddziały, wywóz śmieci oraz odpadów medycznych;
- lotniska – obsługa systemu transportu bagaży.



Rys. 8. Automatyzacja prac na magazynie z wykorzystaniem pojazdów widłowych AGV firmy STILL

Źródło: <https://www.still.de/en-DE/company/news-press/news/detail/automated-guided-vehicles-agvs-as-a-game-changer-in-logistics-optimisation.html>

Przykładem potwierdzającym wysoki potencjał automatyzacji transportu w zakresie logistyki produkcji jest projekt wdrożony w firmie Bachmann Forming w Szwajcarii, która wytwarza opakowania dla sektora dóbr konsumpcyjnych. Rozwiązanie zaproponowane przez firmę SSI Schaefer, to system pojazdów AGV Weasel, które przy niskich kosztach

zakupu i krótkim okresie wdrożenia trwającym pięć tygodni, zapewniły wysoki wzrost poziomu wydajności. Nastąpiło uwolnienie pracowników od wykonywania nieproduktywnych i czasochłonnych prac, a uzyskane efekty z tego tytułu, oznaczały zwrot nakładów na inwestycję w okresie krótszym niż jeden rok. Pojazdy AGV zastosowano do wewnętrznego transportu materiałów między stanowiskami produkcyjnymi, a systemem przenośników wysyłkowych. Pojazdy AGV Weasel poruszają się z prędkością ponad 1 m/s wzdłuż taśmy optycznej, pod którą są umieszczone tagi RFID, określające ich lokalizację. Innowacyjność metody firmy SSI Schaefer polega na tym, że technologia Weasel gwarantuje prostą integrację z istniejącymi w firmie systemami oraz posiadaną infrastrukturą informatyczną poprzez Wi-Fi. System umożliwia elastyczną rozbudowę ilości użytkowanych pojazdów oraz obsługiwanych tras przewozu ładunków⁷¹.



Rys. 9. Ekonomiczny zautomatyzowany transport AGV pojazdami SSI SCHAEFER WEASEL® w firmie Bachmann Forming

Źródło: <https://www.manutencionyalmacenaje.com/Articulos/238919-Transporte-automatizado-a-bajo-coste-AGV-Weasel-de-SSI-Schaefer-en-Bachmann.html>

W lutym 2020 r. fabryka Porsche Leipzig GmbH otrzymała nagrodę Logistics Award od Niemieckiego Stowarzyszenia Przemysłu Motoryzacyjnego (VDA). Nagrodzony został system Grenzbach do automatycznego transportu części na linie montażowe. Obsługuje on zło-

⁷¹<https://www.manutencionyalmacenaje.com/Articulos/238919-Transporte-automatizado-a-bajo-coste-AGV-Weasel-de-SSI-Schaefer-en-Bachmann.html>

żoną w aspekcie organizacyjnym produkcję sekwencyjną modeli Porsche: Macan i Panamera. Wdrożony projekt obejmował 30 pojazdów Grenzbach L1200S AGV, które mają za zadanie dostarczać bezbłędnie dla każdego modelu pojazdu realizowanego na indywidualnie zamówienie właściwy zestaw przednich foteli i tylnej kanapy. System pracujący na trzy zmiany realizuje dostawy komponentów na linii montażowe w kolejności *just-in-sequence*. Zapewnia bezpieczny dostęp do zestawu foteli dla pracowników, gwarantuje bezkolizyjną współpracę ze specjalistycznym sprzętem manipulacyjnym służącym do przemieszczania tych części dzięki wysokiemu poziomowi dokładności pozycjonowania, a następnie przemieszcza automatycznie puste nośniki do kolejnego załadunku. Holistyczny projekt obejmujący sprzęt, oprogramowanie, doradztwo i serwis był efektem współpracy Porsche Leipzig GmbH i Grenzbach Machinery GmbH. System zapewnia nie tylko elastyczną realizację dostaw zgonie z oczekiwaną listą sekwencji, ale także optymalizuje przydział poszczególnych pojazdów tak, aby uzyskać najkrótsze czasy przejazdu oraz maksymalne wykorzystanie naładowania akumulatorów w użytkowanych pojazdach⁷².



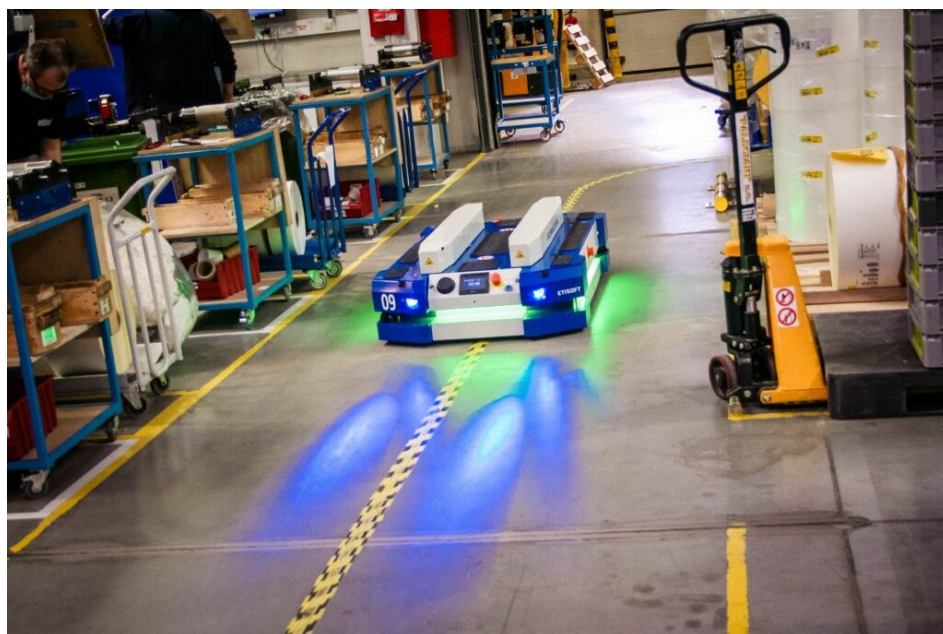
Rys. 10. Pojazdy Grenzbach L1200S AGV do automatycznego transportu części podczas złożonej produkcji sekwencyjnej modeli Macan i Panamera w fabryce Porsche w Lipsku

Źródło: https://www.grenzbach.com/fileadmin/user_upload/Grenzbach_Intralogistik_Porsche_Leipzig_Warentra__ger.jpg.webp

⁷²<https://www.grenzbach.com/de/unternehmen/news-presse/detail/grenzbach-ist-teil-des-preisgekroenten-intralogistik-konzepts-von-porsche-leipzig/>

Bezpieczeństwo użytkowania systemów AGV

Podstawowym problemem od początku użytkowania autonomicznych pojazdów transportowych było zapewnienie bezkolizyjnego poruszania się ich po wybranym obszarze. Bezpieczeństwo oznacza zapewnienie takiego stanu w odniesieniu do osób, innych pojazdów transportowych oraz maszyn i urządzeń na halach magazynowych i produkcyjnych. Pojazdy AGV wyposażone są standardowo w aktywne i bierne systemy bezpieczeństwa. Elementami aktywnymi są: laserowe skanery z zaprogramowanymi danymi na temat stref bezpieczeństwa dla pomieszczeń na trasie, systemy czujników, zderzaki, sterowniki bezpieczeństwa oraz natychmiastowego zatrzymania awaryjnego. Działanie systemów aktywnych zakłada nieustanną interakcję z otoczeniem, co dla systemów korzystających z technologii laserowej oznacza kontrolę od 30 do 40 razy na sekundę. Kluczowe bierne elementy bezpieczeństwa to: systemy świateł ostrzegawczych emitowanych podczas ruchu pojazdu, dźwiękowe sygnały ostrzegawcze i alarmowe, emitowane w strefach lub sytuacjach zagrożenia, a także czytelne i ostrzegawcze kolorystycznie oznakowanie pojazdu AGV⁷³.



Rys. 11. Zapewnienie bezpieczeństwa czynnego i biernego podczas użytkowania pojazdów AGV jest priorytetem podczas użytkowania tego typu systemów transportowych

Źródło: <https://etisoft.com.pl/etiside/bezpieczenstwo-wdrozenia-robotow-mobilnych-agv-i-amr-z-etisof>

⁷³ <https://etisoft.com.pl/etiside/bezpieczenstwo-wdrozenia-robotow-mobilnych-agv-i-amr-z-etisof>

Najważniejsze wymagania dla bezpieczeństwa pojazdów autonomicznych zawarte są w normie PN-EN ISO 3691-4 „Wózki jezdniowe - Wymagania dotyczące bezpieczeństwa i sprawdzanie - Część 4: Wózki jezdniowe bez operatora i ich systemy”. Obowiązująca norma dokonuje podziału metod zabezpieczania wózka AGV w zależności od obszaru, na jakim będzie realizowana jego eksploatacja na strefę zamkniętą oraz strefę wspólną. Strefa zamknięta to fizycznie wydzielony obszar dla ruchu AGV zabezpieczony osłonami, przegrodami lub ścianami, na który nie ma dostępu osób postronnych, za wyjątkiem upoważnionych np. obsługi serwisowej⁷⁴.

Strefa wydzielona musi spełniać warunki⁷⁵:

- otwierania tylko na zewnątrz,
- otwierania z zewnątrz wyłącznie kluczem,
- otwierana od wewnątrz bez użycia klucza,
- otwarcie musi powodować zatrzymanie wszystkich pojazdów na obszarze zamkniętej strefy,
- zamknięcie strefy nie może automatycznie wznawiać ruchu pojazdów AGV.

Strefa wspólna to strefa, w której odbywa się zarówno transport pojazdami AGV, jak też możliwe jest przemieszczanie się pracowników pieszych i/lub innych pojazdów kierowanych przez operatorów. W strefie wspólnej, kluczowe jest zapewnienie systemu do wykrywania osób na drodze transportowej tak, aby obszar kontrolowany był⁷⁶:

- co najmniej o szerokości pojazdu z ładunkiem w każdym kierunku jazdy z uwzględnieniem ruchu obrotowego, pomiary są generowane przez laserowy skaner bezpieczeństwa;
- wystarczający do zapewnienia całkowitego zatrzymania pojazdu przed kontaktem z osobą (uwzględniając wszystkie parametry ruchu i stan nawierzchni),
- tak skonfigurowany, aby zapewniać wykrywanie osoby już od powierzchni podłogi w celu ochrony stóp.

W strefach otwartych muszą być zachowane odstępstwa bezpieczeństwa o szerokości 0,5 m oraz wysokości 2,1 m pomiędzy elementami konstrukcyjnymi pojazdu, obrysem ładunku i przyczep transportowych, a elementami konstrukcjami wzdłuż trasy przejazdu. W przypadku miejsc, gdzie nie jest możliwe zapewnienie 0,5 m odstępu są one definiowane, jako potencjalnie niebezpieczne i wówczas taki obszar jest uznawany za strefę zagrożenia. Przed wjazdem do takiej strefy pojazd musi zredukować prędkości do 0,3 m/s oraz jednocześnie emitować dźwiękowy sygnał ostrzegawczy⁷⁷.

Zapewnienie bezpieczeństwa przy jednoczesnym użytkowaniu licznej floty AGV, to zadanie wymagające stosownego nadzoru informatycznego. Nieprzerwana komunikacja danych między pojazdami AGV i centrum ich kontroli, to warunek podstawowy dla uzyskania wydajności i dokładności ruchu pojazdów. Należy podkreślić, że w obiektach przemysłowych takich, jak magazyny i hale fabryczne dużym wyzwaniem jest uzyskanie połączeń sie-

⁷⁴ <https://etisoft.com.pl/etiside/bezpieczenstwo-wdrozenia-robotow-mobilnych-agv-i-amr-z-etisoft/>

⁷⁵ <https://automatykab2b.pl/prezentacje/51113-bezpieczenstwo-wozkow-agv>

⁷⁶ j.w.

⁷⁷ <https://etisoft.com.pl/etiside/bezpieczenstwo-wdrozenia-robotow-mobilnych-agv-i-amr-z-etisoft/>

ciowych o wysokiej jakości. Stabilność sygnału w sieci bezprzewodowej może być zakłócana przez wiele czynników, a w tym przez istniejącą infrastrukturę. Ponadto wyzwaniem jest administrowanie takich sieci przemysłowych, stąd oferta narzędzi informatycznych do ich zdalnego zarządzania. Reprezentatywnym rozwiązaniem jest EZ MESH firmy NEXCOM, czyli system wspierany przez routery przemysłowe i bramki sieciowa Wi-Fi Serial/Ethernet. Komponenty IWF 310 i NIO 51 służą, jako punkty typu mesh w obiektach przemysłowych i mobilne punkt typu mesh w pojazdach AGV. MESH jest strukturą, która wykorzystuje jedno lub więcej połączeń w celu stworzenia pełnej topologii sieci kratowej, a dostępne urządzenia łączą się ze sobą nawzajem, tworząc jedną sieć Wi-Fi^{78,79}.



Rys. 12. System sterowania i nadzoru nad bezpieczeństwem floty pojazdów AGV realizowany jest poprzez wykorzystanie przemysłowej sieci Wi-Fi

Źródło: <https://www.nexcom.com/news/Detail/industrial-wi-fi-mesh-keeps-agvs-always-connected-and-on-the-go>

⁷⁸ <https://www.nexcom.com/news/Detail/industrial-wi-fi-mesh-keeps-agvs-always-connected-and-on-the-go>

⁷⁹ <https://www.komputronik.pl/informacje/co-to-jest-system-mesh-jak-dziala/>

System działania floty AGV, obsługującej wydzielone strefy magazynu lub hali produkcyjnej, obejmuje kolejno czynności^{80,81}:

- dostawa ładunku do strefy wydzielonej przez pracownika człowieka, przenośnik lub pojazd AGV i wówczas nadrzędny magazynowy system informatyczny WMS (*ang. Warehouse Management System*) lub system zarządzania produkcją MES (*ang. Manufacturing Execution System*) wysyła sygnał wyzwalający do systemu zarządzającego flotą pojazdów AGV;
- pobranie ładunku przez AGV i transport do miejsca składowania lub gniazd produkcyjnych/ montażowych,
- po rozładunku zostaje wysłany komunikat do systemu nadrzędnego typu WMS lub MES, a pusty pojazd system zarządzający flotą kieruje do kolejnego zadania transportowego;
- wolne pojazdy w oczekiwaniu na zadania transportowe mogą uzupełniać w punktach dokujących poziom naładowania akumulatorów.

Zalety i wady systemów AGV

Pojazdy sterowane autonomicznie oferują szereg zalet, które mogą być traktowane, jako element długofalowego wsparcia w realizacji obsługi logistycznej procesów magazynowych i produkcyjnych, a tym samym stanowić punkt odniesienia w budowie przewagi rynkowej przez przedsiębiorstwa produkcyjne i magazyny dystrybucyjne^{82,83,84,85,86}.

Do zalet korzystania z pojazdów AGV zalicza się⁸⁷:

- wzrost wydajności pracy i zmniejszenie ryzyka pomyłek dzięki eliminacji czynności ciężkich i nużących, wykonywanych bezpośrednio przez pracowników, ponieważ sekwencyjną obsługę przejmuje pojazd, który może ją wykonywać w układzie czasowym 24/7;
- redukcja kosztów pracy dzięki redukcji zatrudnienia wynikającego z tytułu wyższej wydajności pojazdów autonomicznych nad sterowanymi osobowo;

⁸⁰ <https://www.haleprzemyslowe.plus/wozki-agv-w-halach-przemyslowych-rodzaje-i-stosowanie/>

⁸¹ 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 wspomaganie komputerowego w transporcie i logistyce, ISBN 978-83-64377-49-5, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, s. 155-180, 2021.

⁸² Szymonik A., Chudzik D.: Logistyka nowoczesnej gospodarki magazynowej, Wyd. Difin SA, ISBN 978-83-8085-525-0, Warszawa, 2018.

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

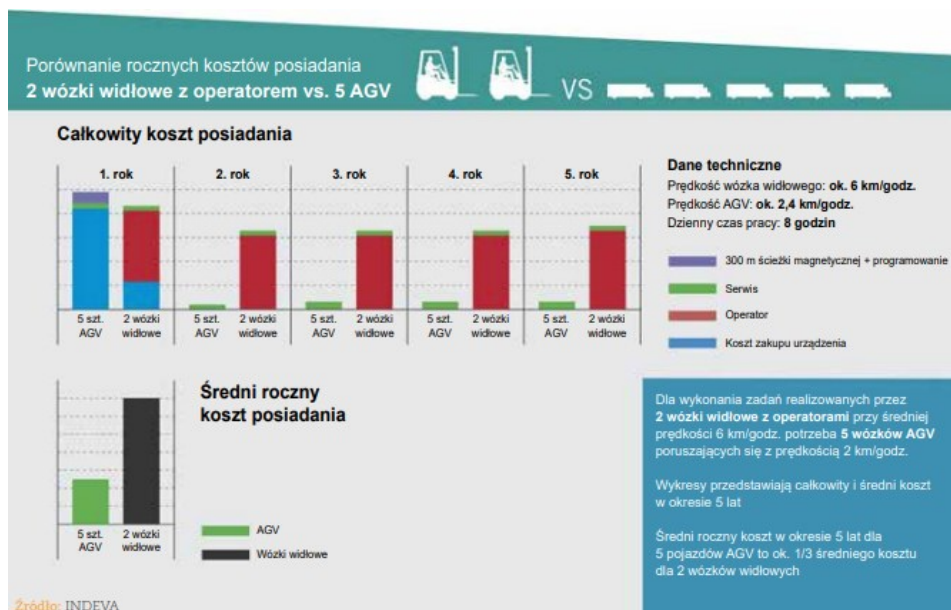
⁸⁴ Bielecki M., Galińska B., Walaszczyk A. (red.): Zarządzanie logistyką - aktualne problemy i wyzwania, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, ISBN: 978-83-7283-952-7, Łódź, 2018.

⁸⁵ Jałowiec T., (red.): Ładunkoznawstwo dla logistyki, Wybrane problemy, Wyd. Difin SA, ISBN 978-83-66491-31-1, Warszawa, 2021.

⁸⁶ Łapko A., Wagner N.: Logistyka dystrybucji, Trendy – Wyzwania – Przykłady, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN 978-83-8102-516-4, Warszawa, 2021.

⁸⁷ <https://movexx.com/9-ways-that-automated-guided-vehicles-make-goods-transportation-efficient2/>

- redukcja potencjalnego zagrożenia generowanego przez ruch pojazdów w strefach wspólnych, ponieważ wydajność systemów ochrony w AGV przewyższa percepcję osób kierujących pojazdami, a systemy nawigacji umożliwiają pracę w środowisku mieszanym z innymi wózkami kierowanymi przez operatorów oraz pieszymi;
- obniżenie kosztów operacyjnych z uwagi na wysoką niezawodność, niskie potrzeby energetyczne i zredukowaną obsługę serwisową w stosunku do klasycznych pojazdów transportowych, co oznacza, że posiadanie 2 wózków widłowych wraz z operatorami w perspektywie pięcioletniej jest 2,8 krotnie droższe od posiadania 5 wózków AGV (rys. 13);



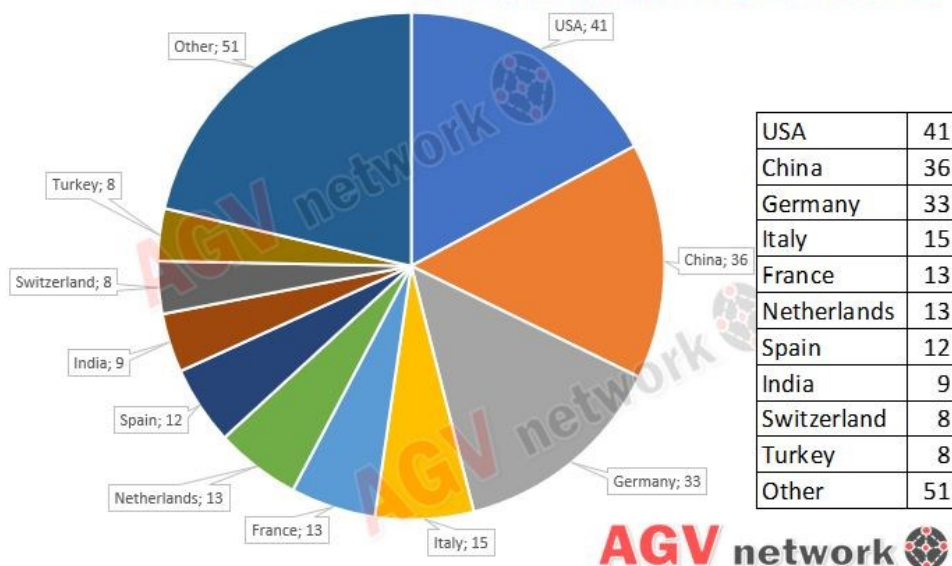
Rys. 13. Porównanie rocznych kosztów posiadania dwóch wózków widłowych do kosztów pięciu pojazdów AGV

Źródło: https://glowny-mechanik.pl/wp-content/uploads/GM-2017_6_AGV_34_41.pdf

- wydajne zasilanie z akumulatorów (czas pracy po ładowaniu to 8-12 godzin), prosty system ich wymiany, wydajne systemy ładowania stacjonarnego, a w przypadku zasilania pojazdów z pętli indukcyjnych umieszczonej w podłożu proces ładowania realizowany jest na całej trasie przejazdu; dla pojazdów wyposażonych w super kondensatory ładowane indukcyjnie wykonywane jest na trasie i/lub w stacjach zasilających bez konieczności dostępu do pętli indukcyjnych;
- redukcja potencjalnych uszkodzeń towarów z uwagi na wykorzystanie podczas jazdy nowoczesnych systemów kontroli i nawigacji, eliminujących bezpośredni kontakt ładunku z otoczeniem;

- istnieje możliwość dostosowania wyposażenia AGV do wymagań firmy przez bardzo bogatą ofertę pojazdów projektowanych, wytwarzanych, sprzedawanych i serwisowanych przez kilkaset firm na świecie.⁸⁸

239 Mobile Robot Manufacturers



Rys. 14. Zestawienie ilustrujące strukturę rozmieszczenia na świecie dużych zakładów wytwarzających pojazdy AGV i roboty AGM

Źródło: https://www.agvnetwork.com/images/logo_produitori/Number_of_Mobile_Robot_Manufacturers.jpg

Do wad korzystania z pojazdów AGV zalicza się⁸⁹:

- konieczność zapewnienia nowoczesnej i wydajnej infrastruktury informatycznej, która jest niezbędna do funkcjonowania systemów sterowania;

⁸⁸ https://www.agvnetwork.com/images/logo_produitori/Number_of_Mobile_Robot_Manufacturers.jpg

⁸⁹ <https://movexx.com/9-ways-that-automated-guided-vehicles-make-goods-transportation-efficient2/>

- wysokie koszty pojazdów korzystających z najnowszych technologii nawigacji typu *SLAM Natural Navigation*.

Podsumowanie

Spektakularny rozwój systemów pozyskiwania, przetwarzania i wykorzystania danych dotyczących wszystkich etapów obsługi logistycznej, stanowi dla podmiotów gospodarczych szansę w dążeniu do uzyskania przewagi konkurencyjnej. Proces zarządzania logistycznego osiągnął poziom, w którym możliwe jest korzystanie przez kadrę menadżerską przy podejmowaniu decyzji z informacji dostępnych w bazach danych, które są aktualizowane w czasie rzeczywistym. Logistyka 4.0 stanowiąc integralną część modelu określanego, jako Przemysł 4.0 wpisuje się w obszar działań, które przez stosowanie innowacyjnych rozwiązań, oferują bardziej wydajną obsługę i produktywność systemów wytwórczych. Wyższy poziom wymiany informacji i automatyzacja są drogą do urzeczywistnienia idei Przemysłowego Internetu Rzeczy IIoT (*ang. Industrial Internet of Things*). Koncepcja IIoT wywodzi się z Internetu Rzeczy IoT (*ang. Internet of Things*) i obejmuje przemysłowe zastosowanie urządzeń połączonych w sieć. *Industrial Internet of Things* stanowi koncepcję łączącą technologię informacyjną z operacyjną, która obejmuje usieciwienie procesów i przemysłowych systemów sterowania ICS (*ang. Industrial Control System*). W praktyce rynkowej urzeczywistnia się ten model poprzez interfejs pomiędzy człowiekiem i maszyną, software odpowiedzialny za nadzorowanie produkcji oraz programowalne sterowniki logiczne⁹⁰.

Wykorzystanie *Big Data*, przetwarzania w chmurze oraz rzeczywistość rozszerzona, pozwoliły na nowy etap rozwoju z wykorzystaniem pojazdów AGV. Logistyka wdrażając kolejne wersje autonomicznie sterowanych pojazdów, zaoferowała kompleksowe usługi o nowym potencjale. Systemy transportu bez udziału kierowcy pozwalają obecnie na obsługę coraz większej ilości zadań w transporcie wewnętrznym, obsługującym zarówno produkcję przemysłową, jak również dystrybucję wyrobów. Ich kluczowym atutem jest możliwość elastycznej reakcji na zmieniające się zapotrzebowanie i wymagania rynku.

Beneficjentami korzyści wynikających ze stosowania pojazdów AGV mogą być zarówno duże podmioty gospodarcze, które dysponują środkami do wdrażania projektów o bardzo wysokim budżecie, jak też średniej wielkości firmy. Liderzy w swoich branżach stosujący model działań oparte na powszechnej cyfryzacji, otrzymują stosowną ofertę pojazdów o wysokiej cenie typu *SLAM Natural Navigation*. Dla producentów średniej wielkości inwestycja w infrastrukturę techniczną niezbędną do uruchomienia floty pojazdów AGV stanowiłaby barierę wykluczającą wdrożenie takich projektów. Stąd w ofercie rynkowej jest szereg pojazdów autonomicznych dostępnych na radykalnie zredukowanych poziomach cenowych. Są one zaprojektowane na niższym poziomie złożoności i przy wykorzystaniu w procesie obsługi ekonomicznych rozwiązań technicznych. Ich aplikacja i eksploatacja generuje niższe koszty i nie jest warunkowana wdrożeniem dodatkowych systemów informatycznych. Pojazdy autonomiczne, to w takim przypadku rozwiązanie, którego celem jest zniwelowanie problemu rosnącego niedoboru wykwalifikowanej siły roboczej.

⁹⁰ <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/tag/iiot/>

Projektowanie autonomicznego transportu wewnętrznego wymaga bardzo dokładnego rozpoznania istniejących i deklarowanych potrzeb przyszłego użytkownika, a także zdefiniowania zakresu wymagań, które ma spełniać system AGV. Analiza konfiguracji przestrzennej obiektów przemysłowych, rodzaju ładunków przeznaczonych do transportu, lokalizacji i rodzaju stref załadunku i wyładunku oraz sposobu generowania i obsługi zamówień są kluczowe dla optymalnego doboru pojazdów AGV. Rodzaj i klasa takiego pojazdu powinna zapewniać oczekiwany wymagany udźwig, prędkość działania oraz ewentualną wysokość unoszenia ładunku. Wdrożone i użytkowane w przedsiębiorstwach na świecie systemy AGV stanowią dowód na to, że jest to technologia efektywna. Zapewnia ona obniżenie kosztów funkcjonowania magazynu lub zakładu produkcyjnego, natomiast indywidualnej ocenie należy pozostawić zakres kosztów sumarycznych inwestycji. Generalnie systemy AGV charakteryzują się najszybszym zwrotem poniesionych nakładów w przypadku pracy realizowanej w układzie trzech zmian. Są one przykładem bardzo elastycznego rozwiązania, które w długim horyzoncie czasowym będzie pozwalało przedsiębiorstwu w łatwy sposób dostosować wydajność transportu wewnętrznego do zmieniających się potrzeb rynkowych poprzez rozbudowę systemu o kolejne trasy i urządzenia bez ingerencji w strukturę posiadanych obiektów.

Bibliografia

- Banaszyk P., Kauf S., Szołtysek J.: Logistyka jako czynnik dobrostanu, Wyd. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2462-9, Warszawa, 2021.
- Bielecki M., Galińska B., Walaszczyk A. (red.): Zarządzanie logistyką - aktualne problemy i wyzwania, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, ISBN: 978-83-7283-952-7, Łódź, 2018
- Bozarth C.C., Handfield R.,B.: Wprowadzenie do zarządzania operacjami i łańcuchem dostaw, Wyd. Helion, ISBN: 978-83-283-6747-0, 2021.
- Cieśla M., Hat-Garnarcz G., Opasiak T., Nowakowski P.: Logistyka w łańcuchach dostaw, Wybrane zagadnienia, Wyd. Politechniki Śląskiej, ISBN 978-83-7880-422-2, Gliwice, 2017.
- Choromański W., Grabarek I., Kozłowski M., Czerepicki A., Marczuk K.: Pojazdy autonomiczne i systemy transportu autonomicznego, Wyd. Naukowe PWN SA, ISBN 978-83-01-21102-8, Warszawa, 2020.
- Fajfer P., Koliński A., Andrzejczyk P.: Logistyka w jednostkach gospodarczych, Wyd. Instytut Logistyki i Magazynowania, ISBN: 978-83-63186-13-5, Poznań, 2015.
- Galińska B. (red.): Współczesne aspekty zarządzania logistyką, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, ISBN: 978-83-66287-40-2, Łódź, 2019.
- Gąsowska M. K.: Zarządzanie procesami logistycznymi we współczesnych przedsiębiorstwach, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-8270-091-6, Warszawa, 2022.
- Januła E., Kasińska M., Kwiatkiewicz P., Laskowski M.: Zapasy i magazynowanie, Wyd. As Pik, ISBN: 978-83-66264-17-5, Warszawa, 2020.
- Jałowicz T., (red.): Ładunkoznawstwo dla logistyki, Wybrane problemy, Wyd. Difin SA, ISBN 978-83-66491-31-1, Warszawa, 2021.
- Juściński S.: Analiza rynku nowoczesnych powierzchni magazynowych w centrach logistycznych, [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.): Logistyka dla regionu, ISBN 78-83-64377-27-3, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysł, s. 123-141, 2018.
- 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.: Analiza możliwości aplikacyjnych bezzałogowych statków powietrznych w innowacyjnych łańcuchach dostaw żywności, [w:] Dzieniszewski G., Kuboń M., (red.) Łańcuchy Logistyczne

- w Gospodarce Żywnościowej, ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysł, s. 89-115, 2020.
- Juściński, S.: Analiza systemów telematycznych stosowanych w logistyce magazynowej i dystrybucyjnej, [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. 99-114, 2019.
- 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 wspomaganie komputerowego w transporcie i logistyce, ISBN 978-83-64377-49-5, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, s. 155-180, 2021.
- 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, Kraków, s. 143-161, 2018.
- Juściński S.: Rynek usług pocztowych i kurierskich, Monografia naukowa, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, ISBN 978-83-7259-336-8, Lublin, 2021.
- Kauf S., Kramarz M., Sadowski A.: Zarządzanie marketingowo-logistyczne. Kontekst zrównoważonego rozwoju, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-20534-8, 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.
- Krzyżaniak S., Niemczyk A., Majewski J., Andrzejczyk P.: Organizacja i monitorowanie procesów magazynowych, Instytut Logistyki i Magazynowania, ISBN 978-83-63186-76-0, Poznań, 2014.
- Matwiejczuk R.: Logistyka w zarządzaniu strategicznym, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., ISBN: 978-83-208-2465-0, Warszawa, 2021.
- Łapko A., Wagner N.: Logistyka dystrybucji, Trendy – Wyzwania – Przykłady, Wyd. CeDeWu Sp. z o.o., ISBN 978-83-8102-516-4, Warszawa, 2021.
- 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.
- Szymonik A., Chudzik D.: Logistyka nowoczesnej gospodarki magazynowej, Wyd. Difin SA, ISBN 978-83-8085-525-0, Warszawa, 2018.
- Szymonik A., Stanisławski R., Błaszczak A.: Nowoczesna koncepcja ekologii, Wyd. Difin S.A., ISBN: 978-83-66491-30-4, Warszawa, 2021.
- Tundys B., Rzezycki A., Drobiazgiewicz J.: Decyzje strategiczne w łańcuchach dostaw, Wyd. edu-Libri, ISBN 978-83-65648-53-2, Kraków-Legionowo, 2018.
- Ullrich G.: *Automated Guided Vehicle Systems, A Primer with Practical Applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-662-44813-7, DOI 10.1007/978-3-662-44814-4, 2015.
- Wyrwich-Płotka S.: Wirtualna praca w łańcuchu dostaw, Wyd. Difin SA, ISBN 978-83-8085-649-3, Warszawa, 2018.
- https://agvsystems.com/?page_id=6798
- <https://automatykab2b.pl/prezentacje/51113-bezpieczenstwo-wozkow-agv>
- <https://automatykab2b.pl/wydarzenia/53496-smart-factory-wspiera-walke-z-kryzysem-wywolanym-pandemia-koronawirusa>
- <https://moffettautomatedstorage.com/industry-4-0/>
- <https://etisoft.com.pl/etiside/bezpieczenstwo-wdrozenia-robotow-mobilnych-agv-i-amr-z-etisoft/>
- https://glowny-mechanik.pl/wp-content/uploads/GM-2017_6_AGV_34_41.pdf
- <https://movexx.com/9-ways-that-automated-guided-vehicles-make-goods-transportation-efficient2/>
- <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/tag/iiot/>
- <https://www.neousys-tech.com/en/discover/fanless-in-vehicle-pc/automated-guided-vehicle>
- <https://www.agvnetwork.com/types-of-navigation-systems-automated-guided-vehicles>
- <https://www.neousys-tech.com/en/discover/fanless-in-vehicle-pc/automated-guided-vehicle>
- <https://www.solving.com/products/automated-guided-vehicles-agv-for-heavy-loads/>
- https://www.niguru.com/2019/10/mengenal-agv-automated-guided-vehicle_3.html

https://en.wikipedia.org/wiki/Simultaneous_localization_and_mapping
https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_geometry
https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_vision
<https://ucgosu.pl/2018/03/slam-simultaneous-localisation-and-mapping/>
<https://pl.wikipedia.org/wiki/Lidar>
<https://www.izabezpieczenia.pl/kompendium-wiedzy/faq-pytania/czym-roznie-sie-kamera-cmos-od-ccd-jaki-rodzaj-kamery-jest-lepszy/>
https://pl.wikipedia.org/wiki/Nawigacja_inercyjna
https://pl.wikipedia.org/wiki/Enkoder_przyrostowy
https://pl.wikipedia.org/wiki/Zjawisko_Halla
<https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21213076/where-are-automated-guided-vehicles-going-and-how-will-they-get-there>
https://pl.wikipedia.org/wiki/Rzeczywistość_rozszerzona
<https://www.media.stellantis.com/pl-pl/opel/press/opel-prezentuje-kooperacyjny-system-wysocze-zautomatyzowanej-jazdy>
https://en.wikipedia.org/wiki/Non-line-of-sight_propagation
<https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21213076/where-are-automated-guided-vehicles-going-and-how-will-they-get-there>
<https://www.haleprzemyslowe.plus/wozki-agv-w-halach-przemyslowych-rodzaje-i-stosowanie/>
<https://www.haleprzemyslowe.plus/wozki-agv-w-halach-przemyslowych-rodzaje-i-stosowanie/>
<https://www.it-production.com/fertigungsnahe-it/35-jahre-fahrerlos-unterwegs/>
<https://www.manutencionyalmacenaje.com/Articulos/238919-Transporte-automatizado-a-bajo-coste-AGV-Weasel-de-SSI-Schaefer-en-Bachmann.html>
<https://www.grenzebach.com/de/unternehmen/news-presse/detail/grenzebach-ist-teil-des-preisgekroentnen-intralogistik-konzepts-von-porsche-leipzig/>
https://www.agvnetwork.com/images/logo_produzioni/Number_of_Mobile_Robot_Manufacturers.jpg
https://www.it-production.com/wp-content/uploads/2019/05/web_159628_fruehesFTS.jpg
https://www.agvnetwork.com/images/technology/navigation-systems/laser_navigation_LGV.jpg
https://www.agvnetwork.com/images/technology/navigation-systems/magnetic_navigation_agv.jpg
https://www.agvnetwork.com/images/technology/navigation-systems/Natural_Feature_Navigation_1.jpg
https://www.agvnetwork.com/images/technology/navigation-systems/magnetic_spot_navigation_agv.jpg
<https://www.komputronik.pl/informacje/co-to-jest-system-mesh-jak-dziala/>
<https://www.still.de/en-DE/company/news-press/news/detail/automated-guided-vehicles-agvs-as-a-game-changer-in-logistics-optimisation.html>
<https://www.manutencionyalmacenaje.com/Articulos/238919-Transporte-automatizado-a-bajo-coste-AGV-Weasel-de-SSI-Schaefer-en-Bachmann.html>
https://www.grenzebach.com/fileadmin/user_upload/Grenzebach_Intralogistik_Porsche_Leipzig_Warentraeger.jpg.webp
<https://wdx.pl/2020/11/19/logistyka-4-0-przewodnik/>
<https://www.mhlnews.com/chain-of-thought/article/22053693/agvs-follow-paths-undreamed-of-by-inventor>
<https://www.fredagv.com/news/worker-shortages-in-manufacturing-make-agvs-more-beneficial-than-ever/>
<https://www.nexcom.com/news/Detail/industrial-wi-fi-mesh-keeps-agvs-always-connected-and-on-the-go>

*Adres do korespondencji: e-mail: slawomir.juscinski@up.lublin.pl
ORCID: Sławomir Juściński 0000-0002-2692-9083*

ROZWÓJ MIEJSKIEJ LOGISTYKI TRANSPORTOWEJ W ASPEKcie STOSOWANIA ALTERNATYWNYCH ŹRÓDEŁ ZASILANIA POJAZDÓW

Sławomir Juściński¹

¹ Zakład Logistyki i Zarządzania Przedsiębiorstwem, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wprowadzenie

Poziom rozwoju gospodarczego na obszarze poszczególnych państw w szerokim zakresie determinowany jest jakością funkcjonowania rynku usług transportowych. Unia Europejska za jeden z filarów przyjęła, oprócz rozwoju rynku transportu ładunków: surowców, materiałów i produktów gotowych, także kompleksową rozbudowę rynku przewozów pasażerskich. Dla wsparcia rozwoju tych dwóch obszarów od momentu akcesji Polski do UE uruchomione zostały kolejne programy finansowe, skierowane przede wszystkim na inwestycje mające na celu unowocześnienie istniejącej infrastruktury drogowej, powstanie nowoczesnych obwodnic dla wszystkich dużych aglomeracji miejskich oraz budowę nowych połączeń krajowych i międzynarodowych tak, aby stanowiły element w jednolitym europejskim obszarze transportowym^{1,2}. Polityka spójności, jako programowe i długofalowe działanie UE-27, oznaczała uruchomienie i realizację na przestrzeni kilkunastu lat tysięcy projektów z udziałem środków finansowych z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, Europejskiego Funduszu Społecznego oraz Funduszu Spójności. Programy realizowane na poziomie lokalnym, oferowały możliwość pozyskania przez władze gminne, powiatowe i miejskie dofinansowania do inwestycji w sektorze komunikacyjnym i ten znaczący strumień dotacji skierowano generalnie na zmianę struktury rodzajowej, a tym samym wiekowej środków transportu zarówno obsługującego przewozy towarowe, jak i pasażerskie^{3,4}.

¹ Biała Księga, Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:pl:PDF>

² Wojewódzka-Król K., Rolbiecki R.: Infrastruktura transportu. Europa, Polska – teoria i praktyka, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN 978-83-01-19690-5, Warszawa, 2018.

³ Załoga E. (red.): Europejska przestrzeń transportu. Wyzwania, Zeszyty Naukowe nr 741, Problemy Transportu i Logistyki nr 18, Wyd. Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISSN 1640-6818, Szczecin, 2012.

⁴ Kordel Z., Kuriata A.: Logistyka i transport w ujęciu systemowym, Wydawca CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-138-8, Warszawa, 2018.

Ostatnia dekada w rozwoju usług transportowych to szereg działań, które miały na celu unowocześnienie procesów zarządzania poprzez wprowadzenie innowacyjnych rozwiązań logistycznych i informatycznych. Dla uzyskania redukcji kosztów oraz niezawodności czasowej podczas użytkowaniu floty pojazdów konieczne jest sprawne przetwarzania i przesyłania dużych ilości informacji. Firmy transportowe podjęły działania mające na celu wdrożenie nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych (*ICT – Information and Communication Technologies*), zarówno w sferze zarządzania, jak też w obszarze obsługi klienta^{5,6,7,8}. Systemy telematyczne dzięki wykorzystaniu usług telekomunikacyjnych, informatycznych i automatycznego sterowania wniosły nową jakość do usług transportowych w obszarze użytkowania taboru, planowania przewozów i dbałości o efektywność kosztową floty^{9,10}.

Redukcja gazów cieplarnianych

Pomimo szeregu istotnych zmian jakościowych, technicznych i organizacyjnych w obszarze transportu drogowego tematem, który nadal nie została pozytywnie zrealizowany jest wzrastający poziom emisji gazów cieplarnianych emitowanych do atmosfery. Należy podkreślić, że transport jest jedynym sektorem działalności gospodarczej w UE, w którym emisje gazów cieplarnianych wzrosły w latach 1990-2019 (rys. 1).

Według Europejskiej Agencji Środowiska około 25% całkowitej emisji CO₂ w UE w 2019 r. pochodziło z sektora transportu. Należy podkreślić, że istnieją generalnie dwa sposoby redukcji emisji CO₂ z pojazdów w transporcie drogowym. Pierwszy to bardziej efektywne wykorzystanie potencjału transportowego, czyli istotna redukcja w zakresie użytkowania samochodów osobowych na rzecz zbiorowej komunikacji publicznej, szczególnie na terenie aglomeracji miejskich. Drugi to dywersyfikacja i rozwój alternatywnych źródeł zasilania pojazdów. Problem jest bardzo istotny ponieważ w 2019 r. w środkach transportu drogowego na terenie UE wykorzystanie w pojazdach oleju napędowego było na poziomie 66,7%, a wykorzystanie benzyny na poziomie 24,55%.

⁵ Sosnowski J., Nowakowski Ł.: Innowacje kreujące nowe wartości w transporcie samochodowym, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN 978-83-8142-881-1, Łódź, 2020.

⁶ Juściński S.: Wykorzystanie systemów nawigacji satelitarnej w transporcie drogowym, [w:] Dzieńiszewski G., Kuboń M. (red.): Aktualne Problemy Transportu, ISBN 978-83-60184-97-4, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysł, s. 63-76, 2017.

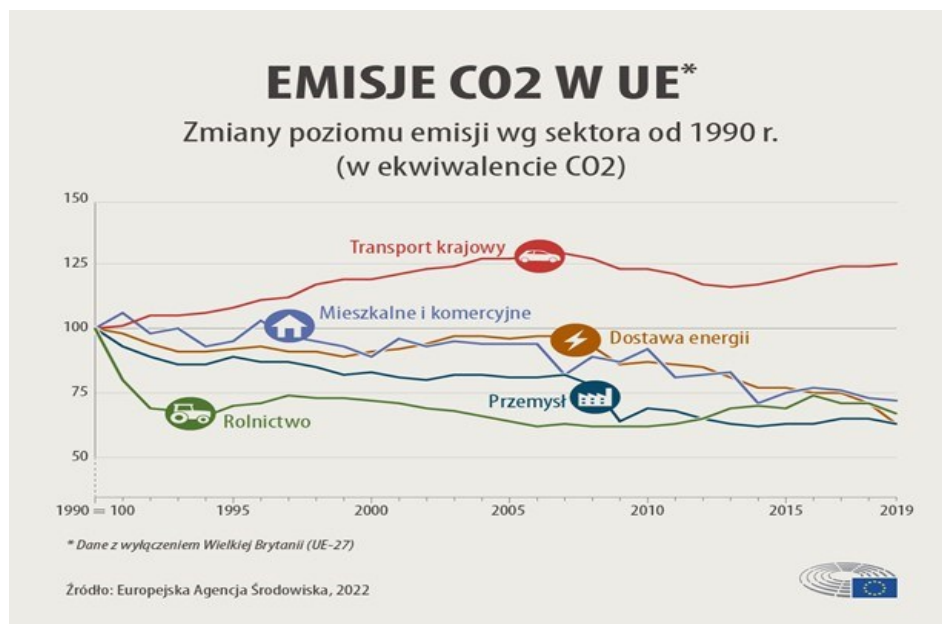
⁷ Hajdul M., Stajniak M., Folyński M., Koliński A., Andrzejczyk P.: Organizacja i monitorowanie procesów transportowych, Zarządzanie środkami technicznymi podczas realizacji procesów transportowych, Instytut Logistyki i Magazynowania, ISBN 978-83-63186-01-2, Poznań, 2015.

⁸ Juściński, S.: Analiza systemów kompleksowego zarządzania logistycznego flotą pojazdów, [w:] Dzieńiszewski 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.

⁹ 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.

¹⁰ 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.

Bardzo trudnym w realizacji wyzwaniem podjętym przez UE, które ewoluowało z programów mających na celu redukcję emisji CO₂ do atmosfery oraz ograniczenie zjawiska ocieplenia klimatu była systemowa dywersyfikacja źródeł zasilania pojazdów.



Rys. 1. Poziom emisji gazów cieplarnianych emitowanych przez poszczególne branże

Źródło: https://www.teraz-srodowisko.pl/images/illustrations/artypul/11142_encart.jpg

Europejski Zielony Ład (*European Green Deal*) stanowi odzwierciedlenie szeregu prac parlamentu UE i działań politycznych prowadzonych przez Komisję Europejską. Nadrzędnym celem tych prac ma być osiągnięcie neutralności dla klimatu w Europie do 2050 r., co oznacza konieczność ograniczenia emisji gazów cieplarnianych aż o 90%, w porównaniu z poziomem istniejącym w 1990 r.^{11,12,13}

¹¹ Communication From The Commission To The European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions: The European Green Deal, COM/2019/640 final, EUR-Lex - 52019DC0640 – EN (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>)

¹² Juściński S.: Pojazdy z napędem alternatywnym, jako przykład zrównoważonego rozwoju logistycznych łańcuchów dostaw, [w:] *Dziesiętny G.*, Kuboń M. (red.): *Logistyka dziś i jutro, Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej*: ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysł, s. 137-166, 2020.

¹³ Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. 2018 poz. 317), (<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20180000317/U/D20180317Lj.pdf>)

Warunkiem koniecznym do pozytywnej realizacji tak ambitnych planów w odniesieniu do całego obszaru UE była oczywiście implementacja kolejnych zmian do systemu prawnego poszczególnych krajów. Sukces polityki Unii Europejskiej zależy bowiem od stosowania przez państwa członkowskie prawa UE na obszarze swojej jurysdykcji. Zgodnie z art. 17 ust. 1 Traktatu o Unii Europejskiej Komisja Europejska ma obowiązek nadzorować stosowanie prawa UE przez państwa członkowskie^{14,15}.

Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz. U. 2011 Nr 5 poz. 13) dokonała w zakresie swojej regulacji stosownego wdrożenia dyrektywy 2009/33/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania ekologicznie czystych i energooszczędnych pojazdów transportu drogowego (Dz. Urz. UE L 120 z 15.05.2009, str. 5).

Ponadto Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym wdrożyła do polskiego systemu prawnego:

- Rozporządzenia Rady (EWG) nr 684/92 z dnia 16 marca 1992 r. w sprawie wspólnych zasad międzynarodowego przewozu osób autokarem i autobusem (Dz. Urz. WE L 74 z 20.03.1992, str. 1, z późn. Zm.; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 6, t. 1, str. 306);
- Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1073/2009 z dnia 21 października 2009 r. w sprawie wspólnych zasad dostępu do międzynarodowego rynku usług autokarowych i autobusowych i zmieniającego rozporządzenie (WE) nr 561/2006 (Dz. Urz. UE L 300 z 14.11.2009, str. 88);
- Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 181/2011 z dnia 16 lutego 2011 r. dotyczącego praw pasażerów w transporcie autobusowym i autokarowym i zmieniającego rozporządzenie (WE) nr 2006/2004 (Dz. Urz. UE L 55 z 28.02.2011, str. 1).

Kolejnym etapem w pracach mających na celu redukcję emisji gazów cieplarnianych była Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych¹⁶. W krajowym systemie prawnym ogłoszona została Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych^{17,18}.

Ustawodawstwo krajowe w obszarze elektromobilności i paliw alternatywnych dokonało kolejno implementacji:

¹⁴ <https://op.europa.eu/webpub/eca/lr-eu-law/pl/>

¹⁵ Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz. U. 2011 Nr 5 poz. 13), <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20110050013/U/D20110013Lj.pdf>

¹⁶ Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej z dn. 28.10.2014, (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=nl>).

¹⁷ Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2021 r. poz. 110, 1093 i 2269). <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20180000317/U/D20180317Lj.pdf>

¹⁸ Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 grudnia 2020 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. 2018 poz. 317 t.j. Dz. U. 2021 poz. 110) (<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20210000110>).

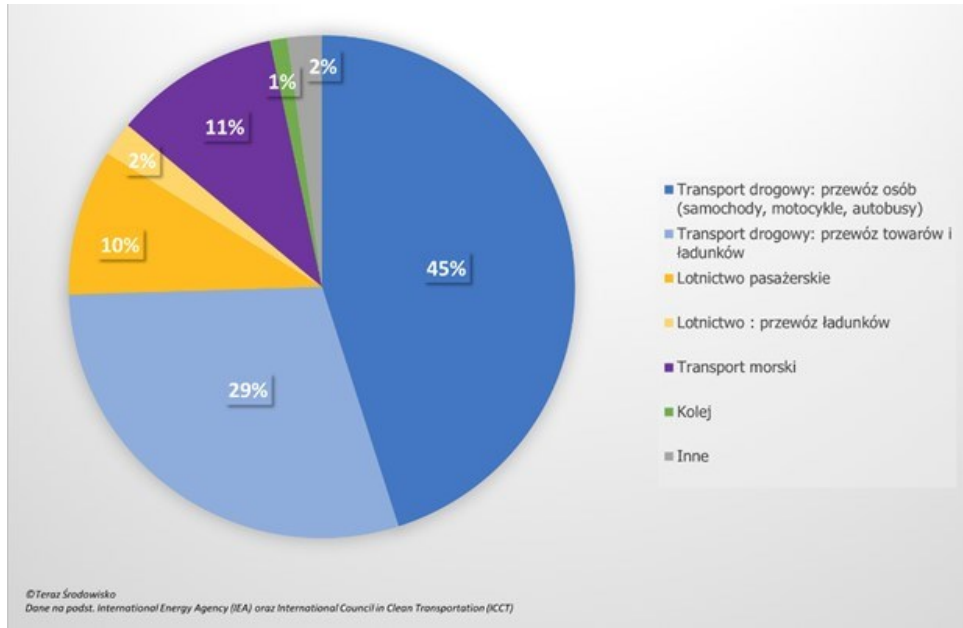
- Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych (Dz. Urz. UE L 307 z 28.10.2014, str. 1),
- Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1161 z dnia 20 czerwca 2019 r. zmieniająca dyrektywę 2009/33/WE w sprawie promowania ekologicznie czystych i energooszczędnych pojazdów transportu drogowego (Dz. Urz. UE L 188 z 12.07.2019, str. 116),
- Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/944 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej oraz zmieniająca dyrektywę 2012/27/UE (Dz. Urz. UE L 158 z 14.06.2019, str. 125)

Ustawodawstwo obejmujące zagadnienia z zakresu wprowadzania paliw alternatywnych zdefiniowało pojęcia:

- Autobus zeroemisyjny – to autobus w rozumieniu art. 2 pkt 41 ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym (Dz. U. z 2021 r. poz. 450, z późn. zm.) oraz trolejbus w rozumieniu art. 2 pkt 83 ww. ustawy, który wykorzystuje do napędu energię elektryczną, w tym także energię wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w tym pojeździe ogniach paliwowych lub też użytkuje wyłącznie silnik, którego pełny cykl pracy nie prowadzi do powstania i emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych lub też innych substancji, o których mowa w ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2022 r. poz. 673). Definicję autobusu zeroemisyjnego zawiera także art. 2 pkt 1 ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2021 r. poz. 110, 1093 i 2269).
- Pojazd elektryczny – to pojazd samochodowy w rozumieniu art. 2 pkt 33 ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym, wykorzystujący do napędu wyłącznie energię elektryczną akumulowaną w bateriach przez podłączenie do zewnętrznego źródła zasilania.
- Pojazd napędzany wodorem – pojazd silnikowy w rozumieniu art. 2 pkt 32 ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym, który wykorzystuje do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniach paliwowych.

Pomimo szeregu obowiązujących zapisów ustawowych transport drogowy w zakresie przewozu osób nadal posiada dominujący udział na poziomie 45% w ilości emitowanych gazów cieplarnianych, a kolejne 29% emitują pojazdy przewożące ładunki (rys. 2). Pozytywnym trendem jest wzrost popularności osobowych samochodów elektrycznych, które w krajach na terenie Europy Zachodniej w 2020 r. stanowiły 11% wszystkich nowo zarejestrowanych pojazdów¹⁹.

¹⁹ European Environment Agency Report No 02/2022. Transport and environment report 2021 Decarbonising road transport — the role of vehicles, fuels and transport demand, ISBN 978-92-9480-473-0, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022



Rys. 2. Poziom emisji gazów cieplarnianych emitowanych przez poszczególne rodzaje transportu z podziałem na przewozy osób oraz przewozy towarów i ładunków

Źródło: https://www.teraz-srodowisko.pl/images/illustrations/artikul/11142_encart.jpg

Transport miejski

Aglomeracje miejskie to obszar koncentracji ludności, której potrzeby w zakresie codziennej egzystencji są zależne od współistniejących bardzo złożonych relacji społecznych, ekonomicznych, gospodarczych, technicznych, socjalnych i prawnych. Sprawne funkcjonowanie tak złożonego systemu wymaga precyzyjnego planowania i utrzymania systemów transportowych. Wyzwaniem dla logistyki miejskiej jest konieczność pogodzenia intensywnej zabudowy mieszkaniowej i wydzielonych stref objętych ochroną (zabytki architektury) z koniecznością budowy lub rozbudowy sieci dróg i parkingów^{20,21,22,23}.

²⁰ Banach M.: Od inteligentnego transportu do inteligentnych miast, Wyd. Naukowe PWN SA, ISBN 978-83-01-20102-9, Warszawa, 2018.

²¹ Tundys B.: Logistyka miejska, koncepcje, systemy, rozwiązania; Wyd. Difin, ISBN 978-83-7251-894-1, Warszawa, 2008.

²² 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.

²³ Lefèvre J., Briand Y., Pye S., et al. A pathway design framework for sectoral deep decarbonization: the case of passenger transportation, *Clim Policy*, 21, 93-106, 2021.

Z drugiej strony aglomeracje miejskie oferują potencjalnie jedne z najlepszych możliwości dekarbonizacji w kilku sektorach takich, jak budownictwo, transport i segregacja odpadów z uwagi na koncentrację przestrzenną. Jednymi z obszarów, które wymagają jednak nadal dużych i systemowych inwestycji są programy związane z rozwojem nowoczesnej miejskiej logistyki transportowej, szczególnie realizowanej w zakresie przewozów pasażerskich^{24,25,26,27}.

Po akcesji Polski do Unii Europejskiej pojęcie „komunikacji pasażerskiej” zastąpiono w dokumentach krajowych terminem „transport zbiorowy” z uwagi na potrzebę jednoznacznego zapisu przy tłumaczeniu tego pojęcia na języki obce. Komunikację pasażerską określono w ramach tych zmian, jako szczególną formę organizacji przewozów pasażerskich, wynikającą z potrzeby ich zapewnienia w skali masowej. W warunkach krajowych planowanie rozwoju sieci przewozów pasażerskich, a także ich organizowanie i zarządzanie publicznym transportem zbiorowym jest przypisane w zależności od długości linii komunikacyjnej do zadań: wójta, burmistrza lub prezydenta miasta, starosty, marszałka województwa lub ministra ds. transportu. Transport miejski stanowi działalność gospodarczą polegającą na zaspokajaniu potrzeb przewozowych na obszarze zurbanizowanym, czyli na terenie miasta oraz w strefie podmiejskiej. Stanowi trudne wyzwanie z uwagi na konieczność pogodzenia obszarów o biegunowo odległych priorytetach: dostępności dla mieszkańców bez zjawiska wykluczenia komunikacyjnego obszarów lub grup społecznych oraz zapewnienia w długim horyzoncie czasowym bezpieczeństwa finansowego prowadzonej działalności gospodarczej przez operatorów komunikacyjnych^{28,29,30,31}

Transport miejski może odbywać się pieszo lub z wykorzystaniem różnego rodzaju środków³²:

- transportu indywidualnego: rower (a w tym rower miejski); motorower, motocykl, pojazd typu *Segway*, hulajnoga elektryczna;
- transportu grupowego: samochód osobowy (a w tym wypożyczalnie samochodów osobowych *car-sharing*), taksówka, taksówka zbiorowa (bus);
- transportu zbiorowego: autobusy, trolejbusy, tramwaje, premetro, metro, kolej miejska.

²⁴ Echeverri G.L.: Investing for rapid decarbonization in cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2018; 30: 42–51, 2018.

²⁵ Ważna A.: Ekonomiczna wartość czasu w transporcie pasażerskim, Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN 978-83-8206-039-3, Gdańsk, 2020.

²⁶ Göhlich D., Nagel K., Syré A.M., et al.: Integrated Approach for the Assessment of Strategies for the Decarbonization of Urban Traffic, *Sustainability*, 13, 839, 2021.

²⁷ Teoh T., Kunze O., Teo C.C., et al. Decarbonisation of Urban Freight Transport Using Electric Vehicles and Opportunity Charging. *Sustainability*, 10, 3258, 2018.

²⁸ https://pl.wikipedia.org/wiki/Transport_miejski

²⁹ Wyszomirski O. (red.): Transport miejski. *Ekonomika i organizacja*. Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN 978-83-7326-507-3, Gdańsk, 2008.

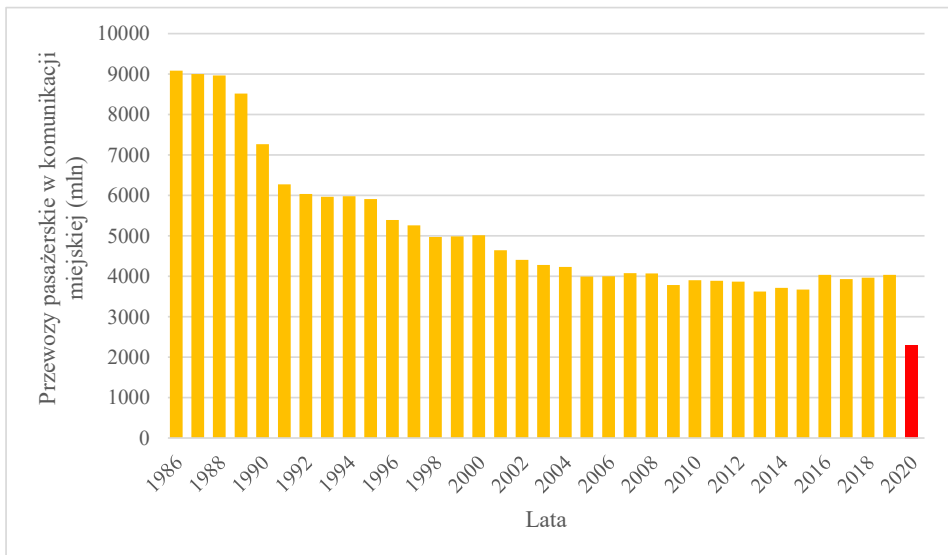
³⁰ Madej B., Madej R., Pruciak K.: *Publiczny transport miejski. Zasady tworzenia rozkładów jazdy*. Warszawa: Akademia Transportu i Przedsiębiorczości, ISBN 978-83-944575-3-2, 2017.

³¹ Madej B., Madej R., Pruciak K.: *Publiczny transport miejski. Zasady tworzenia rozkładów jazdy*. Warszawa: Akademia Transportu i Przedsiębiorczości, ISBN 978-83-944575-3-2, 2017.

³² https://pl.wikipedia.org/wiki/Transport_miejski

Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej (IGKM) to organizacja branżowa, do której akcesję zgłosiło 230 podmiotów gospodarczych. IGKM zrzesza przede wszystkim krajowych operatorów komunikacji miejskiej, a ponadto producentów taboru, placówki naukowo-badawcze oraz inne podmioty świadczące usługi na rzecz komunikacji miejskiej. IGKM istnieje formalnie od marca 1991 r., ale jest organizacją kontynuującą tradycję współpracy przedsiębiorstw komunikacji miejskiej, która była realizowana wcześniej w ramach innych organizacji branżowych³³.

Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej podkreśla, że pandemia COVID-19 wywołała bardzo poważne problemy w branży przewozów pasażerskich na terenach miejskich. Ograniczenie działalności poszczególnych zakładów produkcyjnych, a w tym powszechne stosowanie pracy zdalnej, zamykanie wszystkich typów szkół oraz obostrzenia w handlu, a także działalności usługowej (m.in. wyłączenie z funkcjonowania kin, centrów rozrywki i lokali gastronomicznych) spowodowała drastyczne obniżenie poziomu zapotrzebowania na usługi w przewozach pasażerskich. Stąd najbardziej reprezentatywne dla struktury i wielkości rynku usług przewozów pasażerskich na terenie miast w Polsce są dane z 2019 r. (rys. 3).



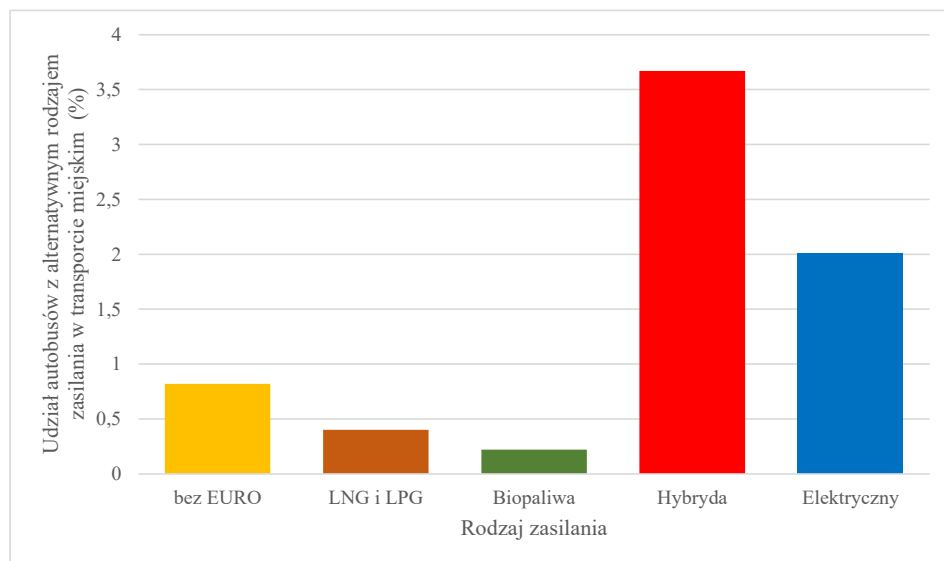
Rys. 3. Przewozy pasażerskie w komunikacji miejskiej w Polsce w latach 1986-2020

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: https://igkm.pl/statystyka/wg_danych_GUS

Według danych statystycznych GUS zestawionych przez Izbę Gospodarczą Komunikacji Miejskiej, liczba przewozów osobowych w Polsce w latach 1986- 20005 obniżyła się ponad

³³ <https://igkm.pl/>

dwukrotnie z poziomu 9078,5 mln do 3989,3 mln pasażerów. W latach 2005-2019 utrzymywała się na stabilnym poziomie około 4000 mln pasażerów rocznie, natomiast w 2020 odnotowała spadek o ponad 40% wywołany pandemią do poziomu 2300 mln pasażerów.



Rys. 4. Udział procentowy autobusów z alternatywnym rodzajem zasilania w transporcie miejskim w 2019 r.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: <https://igkm.pl/statystyka/>

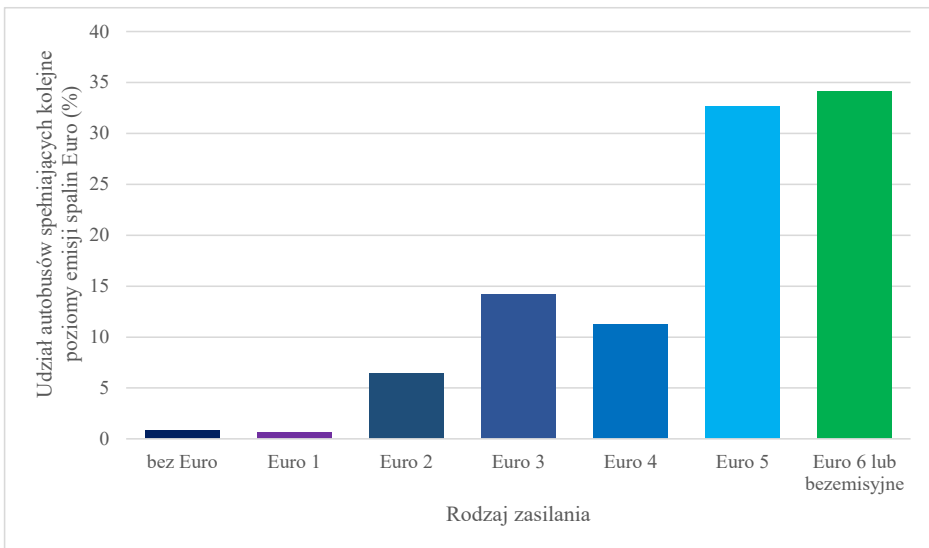
Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej zwraca uwagę na zróżnicowany przebieg prac związanych z rozwojem i dywersyfikacją taboru eksploatowanego przez krajowych operatorów komunikacji miejskiej, co wynika z jednej strony z przyjętych planów strategicznych w obszarze rozwoju, a z drugiej jest stymulowane poziomem i dostępnością wsparcia finansowego na poziomie krajowym lub UE. Udział procentowy autobusów z alternatywnym rodzajem zasilania w transporcie miejskim w 2019 r. ilustruje rys. 4. Autobusy elektryczne stanowiły tylko 2% taboru pojazdów użytkowanych do przewozów pasażerskich³⁴.

Udział procentowy autobusów spełniających koleje poziomy dopuszczalnej emisji spalin Euro użytkowanych w przedsiębiorstwach przewozowych zrzeszonych w Izbie Gospodarczej Komunikacji Miejskiej w 2019 r. ilustruje rys. 5. Dominują pojazdy spełniające dwie ostatnie normy: Euro 5 na poziomie 32,62% i Euro 6 łącznie z pojazdami niskoemisyjnymi na poziomie 34,07%³⁵.

³⁴ <https://igkm.pl/statystyka/>

³⁵ j.w.

Europejski standard emisji spalin (Euro), to norma dopuszczalnych emisji spalin w nowych pojazdach sprzedawanych na terenie Unii Europejskiej. Emisja tlenków azotu (NO_x), węglowodorów (HC), tlenków węgla (CO) i cząstek stałych (PM) jest od trzech dekad regulowana poprzez kolejne normy Euro dla samochodów osobowych, ciężarówek, autobusów, pociągów, traktorów i maszyn rolniczych. Należy podkreślić restrykcyjny charakter w zakresie spełniania norm spalania polegający na tym, że od spełnienia wyznaczonych parametrów uzależnione są opłaty od poruszania się pojazdów ciężarowych i autobusów po wybranych drogach. W Polsce firma transportowa użytkująca pojazd spełniający normę Euro 2 zobowiązana jest do ponoszenia dwa razy wyższych opłat za przejechanie każdego kilometra drogi w stosunku do pojazdu spełniającego minimum normę Euro 5³⁶.



Rys. 5. Udział autobusów spełniających poziomy dopuszczalnej emisji spalin Euro w 2019 r. w (%)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: <https://igkm.pl/statystyka/>

Autobusy elektryczne

Elektryfikacja, jako alternatywne źródło zasilania w transporcie miejskim ma rodowód sięgający lat 80. XIX wieku. W 1882 r. niemiecka firma Siemens zaprezentowała pierwszy pojazd zasilany z elektrycznej sieci napowietrznej, czyli protoplastę późniejszych trolejbusów. Dynamiczny rozwój trolejbusów przypada na lata 20. i 30. XX wieku. Trolejbusy wyposażone w silnik elektryczny zapewniający wysoką dynamikę ruchu przewyższały we wszystkich parametrach eksploatacyjnych ówczesne autobusy, umożliwiając przewożenie

³⁶ https://pl.wikipedia.org/wiki/Europejski_standard_emisji_spalin

także większej liczby pasażerów. Natomiast w kolejnych dekadach XX wieku spadek cen paliw ropopochodnych oraz popularyzacja autobusów z silnikami spalinowymi spowodowały likwidację wielu systemów trolejbusowych w miastach. Dopiero na początku XXI wieku nastąpił renesans komunikacji trolejbusowej z uwagi na fakt, że są to pojazdy niegenerujące hałasu oraz całkowicie bezemisyjne. Obecnie linie trolejbusowe obsługują komunikację w ponad 150 miastach na terenie Europy³⁷. Pierwszą linię trolejbusową w Polsce oddano do użytku we Wrocławiu w 1912 r., a kolejne w Poznaniu w 1930 r. i Olsztynie 1939 r. W XX wieku linie trolejbusowe były w 12 miastach w Polsce, ale większość została zlikwidowana³⁸. Obecnie na terenie kraju systemy komunikacji trolejbusowej są w: Gdyni od 1943 r., w Lublinie od 1953 r. i Tychach od 1982 r. Zabytkowy trolejbus Skoda 9Tr odrestaurowany przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Lublinie (rys. 6) był jedną z atrakcji Europejskiego Tygodnia Zrównoważonego Transportu. Tego typu trolejbusy marki Skoda jeździły w Lublinie od 1955 r.³⁹



Rys. 6. Zabytkowy trolejbus Skoda 9Tr odrestaurowany przez MPK w Lublinie

Źródło: <https://radio.lublin.pl/2021/09/prezentuje-sie-pieknie-kolejny-zabytkowy-trolejbus-wyjechal-na-lubelskie-ulice/>

³⁷ Połom M., Palmowski T.: Rozwój i funkcjonowanie komunikacji trolejbusowej w Gdyni, Wydawnictwo "Bernardinum", ISBN 978-83-7380-776-1, 2009.

³⁸ https://pl.wikipedia.org/wiki/Trolejbusy_w_Polsce

³⁹ <https://radio.lublin.pl/2021/09/prezentuje-sie-pieknie-kolejny-zabytkowy-trolejbus-wyjechal-na-lubelskie-ulice/>

Solaris Bus & Coach sp. z o.o. to jeden z europejskich liderów w branży producentów autobusów i trolejbusów. W ofercie firmy jest m.in. rodzina trolejbusów Trollino, obejmująca modele o trzech długościach: 12, 18 i 24 metrów^{40,41}. Dwuprzegubowe trolejbusy Trollino 24 zostały zakupione m.in. do Bratysławy (rys. 7). Napęd trolejbusu stanowią dwa silniki, każdy o mocy 160 kW, a pomocnicze baterie trakcyjne są ładowane podczas jazdy z sieci trolejbusowej. Umożliwia to tryb jazdy zarówno sieciowy, jak i z wykorzystaniem tych baterii. Trollino 24 oferuje możliwość przewozu 160 osób, a w tym 60 miejsc siedzących. Nad drzwiami w układzie 2-2-2-2-2 umieszczone są bramki liczące pasażerów. Komfort podróży i bezpieczeństwo zapewnia klimatyzacja, bezprzewodowy Internet, oświetlenie LED, porty ładowania USB oraz system monitoringu liczący 7 kamer zewnętrznych i 9 monitorujących wewnątrz trolejbusu⁴².



Rys. 7. Model dwuprzegubowego trolejbusu Trollino 24 wyprodukowany przez firmy Solaris Bus & Coach sp. z o.o.

Źródło: <https://www.transportm.pl/news/691/17/Pierwsze-sukcesy-dwuprzegubowych-Solarisow>

Pierwszy autobus elektryczny firma Solaris zaprezentowała w 2011 r., natomiast w 2016 r. model Solaris Urbino 12 electric zdobył tytuł „Bus of the Year 2017”, jako pierwszy w historii pojazd elektryczny zasilany z baterii litowo-jonowych. Rodzina autobusów elektrycznych obejmuje modele: Urbino 9 LE electric, Urbino 15 LE electric, Urbino 8,9 LE

⁴⁰ <https://www.solarisbus.com/pl>

⁴¹ <https://finanse.wp.pl/w-kraju-jezdza-tylko-w-trzech-miastach-ale-to-polska-jest-najwiekszym-producentem-trolejbusow-w-europie-6114668112021633a>

⁴² <https://www.transportm.pl/news/691/17/Pierwsze-sukcesy-dwuprzegubowych-Solarisow>

electric, Urbino 12 electric oraz Urbino 18 electric (rys. 8). Wszystkie posiadają w standardzie system ładowania baterii *plug-in* oraz jako opcję ładowanie przez pantograf⁴³.



Rys. 8. Model niskopodłogowego autobusu Urbino 18 electric wyprodukowany przez firmę Solaris Bus & Coach sp. z o.o.

Źródło: https://www.solaribus.com/public/assets/content/pojazdy/Napedy_alternatywne/Urbino_Electric/UElectric18/SolBRU-0371-3_1055x750.jpg

Firma Volvo Polska podczas największych w Europie dedykowanych producentom autobusów targów Busworld 2019 dokonała prezentacji elektrycznego przegubowego autobusu miejskiego Volvo 7900 Electric (rys. 9). Pojazd o długości 18 metrów zaprojektowano z myślą o zelektryfikowaniu miejskich linii autobusowych o wysokiej częstotliwości kursowania, przewożących dużą liczbę pasażerów. Volvo 7900 Electric oferujący przewóz 150 pasażerów zasilany jest przez dwa silniki elektryczne o mocy 200 kW każdy oraz wyposażony w baterie o pojemności 400 kWh. Pojazd może być ładowany zarówno na stacjach szybkiego ładowania na trasie typu „*Opportunity Charging*”, jak i przez ładowarki stacjonarne. Autobusy elektryczne mogą być wyposażone w system do jazdy autonomicznej w obszarze zajezdni, który firma Volvo przetestowała i wdrożyła do eksploatacji w Szwecji⁴⁴.

Standardowo pojazdy posiadają⁴⁵:

⁴³ <https://www.solaribus.com/pl/pojazdy/napedy-zeroemisyjne/grupa-urbino-electric>

⁴⁴ <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/busworld-volvo-wprowadza-elektryczny-przegubowy-autobus-miejski--62893.html>

⁴⁵ j.w.

- system zarządzania strefą bezpieczeństwa, która automatycznie zapobiega na trasie przekraczaniu określonych limitów prędkości;
- system automatycznego wykrywania pieszych i rowerzystów, dzięki któremu kierowca informowany jest o ryzyku takiej potencjalnej kolizji.



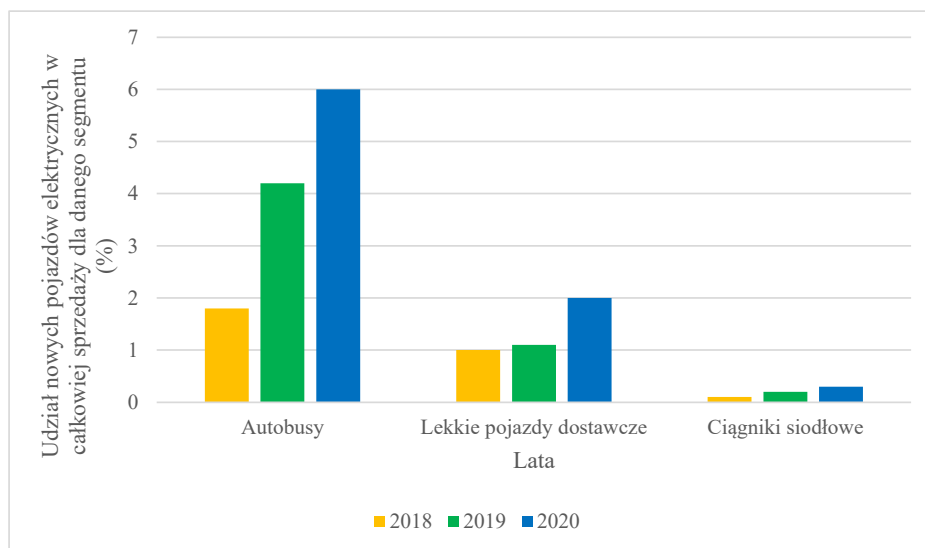
Rys. 9. Elektryczny przegubowy autobus miejski Volvo 7900 Electric produkowany przez firmę Volvo Polska we Wrocławiu podczas premiery na targach Busworld 2019

Źródło: <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/busworld-volvo-wprowadza-elektryczny-przegubowy-autobus-miejski--62893.html>

Użytkowanie autobusów elektrycznych wymaga inwestycji w budowę ładowarek stacjonarnych na terenie zajezdni oraz szybkich ładowarek pantografowych na pętach. Inwestycje tego typu to dla firm komunikacyjnych konieczność przygotowania i rozstrzygnięcia przetargów, dopełnienia skomplikowanych procedur administracyjnych oraz zapewnienia przyłączy przez operatora sieci elektroenergetycznej⁴⁶.

Poziom elektryfikacji w segmencie autobusów na terenie UE ma tendencję wzrostową i jest znacznie wyższy od tempa elektryfikacji samochodów dostawczych i ciężarowych. W segmencie autobusów w 2020 r. udział autobusów elektrycznych w całkowitej sprzedaży nowych pojazdów był na poziomie 6%, podczas gdy dla lekkich samochodów dostawczych był to poziom 2%, a dla ciągników siodłowych zaledwie 0,3%.

⁴⁶ Bartłomiejczyk M., Połom M. Dynamic Charging of Electric Buses as a Way to Reduce Investment Risks of Urban Transport System Electrification. In: International Conference TRANSBALTICA: Transportation Science and Technology. Springer, 297–308, 2020.



Rys. 10. Udział nowych pojazdów elektrycznych w całkowitej sprzedaży dla segmentu autobusów, lekkich pojazdów dostawczych i ciągników siodłowych w latach 2018- 2020 w (%)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie European Environment Agency Report No 02/2022. Transport and environment report 2021 Decarbonising road transport — the role of vehicles, fuels and transport demand, ISBN 978-92-9480-473-0, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022

Rozbudowa floty pojazdów elektrycznych użytkowanych w komunikacji miejskiej wymaga wysokich inwestycji. Ceny takich pojazdów różnią się w zależności od marki, modelu, wyposażenia oraz warunków realizacji wynegocjowanego z producentem kontraktu ale jest to wydatek rządu⁴⁷:

- dla trolejbusów 2,3 mln PLN za sztukę,
- dla autobusu elektrycznego ponad 3 mln PLN za sztukę.

W styczniu 2021 r. Narodowym Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) uruchomił nabór wniosków o dofinansowanie w ramach programu „Zielony transport publiczny”. Nabory wniosków o dotacje na zakup bezemisyjnych autobusów prowadzone będą w trzech etapach rocznych, czyli w 2021 r., 2022 r. i 2023 r. Beneficjentami dofinansowania mogą być operatorzy publicznego transportu zbiorowego, w tym jednostki samorządowe. NFOŚiGW na lata 2020-23 przeznaczy w formie dotacji oraz preferencyjnych pożyczek kwotę 1,3 mld PLN. W 2021 r. dotacje były przyjmowane wyłącznie na zakup lub leasing autobusów elektrycznych i trolejbusów, a dla obu wersji pojazdów maksymalny udział dofinansowania ustalono na poziomie 80%. Podczas drugiego etapu w 2022 r. poziom dotacji do autobusów elektrycznych i trolejbusów obniżono do poziomu 70%, natomiast uru-

⁴⁷ <https://www.auto-swiat.pl/ev/wiadomosci/sprawdzilismy-ile-pali-elektryczny-autobus-a-ile-z-dieslem/m2rtdyd>

chomiono opeję pozyskania dotacji na poziomie 90% na zakup autobusów zasilanych wodorem. Natomiast w trzecim etapie w 2023 r. operatorzy będą mogli składać wnioski na dofinansowanie tylko autobusów elektrycznych i trolejbusów, ale wysokość dotacji będzie już na poziomie 60%. Na każdym etapie możliwe będzie również uzyskanie dofinansowania do poziomu 50% kosztów zakupu infrastruktury służącej do ładowania pojazdów elektrycznych z zastrzeżeniem, że nie będzie to kwota wyższa niż 3 mln PLN. NFOSiGW zakłada, że program pozwoli na realizację zakupu lub leasingu 500 pojazdów zeroemisyjnych⁴⁸.



Rys. 11. Stacja szybkiego ładowania autobus elektrycznego marki Solaris w Krakowie za pomocą pantografu na przystanku krańcowym linii

Źródło: <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/jak-krakow-rozwija-swoja-flote-autobusow-elektrycznych-58387.html>

MPK Kraków od 2016 r. testowało, a obecnie użytkuje 26 autobusów elektrycznych marki Solaris. Zgodnie z planami w 2025 r. jedna trzecia autobusów na terenie Krakowa będzie zasilana elektrycznie. Dywersyfikacja floty pojazdów w zakresie alternatywnych źródeł zasilania wymagała budowy niezbędnej infrastruktury. Zastosowano klasyczny mieszany model ładowania, polegający na podłączaniu autobusu w nocy do prądu na zajezdniach oraz wykorzystaniu szybkiego ładowania za pomocą pantografów na przystankach końcowych

⁴⁸<https://www.gramwzielone.pl/auto-ekologiczne/104521/ruszyl-nabor-wnioskow-o-dotacje-na-autobusy-elektryczne>

linii. Doświadczenia MPK Kraków potwierdzają, że tego typu inwestycja napotyka na liczne bariery administracyjne, stąd uzyskanie wszystkich pozwoleń na ich budowę to okres półtora roku⁴⁹.



Rys. 12. Infrastruktura do ładowania pojazdów marki Solaris Urbino 12 na zajezdni w Rzeszowie

Źródło: <https://ecity.solarisbus.com/wp-content/webp-express/webp-images/uploads/2022/03/SOL-RZESZOW-14-1.jpg.webp>

Urząd Miasta Rzeszów zastosował w 2019 r. nowatorski sposób wdrożenie do eksploatacji taboru elektrycznych autobusów miejskich wraz z infrastrukturą do ich ładowania. Wybudowano na terenie zajezdni pasaż wyposażony w 10 ładowarek prądu stałego o mocy 35 kW (system *plug-in*) oraz posiadającą dwa maszty stację szybkiego ładowania. Całość prac: projekty, prace budowlane, dostawę urządzeń ładujących, a następnie ich montaż i uruchomienie powierzone zostały firmie Solaris Bus & Coach sp. z o.o., która dostarczyła także 10 autobusów Urbino 12 electric⁵⁰.

⁴⁹<https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/jak-krakow-rozwija-swoja-flote-autobusow-ektrycznych-58387.html>

⁵⁰ <https://ecity.solarisbus.com/e-mobility/bezemisyjny-transport-w-polskiej-stolicy-innowacji>



Rys. 13. Ceny energii elektrycznej na polskiej giełdzie w latach 2000-2022

Źródło: https://wysokienapiecie.pl/wp-content/uploads/2022/08/ceny_pradu_polska_lipiec_2023-1024x587.png

Rynek energii elektrycznej od początku 2022 r. wykazywał drastyczny wzrost cen za MWh, co destabilizowało funkcjonowanie transportu pasażerskiego w firmach użytkujących trolejbusy i autobusy elektryczne. Zgodnie z danymi MPK w Lublinie zużycie energii przez trolejbusy to średnio ok. 220 kWh/100 km. Stąd koszt eksploatacji trolejbusa w pierwszej połowie 2022 r. to 125 PLN/100 km, a w drugiej połowie 2022 r. to już 440 PLN/100 km, podczas gdy użytkowanie autobusu z silnikiem Diesla to koszt 290 PLN/100 km. Zużycie prądu przez elektryczny autobus miejski to 100-150 kWh/100 km, co oznacza, że eksploatacja tych pojazdów przy tak wysokiej cenie energii elektrycznej przestaje być ekonomicznie uzasadniona. Stąd na szczeblu rządowym podjęte zostały działania mające na celu złagodzenia skutków podwyżek cen energii dla małych i średnich firm oraz samorządów, polegające na wyznaczeniu regulowanej ustawą ceny za energię elektryczną w 2023 r.^{51,52,53,54}.

⁵¹<https://www.auto-swiat.pl/ev/wiadomosci/sprawdzilismy-ile-pali-elektryczny-autobus-a-ile-z-dieslem/m2rtdyd>

⁵² <https://www.auto-swiat.pl/wiadomosci/aktualnosci/kutno-mzk-nie-stac-na-uzytkowanie-el-ektrycznych-autobusow-beda-musialy-stanac-pod/td4sds>

⁵³<https://wysokienapiecie.pl/77046-ceny-pradu-dla-czesci-firm-i-samorzadow-beda-znowu-regulowane/>

⁵⁴ <https://www.money.pl/gospodarka/ile-pradu-zyywa-tramwaj-trolejbus-i-autobus-elektryczny-to-dlatego-wyzsze-rachunki-uderza-w-miejskich-przewoznikow-6810125767084672a.html>

Autobusy zasilane wodorem

W lipcu 2020 r. Komisja Europejska zaproponowała strategię wodorową dla Europy, mającą na celu przyspieszenie rozwoju technologii służących do pozyskiwania czystego wodoru. Działania takie w opinii twórców tej strategii powinny zapewnić wodorowi kluczową rolę w procesie wykorzystania go, jako paliwa na drodze do uzyskania neutralnego dla klimatu systemu energetycznego w Europie do 2050 r. Należy podkreślić, że są różne rodzaje wodoru, które można podzielić na kategorie według procesu produkcji i towarzyszącej tym działaniom emisji gazów cieplarnianych. Czysty wodór, to tzw. „wodór odnawialny” lub „zielony wodór”, który jest wytwarzany w drodze elektrolizy wody w elektrolizerze zasilanym energią elektryczną, ale przy wykorzystaniu energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Emisje gazów cieplarnianych w całym cyklu życia produktu określanego, jako zielony wodór są bliskie zeru^{55,56}.

Wodór, jako paliwo przyszłości ma szereg zalet, ponieważ⁵⁷:

- podczas wykorzystania go do celów energetycznych nie jest on źródłem emisji gazów cieplarnianych, a jedynym produktem ubocznym w takim procesie jest woda;
- istniejąca infrastruktura służąca do przesyłania i magazynowanie gazu (rurociągi i zbiorniki) może być w skali przemysłowej przystosowana do przesyłania i magazynowanie wodoru,
- posiada wyższą gęstość energii niż obecnie użytkowane akumulatory, stąd istnieje możliwość wykorzystania pojazdów nim zasilanych do przewozu ciężkich ładunków na duże odległości lub zasilania pojazdów komunikacji pasażerskiej;
- istnieje możliwość wykorzystania go do wytwarzania innych gazów oraz paliw płynnych.

Podjęte przez Parlament Europejski działania legislacyjne miały na celu⁵⁸:

- generowanie popytu oraz jednoczesne tworzenia europejskiego rynku wodoru,
- inicjowanie działań służących szybkiemu budowaniu infrastruktury wodorowej,
- wspomaganie procesu wyeliminowania z rynku wodoru uzyskiwanego z paliw kopalnych,
- kompleksowe uporządkowanie rynku wodoru poprzez jego certyfikację na terenie UE zarówno w zakresie eksportu, jak i importu;
- rozpoczęcie prac w zakresie oceny skali działań koniecznych do tego, aby istniejące gazociągi i podziemne magazyny przystosować do przesyłania i magazynowanie wodoru;
- oszacowanie możliwości realizacji wytwarzania na poziomie 10 milionów ton wodoru ze źródeł odnawialnych do 2030 r.

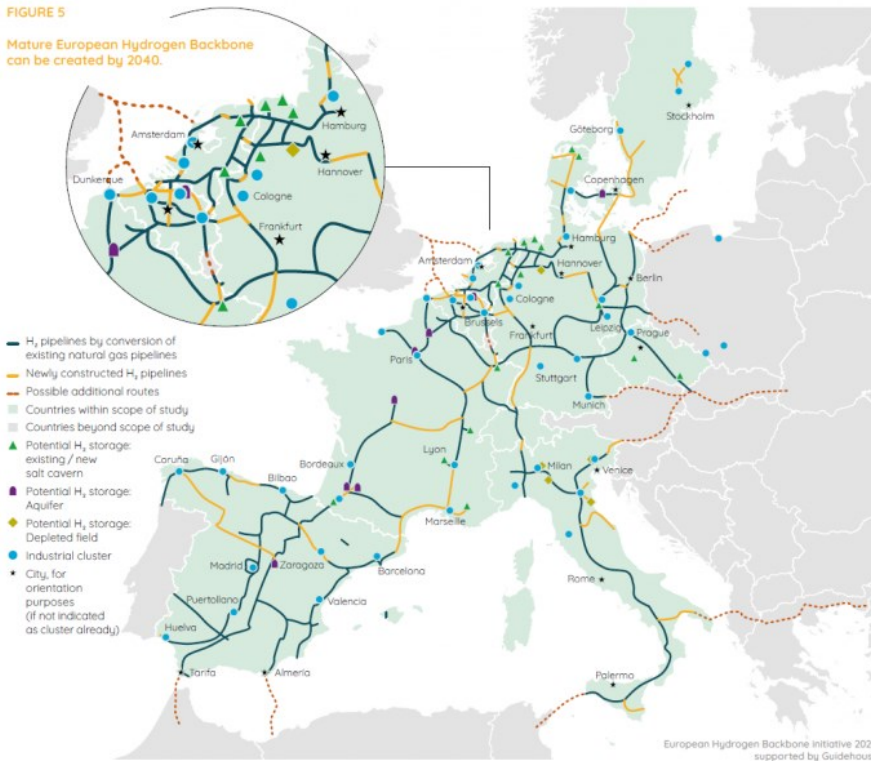
⁵⁵ Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2020) 301 final: A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, Brussels, 8.7.2020, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0301>

⁵⁶ Vilke S., Tadic F., Ostović I., et al.: The use of hydrogen as an alternative fuel in urban transport, *Pomorstvo*, 34, 376–386, 2020.

⁵⁷ <https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/priorities/zmiana-klimatu/20210512STO04004/odnawialny-wodor-jakie-sa-korzysci-dla-ue>

⁵⁸ <https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/priorities/zmiana-klimatu/20210512STO04004/odnawialny-wodor-jakie-sa-korzysci-dla-ue>

Po przyjęciu przez Parlament Europejski Strategii Wodorowej grupa największych europejskich firm obsługujących infrastrukturę gazową z dziewięciu krajów członkowskich UE zaprezentowała koncepcję transkontynentalnej infrastruktury do transportu wodoru. „Europejski szkielet wodorowy” (*European hydrogen backbone*) został opracowany przy udziale operatorów przesyłowych: Enagás, Energinet, Fluxys Belgium, Gasunie, GRTgaz, NET4GAS, OGE, ONTRAS, Snam, Swedegas (Nordion Energi), Teréga i firmę doradcą Guidehouse. Zaprojektowana sieć będzie przebiegać przez Niemcy, Francję, Włochy, Hiszpanię, Holandię, Belgię, Czechy, Danię, Szwecję i Szwajcarię⁵⁹.



Rys. 14. Rozwój sieci przesyłowych paliwa wodorowego na terenie Unii Europejskiej w perspektywie do 2040 r.

Źródło: <https://www.euractiv.com/section/energy/news/gas-grid-operators-unveil-plan-for-european-hydrogen-infrastructure-backbone/>

⁵⁹ <https://www.euractiv.com/section/energy/news/gas-grid-operators-unveil-plan-for-european-hydrogen-infrastructure-backbone/>

Koncepcja (rys. 14) zakłada stopniową rozbudowę od 2020 r. do 2040 r. infrastruktury przesyłowej wodoru o docelowej długości około 23 000 km.

Planowane etapy, to⁶⁰:

- 6 800 km sieci wodorowej do 2030 r., aby połączy lokalne klastry produkcji i wykorzystania wodoru, czyli tzw. „doliny wodorowe”;
- rozbudowa do 2035 r. połączeń odbiorców w centralnej części kontynentu z regionami o potencjalnie dużych zasobach „zielonego wodoru”, czyli morskimi farmami wiatrowymi oraz lądowymi farmami fotowoltaicznymi i wiatrowymi;
- powstanie do 2040 r. docelowej sieci rurociągów lokalnych tak, aby obejmowały dziesięć krajów na obszarze UE oraz zapewniały dostęp do globalnych szlaków importu wodoru.

Na mapie sieci przesyłowych paliwa wodorowego na terenie Unii Europejskiej w perspektywie do 2040 r. przedstawionej na rys. 14, oznaczono kolorem:

- zielonym istniejące rurociągi, które zostaną dostosowane do przesyłania wodoru;
- żółtym rurociągi, które zostaną dopiero wybudowane;
- czerwonym (linia przerywana) ilustruje potencjalne dodatkowe trasy do krajów nieobjętych wstępną koncepcją rozbudowy sieci,
- małe symbole wskazują lokalizację potencjalnych magazynów do przechowywania pozyskanego wodoru.

Biznesplan „*European hydrogen backbone*” zakłada, że koszty budowy nowych rurociągów i modyfikacji istniejących oraz infrastruktury towarzyszącej, to łącznie 27 do 64 miliardów EUR⁶¹.

Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040 r. ogłoszona 7 grudnia 2021 r. jest dokumentem strategicznym, który określa główne cele rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce oraz kierunki działań, które są niezbędne do ich osiągnięcia.

Polska Strategia Wodorowa definiuje 6 celów szczegółowych⁶²:

- Cel 1 – to wdrożenie technologii wodorowych w energetyce i ciepłownictwie,
- Cel 2 – to wykorzystanie wodoru, jako paliwa alternatywnego w transporcie,
- Cel 3 – to wsparcie dekarbonizacji przemysłu,
- Cel 4 – to produkcja wodoru w nowych instalacjach,
- Cel 5 – to sprawny i bezpieczny proces przesyłania, dystrybucji i magazynowania wodoru;
- Cel 6 – to stworzenie stabilnego otoczenia regulacyjnego.

Twórcy Polskiej Strategii Wodorowej założyli, że wskaźnikami osiągnięcia jej celów do 2030 r. będą⁶³:

- moc działających instalacji do produkcji niskoemisyjnego wodoru rzędu 50 MW do 2025r. i 2GW do 2030r.;
- istnienie, co najmniej 5 dolin wodorowych;
- eksploatacja autobusów wodorowych w liczbie: 100-250 do 2025 r. i 800-1000 do 2030 r.;
- powstanie, co najmniej 32 stacji dystrybucji wodoru do 2025 r.;

⁶⁰ <https://www.euractiv.com/section/energy/news/gas-grid-operators-unveil-plan-for-european-hydrogen-infrastructure-backbone>

⁶¹ j.w.

⁶² <https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030>

⁶³ j.w.

- zawarcie „Porozumienia na rzecz budowy gospodarki wodorowej” (zostało już dokonane 14.10.2021 r.);
- stworzenie Ekosystemu Innowacji Dolin Wodorowych,
- utworzenie Centrum Technologii Wodorowych.

Rozwój technologii zasilania pojazdów wodorem na przestrzeni ostatniej dekady można określić, jako spektakularny. Z projektów studyjnych i konstrukcji prototypowych prezentowanych na targach i wystawach motoryzacyjnych, wszedł on już w fazę seryjnie produkowanych i użytkowanych w komunikacji miejskiej autobusów. Osobnym problemem technicznym i organizacyjnym jest budowa sieci stacji tankowania wodoru. Porównując proces powstania dla autobusów elektrycznych ładowarek *plug-in*, które najczęściej są instalowane, jako komponent zajezdni, ze stacją tankowania dla autobusów wodorowych, należy uznać, że jest to zdecydowanie trudniejsze zadanie w sferze finansowej i wykonawczej⁶⁴.



Rys. 15. Stacja tankowania wodoru we Włoszech w mieście Bolzano obsługująca 12 autobusów wodorowych marki Solaris Urbino hydrogen

Źródło: https://ecity.solarisbus.com/wp-content/webp-express/webp-images/uploads/2022/02/jak_dziala_autobus_wodorowy_ecity_solaris_2-2048x1365.jpg.webp

⁶⁴ <https://ecity.solarisbus.com/e-mobility/stacje-tankowania-wodoru>

Na początku 2022 r. na terenie Unii Europejskiej funkcjonowało już blisko 200 ogólnodostępnych stacji tankowania wodoru, natomiast kolejne 100 punktów było na różnych etapach realizacji. Z uwagi na dynamikę w rozwoju technologii wodorowej skupionej w pierwszej fazie na samochodach osobowych nie wszystkie z istniejących stacji tankowania wodorem zostały przystosowane do obsługi autobusów wodorowych. Rozwój nowoczesnego i zrównoważonego transportu publicznego z wykorzystaniem autobusów wodorowych spowodował bieżącą korektę w planach nowobudowanych obiektów.

Sieć punktów tankowania wodoru obejmowała na początku 2022 r.⁶⁵: 99 stacji w Niemczech, 34 stacje we Francji, 16 stacji w Wielkiej Brytanii, 8 obiektów w Danii, 7 obiektów w Szwajcarii, 6 obiektów w Holandii, 5 obiektów w Norwegii, 4 stacje w Szwecji, po 3 obiekty we Włoszech oraz na Islandii, a także po 1 na Łotwie, w Czechach i Chorwacji.

W połowie 2022 r. w Polsce żadna stacjonarna i ogólnodostępna stacja tankowania wodoru dostosowana do obsługi autobusów wodorowych nie została jeszcze oddana do użytku. Jest to stan przejściowy, ponieważ podjętych zostało szereg działań legislacyjnych i wykonawczych na szczeblu rządowym. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministerstwo Klimatu i Środowiska stacja oraz dystrybutor do tankowania wodoru powinny spełniać wymagania techniczne, które są zgodne z aktualnym poziomem wiedzy i najlepszą praktyką. Punktem odniesienia są parametry zawarte w normach SO 19880-1 i PN-EN 17127⁶⁶.

Projekt rozporządzenia wprowadza również przepisy:

- dotyczące eksploatacji, modernizacji i naprawy stacji tankowania wodoru;
- w zakresie wymagań technicznych dla sprężarki do sprężania wodoru, która musi generować na wyjściu dystrybutora ciśnienia standardowe 350 barów oraz 700 barów, w zależności od tego, jaki rodzaj zbiornika został zamontowany do pojazdu;
- dotyczące wyposażenia stacji w urządzenia służące do pomiaru tankowanego wodoru.

Inwestycje w stacje wodoru w Polsce zadeklarował PKN Orlen S.A, kreśląc plany powstania 50 obiektów do 2030 r. W horyzoncie czasowym jednego roku mają natomiast zostać wybudowane pierwsze stacje w Poznaniu, Katowicach, Gdańsku, Warszawie i Koninie⁶⁷.

Autobusy napędzane ogniwami wodorowymi są w rzeczywistości bezemisyjnymi pojazdami elektrycznymi, które generują bardzo niski poziom hałasu i wibracji. Wodór, jako pierwiastek lekki i posiadający wysoką gęstość energii, stanowi technologię, która oferuje lepsze parametry użytkowe niż baterie w pojazdach elektrycznych. Na bieżącym etapie rozwoju zasilanie wodorowe pozwala uzyskać większy zasięg niż zasilanie z baterii. Tankowanie wodoru jest czasowo zbliżone do tankowania innych rodzajów paliwa (około 15-20 minut wymaga tankowanie zbiornika do pełna), a pełne ładowanie baterii, to proces długotrwały.

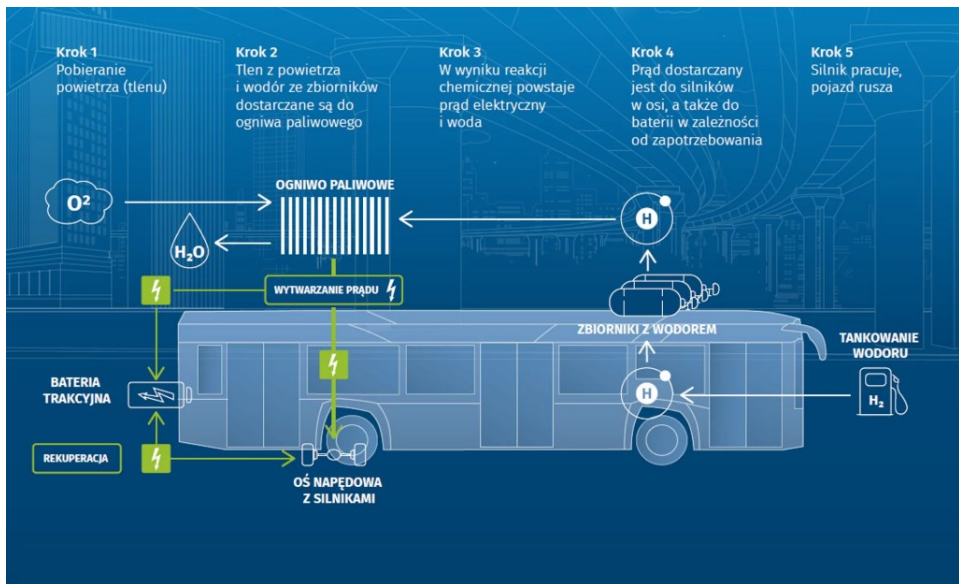
Najważniejszym zespołem autobusu wodorowego jest ogniwo paliwowe, które pełni funkcję miniaturowej elektrowni. Urządzenie tego typu działa na zasadzie odwróconej elektrolizy, produkując prąd podczas eksploatacji pojazdu, a jedynymi produktami zachodzącej w ogniwie reakcji chemicznej są ciepło oraz para wodna. Stąd pojazd nie generuje do atmosfery żadnych szkodliwych substancji. Wytworzona energia elektryczna kierowana jest bezpośrednio do silników w układzie napędowym lub do baterii w zależności od zapotrzebowania. W autobusach wodorowych marki Solaris Urbino 18 hydrogen (rys. 15) montowane są

⁶⁵ <https://ecity.solarisbus.com/e-mobility/stacje-tankowania-wodoru>

⁶⁶ <https://www.muratorplus.pl/technika/oze/stacje-wodoru-w-polsce-gdzie-powstana-ile-punktow-gdzie-w-polsce-mozna-zatankowac-wodor-aa-iRpp-S1Ax-VNwG.html>

⁶⁷ j.w.

zestawy ogniw paliwowych o mocy 100 kW, a w Solaris Urbino 12 hydrogen o mocy 75 kW. W skład układu wodorowego wchodzi także kompozytowe zbiorniki mieszczące na dachu autobusu oraz urządzenia pomocnicze, odpowiadające m.in. za dystrybucję wodoru i powietrza pod odpowiednim ciśnieniem oraz zapewnienie wymaganej temperatury ogniw podczas eksploatacji. Mała bateria trakcyjna w autobusie jest źródłem energii, która może być pobierana do wspomagania ogniwa paliwowego podczas szczytowego zapotrzebowania na energię. Bateria może być ładowana energią z wodoru, przez rekuperację z procesu hamowania pojazdu oraz stacjonarnie przez gniazdo *plug-in*. Istotnym warunkiem rozwoju technologii wodorowej w komunikacji miejskiej jest bezpieczeństwo ludzi i otoczenia. Stąd rygorystyczne testy, którym poddawane są kompozytowe zbiorniki na wodor, a także szereg zabezpieczeń w postaci zaworu elektromagnetycznego, zaworu awaryjnego aktywowanego w sytuacji wzrostu temperatury oraz zaworu przeciążeniowego odcinającego wpływ wodoru, gdy nastąpi rozszczelnienie układu zasilania^{68,69}.



Rys. 16. Przepływ energii w autobusie wodorowym

Źródło: <https://ecity.solarisbus.com/e-mobility/jak-dziala-autobus-wodorowy>

⁶⁸ <https://ecity.solarisbus.com/e-mobility/jak-dziala-autobus-wodorowy>

⁶⁹ <https://www.solarisbus.com/pl/pojazdy/napedy-zeroemisyjne/hydrogen>



Rys. 17. Zeroemisyjnego miejskiego autobusu wodorowego o nazwie NesoBus zaprojektowany i wytwarzany przez Grupę Polsat Plus i ZE PAK

Źródło: <https://truckslog.pl/aktualnosci/nesobus-premiera-polskiego-autobusu-wodorowego/>

Dnia 30 maja 2022 r. odbyła się premiera nowego, zaprojektowanego od podstaw i wyprodukowanego w Polsce, zeroemisyjnego miejskiego autobusu wodorowego o nazwie NesoBus (rys. 17). Nowa krajowa marka autobusu „Neso” to skrót od wyrażenia „Nie Emituje Spalin i Oczyszcza” powietrze. NesoBus to pojazd o długości 12 m i masie własnej niespełna 13 ton, zapewniający transport 93 pasażerów, w tym 37 na miejscach siedzących. Pojazd wyposażony jest w ogniwo paliwowe na „zielony wodór”, którego zużywa średnio około 8 kg na 100 km. NesoBus ma zasięg do 450 km, a tankowanie wodoru do zbiorników trwa 15 minut. Autobus zaprojektowano, jako konstrukcję modułową, dlatego kolejne wersje pojazdu mogą być dopasowywane w przyszłości do wymagań i potrzeb konkretnych przewoźników i miast. Wygląd zewnętrzny oraz wnętrze zostało zaprojektowane przez włoską firmę Torino Design, specjalizującą się w branży *automotive*. Ogniwa paliwowe stosowane w NesoBus dostarcza światowy lider w tej dziedzinie, czyli firmy Ballard, a zbiorniki wodorowe specjalistyczna firma Hexagon. Rozpoczęcie produkcji seryjnej NesoBus właściciel Grupa Polsat Plus i Zespół Elektrowni Pątnów-Adamów-Konin (ZE PAK) planuje na 2023 r. w fabryce powstającej w Świdniku koło Lublina^{70,71}.

⁷⁰<https://www.nesobus.pl/>

⁷¹ <https://truckslog.pl/aktualnosci/nesobus-premiera-polskiego-autobusu-wodorowego>

W 2022 r. przedsiębiorstwa komunikacyjne w kilku miastach na terenie Polski rozpoczęły eksploatację autobusów wodorowych. Solaris Urbino 12 hydrogen to pierwszy autobus z ogniwami wodorowymi, który został zakupiony w Polsce przez władze miasta Konin. Przeszkodą we wcześniejszym wdrożeniu tego typu pojazdów był brak możliwości ich tankowania. Miasto Konin uzyskało pomoc ze strony ZE PAK, gdzie powstają bloki wytwarzające wodór z biomasy, który będzie następnie dostarczany na stację tankowania autobusów⁷². Kolejnym miastem, które rozpoczęło testy autobusu Solaris Urbino 12 hydrogen był Kraków. Do tankowania wodoru w br. służy w Krakowie obsługiwana przez PKN Orlen stacja mobilna. Rafineria w Trzebini zapewnia do niej dostawę wodoru w kontenerze, w którym zamontowane są zbiorniki na 400 kg wodoru⁷³. Na podobne rozwiązanie zdecydowały się władze miasta Gdańsk, które rozpoczęły testy autobusu wodorowego w czerwcu br. Na czas prowadzonych testów w Gdańsku, na terenie bazy autobusowej GAIT usytuowano tymczasową, mobilną stację wodorową⁷⁴. Poznań podpisał w br. umowę z Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na dofinansowanie zakupu 25 autobusów z napędem wodorowym, a przyznana dotacja pokrywa około 90% kosztów kwalifikowanych inwestycji MPK Poznań. Pierwsze pojazdy wodorowe wejdą do eksploatacji w drugim półroczu 2023 r.⁷⁵

MPK Lublin sp. z o.o. to największy przewoźnik na terenie miasta Lublin, świadczący usługi przewozowe od 1929 r. Dnia 01.12.2009 r. podpisana została umowa na świadczenie usług komunikacji miejskiej pomiędzy Gminą Lublin i MPK Lublin. Umowa rozdziela funkcję przewoźnika, czyli MPK od organizatora transportu miejskiego, którym obecnie jest Zarząd Transportu Miejskiego (ZTM). ZTM Lublin w czerwcu br. rozstrzygnął przetarg na dostawę pierwszego autobusu wodorowego klasy maxi, dla którego źródłem energii do napędu trakcyjnego muszą być wodorowe ogniwa paliwowe o mocy min.70 kW, współpracujące z bateriami litowo-jonowymi⁷⁶.

Oferty do przetargu z budżetem na poziomie 5,427 mln PLN brutto złożyły cztery podmioty⁷⁷:

- ARTHUR BUS sp. z o.o. (nowy niemiecko-polski podmiot gospodarczy) – 3,525 mln PLN,
- Solaris Bus & Coach sp. z o.o. – 3,725 mln PLN,
- PAK-PCE Polski Autobus Wodorowy (Grupa Polsat Plus i ZE PAK) – 3,799 mln PLN,
- AUTOSAN sp. z o.o. – 4,065 mln PLN.

Na realizację zamówienia ZTM Lublin zaplanował 12 miesięcy. Przetarg wygrała oferta Solaris Bus & Coach sp. z o.o., a jej finansowanie nastąpi w ramach środków unijnych.

⁷²<https://elektrowoz.pl/transport/konin-kupil-pierwszy-autobus-wodorowy-fcew-w-polsce-to-solaris-urbino-12-hydrogen/>

⁷³ <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/autobusy-wodor-polskie-miasta-testy-12087.html>

⁷⁴<https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/pierwsze-testy-autobusu-wodorowego-grupy-polsat-w-gdansk-73999.html>

⁷⁵<https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/mpk-poznan-z-dofinansowaniem-na-25-autobusow-wodorowych-72045.html>

⁷⁶<https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/lublin-az-cztery-oferty-na-dostawe-autobusu-wodorowego-73900.html>

⁷⁷ j.w.

Podsumowanie

Działania podejmowane na obszarze UE, mające na celu redukcję emisji gazów cieplarnianych i uzyskanie neutralności klimatycznej, w XXI wieku zostały ukierunkowane na realizację projektów związanych z infrastrukturą i środkami transportu drogowego. Wynikało to z faktu nadal wzrastającej emisji CO₂ w tym obszarze, a jednocześnie z dużego potencjału, który jest możliwy do wykorzystania poprzez wprowadzenie alternatywnych źródeł zasilania pojazdów. Planiści zajmujący się transportem i rozwojem obszarów miejskich bardzo często mieli dylemat wyboru lub byli zmuszeni do podejmowania prób pogodzenia sprzecznych lub wręcz wykluczających się celów. Długoterminowa wizja w rozwiązaniach strategicznych, jako mianownik powinna przyjmować niskoemisyjny charakter funkcjonowania miast. Drastyczne ograniczenia w celu redukcji emisji dwutlenku węgla w sektorze transportu w rzeczywistości rynkowej kolidują jednak z rozwojem gospodarczym i społecznym. W powszechnym odczuciu mobilność motoryzacyjna od dekad była traktowana, jako warunek podstawowy do tworzenia bogactwa zarówno społeczeństw, jak i regionów, a polityka społeczna musi podejmować wszelkie możliwe działania, aby zredukować zagrożenie wykluczeniem komunikacyjnym dla poszczególnych grup społeczeństwa⁷⁸.

Drastyczny spadek liczby pasażerów korzystających z komunikacji miejskiej wywołany pandemią COVID-19 w szczytowym jej okresie osiągnął poziom 90% w aglomeracjach miejskich takich, jak Warszawa, Kraków czy Wrocław. Oznaczało to stosowną redukcję wpływu dochodów, pochodzących ze sprzedaży biletów. Stąd wynikały ograniczenia regularnych kursów do godzin szczytu komunikacyjnego oraz zawieszenie komunikacji nocnej. Podmioty zarządzające na terenie gmin miejskich komunikacją zgodnie twierdzą, że nie będzie powrotu do organizacji komunikacji miejskiej sprzed pandemii, natomiast konieczne będzie szukanie oszczędności poprzez redukcję ilości kursów, ale także przez wdrażanie alternatywnych, energooszczędnych systemów zasilania pojazdów. Należy podkreślić, że zarządy transportu miejskiego i operatorzy muszą jednocześnie podjąć działania w kierunku odzyskania dotychczasowych klientów lub pozyskania nowych, poprzez wprowadzanie innowacyjnych rozwiązań. W ofercie przewozowej pojazdy z napędem elektrycznym lub wodorowym mają atut nowości, innowacyjności i komfortu wynikającego z faktu, że są to pojazdy nieemitujące spalin i hałasu. W zgodnej opinii ekspertów pomimo trudnej sytuacji finansowej i rosnących drastycznie kosztów energii, należy podejmować wszystkie możliwe działania mające na celu utrzymanie dostępności do zbiorowej komunikacji miejskiej. Tylko taki model pozwoli promować model redukcji wykorzystania samochodów osobowych w przestrzeni miejskiej, co jest kluczowe dla redukcji poziomu zanieczyszczenia powietrza⁷⁹.

W kwestii promowania zeroemisyjnych pojazdów w komunikacji miejskiej głównym problemem jest finasowanie nadal znacznie droższych od pojazdów z klasycznym silnikiem spalinowym pojazdów elektrycznych i wodorowych. Podmioty zabezpieczające miejski transport publiczny muszą kierować się przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych w zero-

⁷⁸ Driscoll P.A.: Breaking Carbon Lock-In: Path Dependencies in Large-Scale Transportation Infrastructure Projects, *Planning Practice & Research*, 29:3, 317-330, DOI: 10.1080/02697459.2014.929847, 2014.

⁷⁹ <https://forsal.pl/artykuly/1470717,publiczny-transport-trzeba-bedzie-ukladac-od-nowa-koszt-przewozu-wzrosnie.html>

emisyjne autobusy oceną efektywności ekonomicznej tych działań w długim horyzoncie czasowym (koszty eksploatacji) i uwzględniać aspektu ryzyka (zmiana cen nośników energii), co w praktyce jest kluczowe dla finalnej rentowności projektu. Na obecnym etapie rozwoju technologii przyjaznych środowisku konieczne są bezzwrotne dotacje na przykład z Europejskiego Funduszu Społecznego dla tego typu inwestycji⁸⁰. Wsparcie dla samorządów powinno pochodzić również ze strony rządowej. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej dla firm świadczących publiczny transport zbiorowy uruchomił program „Zielony transport publiczny”. W ramach projektu firmy spełniające warunki mogą uzyskać dofinansowanie w formie bezzwrotnych dotacji oraz preferencyjnych pożyczek.

Dla wsparcia idei zrównoważonej mobilności miejskiej istotne są również działania społeczne. Przykładem takiej inicjatywy jest Europejski Tydzień Mobilności, w którym we wrześniu br. uczestniczyło około 3000 miast i miasteczek z ponad 40 krajów na terenie Europy. Ma on na celu promowanie aktywnej mobilności, korzystania z transportu publicznego oraz innych czystych, inteligentnych rozwiązań transportowych. Masowe korzystanie z takich rozwiązań będzie miało wpływ na zmniejszenie zużycia energii i redukcję zanieczyszczeń. Europejski Tydzień Mobilności promuje dzień bez samochodu, festiwale rowerowe oraz wystawy pojazdów elektrycznych⁸¹.

Elektromobilność, jako działanie długofalowe nie powinno wprowadzać aspektu konkurencyjności w obszarze użytkowania autobusów elektrycznych i wodorowych. Należy podkreślić, że obie technologie napędu w pojazdach komunikacji miejskiej mają swoje zalety eksploatacyjne. Wykorzystanie jednego lub drugiego sposobu zasilania autobusu powinno być weryfikowane tylko pod kątem indywidualnych wyzwań i potrzeby transportowych danego miasta. Zarówno zasilanie elektryczne, jak i wodorowe należy traktować, jako dobrą drogę transformacji transportu miejskiego na model ekologiczny i prospołeczny.

Bibliografia

- Banach M.: *Od inteligentnego transportu do inteligentnych miast*, Wyd. Naukowe PWN SA, ISBN 978-83-01-20102-9, Warszawa, 2018.
- Bartłomiejczyk M., Połom M.: *Dynamic Charging of Electric Buses as a Way to Reduce Investment Risks of Urban Transport System Electrification*. In: *International Conference TRANSBALTICA: Transportation Science and Technology*. Springer, 297-308, 2020.
- Biała Księga, *Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu*, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:pl:PDF>
- Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2020) 301

⁸⁰ Fabianová J., Janeková J.: *Economic Assessment of Investment in Electric Buses and CNG Buses – A Case Study of a Public Transport Company*, *Advances in Science and Technology Research Journal*, ISSN 2299-8624, 16(4), 96–105 <https://doi.org/10.12913/22998624/151801>, 2022.

⁸¹ https://transport.ec.europa.eu/news/european-mobility-week-better-connections-sustainable-urban-mobility-2022-09-16_en

- final: A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, Brussels, 8.7.2020, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0301>
- Communication From The Commission To The European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions: The European Green Deal, COM/2019/640 final, EUR-Lex - 52019DC0640 – EN
(<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>)
- Driscoll P.A.: Breaking Carbon Lock-In: Path Dependencies in Large-Scale Transportation Infrastructure Projects, *Planning Practice & Research*, 29:3, 317-330, DOI: 10.1080/02697459.2014.929847, 2014.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych, *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej* z dn. 28.10.2014, (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=nl>).
- Echeverri G.L.: Investing for rapid decarbonization in cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2018; 30: 42-51, 2018.
- European Environment Agency Report No 02/2022. Transport and environment report 2021 Decarbonising road transport — the role of vehicles, fuels and transport demand, ISBN 978-92-9480-473-0, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022.
- Fabianová J., Janeková J.: Economic Assessment of Investment in Electric Buses and CNG Buses – A Case Study of a Public Transport Company, *Advances in Science and Technology Research Journal*, ISSN 2299-8624, 16(4), 96-105 <https://doi.org/10.12913/22998624/151801>, 2022.
- Göhlich D., Nagel K., Syré A.M., et al.: Integrated Approach for the Assessment of Strategies for the Decarbonization of Urban Traffic, *Sustainability*, 13, 839, 2021.
- Hajdul M., Stajniak M., Foltyński 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.
- Juściński, S.: Analiza systemów kompleksowego zarządzania logistycznego flotą pojazdów, [w:] *Dziesiętowski G., Kuboń M. (red.): Logistyka dziś i jutro, Mechatronika i Telematyka w Logistyce*, ISBN 978-83-64377-440, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysł, 81-97, 2019.
- Juściński S.: Pojazdy z napędem alternatywnym, jako przykład zrównoważonego rozwoju logistycznych łańcuchów dostaw, [w:] *Dziesiętowski G., Kuboń M. (red.): Logistyka dziś i jutro, Łańcuchy Logistyczne w Gospodarce Żywnościowej*: ISBN 978-83-64377-47-1, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysł, s. 137-166, 2020.
- Juściński S.: Wykorzystanie systemów nawigacji satelitarnej w transporcie drogowym, [w:] *Dziesiętowski G., Kuboń M. (red.): Aktualne Problemy Transportu*, ISBN 978-83-60184-97-4, Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Przemysł, s. 63-76, 2017.
- 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., Kuriata A.: Logistyka i transport w ujęciu systemowym, Wydawca CeDeWu Sp. z o.o., ISBN: 978-83-8102-138-8, Warszawa, 2018.

- Lefèvre J., Briand Y., Pye S., et al. A pathway design framework for sectoral deep decarbonization: the case of passenger transportation, *Clim Policy*, 21, 93–106, 2021.
- Madej B., Madej R., Pruciak K.: *Publiczny transport miejski. Zasady tworzenia rozkładów jazdy*. Warszawa: Akademia Transportu i Przedsiębiorczości, ISBN 978-83-944575-3-2, 2017.
- Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 grudnia 2020 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. 2018 poz. 317 t.j. Dz. U. 2021 poz. 110) (<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20210000110>).
- Połom M., Palmowski T.: *Rozwój i funkcjonowanie komunikacji trolejbusowej w Gdyni*, Wydawnictwo "Bernardinum", ISBN 978-83-7380-776-1, 2009.
- Sałek R., Grondys K.: *Uwarunkowania nowoczesnych technologii ICT wspierających działalność przewoźową w transporcie drogowym, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, R. 18, nr 12, s. 1592-1596, CD, 2017.
- Sosnowski J., Nowakowski Ł.: *Innowacje kreujące nowe wartości w transporcie samochodowym*, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, ISBN 978-83-8142-881-1, Łódź, 2020.
- Teoh T., Kunze O., Teo C.C., et al. Decarbonisation of Urban Freight Transport Using Electric Vehicles and Opportunity Charging. *Sustainability*, 10, 3258, 2018.
- Tundys B.: *Logistyka miejska, koncepcje, systemy, rozwiązania*; Wyd. Difin, ISBN 978-83-7251-894-1, warszawa, 2008.
- Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. 2018 poz. 317) (<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20180000317/U/D20180317Lj.pdf>)
- Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2021 r. poz. 110, 1093 i 2269). <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20180000317/U/D20180317Lj.pdf>
- Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz. U. 2011 Nr 5 poz. 13), <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20110050013/U/D20110013Lj.pdf>
- Vilke S., Tadic F., Ostović I., et al.: The use of hydrogen as an alternative fuel in urban transport, *Pomorstvo*, 34, 376–386, 2020.
- Ważna A.: *Ekonomiczna wartość czasu w transporcie pasażerskim*, Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN 978-83-8206-039-3, Gdańsk, 2020.
- 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*, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN 978-83-01-19690-5, Warszawa, 2018.
- Wyszomirski O. (red.): *Transport miejski. Ekonomia i organizacja*. Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, ISBN 978-83-7326-507-3, Gdańsk, 2008.
- Załoga E. (red.): *Europejska przestrzeń transportu. Wyzwania, Zeszyty Naukowe nr 741, Problemy Transportu i Logistyki nr 18*, Wyd. Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, ISSN 1640-6818, Szczecin, 2012.
- <https://ecity.solarisbus.com/e-mobility/stacje-tankowania-wodoru>
- <https://ecity.solarisbus.com/e-mobility/jak-dziala-autobus-wodorowy>

<https://elektrowoz.pl/transport/konin-kupil-pierwszy-autobus-wodorowy-fcev-w-polsce-to-solaris-urbino-12-hydrogen/>
<https://igkm.pl/>
<https://igkm.pl/statystyka/>
<https://finanse.wp.pl/w-kraju-jezdza-tylko-w-trzech-miastach-ale-to-polska-jest-naj-wiekszym-producentem-trolejbusow-w-europie-6114668112021633a>
<https://forsal.pl/artykuly/1470717,publiczny-transport-trzeba-bedzie-ukladac-od-nowa-koszt-przewozu-wzrosnie.html>
<https://op.europa.eu/webpub/eca/lr-eu-law/pl/>
https://pl.wikipedia.org/wiki/Transport_miejski
https://pl.wikipedia.org/wiki/Europejski_standard_emisji_spalin
https://pl.wikipedia.org/wiki/Trolejbusy_w_Polsce
<https://radio.lublin.pl/2021/09/prezentuje-sie-pieknie-kolejny-zabytkowy-trolejbus-wyjechal-na-lubelskie-ulice/>
<https://www.solarisbus.com/pl>
<https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/lublin-az-cztery-oferty-na-dostawe-autobusu-wodorowego-73900.html>
https://transport.ec.europa.eu/news/european-mobility-week-better-connections-sustainable-urban-mobility-2022-09-16_en
<https://www.transportm.pl/news/691/17/Pierwsze-sukcesy-dwuprzegubowych-Solarisow>
<https://truckslog.pl/aktualnosci/nesobus-premiera-polskiego-autobusu-wodorowego/>
<https://www.solarisbus.com/pl/pojazdy/napedy-zeroemisyjne/grupa-urbino-electric>
<https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/busworld-volvo-wprowadza-elektryczny-przegubowy-autobus-miejski--62893.html>
<https://www.auto-swiat.pl/ev/wiadomosci/sprawdzilismy-ile-pali-elektryczny-autobus-a-ile-z-dieslem/m2rtdyd>
<https://www.gramzielone.pl/auto-ekologiczne/104521/ruszy-l-nabor-wnioskow-o-dotacje-na-autobusy-elektryczne>
<https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/jak-krakow-rozwija-swoja-flote-autobusow-elektrycznych-58387.html>
<https://ecity.solarisbus.com/e-mobility/bezemisyjny-transport-w-polskiej-stolicy-innowacji>
<https://www.auto-swiat.pl/ev/wiadomosci/sprawdzilismy-ile-pali-elektryczny-autobus-a-ile-z-dieslem/m2rtdyd>
<https://www.auto-swiat.pl/wiadomosci/aktualnosci/kutno-mzk-nie-stac-na-uzytowanie-elektrycznych-autobusow-beda-musialy-stanac-pod/td4sdsv>
<https://wysokienapiecie.pl/77046-ceny-pradu-dla-czesci-firm-i-samorzadow-beda-znowu-regulowane/>
<https://www.money.pl/gospodarka/ile-pradu-zuzywa-tramwaj-trolejbus-i-autobus-elektryczny-to-dlatego-wyzsze-rachunki-uderza-w-miejskich-przewoznikow-6810125767084672a.html>
<https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/priorities/zmiana-klimatu/20210512STO04004/odnawialny-wodor-jakie-sa-korzysci-dla-ue>
<https://www.euractiv.com/section/energy/news/gas-grid-operators-unveil-plan-for-european-hydrogen-infrastructure-backbone>
<https://www.euractiv.com/section/energy/news/gas-grid-operators-unveil-plan-for-european-hydrogen-infrastructure-backbone>

<https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030>

<https://www.muratorplus.pl/technika/oze/stacje-wodoru-w-polsce-gdzie-powstana-ile-punktow-gdzie-w-polsce-mozna-zatankowac-wodor-aa-iRpp-S1Ax-VNwG.html>

<https://www.solaribus.com/pl/pojazdy/napedy-zeroemisyjne/hydrogen>

<https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/autobusy-wodor-polskie-miasta-testy-12087.html>

<https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/mpk-poznan-z-dofinansowaniem-na-25-autobusow-wodorowych-72045.html>

<https://www.nesobus.pl/>

<https://truckslog.pl/aktualnosci/nesobus-premiera-polskiego-autobusu-wodorowego/>

https://transport.ec.europa.eu/news/european-mobility-week-better-connections-sustainable-urban-mobility-2022-09-16_en

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

ORCID: [Sławomir Juściński 0000-0002-2692-9083](https://orcid.org/0000-0002-2692-9083)

EKONOMICZNE I TECHNICZNE CZYNNIKI WYBORU CIĄGNIKA SIODŁOWEGO DLA FIRMY TRANSPORTOWEJ METODĄ AHP

Ireneusz Kaczmar¹, Mateusz Jarmola², Dariusz Kwaśniewski³, Maciej Kuboń^{1,3}

¹ Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

² Dyplomant w Instytucie Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

³ Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wstęp

Podejmowanie decyzji należy do bardzo ważnych funkcji zarządzania przedsiębiorstwem. Czynność ta ma zróżnicowany zakres, stopień szczegółowości oraz znaczenie dla organizacji. Dokonywanie wyborów jest zarówno czynnością codzienną, rutynową jak i czynnością bardziej złożoną wymagającą szeregu zadań, związanych z pozyskaniem różnego rodzaju informacji i ich analiz¹. Natomiast podejmowanie decyzji biznesowych w szybko zmieniających się warunkach rynkowych, zawsze obarczone jest ryzykiem wynikającym z niepewności lub braku wiedzy. W przypadku prowadzenia działalności gospodarczej można zidentyfikować dwie główne koncepcje postrzegania ryzyka:

- negatywna, która traktuje ryzyko wyłącznie jako zagrożenie,
- neutralna, która traktuje ryzyko jako zagrożenie i szansę.

Te dwie powyższe koncepcje stosowane są w przypadku ryzyka związanego z prowadzeniem działalności gospodarczej, gdyż z jednej strony ryzyko postrzegane jest jako zagrożenie w prowadzonej działalności gospodarczej. Z drugiej zaś strony jako korzyść związana z uzyskaniem większych efektów niż zamierzono bez nieprzewidzianych zdarzeń. Często im większe ryzyko danego działania tym wyższa możliwa do osiągnięcia korzyść, ale także większa możliwa strata. Decyzja o podjęciu ryzyka to bardzo indywidualna kwestia, zależna od stosunku (awersji) decydenta do ryzyka². W związku z powyższym aby minimalizować

¹ Weiss E. (red.): Podstawy i metody zarządzania. Wybrane zagadnienia. Wyższa Szkoła Finansów i Zarządzania w Warszawie, Warszawa, 2008.

² Rudzińska J., Piekarski W., Dudziak A.: Zarządzanie ryzykiem a podejmowanie decyzji w przedsiębiorstwach transportowych. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 12, 362-368, 2011.

negatywne skutki błędnie podejmowanych decyzji w biznesie, należy zastosować metody naukowe. Jedną z popularnych metod wspomagania decyzji jest analityczny proces hierarchiczny (AHP) i analityczny proces sieciowy (ANP), których autorem jest prof. T. Saaty z Uniwersytetu w Pittsburghu, USA. Pierwsze publikacje na ten temat pojawiły się w latach 80 XX wieku.

Celem pracy jest koncepcja zastosowania metody AHP do wspomagania wyboru ciągnika siodłowego dla firmy transportowej, na podstawie kryteriów istotnych dla przedsiębiorcy. W związku z tym, że samochód ciężarowy jest ważnym elementem funkcjonowania firmy transportowej, a bogata oferta na rynku pojazdów często utrudnia podjęcie optymalnej decyzji o zakupie, więc podjęcie tematu zaproponowanego jest w pełni uzasadnione.

Branża usług transportowych w związku z intensywną eksploatacją sprzętu, stale potrzebuje modernizacji i wymiany taboru. Kluczową decyzją jest wybór ciągnika siodłowego, który będzie spełniał wymogi przedsiębiorcy, normy środowiskowe czy wymagania kierowców. Na chwilę obecną na rynku jest bardzo dużo marek oraz modeli samochodów ciężarowych, przez co trudno jest wybrać odpowiedni pojazd do zadań, które wykonujemy w swoim przedsiębiorstwie. Przy zbyt dużej ilości alternatyw decyzyjnych, często wybór jest niemożliwy. Dla jednych kluczowym elementem przy wyborze ciągnika będzie moc i moment obrotowy silnika dla innych cena, a jeszcze dla innych spalanie czy eksploatacja. Więc przede wszystkim musimy powiedzieć sobie co stawiamy za najważniejszy czynnik wpływu na naszą decyzję, przy analizie wybranych modeli.

Materiały i metody

Metoda AHP jest to metodą ekspercką, która polega na konwersji werbalnego przekazu wiedzy ekspertów do użytecznej dla decydentów informacji w postaci liczbowej lub graficznej (diagramy, procenty, itp.). Model matematyczny oparty o algebrę macierzy zakłada dekompozycję skomplikowanego problemu do prostej postaci składającej się z wielu jednostkowych problemów, które możemy porównywać parami nie rozpraszać uwagi na inne elementy. Te elementarne czynniki wpływu lub kryteria oceniane są w zależności od sytuacji i koncepcji przyjętego badania. Dalej następuje wielokryterialna analiza decyzyjna, która polega na porównywaniu parami jednostkowych elementów większej całości (analizowany problem), a w końcowym etapie następuje synteza wyników cząstkowych w odniesieniu do celu głównego. Metoda jest oparta na pewnych koncepcjach z zakresu psychologii i matematyki. Szczegółowy model matematyczny opisywany jest w literaturze przedmiotu³. W metodzie AHP wyróżnia się główne fazy:

- opracowanie koncepcji badania i struktury problemu,
- wygenerowanie ocen w ramach struktury,
- weryfikacja spójności dokonanych ocen,
- synteza i interpretacja wyników.

³ Saaty Thomas L. Mathematical principles of decision making. Principia mathematica decernendi. RWS publications, 2010.

Pierwsza faza polega na zidentyfikowaniu wszystkich istotnych problemów. Dalej następuje ich przedstawienie według wybranej struktury do postaci hierarchii lub sieci zaczynając od postawienia celu głównego na samej górze, poprzez kryteria główne, a następnie dokonując uszczegółowienia na najniższym poziomie hierarchii. Te struktury są zazwyczaj przedstawiane w formie dendrogramu czyli diagramu w kształcie drzewa. Dalej następuje analiza czynników wpływu w oparciu o algebrę macierzy. Jednostki elementarne zapisywane są w postaci macierzy Macierz porównania parami jest podstawowym narzędziem do analizy danych w oparciu o metodę AHP. Macierz porównań parami zwykle oznaczona jest symbolem A i przyjmuje postać standardową zapisywaną ogólnie jako formuła (1).

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Na podstawie macierzy A obliczane są wektory preferencji kryteriów głównych i odpowiadającym im subkryteriów, jako wektory własne macierzy porównań parami. Ten wektor jest najczęściej określany jako wektor priorytetowy lub wektor wagowy, ma postać formuły (2).

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T \quad (2)$$

Wektory własne macierzy porównań parami po znormalizowaniu określają względną ważność elementów decyzyjnych na każdym poziomie struktury hierarchicznej. Stanowią one lokalne wartości tych elementów. Wartości lokalne stanowią podstawę do obliczenia priorytetów globalnych. Wartość globalną elementu z danego poziomu uzyskuje się w wyniku przemnożenia wartości jego priorytetu lokalnego przez wartość priorytetu globalnego elementu macierzystego, znajdującego się na poziomie bezpośrednio powyżej. Na ostatnim poziomie struktury hierarchicznej, na którym znajdują się warianty decyzyjne, priorytety oblicza się podobnie, jak opisano powyżej. Proces ten przebiega następująco⁴:

1. Porównanie ważności wariantów decyzyjnych w odniesieniu do poszczególnych subkryteriów. W wyniku tego określa się znaczenie poszczególnych wariantów decyzyjnych dla realizacji danego subkryterium (priorytety lokalne).
2. Otrzymane priorytety lokalne mnoży się przez odpowiadające im priorytety globalne dla subkryteriów. Wielkości te nazwane są cząstkowymi priorytetami globalnymi.
3. Suma cząstkowych priorytetów globalnych danego wariantu decyzyjnego jest jego priorytetem globalnym. Wariant z najwyższą wielkością priorytetu uznaje się za najlepszy.

Po wykonaniu porównań parami wszystkich zgromadzonych elementów, oceny są normalizowane i weryfikowane w celu zbadania ich spójności. Wyżej wspomniane oceny formułuje się według fundamentalnej skali Saaty'ego, czyli dziesięciostopniowej skali. Szeroki

⁴ Adamus W. Łasak P.: Zastosowanie metody AHP do wyboru umiejscowienia nadzoru nad rynkiem finansowym. Bank i kredyt 41.4, 73-100, 2010.

opis metody badawczej, a także przykłady struktur decyzyjnych w postaci hierarchii lub sieci można odnaleźć w literaturze⁵.

Koncepcja badania i wybór kryteriów

Aby wybrać istotne z punktu widzenia przedsiębiorcy kryteria wyboru ciągnika siodłowego przeprowadzono wywiad wśród pracowników dużej firmy transportowej z województwa podkarpackiego, która realizuje transport międzynarodowy. Zwykle przedsiębiorca, właściciel firmy transportowej powinien uwzględnić wymagania kierowców oraz własne możliwości ekonomiczne, czy inne względy np. środowiskowe. W wyniku przeprowadzonego wywiadu z kierowcami i właścicielami firmy zidentyfikowano kryteria główne i odpowiadające im subkryteria szczegółowe. Kryteria główne dotyczyły następujących obszarów oceny pojazdów: kryterium ekonomiczne, kryterium społeczne, kryterium środowiskowe oraz techniczne.

- **Ekonomiczne.** W tej zakładce będą brane pod uwagę aspekty ekonomiczne dotyczące zakupu i eksploatacji tj: cena zakupu, spalanie, koszt eksploatacji. W przypadku ceny przyjęto cenę wyjściową oferowaną przez dealera bez analizy możliwości finansowania (kredyt, leasing).
- **Spoleczne.** W tej zakładce będą brane pod uwagę aspekty społeczne tj.: opinie doświadczonych kierowców, bezpieczeństwo oraz komfort użytkowania pojazdu.
- **Środowiskowe.** W tej zakładce będą brane pod uwagę aspekty środowiskowe tj.: emisja CO₂, emisja pyłów z układów hamulcowych i kołowych czy hałas/drgania.
- **Techniczne.** W tej zakładce będą brane pod uwagę aspekty techniczne tj.: masa własna pojazdu (im lżejszy tym lepszy), moc i moment obrotowy, trwałość napędu.

Poniżej zostaną rozwinięte subkryteria szczegółowe dla wymienionych wcześniej kryteriów głównych dla dokonania pełnej oceny pojazdów.

- Subkryteria Ekonomiczne
 - **Cena wyjściowa:** W tej zakładce brana jest pod uwagę cena zakupu pojazdu.
 - **Eksploatacja:** W tej zakładce pod uwagę brane są wszystkie części związane z kosztami eksploatacji jak: klocki hamulcowe, oleje, filtry itp. oraz uśrednione koszty serwisu.
 - **Spalanie:** Ta zakładka obejmuje średnie spalanie pojazdu na trasie przy pełnym załadunku.
- Subkryteria Społeczne
 - **Bezpieczeństwo:** Obejmuje systemy bezpieczeństwa, w które pojazd jest **wyposażony** w podstawowej wersji oraz jak one wpływają na poprawę bezpieczeństwa kierowcy i otoczenia w subiektywnym odczuciu kierowcy.
 - **Komfort użytkowania:** W tej zakładce brane są pod uwagę aspekty **komfortu** podróży i pracy oraz przestrzeń mieszkalna, funkcjonalność i wielkość kabiny.
 - **Opinie kierowców:** Przy wyborze będziemy sugerować się opiniami kierowców, którzy takimi pojazdami jeżdżą bądź jeździli.

⁵ Saaty T. L., Brady C.: The Encyclicon-Volume 2: A Dictionary of Complex Decisions Using the Analytic Network Process. RWS Publications, 2021.

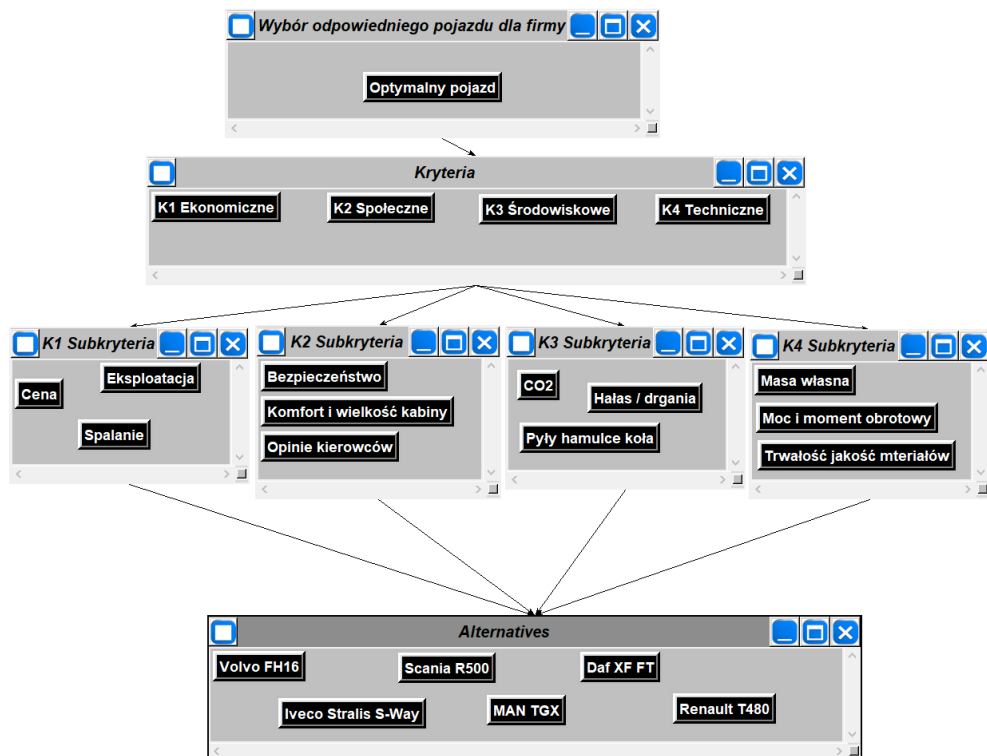
- Subkryteria Techniczne
 - **Masa własna:** Obejmując masę całkowitą pojazdu (jaką deklaruje producent).
 - **Moc i moment obrotowy:** W tej zakładce brana będzie tylko moc i moment obrotowy.
 - **Trwałość napędu:** W tej zakładce pod uwagę brana będzie wytrzymałość i jakość oceniona subiektywnie przez kierowców, poszczególnych elementów napędu tj.: silnik i skrzynia biegów itp.
- Subkryteria środowiskowe
 - **Emisja z układu wydechowego CO₂:** Obejmuje głównie wydzielanie dwutlenku węgla, pozostałe składniki spalin są regulowane przez normę Euro6 i są podobne dla badanych pojazdów, ponieważ wszystkie pojazdy tą normę spełniają.
 - **Emisja pyłów z układu kołowego:** Pod uwagę są brane wytrzymałość i jakość fabrycznie zainstalowanych części jak klocki hamulcowe, opony weryfikowane na podstawie częstości ich wymiany po określonym przebiegu.
 - **Hałas/drgania:** W tej zakładce pod uwagę będzie brany hałas oraz drgania, które generuje pojazd podczas jazdy.

Ocena pojazdów wykonywana została w oparciu o strukturę hierarchiczną. Najwyżej znajduje się cel badania, na drugim poziomie kryteria główne, na trzecim poziomie subkryteria szczegółowe, a na czwartym poziomie alternatywy decyzyjne. Elementy (kryteria główne i cząstkowe, warianty) znajdujące się na poszczególnych poziomach struktury hierarchicznej oceniane są przez porównanie ich parami (każdy z każdym). Każdy z elementów danego poziomu modelu porównywany jest pod kątem względnej ważności w odniesieniu do kryterium znajdującego się na poziomie bezpośrednio wyższym. Porównań kryteriów głównych i cząstkowych oraz analizowanych wariantów poprzez określanie stopnia dominacji jednego nad drugim dokonuje grupa wybranych ekspertów na podstawie ich indywidualnych osądów⁶.

Grupa ekspertów składała się z 10 osób, doświadczonych kierowców z wieloletnim stażem pracy na badanych maszynach i mechaników samochodowych wybranej firmy transportowej. Ich wiedza praktyczna i subiektywne opinie zostały uśrednione metodą średniej geometrycznej, przedstawione w postaci fundamentalnej skali Satty'e'go i wprowadzone do modelu komputerowego (rys. 1).

Po opracowaniu struktury hierarchicznej przystąpiono do ocen wag poszczególnych elementów i zbadano ich wpływ na realizację celu głównego, jakim jest optymalny wybór pojazdu. Do agregacji danych można użyć arkusza kalkulacyjnego, zdecydowano się na program komputerowy Super Decision. Program na bieżąco weryfikuje spójność wypowiedzi ekspertów, aby uniemożliwić dopuszczenie sprzecznych ocen.

⁶ Skorupka D. Duchaczek A.: Zastosowanie metody AHP w optymalizacji procesów decyzyjnych związanych z realizacją przedsięwzięć logistycznych. Zeszyty Naukowe, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki, 54-62, 2010.



Rys. 1. Model hierarchiczny analizowanego problemu

Charakterystyka wariantów decyzyjnych

Ważnym krokiem przy wykorzystaniu metody AHP jest prawidłowe zdefiniowanie alternatyw decyzyjnych. W naszym przypadku są to konkretne modele ciągników siodłowych. Wybrano sześć popularnych marek: Daf XF FT, Iveco Stralis S-Way, MAN TGX, Renault T480, Scania R500, Volvo FH16. Przyjęto, że pojazdy są nowe (nie starsze niż 2 lata) i posiadają zasilanie olejem napędowym (DIESEL). Nie brano pod uwagę innych alternatywnych źródeł napędu, ponieważ na tym etapie rozwoju rynku trudno odnaleźć wiarygodnych ekspertów z odpowiednim doświadczeniem. A rynek samochodów ciężarowych z napędem elektrycznym jest na wczesnym etapie rozwoju. Aby umożliwić wiarygodne porównania zaproponowano pojazdy nowe ze standardowym wyposażeniem fabrycznym w cenie (wersja podstawowa), silniki o mocy około 500 KM. Zestawienia podstawowych parametrów i wizualizację badanych pojazdów pokazano w tabeli 1.

Tabela 1. Dane techniczne badanych pojazdów.







Zdjęcie	Marka, model i dane techniczne
 A silver Volvo FH 16 semi-truck with a white trailer, driving on a road under a cloudy sky.	<p>Volvo FH 16 Pojemność silnika: 12,7 L Moc: 500 KM przy 1500-1800 obr/min Moment obrotowy: 2500 przy 980-1270 obr/min Masa własna: 6 700 kg Spalanie: 25,1L</p>
 A red Iveco Stralis S-way semi-truck with a white trailer, driving on a road under a blue sky.	<p>Iveco Stralis S-way Pojemność silnika: 12,9 L Moc: 490 KM przy 1700-1900 obr/min Moment obrotowy: 2400nm przy 950-1100 obr/min Masa własna: 7 400 kg Spalanie: 26,9 L</p>
 A white Scania R500 semi-truck with a white trailer, parked on a road.	<p>Scania R500 Pojemność silnika: 12,7 L Moc: 500 KM przy 1800 obr/min Moment obrotowy: 2500nm przy 1000-1300 obr/min Masa własna: 7 500 kg Spalanie: 24,9L</p>

 A red MAN TGX truck with a white roof rack and 'BOBE' branding on the side, parked in a showroom.	<p>MAN TGX Pojemność silnika: 12,4 L Moc: 480 KM przy 1800 obr/min Moment obrotowy: 2300nm przy 930-1400 obr/min Masa własna: 7 635 kg Spalanie: 26,6L</p>
 A yellow DAF XF FT truck with a blue and white trailer, driving on a road.	<p>DAF XF FT Pojemność silnika: 12,9 L Moc: 480 KM przy 1600 obr/min Moment obrotowy: 2300nm przy 1000-1425 obr/min Masa własna: 7 100 kg Spalanie: 24,7L</p>
 A black Renault T480 truck, shown from a front-three-quarter view on a paved area.	<p>Renault T480 Pojemność silnika: 12,8 L Moc: 480 KM przy 1800 obr/min Moment obrotowy: 2400nm przy 950-1404 obr/min Masa własna: 7 600 kg Spalanie: 27,7L</p>

Źródło: dane producenta

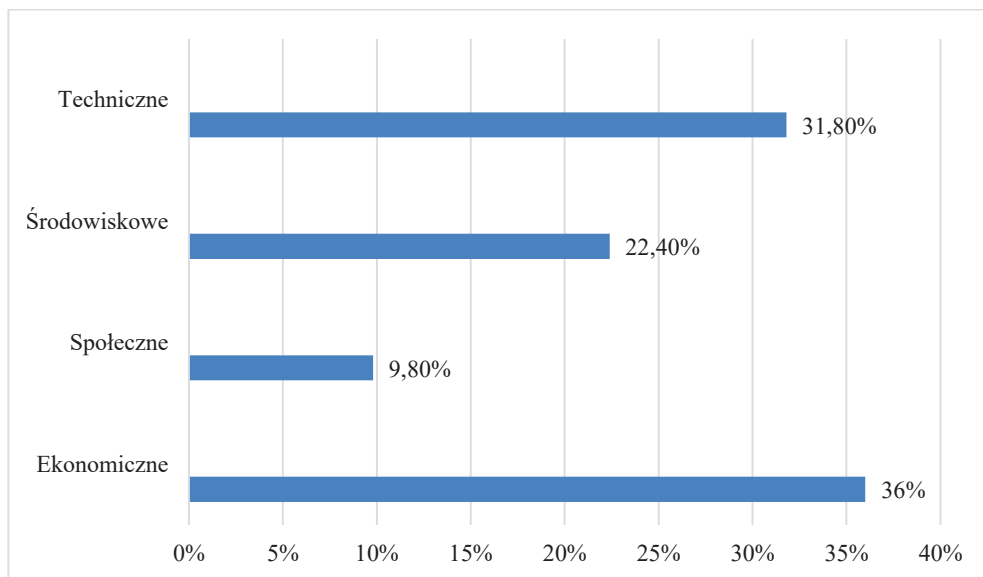
Wyniki i interpretacja

W wyniku przeprowadzonej analizy hierarchicznej otrzymano następujące wyniki pokazane w postaci rankingu uwzględniającego wybrane subiektywnie ważne dla inwestora kryteria (rys. 2).

Graphic	Alternatives	Total	Normal	Ideal	Ranking
	Daf XF FT	0.0471	0.1414	0.5845	3
	Iveco Stralis S-Way	0.0454	0.1362	0.5632	4
	MAN TGX	0.0454	0.1361	0.5625	5
	Renault T480	0.0454	0.1361	0.5625	6
	Scania R500	0.0694	0.2083	0.8612	2
	Volvo FH16	0.0806	0.2419	1.0000	1

Rys. 2. Synteza wyników

Jak widać na rysunku 2 najlepszym pojazdem według subiektywnych ocen wybranej grupy ekspertów i kryteriów głównych jest VOLVO FH16, które uzyskało 24,19% ważności. Drugim pojazdem w rankingu jest SCANIA R500 z wynikiem 20,83% natomiast trzecie miejsce należy do DAF XF FT 14,14%. Wpływ kryteriów głównych na realizację celu można zaobserwować na rys. 3.



Rys. 3. Wpływ kryteriów głównych K1 – K4 na realizację celu

Na podstawie wyników na rysunku 3 można stwierdzić, że największy wpływ na wybór pojazdu miał aspekt ekonomiczny (waga 36%), dalej techniczny (waga 31,8%), dalej środowiskowy i społeczny. Uzyskano wiarygodne wyniki co potwierdzają rankingi w literaturze specjalistycznej, a użycie metody można uznać za uzasadnione.

Przedstawiona metoda jest używana od około 40 lat, więc jest stosunkowo młoda w kontekście historii nauki. Często stosowana w krajach wysoko rozwiniętych, przede wszystkim w USA. W Polsce wciąż mało znana, a jej potencjał nie został odkryty, mimo dużych możliwości jakie ma w biznesie, polityce, przemyśle, służbie zdrowia i na innych polach podejmowania decyzji.

Podsumowując należy stwierdzić, że analityczny system hierarchiczny można z powodzeniem stosować wszędzie tam, gdzie tylko potrzebny jest optymalny wybór, szczególnie w sytuacjach konfliktowych i w warunkach ryzyka.

Żadna z naukowych metod podejmowania decyzji nie jest idealna. Mimo pewnych wad użycie AHP pozwala na podzielenie złożonego problemu na mniejsze części, a co za tym idzie wydzielenie odpowiednich kompetencji w zespole. Nie zakłada ona żadnych ograniczeń na rodzaj oraz typ porównywanych danych, a dopuszcza udział w procesie różnych ekspertów i konsultantów wyrażających swoje opinie na temat analizowanego zjawiska. Istnieje wiele różnych metod, dzięki którym można się zbliżyć do tego celu, jednak żadna nie daje gwarancji stuprocentowego sukcesu. Podjęcie decyzji zdeterminowane jest złożonością problemu, ale również dynamiką otoczenia, jakością ekspertów i kryteriami jakie są ważne dla inwestora. Ważnym elementem prezentowanej metody jest możliwość wykonywania analizy wrażliwości. Może ona dotyczyć np.:

- określenia wrażliwości zysku na zmienność poszczególnych czynników analizy (np. przy pomocy mnożników zysku),
- określenia granicznego poziomu poszczególnych czynników analizy, gwarantującego osiągnięcie progu rentowności, czyli rentowności na poziomie zerowym,
- ustalenia przesunięć progu rentowności w przypadku zmiany czynników w jednakowej skali w sposób izolowany i innych.

Tabela 2. Wrażliwość dla parametru K1 – kryterium ekonomiczne

Parametr	Daf XF FT	Iveco	MAN	Renault	Scania R500	Volvo FH16
0.500000	0.141401	0.136227	0.136069	0.136068	0.208333	0.241902
0.000100	0.145979	0.119346	0.145563	0.135021	0.202643	0.251448
0.050090	0.145521	0.121034	0.144613	0.135126	0.203212	0.250494
0.100080	0.145063	0.122722	0.143664	0.135231	0.203781	0.249539
0.150070	0.144605	0.124410	0.142715	0.135335	0.204350	0.248584
0.200060	0.144148	0.126098	0.141765	0.135440	0.204919	0.247630
0.250050	0.143690	0.127787	0.140816	0.135545	0.205488	0.246675
0.300040	0.143232	0.129475	0.139867	0.135649	0.206057	0.245720
0.350030	0.142774	0.131163	0.138917	0.135754	0.206626	0.244766
0.400020	0.142316	0.132851	0.137968	0.135859	0.207195	0.243811

Parametr	Daf XF FT	Iveco	MAN	Renault	Scania R500	Volvo FH16
0.450010	0.141858	0.134539	0.137018	0.135963	0.207764	0.242856
0.500000	0.141401	0.136227	0.136069	0.136068	0.208333	0.241902
0.549990	0.139248	0.144163	0.131606	0.136560	0.211008	0.237414
0.599980	0.137096	0.152098	0.127144	0.137052	0.213684	0.232927
0.649970	0.134944	0.160034	0.122681	0.137544	0.216359	0.228439
0.699960	0.132792	0.167969	0.118218	0.138036	0.219034	0.223951
0.749950	0.130640	0.175905	0.113755	0.138528	0.221709	0.219464
0.799940	0.128488	0.183840	0.109293	0.139020	0.224384	0.214976
0.849930	0.126336	0.191776	0.104830	0.139512	0.227059	0.210489
0.899920	0.124183	0.199711	0.100367	0.140004	0.229734	0.206001
0.949910	0.122031	0.207647	0.095904	0.140495	0.232409	0.201513

W omawianym przypadku (tab. 2) analizę wrażliwości rozumie się jako badanie siły oddziaływania różnych czynników lub ich kombinacji na kolejność priorytetów alternatyw decyzyjnych. Poprzez zmianę sił oddziaływania czynników, można stwierdzić kiedy zmieni się kolejność alternatyw decyzyjnych w odniesieniu do stanu początkowego badania. Analiza wrażliwości pokazała, że dla wszystkich badanych subkryteriów kolejność alternatyw decyzyjnych się nie zmienia. Jedynie w przypadku subkryterium – spalanie (kryterium główne K1 - ekonomiczne) pod warunkiem, że wartość znormalizowana tego subkryterium wzrośnie powyżej poziomu 0.893 (stan wyjściowy 0.457), to wówczas Scania R500 okaże się minimalnie lepsza od Vovo FH16, wtedy kryterium główne K1 przekracza wartość 0.749. Widać to w tabeli 2. Zmiana wartości pozostałych subkryteriów nie spowodowała większych zmian w kolejności alternatyw.

AHP ma zarówno swoich zwolenników jak i przeciwników, ale po zrozumieniu mechanizmu działania umożliwiła niewielkim nakładem sił i kosztów podjęcie nawet bardzo skomplikowanych decyzji i uzyskanie wiarygodnych rezultatów⁷, które byłyby niemożliwe do osiągnięcia innymi metodami.

Bibliografia

- Adamus W. Łasak P.: Zastosowanie metody AHP do wyboru umiejscowienia nadzoru nad rynkiem finansowym. *Bank i kredyt* 41.4, 73-100, 2010.
- Rudzińska, J., Piekarski, W., Dudziak, A.: Zarządzanie ryzykiem a podejmowanie decyzji w przedsiębiorstwach transportowych. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 12, 362-368, 2011.
- Saaty Thomas L.: *Mathematical principles of decision making. Principia mathematica decernendi*. RWS publications, 2010.

⁷ Wachstiel Ł. Zastosowanie metody AHP do wyboru optymalnego zintegrowanego systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie uczelnia. *Studia Ekonomiczne* 159, 109-123, 2013.

- Saaty T. L., Brady C.: The Encyclicon-Volume 2: A Dictionary of Complex Decisions Using the Analytic Network Process. RWS Publications, 2021.
- Skorupka D. Duchaczek A.: Zastosowanie metody AHP w optymalizacji procesów decyzyjnych związanych z realizacją przedsięwzięć logistycznych. Zeszyty Naukowe, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki, 54-62, 2010.
- Wachstiel Ł.: Zastosowanie metody AHP do wyboru optymalnego zintegrowanego systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie uczelnią. Studia Ekonomiczne 159, 109-123, 2013.
- Weiss E. (red.): Podstawy i metody zarządzania. Wybrane zagadnienia. Wyższa Szkoła Finansów i Zarządzania w Warszawie, Warszawa, 2008.

Adres do korespondencji: e-mail: i.kaczmar@pansp.pl
ORCID: Ireneusz Kaczmar 0000-0002-5394-1168
ORCID: Dariusz Kwaśniewski 0000-0002-1873-1456
ORCID: Maciej Kuboń 0000-0003-4847-8743

OPTIMALIZACJA PROCESÓW MAGAZYNOWYCH Z UŻYCIEM SYMULACJI KOMPUTEROWEJ

Ireneusz Kaczmar¹, Valentyn Krupnyk², Urszula Malaga-Tobola³, Elżbieta Olech³,
Maciej Kuboń^{1,3}

¹ Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu

² Dyplomant w Instytucie Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu

³ Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wstęp

Wszystkie procesy, które są związane z działalnością logistyczną (m.in. transport, magazynowanie, dystrybucja) w dzisiejszych czasach osiągają coraz wyższą wydajność, ze względu na większe potrzeby i wymagania klienta w zakresie szybkości i jakości dostaw. Rosnąca konsumpcja i chęć do zamawiania dużej ilości różnorodnych produktów, wymusza rozwój infrastruktury, wzrost sprawności maszyn i systemów IT. Z tego powodu ciągle aktualny jest temat modernizacji i optymalizacji już istniejących magazynów, a także zachodzących tam procesów¹.

Innym wyjściem jest projektowanie i budowanie całkiem nowych magazynów (zoptymalizowanych pod nowe potrzeby i technologie), niwelując wszystkie możliwe napotymane problemy, które pojawiały się w przeszłości. W tym celu często stosuje się modelowanie komputerowe, które pozwala unikać błędów projektowych i zmniejszyć koszty inwestycji. Różne funkcje i zadania eksploatacyjne magazynów w łańcuchach logistycznych dostaw, związane z gromadzeniem, składowaniem i wydawaniem zapasów wymagają zróżnicowanych rozwiązań. Dobranych do potrzeb pojemności i przepustowości, a tym samym dysponowania właściwymi cząstkowymi procesami magazynowymi².

Celem pracy było pokazanie możliwości optymalizacji procesów magazynowych, przy użyciu symulacji komputerowej. A także weryfikacja hipotezy, że symulacja komputerowa

¹ Galińska B.; Smoczyńska N.: Racjonalizacja przestrzeni magazynowej na przykładzie przedsiębiorstwa. *Autobusy-Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*. 6, 1338-1342, 2019.

² Jonak J.: *Logistyka w obszarze produkcji i magazynowania*. Lublin, Politechnika Lubelska, Lublin, 2014.

pozwole nam zmniejszyć koszty błędów projektowych jeszcze przed rozpoczęciem inwestycji. Procesy logistyczne określa organizacja, sektor gospodarki w którym funkcjonuje i technologia magazynowania^{3,4}. Technologiczny proces magazynowy kształtują m. in:

- parametry stanu i ruchu zapasów;
- postać fizyczna składowanych zapasów;
- warunki przechowywania zapasów.

Szczególne miejsce spośród możliwych metod poprawnej optymalizacji procesów, włączając modernizację budynków magazynowych, zajmuje zastosowanie symulacji komputerowych. Symulacja jest jedną z metod ilościowej analizy problemów decyzyjnych, której główną zaletą jest możliwość oceny rozwiązań bez konieczności ich wdrażania w rzeczywistości rynkowej^{5,6}. Przy pomocy modeli symulacyjnych – przedsiębiorstwo ma możliwość zbadania efektywności systemów, które są wdrożone w firmie i w razie potrzeby może znaleźć optymalne rozwiązanie wybranego problemu. Za pomocą oprogramowania można zmodernizować przestrzeń magazynową w taki sposób, aby usunąć możliwe „wąskie gardła”, a tym samym usprawnić działalność i funkcjonowanie magazynu. W taki sposób tworzenie modeli z możliwością symulacji w warunkach rzeczywistych pozwala na sprawdzenie wyników ekonomicznych i operacyjnych. Doprowadzi to w konsekwencji do realizacji i wyboru najlepszego możliwego wariantu, który będzie spełniał niezbędne wymagania.

Materiały i metody

Dla zrealizowania części praktycznej pracy został wybrany program symulacyjny FlexSim. Zaletą tego programu jest możliwość zamodelowania dowolnego procesu, czy przedsiębiorstwa i jego infrastruktury np.: miejsca wejścia i wyjścia towarów/maszyn, obsługi manipulatorów, wózków, regałów oraz pracy personelu, wraz z możliwością dopasowania ich funkcjonau (poprzez zmiany parametrów). FlexSim używa własnego środowiska do tworzenia tych modeli 3D.

Modelowanie jest możliwe dzięki szerokiemu dostępowi do różnorodnych zasobów (program posiada własną bibliotekę obiektów predefiniowanych). Szeroka gama list rozwijanych i właściwości menu pozwalają na skonfigurowanie poszczególnych obiektów oraz logiki przepływów. Oprogramowanie posiada możliwość przeprowadzenia analiz w czytelny sposób, umożliwia włączenia scenariuszy, aby cykl produkcyjny przebiegał w jak najkrótszym czasie oraz generował jak najniższe koszty. Wyniki pracy modelu są wizualizowane w postaci graficznej i liczbowej⁷.

³ Korzeniowski A. (red.): Zarządzanie gospodarką magazynową, PWE, 1997.

⁴ Gubała M.; Popielas J.: Podstawy zarządzania magazynem w przykładach. Poznań, Instytut Logistyki i Magazynowania. 2005.

⁵ Sarjusz-Wolski Z.: Symulacja procesów logistycznych. Gospodarka Materiałowa i Logistyka, 131-132, 1998.

⁶ Jędra I.: Podstawowe strefy funkcjonalne centrum logistycznego. Logistyka. 6, 1477-1486, 2019.

⁷ Kaczmar I.: Komputerowe modelowanie i symulacje procesów logistycznych w środowisku FlexSim. Warszawa, PWN SA., 2019.

Również jest możliwość testowania stworzonych modeli, przy wielu wersjach eksperymentu symulacyjnego dzięki dodatkowi Experimenter. Również program FlexSim umożliwia modernizację wyglądu własnych modeli 3D. W razie potrzeby modele mogą być wykonane samodzielnie (dla przykładu w programie SketchUp można zaprojektować modele samochodów i wykorzystać je w środowisku programu). Program ten jest wielofunkcyjny, pomaga zoptymalizować różnorodne procesy, które są związane zarówno z urządzeniami technicznego wyposażenia, jak i z zatrudnionym personelem w jakimkolwiek przedsiębiorstwie.

W związku z tym, iż optymalizowane były parametry przestrzennego rozmieszczenia regałów w magazynie, przejęto pewne założenia projektowe dzięki którym badane warianty mogą być ze sobą porównywane:

- każdy zaprojektowany magazyn będzie miał 3 rampy na przyjęcie towaru (czyli obsługiwać będzie 3 ciężarówki), jak i również 3 miejsca do składowania towarów z każdej ciężarówki osobno;
- całkowita liczba towarów, które można składować na wszystkich regałach (ilość pól odkładczych na regałach) w strefie składowania będzie taka sama w każdym modelu;
- każdy zaprojektowany magazyn będzie miał 3 rampy na wydanie towaru (obsługiwać będzie również 3 ciężarówki);
- ilość wózków widłowych w każdym magazynie/każdej strefie tego magazynu będzie jednakowa;
- drogi przejazdne dla wózków widłowych w strefie składowania będą się różnić w zależności od modelu symulacyjnego/rozmieszczonych w nim regałów;
- strefy przyjęć, kompletacji oraz wydań w każdym z zaprojektowanych magazynów nie ulegną zmianom, natomiast strefa składowania będzie się różniła dla każdego wariantu, ponieważ będzie optymalizowana.

Dla szczegółowej analizy efektywności każdego z zamodelowanych układów magazynowych skorzystano z wybranych mierników i wskaźników logistycznych. Za ich pomocą można lepiej zrozumieć czy wszystkie procesy przebiegają prawidłowo, gdzie znajdują się wąskie gardła i które procesy logistyczne potrzebują modernizacji. Istnieje duża ilość różnorodnych wskaźników, podzielić je można ze względu na podsystem logistyki w którym jest przeprowadzona analiza (produkcja, dystrybucja, magazynowanie i transportowanie), rodzaj otrzymanego wyniku (pieniężny, procentowy, czasowy). Na podstawie literatury^{8,9,10,11}, do oceny parametrów procesu wybrano pięć wskaźników.

1. Udział procentowy przepustowości układu magazynowego (%) - jako iloraz liczby paletowych jednostek ładunkowych (PJŁ) załadowanych na ciężarówki ze strefy wydań, do liczby PJŁ rozładowanych z ciężarówek (do strefy przyjęć). Dany miernik będzie obliczany na podstawie wzoru (1), interpretacja - im więcej tym lepiej.

⁸ Kij A.; Ligaj M.; Śliżewska J.; Zadrożna D.: Obsługa magazynów. Część2. Warszawa, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Spółka Akcyjna, 2019.

⁹ Nieoczym A.; Longwic R.; Górski K.: Organizacja prac magazynowych w przedsiębiorstwie branży transportowej. Autobusy-Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe. 6, 1489-1492, 2019.

¹⁰ Słowiński B.: Wprowadzenie do logistyki. Koszalin. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2008.

¹¹ Twaróg J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne. Poznań. Biblioteka Logistyka, 2003.

$$I_P = \frac{L_W}{L_P} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- I_P – udział procentowy przepustowości układu magazynowego, (%)
- L_W – ilość każdego z towarów załadowanych z strefy wydań na ciężarówkę, (szt.)
- L_P – ilość każdego z towarów rozładowanych z ciężarówek do strefy przyjęć, (szt.)

2. Wskaźnik wykorzystywania powierzchni magazynowej (%) - obliczany jest na podstawie wzoru (2)¹¹, interpretacja - im więcej tym lepiej.

$$W_{WPM} = \frac{P_{SR}}{P_{CM}} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie:

- W_{WPM} – wskaźnik wykorzystywania powierzchni magazynowej, (%)
- P_{SR} – powierzchnia składowa regałów, (m²)
- P_{CM} – całkowita powierzchnia użytkowa magazynu, (m²)

3. Stopień wykorzystania powierzchni składowej (x) – obliczany jest na podstawie wzoru (3), interpretacja – im więcej tym lepiej.

$$S_{WPS} = \frac{L_S}{N_{MS}} \quad (3)$$

gdzie:

- S_{WPS} – stopień wykorzystania powierzchni składowej, (x)
- N_{MS} – całkowita liczba miejsc składowych na regałach, (szt.)
- L_S – liczba jednostek paletowych, która przeszła przez strefę składowania w badanym okresie czasu, (szt.)

4. Wskaźnik obciążenia wózków widłowych (m/wózek) – obliczany jest na podstawie wzoru (4)¹¹, interpretacja – im mniej tym lepiej.

$$W_{OW} = \frac{D_{CALK}}{N_W} \quad (4)$$

gdzie:

- W_{OW} – wskaźnik obciążenia wózków widłowych, (m/wózek)
- D_{CALK} – droga całkowita pokonana przez wózki widłowe dla przewozu towaru pomiędzy wszystkimi strefami = $(D_P + D_S + D_K + D_W)$, (m)
- N_W – ogólna liczba wózków widłowych, które są obsługują cały magazyn, (szt.)

5. Czas przepływu jednej PJŁ przez cały magazyn (s) – obliczany jest ze wzoru (5), im mniej tym lepiej.

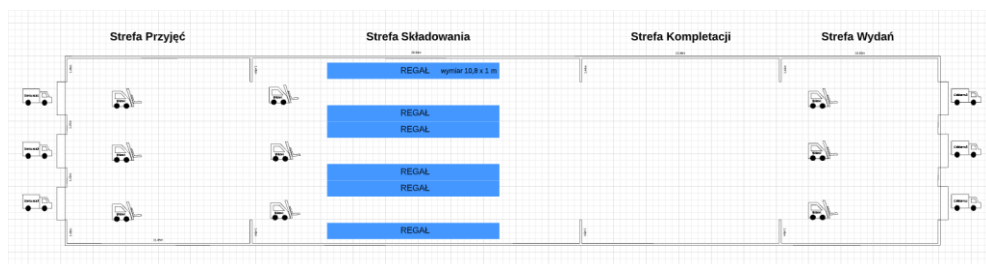
$$T_{PP} = \frac{T_{sym}}{L_W} \quad (5)$$

gdzie:

- T_{PP} – czas przepływu jednej PJŁ przez cały magazyn, (s/szt)
- T_{sym} – czas symulacji w modelach FlexSim, (s)
- L_W – ogólna ilość towarów załadowanych z strefy wydań na ciężarówkę, (szt.)

Charakterystyka badanych wariantów

W celu dokonania optymalnego wyboru zaproponowano trzy warianty rozmieszczenia regałów w magazynie A, B, C. Są to typowe rozwiązania stosowane praktycznie, często wymieniane w literaturze przedmiotu^{12,13,14,15}. Należy zaznaczyć, że nie wyczerpują wszystkich możliwych wariantów ustawień. Pierwszy projekt rozmieszczenia regałów (A) w strefie składowania, odnosi się do układu rzędowego ustawienia regałów magazynowych. Przy użyciu aplikacji LucidChart zwizualizowany został przykładowy schemat rozmieszczenia regałów, widok z góry pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Szkic rozmieszczenia regałów w magazynie wariant pierwszy – A

Źródło: opracowanie własne

Zaproponowane rozmieszczenie regałów, jako kilka rzędów równoległych jest najczęściej spotykane w magazynach. Związano jest to z tym, że regały rozmieszczone są wzdłuż dłuższego boku magazynu, co pozwala na swobodny ruch wózków widłowych wraz z towarem i szybkie dostarczenie ich na swobodne miejsca regałowe. Taki układ można nazwać najbardziej racjonalnym i zoptymalizowanym.

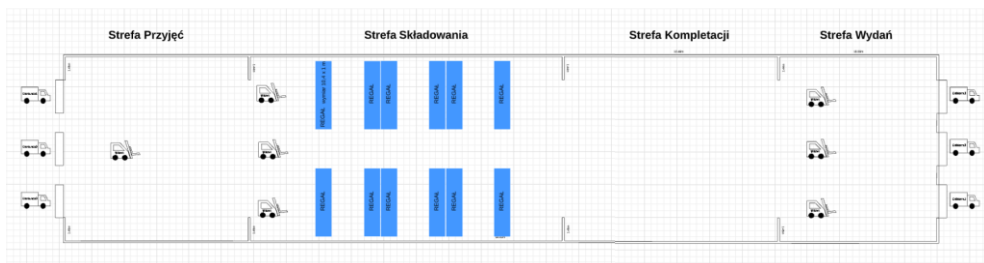
Drugi projekt rozmieszczenia regałów (B) w strefie składowania, odnosi się również do układu rzędowego. Przy użyciu aplikacji LucidChart został zaprojektowany przykładowy schemat rozmieszczenia regałów, widok z góry. Rzut obiektu pokazano na rysunku 2.

¹² Wojciechowski A.: Infrastruktura w przechowywaniu towarów (cz. 2,3). Logistyka. 1, 37-51, 2007.

¹³ Topolski M.: Zastosowanie metod heurystycznych w zadaniu optymalizacji procesów magazynowych. Cz.3. Autobusy-Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe. 6, 1606-1612, 2019.

¹⁴ Śliżewska J.; Stochaj J.: Podstawy logistyka. Warszawa, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Spółka Akcyjna, 2007.

¹⁵ Różej A.; Stolarski J.; Śliżewska J.; Zadrożna D.: Obsługa magazynów. Część 1. Warszawa, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Spółka Akcyjna, 2019.



Rys. 2. Szkic rozmieszczenia regałów w magazynie wariant drugi – B

Źródło: opracowanie własne

Takie rozmieszczenie regałów również można spotykać w magazynach. W tym przypadku regały rozmieszczone wzdłuż krótszego boku magazynu (inaczej niż w pierwszym). Główną zaletą takiego rozmieszczenia jest dość szeroki centralny korytarz transportowy, który zabezpiecza bezkolizyjny i niezakłócony przewóz towarów pomiędzy strefami (ponieważ wózki widłowe, które muszą załadować towar – nie będą się znajdować bezpośrednio na tym korytarzu). Projekty rozmieszczenia pierwszy i drugi są najbardziej wykorzystywane w magazynach – wybór ich również zależy od wybranej metody składowania towarów na regałach, wymiarów i typu przechowywanego ładunku.

Trzeci projekt rozmieszczenia regałów (C) w strefie składowania, odnosi się również do układu rzędowego. Przy użyciu aplikacji LucidChart zaprojektowano przykładowy schemat rozmieszczenia regałów, widok z góry. Rzut obiektu pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Szkic rozmieszczenia regałów w magazynie trzeci wariant – C

Źródło: opracowanie własne

Zaletami takiego rozmieszczenia jest bezproblemowy dostęp do każdego z regałów oraz półki/towaru na nim. Jest to bardzo proste i nieskomplikowane ułożenie. Zaś do wad można zaliczyć dość długą drogę przejeżdżną od strefy przyjęć do strefy kompletacji, niskie wykorzystanie powierzchni magazynowej.

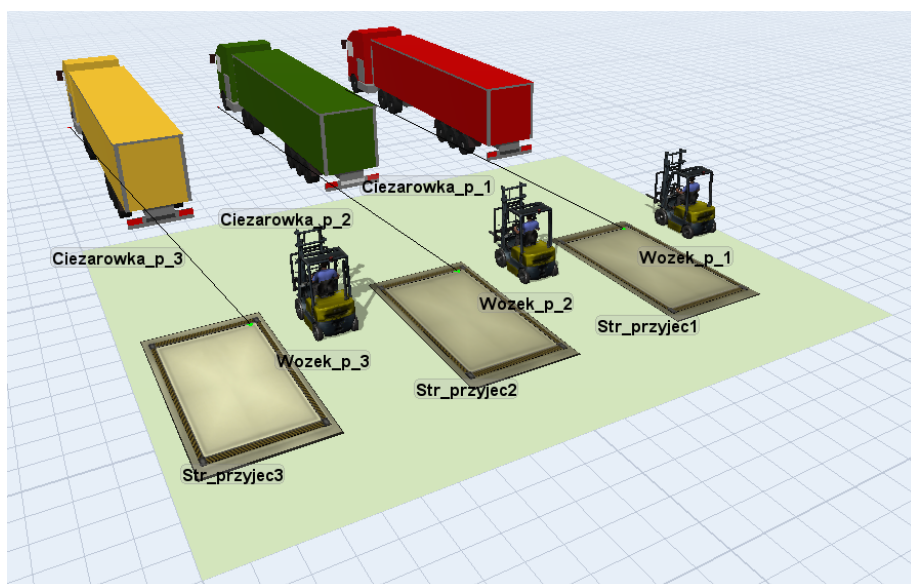
Modelowanie i interpretacja

Jak wcześniej ustalono w założeniach projektowych strefy przyjęć, strefy kompletacji oraz wydań w każdym z zaprojektowanych magazynów nie ulegną zmianom. Natomiast

strefa składowania będzie się różniła w zależności od ustawienia regałów dla każdego wariantu, ponieważ będzie optymalizowana pod kątem przepustowości. Operatorami będą wózki widłowe przenoszące standardowe jednostki paletowe na miejsca składowania, umieszczone na regałach. Logika operatorów to losowy wolny rząd i kolumna w regale. Pojedynczy wózek widłowy obsługuje po dwa regały.

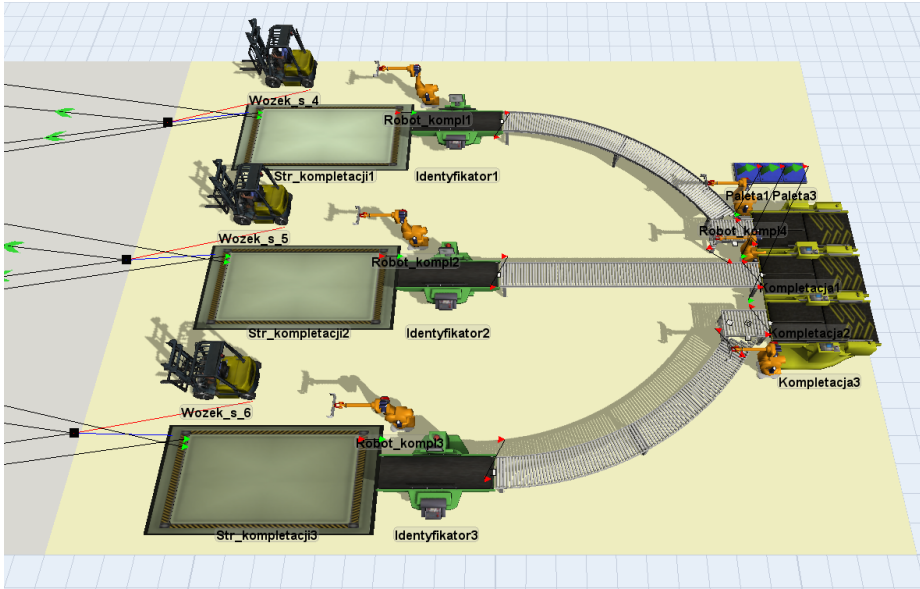
Realizację w modelu symulacyjnym przykładowych stref przyjęć, kompletacji i wydań, które są takie same dla wszystkich badanych modeli, pokazano odpowiednio na rysunkach 4, 5, 6. Natomiast modele w środowisku FlexSim całej logistyki magazynowej dla poszczególnych wariantów pokazano na rysunkach:

- wariant pierwszy rozmieszczenia regałów (A), rys. 7.
- wariant drugi rozmieszczenia regałów (B), rys. 8.
- wariant trzeci rozmieszczenia regałów (C), rys. 9.



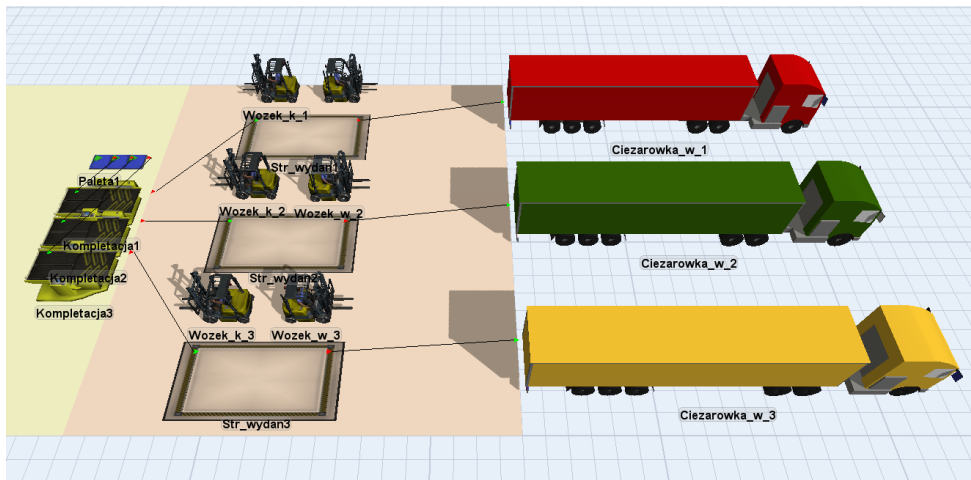
Rys. 4. Wygląd zewnętrzny strefy przyjęć zrealizowanej programie FlexSim

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Wygląd zewnętrzny strefy kompletacji zrealizowanej w programie FlexSim

Źródło: opracowanie własne



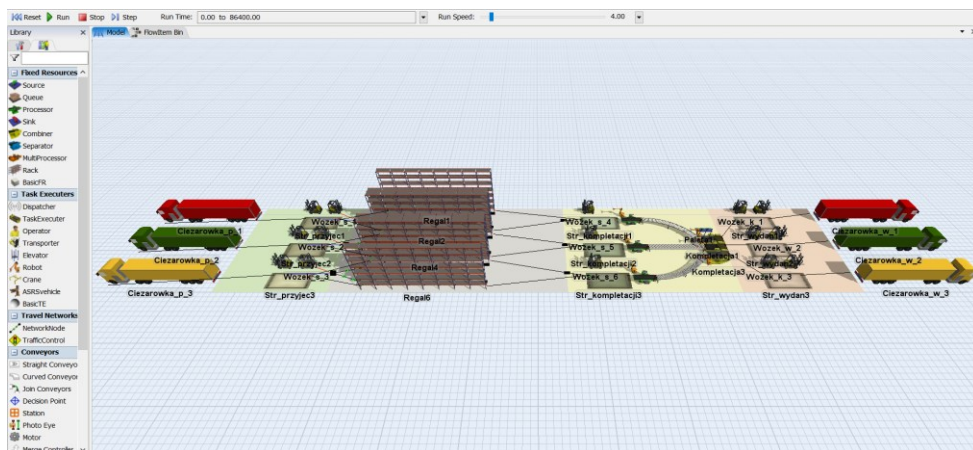
Rys. 6. Wygląd zewnętrzny strefy wydań zrealizowanej w programie FlexSim

Źródło: opracowanie własne

Po wykonaniu wszystkich czynności i podłączeniu logiki stref w programie symulacyjnym FlexSim, otrzymano następujący układ magazynowy. Pierwszy projekt rozmieszczenia regałów (A), pokazano na rys. 7.

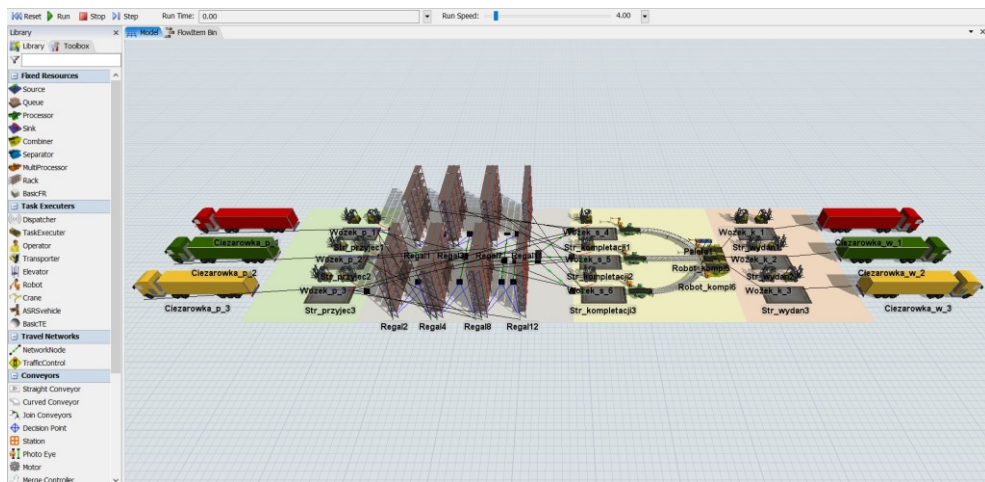
Drugi wariant rozmieszczenia (B) regałów w programie symulacyjnym FlexSim ma następujący widok (rys. 8).

Po wykonaniu wszystkich czynności projektowych i podłączeniu logiki wszystkich stref w programie symulacyjnym FlexSim, otrzymano następujący układ magazynowy, jest to drugi projekt rozmieszczenia regałów (B), pokazany na rysunku 8.



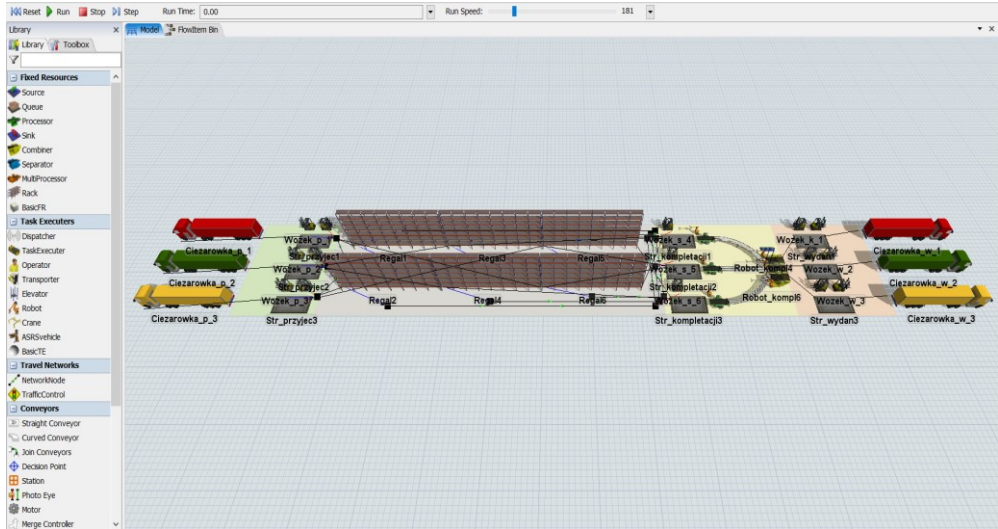
Rys. 7. Wariant pierwszy rozmieszczenia regałów (A)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 8. Wariant drugi rozmieszczenia regałów (B)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9. Wariant trzeci rozmieszczenia regałów (C)

Źródło: opracowanie własne

Po wykonaniu wszystkich czynności projektowych i podłączeniu logiki wszystkich stref w programie symulacyjnym FlexSim, otrzymano trzeci projekt rozmieszczenia regałów (C), pokazany na rysunku 9.

Po przeprowadzonych uruchomieniach modelu dla poszczególnych wariantów rozmieszczenia regałów, otrzymano wyniki przedstawione w tabelach. Dla wariantu A w tabeli 1, dla wariantu B w tabeli 2, dla wariantu C w tabeli 3. Badane warianty zostały porównane na podstawie zdefiniowanych wcześniej wskaźników.

Tabela 1. Wyniki dla pierwszego wariantu rozmieszczenia

Wskaźnik	Jednostka	Wynik
I_p – przepustowość magazynu	%	71,38
W_{wpm} – wsk. wykorzystania powierzchni magazynowej	%	42,02
S_{wps} – stopień wykorzystania powierzchni składowej	razy	6,37
W_{ow} – wsk. obciążenia wózków widłowych	m/wózek	47 413,45
T_{pp} – czas przepływu jednej PJŁ przez cały magazyn	sek/szt	20,98

Źródło: opracowanie własne

Tabela 2. Wyniki dla drugiego wariantu rozmieszczenia

Wskaźnik	Jednostka	Wynik
I_p – przepustowość magazynu	%	90,58
W_{wpm} – wsk. wykorzystania powierzchni magazynowej	%	36,01
S_{wps} – stopień wykorzystania powierzchni składowej	razy	8,5
W_{ow} – wsk. obciążenia wózków widłowych	m/wózek	79 237,1
T_{pp} – czas przepływu jednej PJŁ przez cały magazyn	sek/szt	13,79

Źródło: opracowanie własne

Tabela 3. Wyniki dla trzeciego wariantu rozmieszczenia

Wskaźnik	Jednostka	Wynik
I_p – przepustowość magazynu	%	74,56
W_{wpm} – wsk. wykorzystania powierzchni magazynowej	%	33,57
S_{wps} – stopień wykorzystania powierzchni składowej	razy	6,64
W_{ow} – wsk. obciążenia wózków widłowych	m/wózek	82 002,2
T_{pp} – czas przepływu jednej PJŁ przez cały magazyn	sek/szt	19,77

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie i wnioski

W celu podsumowania otrzymanych rezultatów dla każdego z wariantów rozmieszczenia regałów, stworzono ranking wyników (tab. 4). W zależności od sukcesu danego wariantu rozmieszczenia przydzielono określoną ilość punktów.

- I => jeśli ten wariant jest najlepszy w danym wskaźniku/mierniku;
- II => jeśli wariant jest średni w danym wskaźniku/mierniku;
- III => jeśli ten wariant jest najgorszy w danym wskaźniku/mierniku.

Tak więc system oceniania jest następujący:

- 3 punkty za I miejsce;
- 2 punkty za II miejsce;
- 1 punkt za III miejsce.

Im wyższa ilość wszystkich punktów (ocena końcowa) – tym lepszy jest wariant rozmieszczenia regałów.

Tabela 4. Wyniki wskaźników dla analizowanych wariantów rozmieszczenia regałów

Wskaźnik	Pierwszy wariant rozmieszczenia	Drugi wariant rozmieszczenia	Trzeci wariant rozmieszczenia
1. (T_P)	III	I	II
2. (W_{WPM})	I	II	III
3. (S_{WPS})	III	I	II
4. (W_{OW})	I	II	III
5. (T_{PP})	III	I	II
SUMA	9 pkt	13 pkt	8 pkt

Źródło: opracowanie własne

Po przeprowadzeniu porównań otrzymanych wyników stwierdzono, że drugi wariant rozmieszczenia jest najbardziej zoptymalizowany i konkurencyjny wobec przedstawionych alternatyw. Ten wariant jest najlepszy biorąc pod uwagę:

- udział procentowy przepustowości układu magazynowego;
- stopień wykorzystania powierzchni składowej;
- czas przepływu jednej PJŁ przez cały magazyn.

A w pozostałych dwóch miernikach i wskaźnikach najlepszy jest pierwszy wariant rozmieszczenia:

- wskaźnik wykorzystywania powierzchni magazynowej;
- wskaźnik obciążenia wózków widłowych.

Nietrudno zauważyć, że drugi wariant jest lepszy we wszystkich miernikach i wskaźnikach, które odpowiadają między innymi za szybkość przepływu towarów przez magazyn. Ta analiza wskazała na to, że ten wariant jest najlepszym i spełnia wszystkie niezbędne wymagania dla prawidłowego funkcjonowania i działania magazynu.

Bardzo podobne oceny według rankingu punktowego otrzymały pierwszy i trzeci wariant rozmieszczenia odpowiednio (9 pkt i 8 pkt) różnice są tutaj bardzo małe. W ujęciu procentowym porównanie wariantów drugiego z pierwszym daje 38,5% mniej punktów dla wariantu pierwszego, a także 46,2% dla wariantu trzeciego.

Na podstawie przeprowadzonych analiz, zostały sformułowane następujące wnioski:

- wykonane modele w programie symulacyjnym i dalsza ich analiza pozwoliła wyodrębnić optymalny wariant rozmieszczenia regałów w strefie składowania;
- stosowanie programów symulacyjnych w dziedzinie logistyki pomaga zminimalizować koszty błędów projektowych popełnionych przed rozpoczęciem inwestycji, a także zrozumieć i wyświetlić możliwe błędy w działaniu systemu logistycznego;
- komputerowe wspomaganie projektowania procesów zajmuje ważne miejsce przy modernizacji oraz zaprojektowaniu nowych i istniejących obiektów.

Bibliografia

- Galińska B.; Smyczyńska N.: Racjonalizacja przestrzeni magazynowej na przykładzie przedsiębiorstwa. *Autobusy-Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*. 6, 1338-1342, 2019.
- Gubała M.; Popielas J.: Podstawy zarządzania magazynem w przykładach. Poznań, Instytut Logistyki i Magazynowania. 2005.
- Jędra I.: Podstawowe strefy funkcjonalne centrum logistycznego. *Logistyka*. 6, 1477-1486, 2019.
- Jonak J.: Logistyka w obszarze produkcji i magazynowania. Lublin, Politechnika Lubelska, Lublin, 2014.
- Kaczmar I.: Komputerowe modelowanie i symulacje procesów logistycznych w środowisku FlexSim. Warszawa, PWN SA., 2019.
- Korzeniowski A. (red.): Zarządzanie gospodarką magazynową, PWE, 1997.
- Kij A.; Ligaj M.; Śliżewska J.; Zadrozna D.: Obsługa magazynów. Część 2. Warszawa, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Spółka Akcyjna, 2019.
- MECALUX – dane przedsiębiorstwa, (on-line). Przyjęcie towaru do magazynu: przebieg procesu i możliwości jego usprawnienia. Pozyskano z: <https://www.mecalux.pl/>, data odczytu (29.11.2021).
- Nieoczym A.; Longwic R.; Górski K.: Organizacja prac magazynowych w przedsiębiorstwie branży transportowej. *Autobusy-Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*. 6, 1489-1492, 2019.
- Różej A.; Stolarski J.; Śliżewska J.; Zadrozna D.: Obsługa magazynów. Część 1. Warszawa, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Spółka Akcyjna, 2019.
- Sarjusz-Wolski Z.: Symulacja procesów logistycznych. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, 131-132, 1998.
- Słowiński B.: Wprowadzenie do logistyki. Koszalin. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2008.
- Śliżewska J.; Stochaj J.: Podstawy logistyka. Warszawa, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Spółka Akcyjna, 2007.
- Topolski M.: Zastosowanie metod heurystycznych w zadaniu optymalizacji procesów magazynowych. Cz.3. *Autobusy-Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*. 6, 1606-1612, 2019.
- Twaróg J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne. Poznań. Biblioteka Logistyka, 2003.
- Wojciechowski A.: Infrastruktura w przechowywaniu towarów (cz. 2, 3). *Logistyka*. 1, 37-51, 2007.

Adres do korespondencji: e-mail: i.kaczmar@pwws.eu
ORCID: Ireneusz Kaczmar 0000-0002-5394-1168
ORCID: Urszula Malaga-Toboła 0000-0001-7918-8699
ORCID: Elżbieta Olech 0000-0003-4405-701X
ORCID: Maciej Kuboń 0000-0003-4847-8743

ANALIZA OBCIĄŻENIA PSYCHICZNEGO KIEROWCÓW WYBRANYCH SAMOCHODÓW CIĘŻAROWYCH

Paweł Kielbasa¹, Tomasz Drózd¹, Klaudia Olszewska²

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

² Dypłomantka w Katedrze Eksploatacji Maszyn Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wstęp

Jednym z często stosowanych podziałów pracy, która zajmuje około 66% dorosłego życia jest podział na pracę umysłową oraz mięśniową¹. Dziedziną zajmującą się pracą mięśniową jest fizjologia pracy - ma na celu określenie metod realizowania zadań oraz uwarunkowań ich wykonywania^{2,3}.

Wysiłek psychiczny powiązany z wykonywaniem czynności oraz towarzysząca mu monotonia składają się na wielkość obciążenia psychicznego. Można wyróżnić trzy etapy określania wysiłku psychicznego:

1. Procesy na wyjściu – zwane inaczej jako pozyskiwanie informacji. Polegają one na odbieraniu i sygnałów zawierających wszelkie informacje.
2. Procesy centralne, czyli podejmowanie decyzji. Polegają na podejmowaniu odpowiednich decyzji poprzez przetwarzanie zebranych informacji.
3. Procesy na wyjściu – wykonywanie czynności, polegające na realizacji podjętych wcześniej decyzji.

Fizjologia pracy - skupia się na aspektach dotyczących człowieka w powiązaniu z maszyną oraz środowiskiem pracy, uwzględnia zjawiska biologiczne zachodzące podczas realizowania obowiązków zawodowych aby sprecyzować ekonomiczne zastosowanie siły roboczej pracownika bez ponoszenia niepotrzebnego wysiłku oraz zmęczenia⁴.

¹ Kielbasa P., Juliszewski T., Kądzioła D.: Wpływ rodzaju czynności umysłowej związanej z pracą informatyka na zmęczenie psychiczne i stopień obciążenia fizjologicznego pracą. TTS Technika Transportu Szybnego 22, 2015.

² Grandjean E.: Fizjologia pracy. Zarys ergonomii. PZWL, 1971.

³ Koradecka D., Łatoch H. Ocena wielkości obciążeń pracą fizyczną na stanowiskach różnych. CIOP. Warszawa, 1981.

⁴ Batogowska A., Malinowski A.: Ergonomia dla każdego, Wyd. Sorus, Poznań, 2007.

Należy rozłącznie rozpatrywać wysiłek dynamiczny i statyczny ze względu na fakt różnego obciążenia fizjologicznego organizmu oraz jego skutków⁵. Pracę dynamiczną charakteryzuje proces skurczu mięśni, którego efektem jest zmniejszenie jego długości. Natomiast pracę statyczną - napięcie mięśni przy niezauważalnym ruchu ciała. Podczas wykonywania czynności statycznych mięśnie twardnieją wskutek stałego skurczu oraz zwiększa się ucisk na naczynia krwionośne, co wpływa na ograniczony przepływ krwi oraz złe zaopatrzenie komórek w tlen⁶. Pracą umysłową zajmuje się psychologia pracy. Obecnie prężnie działający proces mechanizacji ogranicza wysiłek fizyczny, kosztem zwiększonego zaangażowania układu nerwowego a to przyczynia się do zwiększonego obciążenia umysłowego i znużenia psychicznego. Praca umysłowa skupia się na działaniu w oparciu o informacje zewnętrzne oraz wewnętrzne, czego następstwem jest zależność odebranej informacji od sposobu jej przetworzenia oraz podjętych decyzji. Podjęcie właściwej decyzji na podstawie bardzo dużej ilości informacji, które ludzki mózg musi przetworzyć wymaga stanu ciągłego skoncentrowania i uwagi. Powoduje to zwiększenie znużenia psychicznego wykonywaną pracą a problem ten staje się coraz bardziej istotny. Związany z tym stanem stres, który w głównej mierze wywołuje zainicjowanie rozbieżności między możliwościami pracownika oraz stawianymi wobec niego wymaganiami, a możliwością poradzenia sobie z nimi.

Przedmiotem badań psychologii pracy jest ustalenie najkorzystniejszych i najefektywniejszych warunków funkcjonowania układu człowiek – praca⁷. Dotyczy to dwóch najważniejszych czynników: satysfakcji z pracy oraz obciążenia psychicznego pracą, ze szczególnym uwzględnieniem stresu w pracy.

Juliszewski⁸ klasyfikuje metody zmęczenia jako pośrednie i bezpośrednie. Twierdzi, że nie istnieją metody, które w sposób miarodajny zmierzają wysiłek umysłowy. Najważniejszą częścią jego pomiaru jest neurobiologia, zajmująca się badaniem aktywności mózgu. Różny bywa udział procesów psychicznych podczas wykonywania pracy fizycznej. W większości przypadków maleje on wraz ze wzrostem umiejętności oraz nabierania wprawy. Analizując wysiłek psychiczny należy pamiętać, że zwiększa się on wraz ze wzrostem złożoności, ważności i zmienności informacji oraz maleje w przypadku informacji powtarzających się. Sygnał, czyli umowny element „języka” porozumiewania się, tylko wtedy przekaże część lub całość informacji, jeśli jego znaczenie nie budzi wątpliwości. Czas dekodowania, od momentu percepcji (dostrzeżenia) sygnału, trwa dopóty, dopóki sygnał nie zostanie przetworzony w mózgu człowieka (operatora) na język, którym się posługuje. Przykładowo 12 mth oznacza po prostu „12 motogodzin”. Sygnał ten staje się informacją, gdy zostanie porównany z kryterium jego oceny – np. zalecanym przez producenta maszyny przebiegiem (liczbą motogodzin), po którym należy przeprowadzić przegląd. Jeśli kod przekazywanych informacji przez urządzenia sygnalizacyjne będzie różnił się w tych różnych miejscach pracy, to interpretacja informacji również będzie wymagała umiejętności posługiwania się różnymi systemami dekodowania (deszyfrowania) sygnałów.

⁵ Makowiec - Dąbrowska T., Radwan - Włodarczyk Z., Koszada-Włodarczyk W., Józwiak Z.: Obciążenie fizyczne – praktyczne zastosowanie różnych metod oceny, Łódź, 2000.

⁶ Wykowska M.: Ergonomia, Wyd. AGH, Kraków, 1994.

⁷ Okoń W.: Psychologia przemysłowa. PWN Warszawa, 1971.

⁸ Kielbasa P., Drózdź A., Trzyniec K., Drózdź T.: The impact of the difficulty of the office logical task on the level of employee mental involvement. 2018 Applications of Electromagnetics in Modern Techniques and Medicine (PTZE). IEEE, 2018.

Pomimo potencjalnie ogromnych możliwości ludzkiego mózgu istotne znaczenie ma tu następujące ograniczenie: redukcja strumienia informacji wynosi od 3 000 000 bitów/sek. (przepływ przez układ nerwowy) do 16 bitów/sek. (strumień informacji świadomie spostrzegany) i 0,7 bita/sek. (strumień informacji trwale zapamiętywany). Tadeusiewicz⁹ podaje, że pojemność informacyjną kanałów zmysłów można szacować, jako: wzrok: 100 Mb/sek., dźwięk 1Mb/sek, słuch 15 Kb/sek., węch 1 Kb/sek., smak 100 b/sek. Hagerer i Köbsell¹⁰ rejestrując filmowo pole pracy operatora kombajnu do zbioru zbóż, a następnie analizując ten obraz obliczali, że strumień informacji docierającej do operatora wynosi średnio 1,3 bita/sek., przy maksymalnych wartościach 8,82 bita/sek. Świadomość skutków podjęcia niewłaściwej decyzji zwiększa stres pracownika, narażając go na obciążenie układu nerwowego. Stwierdzono istotną relację wyników między zastosowanymi metodami a liczbą błędów popełnianych w zadaniu logicznym w przypadku dużego stopień obciążenia psychicznego. Do określania obciążenia psychicznego pracowników stosuje się metody: psychologiczne, fizjologiczne, fizjologiczno-psychologiczne. Psychologia skupia się na jednoczesnym badaniu obu kryteriów, ale w opinii autorów, opracowanie metody pozwalającej na otrzymanie obiektywnych, jednoznacznych i ilościowych wyników obrazujących poziom obciążenia psychicznego pracą wydaje się być jednym ze współczesnych wyzwań ergonomii. W przypadku operatorów wysokowydajnych naszym, których obsługa jest bardzo skomplikowana a środowisko pracy specyficzne stosuje się metody pomiarowe dopasowane do tej specyfiki, które nie zaburzają procesu technologicznego. Najczęściej do określania stopnia obciążenia psychicznego pracowników stosowane są jednocześnie pomiary wynikające z różnych metod badawczych pod warunkiem istnienia takich możliwości technologiczno-organizacyjnych. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie metod badawczych stosowanych do pomiaru obciążenia psychicznego organizmu.

Tabela 1. Metody stosowana w pomiarach obciążenia psychicznego

Grupa metod badania obciążenie psychiczne nadmiarem informacji	Grupa metod badania obciążenia psychicznego pracą	Metody fizjologiczne	Metody psychologiczno- fizjologiczne
<ul style="list-style-type: none"> - analiza reakcji człowieka na sytuacje stresowe - ergonomiczna lista kontrolna analizy układów (tzw. lista dortmundzka) - wzory matematyczne do oceny ilości informacji odbieranej przez człowieka - testy do oceny zmian w poziomie koncentracji uwagi pod wpływem pracy umysłowej 	<ul style="list-style-type: none"> - analiza ilościowa - analiza jakościowa - mierzenie czasu reakcji - metoda „zadania dodatkowego” - metoda interpolowania zadań testowych - subiektywna ocena zmęczenia (kwestionariusz japoński) 	<ul style="list-style-type: none"> Metoda oparta na zmianach zachodzących w procesach wegetatywnych ustroju - wzrost ciśnienia krwi; - wzrost częstości tętna; - wahania oporu skóry - wzrost częstości oddychania itp. Metoda „krytycznej częstotliwości migotania świetlnego” CFF Metoda oparta na analizie czynności serca 	<ul style="list-style-type: none"> Metoda oparta na badaniu rezerwy zdolności do pracy kory mózgowej (EEG) Metoda szacunkowa

⁹ Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe. Vol. 110. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza RM, 1993.

¹⁰ Hagerer P., Köbsell H.: Erste systemergonomische Untersuchungen einer Arbeitsplatzgestaltung beim Mähdrescher. Grundlagen der Landtechnik 36.3, 1986.

W układzie człowiek-maszyna sformułowano następujące reguły kompatybilności:

- 1) nauczenie się wykonywania dowolnej czynności następuje szybciej w układzie kompatybilnym niż niekompatybilnym,
- 2) jeśli system jest niekompatybilny, to ryzyko wypadku istotnie wzrasta zwłaszcza w sytuacji zagrożenia, gdy operator wykonuje czynności sterowania, do jakich przywykł, a nie, jakich dopiero się nauczył,
- 3) wydajność systemu niekompatybilnego (np. wydajność pracy) wyraźnie maleje, szczególnie w sytuacjach niezwykłych (stresu) – maleje sprawność działania systemu,
- 4) wszystkie cząstkowe elementy systemu sterowania powinny wywoływać taki sam skutek – należy to rozumieć jako zalecenie podobieństwa operacji sterowania takich samych czynności, np. włączenie i wyłączenie różnych urządzeń przez tego samego operatora powinno odbywać się w ten sam sposób,
- 5) urządzenia sygnalizacyjne i sterownicze powinny być rozmieszczone w takim samym porządku na tych wszystkich maszynach, jakie są obsługiwane przez tego samego operatora,
- 6) jeśli następują zmiany w systemie, na skutek postępu technicznego, to należy je tak wprowadzać, by uwzględniały dotychczasowe stereotypy postępowania (wyuczone czynności operacyjne).

Ilościowy pomiar informacji wynika z rachunku prawdopodobieństwa pojawiania się sygnałów. Powszechne stosowanie systemu binarnego (dwójkowego) spowodowało, że jednostką pomiaru jest bit (ang. *binary digit* – jednostka dwójkowa). Jeśli sygnały niosące informacje są równie prawdopodobne, to ilość informacji (H) – w bitach – można wyrazić wzorem: $H = \log_2 n$, gdzie: n – liczba równie prawdopodobnych sygnałów. Jedna lampka kontrolna, z takim samym prawdopodobieństwem świecenia lub gaśnięcia, przekazuje 1 bit informacji. Dwie lampki, z jednakowym prawdopodobieństwem zapalania się lub wygaszania, przekazują dwa bity informacji (z czterech możliwych kombinacji sygnałów). Strumień informacji, czyli liczba bitów przenoszonych w jednostce czasu od nadajników (urządzeń sygnalizacyjnych) do operatorów, przekraczający przepustowość percepcji przez operatora, nie spełni swojej funkcji (usuwanie niepewności), gdyż „rozbryznie się” poza operatora. Niestety, metodyczne możliwości pomiaru informacji przekazywanych operatorom przez zmysły (przede wszystkim wzroku, słuchu, ale także dotyku, zapachu, smaku) są wciąż niedoskonałe.

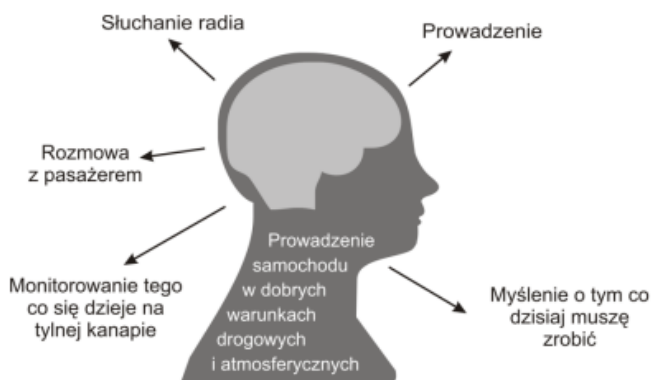
Kiełbasa¹¹ zauważył, że czas pracy kierowcy ma wpływ na relację wydatku energetycznego, określonego przez liczbę uderzeń serca z wydatkiem energetycznym określonym na podstawie wentylacji płuc. Kierowcy przez rodzaj pracy jaką wykonują, narażeni są na różnego rodzaju choroby: choroba wibracyjna bądź dyskopatia. Aby minimalizować obciążenie pracą kierowców, ważne jest ergonomiczne projektowanie stanowiska pracy. Nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie obciążeń, które wynikają ze specyfiki pracy oraz zawodu. Na bezpieczną i sprawną pracę kierowców wpływają przede wszystkim: przyjmowane pozycje ciała, narażenie na głód, wysokie temperatury, długotrwałe siedzenie, drgania oraz moż-

¹¹ Kiełbasa P., Juliszewski T., Zagórda M., Trzyniec K., Tłałka P.: Analiza struktury wydatku energetycznego kierowców samochodów ciężarowych w czasie realizacji przewozu transportowego. *Autobusy-bezpieczeństwo i ekologia*, nr 6, 127-132, 2018.

liwe uciski. Do składowych zapewniających komfort i bezpieczeństwo pracy należą: kierowca wraz z techniką prowadzenia pojazdu, pojazd oraz otoczenie¹². Operatorzy, oprócz prowadzenia pojazdu, są odpowiedzialni za przewożone ładunki i muszą posiadać umiejętność manewrowania dużymi pojazdami w panujących warunkach¹³. Kierowcy samochodów ciężarowych są również narażeni na stres, który rośnie wraz ze zmęczeniem. Do czynników stresogennych należą następujące czynniki:

- presja czasu,
- niebezpieczne sytuacje drogowe,
- odpowiedzialność za ładunek,
- obawa przed niespełnieniem wymagań przełożonych,
- inni uczestnicy ruchu drogowego,
- brak dostępu do usług w danym momencie (jedzenie, higiena).

Podczas pracy kierowców bardzo ważnym aspektem jest bezpieczeństwo. Sprawność kierowcy, umiejętności oraz cechy indywidualne to czynniki, które mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ruchu i transportu. Warunek, który kwalifikuje kierowcę do wykonywania swojego zawodu jest sprawność psychofizyczna. Prowadzenie pojazdu jest czynnością złożoną, która angażuje zasoby poznawcze kierowców, powodując obciążenie poznawcze (rys. 1). Istnieje wiele czynników, które rozpraszają uwagę kierowcy. Są to czynniki zewnętrzne, do których należą różnego rodzaju reklamy, budynki, drogi oraz wewnętrzne takie jak nawigacja samochodowa czy radio.



Rys. 1. Obciążenie poznawcze kierowcy

Źródło: (Łazowska i in., 2014¹⁴)

¹² Kowal E., Rybakowski M., Dudarski G.: Subiektywna ocena ergonomiczności stanowiska pracy kierowcy zawodowego, CIOP, 5, 2013.

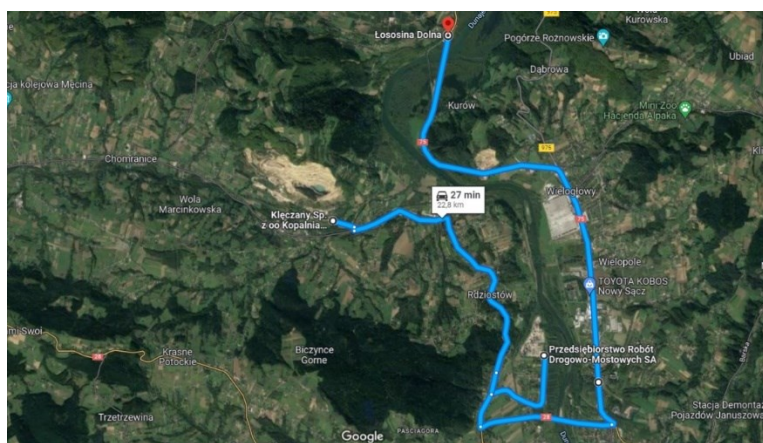
¹³ Kielbasa P., Juliszewski T., Pawłowicz J., Dróżdż T., Zagórda M., Sęk S.: Ergonomiczna analiza wybranych stanowisk pracy kierowców samochodów ciężarowych. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe 17.12, 2016.

¹⁴ Łazowska E., Niezgoda M., Kruszewski M.: Obciążenie poznawcze kierowców, Wydawnictwo Transport samochodowy, 2014.

Według prowadzonych badań, brak koncentracji uwagi oraz rozproszenie uwagi są najczęściej występującymi czynnikami, które powodują niebezpieczne sytuacje na drodze. Nadmierne obciążenie poznawcze przejawia się przez zmniejszoną płynność jazdy, niewłaściwy dobór biegu, nagłe hamowania. Większość informacji odbieranych przez człowieka jest za pomocą zmysłu wzroku, dlatego powinno się szczególną uwagę skupiać na dystraktorach wzrokowych.

Cel, zakres i metodyka badań

Celem badań było określenie stopnia obciążenia psychicznego kierowców samochodów ciężarowych, określane na podstawie analizy pracy mózgu kierowców w relacji do realizowanej operacji sterowniczej. Zakres pracy obejmował określenie względnego stopnia koncentracji uwagi kierowców podczas wykonywania czynności zawodowych. Do pomiaru aktywności mózgu kierowców wykorzystano opaski EEG Muse 2. W czasie pracy została również zmierzona liczba uderzeń serca i na jej podstawie określono wskaźnik rezerwy tętna (WRT). Doświadczenie przeprowadzono na wybranym odcinku drogi w województwie małopolskim. Badania zostały przeprowadzone w okresie budowy mostu w okolicy Nowego Sącza (rys. 2). Zbadano czterech, młodych kierowców w podobnym wieku, około 30 lat. Kierowcy A i B poruszali się jednym samochodem, natomiast kierowcy C i D drugim samochodem. Na rysunku 2 przedstawiono trasę, jaką pokonywali kierowcy, którzy zostali przebadani podczas standardowego tygodnia pracy od poniedziałku do piątku w godzinach 6:00-17:00. Podczas jednego dnia każdy z kierowców był w stanie pokonać przedstawioną trasę średnio pięć razy.



Rys. 2. Trasa, którą pokonywali kierowcy

Źródło: (www.google.pl/maps)

Każdy z pracowników miał przypisany samochód, którym wykonywał pracę:

- 1) Kierowcy A i B poruszali się samochodem marki MAN TGA 35.430 (rys. 3)

2) Kierowcy C i D poruszali się samochodem marki Mercedes 3544 (rys. 4)



Rys. 3. Samochód ciężarowy Man TGA 35.430

Źródło: (opracowanie własne)



Rys. 4. Samochód ciężarowy Man TGA 35.430

Źródło: (opracowanie własne)

Do pomiaru tętna wykorzystano aparaturę firmy POLAR. Składa się ona z opaski na klatkę piersiową oraz rejestratora umieszczonego na nadgarstek. Nadajnik rejestruje liczbę uderzeń serca i przesyła do jednostki archiwizującej. Tętno bazowe, czyli najniższa częstość skurczów serca waha się w przedziale 45-70 (uderzeń/min) i ma miejsce podczas snu. Najwyższa liczba uderzeń serca w jednostce czasu, określana jako maksymalna częstość skurczów, jest uzależniona od wieku danej osoby i ma charakter subiektywny. Często oblicza się ją jako różnicę częstotliwości skurczów serca badanej osoby i noworodka. Na podstawie pozyskanych danych, oblicza się wskaźnik rezerwy tętna, który wyrażany jest za pomocą wzoru¹⁵:

¹⁵ Karvonen M. et al.: The effect of training on heart rate. A longitudinal study. Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.35, 307-315, 1957.

$$WRT = ((HR_{pracy} - HR_{min}) / (HR_{max} - HR_{min})) \cdot 100\%$$

gdzie:

HRpracy – średnie tętno przy wykonywaniu danej czynności (ud/min)

HRmin – tętno bazowe (minimalne) (ud/min)

HRmax – tętno maksymalne dla danej osoby (ud/min), obliczane według następującej zależności: $HR_{max} = 220 - \text{wiek osoby (w latach)}$

Do badania obciążenia psychicznego kierowców wykorzystano opaskę Muse 2 (rys. 5), która umożliwia badanie zmian zachodzących między stanem koncentracji i zrelaksowaniem¹⁶. Opaska składa się z:

- pięciu elektrod umieszczonych wokół czoła, które mierzą aktywność mózgu,
- żyroskopu badającego pozycję głowy w przestrzeni 3d,
- akcelerometru badającego przyspieszenie ruchów głowy,
- fotopletyzmo grafu, który mierzy szybkość pracy serca i natlenienia krwi,
- za uszami, znajdują się dwa sensory, które mierzą potencjały referencyjne.

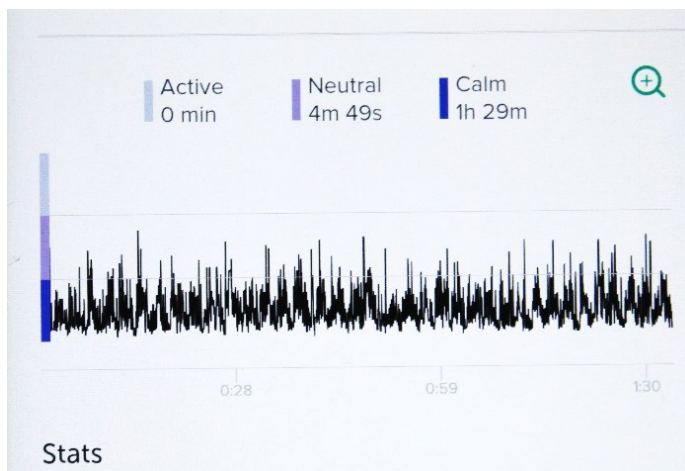


Rys. 5. Opaska Muse 2

Źródło: (opracowanie własne)

Urządzenie za pomocą Bluetooth, łączy się z każdym smartfonem. Należy wcześniej zainstalować aplikację Muse i w prosty sposób można przejść do wykonywania pomiarów. Opaska rejestruje aktywność w czasie rzeczywistym i wynik zapisuje w pamięci smartfona. Na rysunku 6, przedstawiono przykładowy fragment badania. Oś rzędnych prezentuje czas pomiaru, natomiast oś odciętych - poziom zaangażowania stanu emocjonalnego. Można zauważyć trzy stany: *calm* - spokój, *active* - aktywność, *neutral* - stany neutralne.

¹⁶ Górską M., Olszewski M.: Interfejs mózg-komputer w zadaniu sterowania robotem mobilnym, Warszawa, 2015.



Rys. 6. Przykładowy przebieg aktywności mózgu

Źródło: (opracowanie własne)

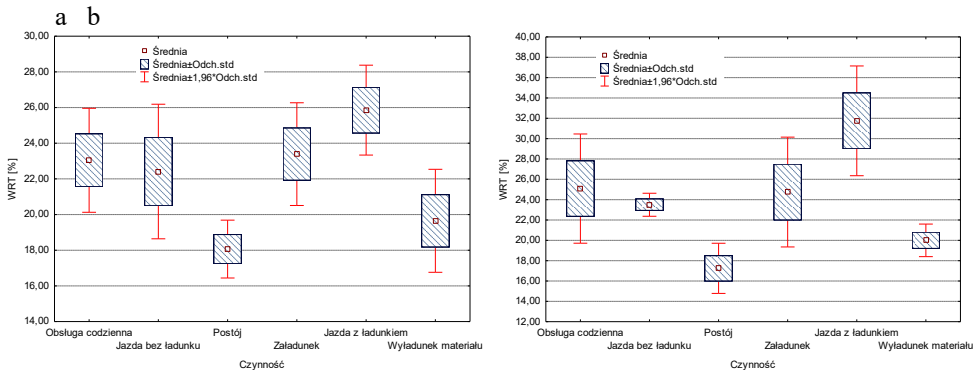
Wyniki badań

W pierwszej kolejności po przeprowadzeniu testu normalności rozkładu danych pomiarowych (test Browna-Forsythea) oraz jednorodności wariancji wykonano jednoczynnikową analizę wariancji. Zmiennymi grupującymi były realizowane czynności w ciągu dnia roboczego (obsługa codzienna, jazda bez ładunku, jazda z ładunkiem, załadunek, postój, wyładunek materiału), natomiast zmiennymi zależnymi byli poszczególni kierowcy oznaczeni jako A, B, C, D, którzy realizowali proces przewozowy dwoma samochodami ciężarowymi (po dwóch na każdy samochód). Zaobserwowano, że we wszystkich przypadkach wartości danych pomiarowych układają się dość dobrze wokół prostych wyznaczonych przez kwantyle teoretyczne, co jednoznacznie wskazuje na normalność rozkładu danych w poszczególnych grupach. Analizę wariancji przeprowadzono na poziomie ufności wynoszącym 95%, który jest standardowym dla tego typu zmiennych. Zaobserwowano, że każdy w/w czynnik ma wpływ na wybraną cechę (obciążenie psychiczne kierowcy). Wartość „p” w przypadku analizy wariancji wskazuje, że istnieje zróżnicowanie w wartościach obciążenia psychicznego kierowców w wyszczególnionych grupach czynności.

W dalszej kolejności posłużono się testem Scheffego dla zbadania istotności statystycznej różnic w wartościach średnich poziomu skupienia uwagi pierwszego kierowcy samochodu ciężarowego marki Man TGA 35.430 pomiędzy wszystkimi realizowanymi przez niego czynnościami. Zaobserwowano, że w przypadku piętnastu kombinacji doświadczenia różnice były istotne. Podobną obserwację poczyniono w przypadku kierowcy B, który również jeździł samochodem marki Man TGA 35.430, gdzie przy nieco innym błędzie grupowym odnotowano również piętnaście statystycznie istotnych różnic w wartościach średnich obciążenia psychicznego kierowcy pomiędzy wyszczególnionymi czynnościami technologicznymi realizowanymi w czasie dnia roboczego.

Analizując drugą grupę kierowców (C, D), którzy operowali samochodem marki Mercedes typ 3544, stwierdzono istotne statystyczne różnice we wszystkich zidentyfikowanych wariantach prowadzonych obserwacji. Podobnie, jak w przypadku kierowców samochodu marki Man TGA 35.430, również tutaj odnotowano piętnaście statystycznie istotnych różnic w wartościach średnich obciążenia psychicznego między realizowanymi czynnościami dla kierowcy C oraz kierowcy D.

Podstawowym parametrem pozwalającym określić obciążenie pracownika pracą jest wskaźnik rezerwy tętna. Na rysunku 7a przedstawiono średni wskaźnik rezerwy tętna kierowcy A, poruszającego się samochodem marki Man TGA 35.430. Stwierdzono, że podczas jazdy z ładunkiem wartości WRT były najwyższe i osiągały wartość około 26%. Obsługa techniczna, jazda bez ładunku oraz załadunek to czynności, podczas których wskaźnik rezerwy tętna oscylował w granicach 22-23%. Najniższe tętno u kierowcy zaobserwowano podczas postoju. Jazda bez ładunku charakteryzowała się największym zróżnicowaniem wartości średniej WRT. W przypadku kierowcy B, który poruszał się tym samym samochodem stwierdzono prawie dwukrotną różnicę między najwyższą a najniższą wartością WRT (rys. 7b).



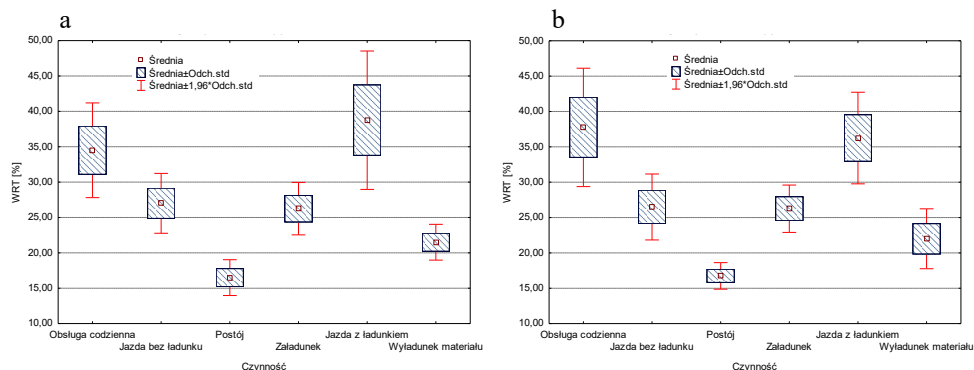
Rys. 7. Wskaźnik rezerwy tętna kierowcy A (a) i kierowcy B (b)

Źródło: (opracowanie własne)

Obsługa techniczna i załadunek materiału to czynności, podczas których wskaźnik rezerwy tętna przyjmował bardzo zbliżone wartości do WRT kierowcy A, bo około 25%.

Na rysunku 8a przedstawiono uśrednione wartości wskaźnika rezerwy tętna kierowcy C, poruszającego się samochodem marki Mercedes 3544. Odnotowano, że podczas jazdy z ładunkiem wskaźnik ten był nominalnie najwyższy i wahania jego wartości też były największe. Jazda bez ładunku oraz załadunek kształtują się na podobnym poziomie jak u kierowców A i B wynosząc około 26-27%. Najmniejszy wskaźnik rezerwy tętna odnotowano dla postoju, gdzie wynosił około 17%. Postój oraz wyładunek materiału charakteryzują się najmniejszymi wahaniami wartości WRT, które nie przekraczały 5%. Na rysunku 8b przedstawiono średni wskaźnik rezerwy tętna kierowcy D, poruszającego się tym samym samochodem. Obsługa codzienna oraz jazda z ładunkiem kształtowały się na najwyższym poziomie i przyjmowały wartości około 36-37%. Charakteryzowało je także największe wahanie wartości, które wynosiło około 12-15%. Jazda bez ładunku oraz załadunek to kolejna

para czynności, gdzie wskaźnik rezerwy tętna przyjmował bardzo zbliżone wartości około 23%. Najniższa wartość tętna była podczas postoju. Załadunek oraz postój charakteryzowały się również najmniejszymi wahaniami wartości, które wynosiły około 5%.



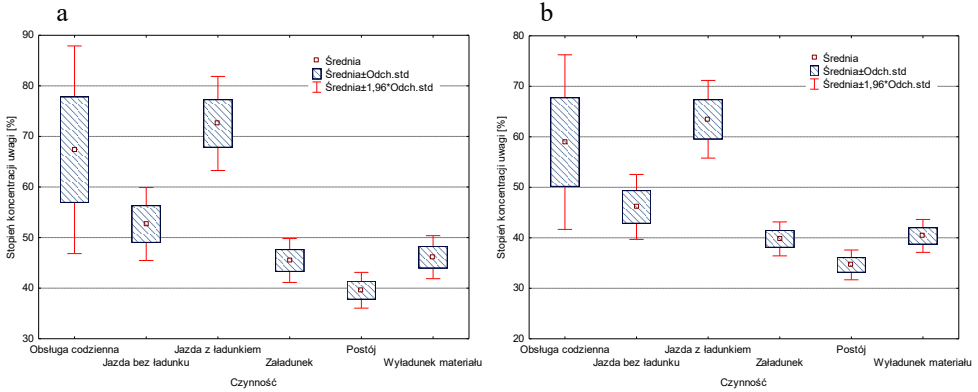
Rys. 8. Wskaźnik rezerwy tętna kierowcy C (a) i kierowcy D (b)

Źródło: (opracowanie własne)

Kolejnym badanym parametrem była aktywność mózgu, która została zmierzona za pomocą opaski Muse 2. Średnie wartości aktywności mózgu zostały na rysunkach oznaczone czerwonymi kwadratami, zakres zmienności wyrażony odchyleniem standardowym oznaczono polem kreskowanym, natomiast podwójne odchylenie standardowe od średniej arytmetycznej zaznaczono za pomocą „wąsów”. Na rysunku 9a przedstawiono aktywność mózgu kierowcy A z podziałem na poszczególne czynności. Można zauważyć, że największe obciążenie mózgu odnotowano podczas jazdy z ładunkiem i wynosiło ono około 74%. Niewiele mniejsze obciążenie można zaobserwować podczas obsługi codziennej, wynosiło ono 69%. Kierowca podczas załadunku i wyładunku wykazywał się podobną aktywnością mózgu, która oscylowała między 45-46%. Obciążenie na poziomie 40% stwierdzono podczas postoju. Początkowe czynności, czyli obsługa codzienna, jazda bez ładunku i jazda z ładunkiem powodowały u kierowcy A największe obciążenie psychiczne. Na rysunku 9b można zauważyć aktywność mózgu kierowcy B. Najwyższa wartość aktywności mózgu odnotowano podczas jazdy z ładunkiem, która wynosiła około 65%. Najniższa wartość, wynosząca około 35% została odnotowana podczas postoju. Obciążenie psychiczne na poziomie około 40% odnotowano podczas załadunku i wyładunku. Załadunek, wyładunek i postój to czynności, które charakteryzują się najmniejszym wahaniami, wynoszącymi około 2%.

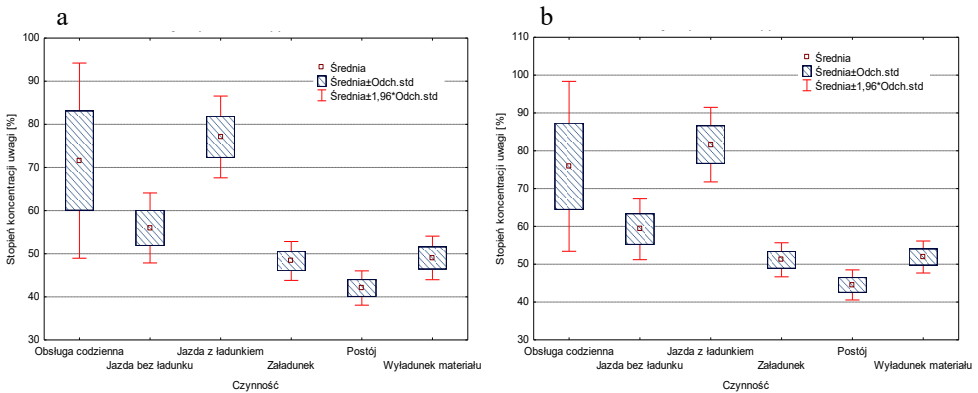
W przypadku kierowców samochodu marki Mercedes 3544 stwierdzono, że w przypadku aktywności mózgu kierowcy C najwyższa wartość wynosiła około 78%, natomiast najniższa około 42% (rys. 10a). Największe zróżnicowanie zaobserwowano podczas obsługi codziennej. Podczas podpostaju, stwierdzono najniższą aktywność mózgu kierowcy oraz najniższe wahanie tej aktywności (około 3%). Niewiele większe wahanie wartości mierzonej występowały podczas załadunku i rozładunku nie przekraczając 4 jednostek procentowych, których wartości bezwzględne aktywności mózgu oscylowały w obrębie 50%. Na rysunku 10b przedstawiono aktywność mózgu kierowcy D. Stwierdzono, że jego obciążenie psychiczne było

największe ze wszystkich badanych kierowców wynosząc aż 93%. Obsługa codzienna charakteryzowała się największymi wahaniami, które wynosiły blisko 30%. Zauważono, że wyładunek materiału sprawił, że aktywność mózgu kierowcy była większa niż podczas załadunku. W przypadku kierowcy D najniższa odnotowania aktywność mózgu przekraczała 40%.



Rys. 9. Aktywność mózgu względem wykonywanej czynności dla kierowcy A (a) i kierowcy B (b)

Źródło: (opracowanie własne)

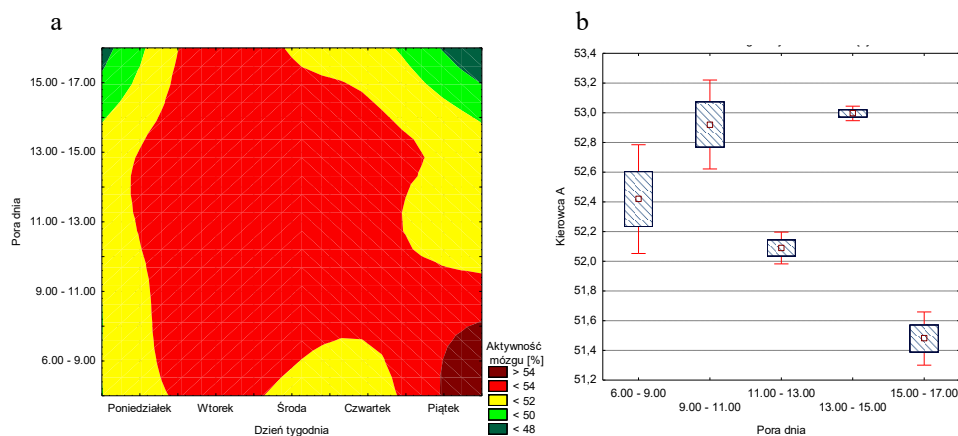


Rys. 10. Aktywność mózgu względem wykonywanej czynności dla kierowcy C (a) i kierowcy D (b)

Biorąc pod uwagę, że wszystkie czynności różnią się istotnie statystycznie w obrębie jednego kierowcy wykonano analizę różnic w obrębie wyszczególnionych czynności, ale między analizowanym obciążeniem psychicznym poszczególnych kierowców. Odnotowano statystyczne różnice między wszystkimi kombinacjami doświadczenia.

Do szczegółowej analizy wybrano dwie czynności, których wyniki przedstawiono na poniższych rysunkach. W pierwszej kolejności przeanalizowano jazdę kierowców bez ładunku a następnie jazdę z ładunkiem. Zauważono, że aktywność mózgu kierowcy A podczas jazdy

z ładunkiem między godzinami 13:00-15:00 była największa (rys. 11a). Najmniejsze obciążenie kierowcy można zauważyć w poniedziałek, gdzie przez cały dzień pracy nie przekroczyło ono 52%. Wtorek był dniem, podczas którego aktywność mózgu była największa i przez cały dzień oscylowała w przedziale wartości 52-54%. W piątek kierowca zaczął dzień od największej aktywności mózgu, która przekraczała 54%, ale wraz z upływającym czasem jego aktywność mózgu zaczynała maleć. Na rysunku 11b przedstawiono uśrednione wartości aktywności mózgu kierowcy A. Średnią obliczono z całego tygodnia dla poszczególnych przedziałów godzinowych i dane umieszczono na wykresie. Można zauważyć, że najwyższe obciążenie kierowcy wystąpiło w przedziałach godzinowych: 9:00-11:00 oraz 13:00-15:00. Między godziną 15:00 a 17:00 kierowca wykazywał się najmniejszą aktywnością mózgu.



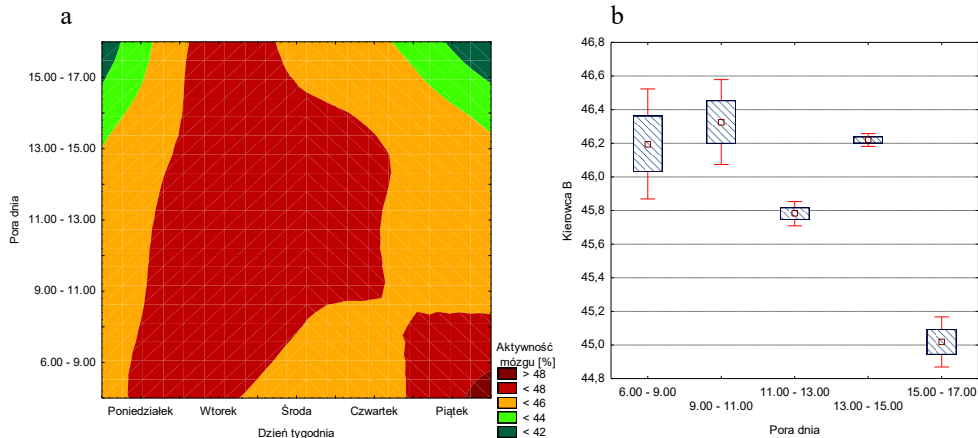
Rys. 11. Aktywność mózgu kierowcy A z podziałem na dni tygodnia i pory dnia (a) oraz uśrednione wartości aktywności mózgu kierowcy A (b)

Źródło: (opracowanie własne)

Na rysunku 12a przedstawiono aktywność mózgu kierowcy B. Zaobserwowano, że poniedziałek oraz piątek były dniami, podczas których kierowca zaczynał dzień pracy z największą aktywnością mózgu i wraz z upływającym czasem aktywność ta malała. Wtorek był dniem, kiedy kierowca wykazywał największy stopień koncentracji uwagi. Od wtorku do czwartku w przedziałach godzinowych 9:00-15:00 stwierdzono największą aktywność mózgu kierowcy, która wynosiła około 48%. Natomiast na rysunku 12b zaprezentowano uśrednione wartości koncentracji uwagi kierowcy B w perspektywie tygodnia pracy, gdzie wartość aktywności mózgu zawierała się w granicach 45-47%.

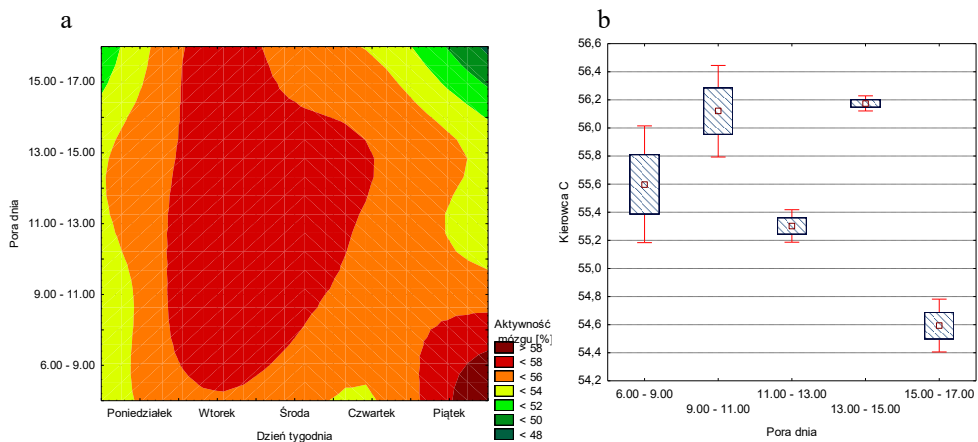
Aktywność mózgu kierowcy C w czasie analizowanego interwału czasu była zbliżona do aktywności mózgu w/w kierowców (13a). W tym przypadku wtorek był dniem największej aktywności mózgu kierowcy C, a jego obciążenie prawie przez cały dzień osiągało wartości 56-58%. W piątek, na początku dnia odnotowano, że obciążenie kierowcy osiągnęło najwyższy poziom wynoszący ponad 58%, ale nie trwało ono długo i szybko zaczęło się zmniejszać. Stwierdzono, że od godziny 6:00 do 14:00 występowały niewielkie różnice wartości koncen-

tracji uwagi kierowcy C (rys.13b). Obciążenie w tych godzinach kształtowało się na poziomie około 55,3-56,2%. Między godzinami 15:00 a 17:00 aktywność mózgu kierowcy była na poziomie 54,6%.



Rys. 12. Aktywność mózgu kierowcy B z podziałem na dni tygodnia i pory dnia (a), oraz uśrednione wartości aktywności mózgu kierowcy B (b)

Źródło: (opracowanie własne)

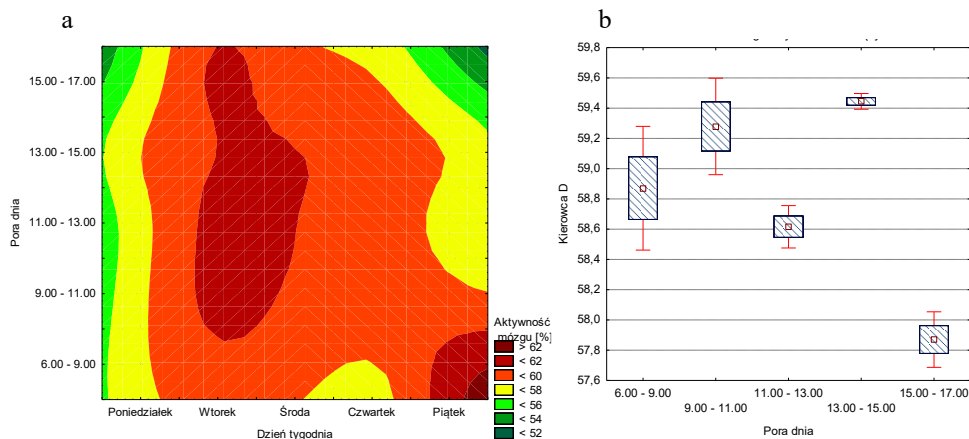


Rys. 13. Aktywność mózgu kierowcy C z podziałem na dni tygodnia i pory dnia, oraz uśrednione wartości aktywności mózgu kierowcy C

Źródło: (opracowanie własne)

Na rysunku 14a przedstawiono aktywność mózgu kierowcy D, gdzie uwzględniono również godzinową charakterystykę przedmiotowej aktywności mózgu. Zaobserwowano, że w poniedziałek kierowca charakteryzował się najniższym poziomem aktywności mózgu,

które nie przekroczyło 58%. Wtorek i środa były najtrudniejszymi dniami pracy dla kierowcy, o czym świadczy poziom aktywności jego mózgu, który przekraczał 60%. W piątek odnotowano, że obciążenie kierowcy na początku dnia było najwyższe a następnie stopniowo malało. Na podstawie uśrednionej dla całego tygodnia struktury godzinowej aktywności mózgu kierowcy samochodu ciężarowego stwierdzono, że w godzinach 9:00-11:00 oraz 13.00-15.00 aktywność mózgu kierowcy była największa (rys. 14b).



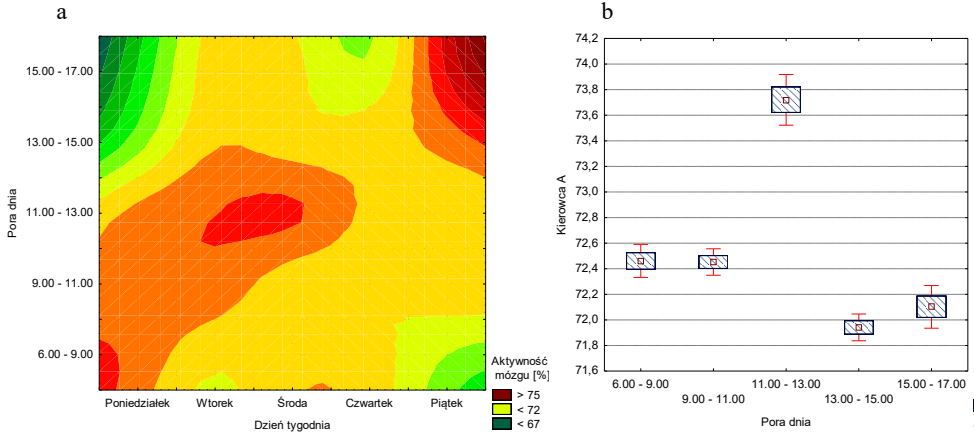
Rys. 14. Aktywność mózgu kierowcy D z podziałem na dni tygodnia i pory dnia, oraz uśrednione wartości aktywności mózgu kierowcy D

Źródło: (opracowanie własne)

Na rysunku 15a zaprezentowano aktywność kierowcy A, uwzględniając dni tygodnia oraz godziny pracy podczas jazdy z ładunkiem. Stwierdzono, że w godzinach porannych w poniedziałek aktywność mózgu kierowcy przekraczała 80%, ale wraz z upływem czasu obciążenie kierowcy malało. We wtorek oraz w środę między godzinami najwyższe wartości aktywności mózgu przekraczające 80% (kolor czerwony) odnotowano między godziną 11:00 a 13:00. Czwartek był dniem w którym aktywność mózgu kierowcy była stabilna i oscylowała wokół wartości 70%. W piątek najwyższą aktywność mózgu kierowcy odnotowano w godzinach popołudniowych. Analizując średnie wartości aktywności mózgu kierowcy A w okresie całego tygodnia stwierdzono, że interwał czasu między godziną 11:00 a 13:00 był dla kierowcy najbardziej męczący, ponieważ w tym przedziale czasu średnia wartość aktywności mózgu kierowcy wynosiła około 74% (rys. 15b). Między godzinami 6:00 a 11:00 obciążenie kształtowało się na poziomie około 73%, natomiast między godziną 13:00 a 17:00 wynosiło około 72%.

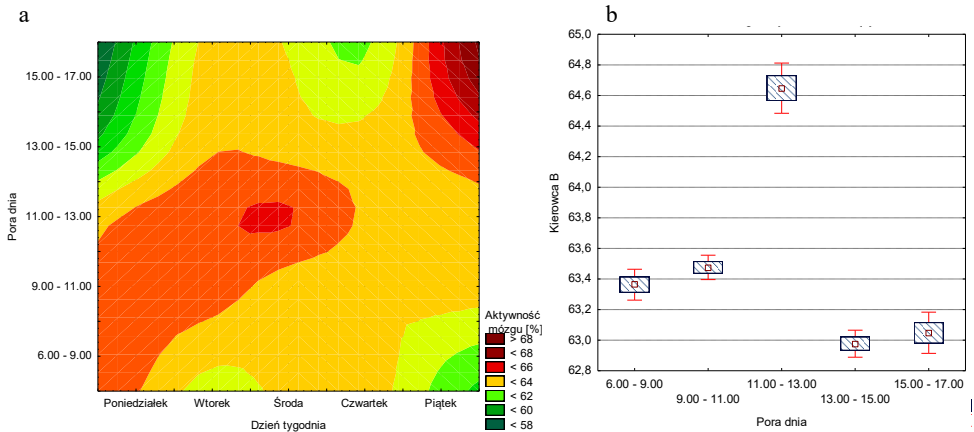
Na rysunku 16a przedstawiono aktywność mózgu kierowcy B w czasie jednego tygodnia pracy. Stwierdzono, że w poniedziałek aktywność mózgu kierowcy najwyższą wartością charakteryzował się przedział czasu od godziny 6:00 do godziny 13:00, natomiast we wtorek odnotowano tylko incydentalny wzrost aktywności mózgu, która około godziny 13:00 przekroczyła 60%. W pozostałe dni tygodnia aktywność mózgu utrzymywała się na poziomie 60% z wyjątkiem godzin popołudniowych w piątek, gdzie w godzinach popołudniowych aktywność mózgu kierowcy przekroczyła 70% jego maksymalnych możliwości. Analizując

uśrednione wartości aktywności mózgu kierowcy B stwierdzono, że jego najwyższą aktywnością charakteryzował się przedział czasu od godziny 11:00 do godziny 13:00, natomiast najniższymi wartościami mierzonego parametru charakteryzował się interwał czasu między godziną 13:00 a godziną 15:00 (rys. 15b).



Rys. 15. Aktywność mózgu kierowcy A z podziałem na dni tygodnia i pory dnia, oraz uśrednione wartości aktywności mózgu kierowcy A

Źródło: (opracowanie własne)

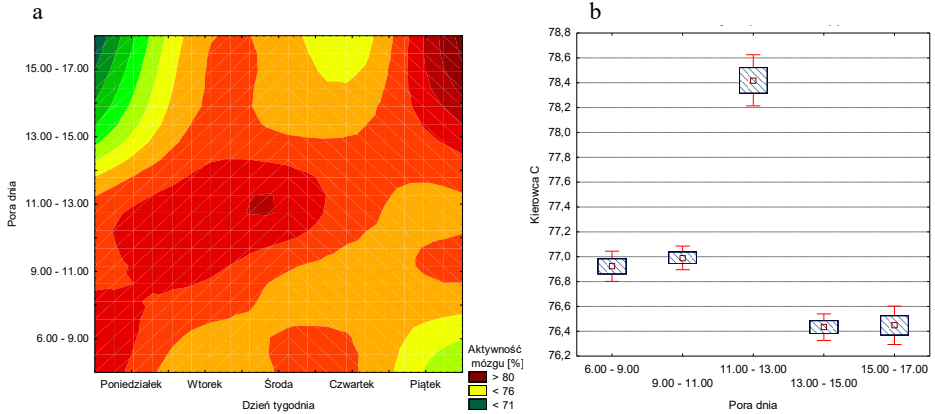


Rys. 16. Aktywność mózgu kierowcy B z podziałem na dni tygodnia i pory dnia, oraz uśrednione wartości aktywności mózgu kierowcy B

Źródło: (opracowanie własne)

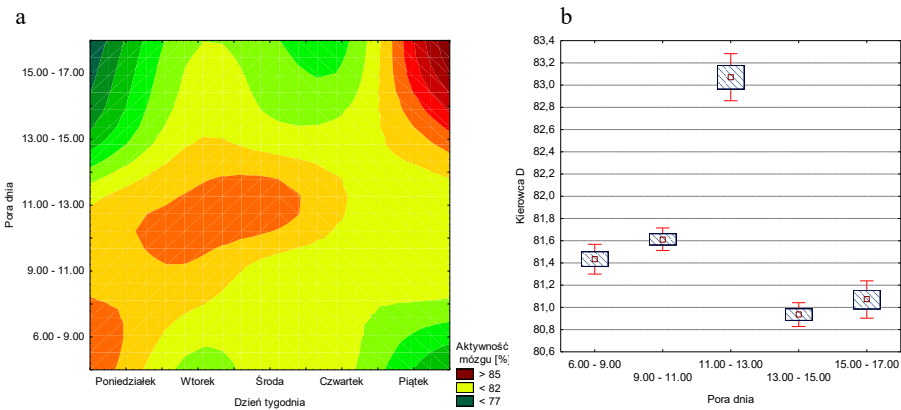
Aktywność mózgu kierowcy C, uwzględniająca dni tygodnia oraz przedział czasowy przedstawiono na rysunku 17a. Najwyższą aktywność mózgu kierowcy odnotowano w dniach od poniedziałku do środy w godzinach 11:00-13:00 oraz w piątek od godziny 13:00 do 17:00. Zaobserwowano, że w poniedziałek poziom aktywności mózgu kierowcy wraz

z upływem dnia malał, natomiast w piątek poziom aktywności mózgu kierowcy zwiększał się wraz z upływem dnia. Analizując średnie wartości obciążenia kierowcy C podczas całego tygodnia pracy, stwierdzono, że aktywność mózgu kierowcy w godzinach 11:00-13:00 była najwyższa i charakteryzowała się znacznym zróżnicowaniem wartości mierzonej (rys. 17b).



Rys. 17. Aktywność mózgu kierowcy C z podziałem na dni tygodnia i pory dnia, oraz uśrednione wartości aktywności mózgu kierowcy C

Źródło: (opracowanie własne)



Rys. 18. Aktywność mózgu kierowcy D z podziałem na dni tygodnia i pory dnia, oraz uśrednione wartości aktywności mózgu kierowcy D

Źródło: (opracowanie własne)

Na rysunku 18a zwizualizowano aktywność mózgu kierowcy D poruszającego się z ładunkiem samochodem ciężarowym Mercedes 3544. Odnotowano, że najwyższa aktywność mózgu kierowcy była charakterystyczna dla godzin popołudniowych w piątek (kolor ciemnoczerwony), co mogło być spowodowane wzmożonym ruchem pojazdów. Stosunkowo wysoką aktywność mózgu kierowcy zaobserwowano również we wtorek i środę w godzinach

od 11:00 do 13:00. Uśredniona wartość aktywności mózgu kierowcy D w czasie całotygodniowego czasu pracy oscylowała między 77% a 85% możliwości badanego kierowcy (rys. 18b). Stwierdzono, że najbardziej newralgiczny interwał czasowy pracy kierowcy usytuowany był między godziną 11:00 a godziną 13:00 w którym aktywność mózgu kierowcy D kształtowała się na poziomie około 83,1%.

Podsumowanie

Aktywność mózgu kierowców zmieniała się, w zależności od rodzaju wykonywanej czynności. U każdego z kierowców największą aktywność mózgu zaobserwowano podczas jazdy z ładunkiem, a najmniejszą podczas postoju. Zaobserwowano, istotne statystyczne różnice w wartościach aktywności mózgu kierowców między wszystkimi wyodrębnionymi czynnościami w czasie ich cyklu pracy. Zauważono, że największe obciążenie psychiczne kierowców podczas jazdy z ładunkiem występowało w godzinach 11:00-13:00, natomiast bez ładunku kulminacyjną porą dnia z punktu widzenia w/w obciążenia było południe między była godziną 13:00 a 15:00. Najniższą aktywność mózgu podczas jazdy bez ładunku odnotowano w piątek pod koniec dnia, natomiast podczas jazdy z ładunkiem - w piątek w godzinach porannych. Zatem zaobserwowana relacja intensywności aktywności mózgu kierowców samochodów ciężarowych w czasie realizacji procesu transportowego w ostatnim dniu tygodnia (piątek) jest wzajemnie odwrotna. Pomimo identyfikacji statystycznie istotnego zróżnicowania poziomu aktywności mózgu kierowców realizujących proces transportowy różnymi samochodami należy mieć świadomość, że w wartościach bezwzględnych w/w aktywności różnice te nie były wysokie.

Bibliografia

- Batogowska A., Malinowski A.: Ergonomia dla każdego, Wyd. Sorus, Poznań, 2007.
- Grandjean E.: Fizjologia pracy. Zarys ergonomii. PZWL, 1971.
- Hagerer P., Köbsell H.: Erste systemergonomische Untersuchungen einer Arbeitsplatzgestaltung beim Mähdrescher. Grundlagen der Landtechnik 36.3, 1986.
- Kiełbasa P., Dróżdź A., Trzyniec K., Dróżdź T.: The impact of the difficulty of the office logical task on the level of employee mental involvement. 2018 Applications of Electromagnetics in Modern Techniques and Medicine (PTZE). IEEE, 2018.
- Kiełbasa P., Juliszewski T., Kądzioła D.: Wpływ rodzaju czynności umysłowej związanej z pracą informatyka na zmęczenie psychiczne i stopień obciążenia fizjologicznego pracą. TTS Technika Transportu Szynowego 22, 2015.
- Kiełbasa P., Juliszewski T., Pawłowicz J., Dróżdź T., Zagórda M., Sęk S.: Ergonomiczna analiza wybranych stanowisk pracy kierowców samochodów ciężarowych. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe 17.12, 2016.
- Kiełbasa P., Juliszewski T., Zagórda M., Trzyniec K., Tłałka P.: Analiza struktury wydatku energetycznego kierowców samochodów ciężarowych w czasie realizacji przewozu transportowego, Autobusy-bezpieczeństwo i ekologia, nr 6, 127-132, 2018.
- Koradecka D., Łatoch H.: Ocena wielkości obciążeń pracą fizyczną na stanowiskach różnych. CIOP. Warszawa, 1981.
- Kowal E., Rybakowski M., Dudarski G.: Subiektywna ocena ergonomiczności stanowiska pracy kierowcy zawodowego, CIOP, 5, 2013.

- Łazowska E., Niezgoda M., Kruszewski M.: Obciążenie poznawcze kierowców, Wydawnictwo Transport samochodowy, 2014.
- Makowiec-Dąbrowska T., Radwan-Włodarczyk Z., Koszada-Włodarczyk W., Józwiak Z.: Obciążenie fizyczne – praktyczne zastosowanie różnych metod oceny, Łódź, 2000.
- Okoń W.: Psychologia przemysłowa. PWN Warszawa, 1971.
- Tadeusiewicz R. Sieci neuronowe. Vol. 110. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza RM, 1993.
- Wykowska M.: Ergonomia, Wyd. AGH, Kraków, 1994.

Adres do korespondencji: pawel.kielbasa@urk.edu.pl
ORCID: Paweł Kielbasa: 0000-0003-0249-8626
ORCID: Tomasz Dróżdź 0000-0001-6624-9798

WPLYW STRUKTURY WYKORZYSTYWANIA WYBRANEGO PRZEJŚCIA DLA PIESZYCH BEZ SYGNALIZACJI ŚWIETLNEJ NA WIELKOŚĆ ZAKŁÓCEŃ W RUCHU DROGOWYM

Anna Miernik¹, Paweł Kielbasa¹, Kinga Szeliga²

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

² Dyplomantka w Katedrze Eksploatacji Maszyn Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wstęp

Ruch drogowy to interakcje zachodzące pomiędzy pojazdami a także między pojazdami i pieszymi¹. Wpływ na płynność ruchu drogowego ma wiele czynników – do jednego z nich można zaliczyć wzmożoną aktywność ruchu pojazdów². Kolejnym elementem przyczyniającym się do zakłóceń w płynności ruchu drogowego są warunki atmosferyczne tj. opady atmosferyczne, gołoledź, szadź, mgła oraz intensywne podmuchy wiatru. Zakłócenia te powodują znaczne zmniejszenia prędkości pojazdów znajdujących się na jezdni, a także ograniczają widoczność kierowców³.

Według ustawy prawo o ruchu drogowym z dnia 20 czerwca 1997r. pieszy to uczestnik ruchu drogowego, który znajduje się na chodniku, jezdni czy poboczu i nie wykonuje żadnych robót związanych z drogą. Pieszy to również osoba prowadząca, ciągnąca lub pchająca wózek dziecięcy, wózek inwalidzki, rower, motorower czy też motocykl. Bezpieczeństwo jakie wymagają piesi od urządzeń infrastruktury sprzyjającej ruchu pieszych zależy od wieku oraz potrzeb poruszających się pieszych⁴. Aby podróż pieszych odbywała się w sposób bezpieczny powinno się zapewnić urządzenia dla pieszych tj. chodniki, trakty oraz ścieżki dla pieszych z ustalonymi ogólnie standardami i spełniać wymogi planowania uniwersalnego⁶. Kolejnym urządzeniem ruchu drogowego jest przejście dla pieszych, które według ustawy

¹ Żochowska R., Sobota A.: Ocena wpływu przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej na zakłócenia w ruchu drogowym, 2017.

² Sobota A., Karoń G.: Postrzeganie warunków ruchu miejskiego- płynność ruchu - wyniki badań ankietowych 7, 2009.

³ Ząbczyk K.: Meteorologia drogowa a bezpieczeństwo ruchu, 2006.

⁴ Kowalski K.: Projektowanie bez barier – wytyczne, 2015.

o ruchu drogowym jest częścią jezdni, drogi dla rowerów czy też torowiska służącą do przechodzenia przez pieszych i jest oznakowane odpowiednimi znakami drogowymi.

Na terenie małych miast oraz wsi ruch pieszych odgrywa bardzo ważną rolę. Na terenie małych miast i wsi komunikacja zbiorowa jest bardzo ograniczona. Wzmógłony ruch pieszych dotyczy też większych miast, w których żyją osoby bez dostępu do samochodu czy też osoby starsze⁵. Ponad 75% podróży pieszych to podróże na odległość do 1 km, a tylko 5% podróży wykonywanych jest na odległość ponad 2 km. Na podstawie badań nad zachowaniami transportowymi, prowadzonych w Polsce⁶ można stwierdzić, że podróże piesze stanowią 20–25% ogółu podróży w miastach. Dla porównania w Paryżu udział ten wynosi ok. 36%, a w Londynie 32%⁷. Przeprowadzone na licznej statystycznej próbie badania ankietowe przez warszawskie badanie ruchu w 2005r. wykazało, że motywacje w podróżach pieszych to główniej mierze podróż do domu – 47,8%, na zakupy 20,8%, do szkoły 13,3% do pracy 5,6%, odprowadzanie 3,8% oraz inne.

Według Goniewicza i in.⁸ jednym z głównych problemów dzisiejszego świata są wypadki drogowe. Na całym świecie na drogach w przeciągu roku umiera około miliona osób. Według wydziału Opiniodawczo-Analitycznego Biura Ruchu Drogowego Komendy Głównej Policji w 2019 roku odnotowano 7005 wypadków drogowych z udziałem pieszych co stanowi 27,3% ogółu wszystkich wypadków, a liczba osób zabitych wynosiła 793. Najczęściej, bo aż 49,5% wszystkich wypadków z udziałem pieszych to wypadki przy przejściach dla pieszych. Piesi bez wątpienia należą do najbardziej wystawionej na ryzyko wypadków grupy. Ze względu na brak środków ochrony indywidualnej, narażeni są na poważne obrażenia w wyniku koneksji z pojazdami uczestniczącymi w ruchu drogowym, a tym samym ryzyko trwałego uszczerbku na zdrowiu lub nawet poniesienia śmierci jest wyższe. Według analiz statystycznych, na polskich drogach dochodzi do wypadków z udziałem pieszego najczęściej w sezonie jesienno-zimowym, a wynika to z warunków atmosferycznych panujących w tej długości i szerokości geograficznej⁹.

Cel i zakres badań

Celem pracy było określenie intensywności wykorzystania przejścia dla pieszych w aglomeracji miejskiej usytuowanego w Nowym Targu na ulicy Krakowskiej, które nie posiada sygnalizacji świetlnej na stopień zakłóceń w ruchu pojazdów w obrębie przedmiotowego przejścia.

Zakres pracy obejmował ilościową i jakościową obserwację wszystkich uczestników ruchu w obrębie przejścia dla pieszych, czyli samochodów poruszających się w obie strony tj. Kraków – Centrum Nowego Targu, Centrum Nowego Targu – Kraków, a także pieszych

⁵ Kiełbasa P., Dróżdż T., Nawara P., Trzyniec K.: Ocena Obciążenia Skrzyżowania Ruchem Pieszych W Obrębie Nowo Wybudowanych Osiedli W Mydlnikach W Krakowie, 2018.

⁶ BGR, 2009

⁷ Tfł, 2004

⁸ Goniewicz M., Goniewicz K.: Wypadki drogowe w Polsce – czynniki sprawcze i zapobieganie, 2010.

⁹ Tomczuk P., Wytrykowska A.: Analiza czynników wpływających na bezpieczeństwo pieszego na przejściu dla pieszych typu "zebra" niesterowanym sygnalizacją świetlną, 2015.

przechodzących przez jezdnie w obu kierunkach. Pomiary dotyczyły liczby oraz natężenia ruchu pieszych, szybkości ich przemieszczania, gęstość pieszych oraz ilość pieszych przechodzących przekrój chodnika w odniesieniu do jego przepustowości. W przypadku poruszających się samochodów zmierzono natężenie ruchu a także szacowano prędkość jazdy. Kończącym efektem pracy było określenie relacji między stopniem wykorzystania przejścia dla pieszych a wielkością utrudnień w płynności ruchu pojazdów w obrębie przejścia dla pieszych. Droga krajowa nr 47 na której usytuowane jest analizowane przejście dla pieszych posiada przekrój jednojezdniowy, o następującej charakterystyce: dobrej widoczności, dwupasmowej jezdni o szerokości łącznej około 7 m, północnej i południowej krawędzi jezdni z krawężnikiem, obecnością chodnika po obu stronach jezdni, przejściu dla pieszych zlokalizowanym obok pobliskiej zatoki autobusowej, licznymi zjazdami do posesji prywatnych i miejsc użyteczności publicznej, dopuszczalnej prędkości do 50 km/h (w przedziale czasu 23:00-5:00 60 km/h), kompletnym oznakowaniu poziomym i pionowym, przy czym przejście dla pieszych jest częściowo nieczytelne, oświetleniu ulicznym zlokalizowanym wzdłuż jezdni, wykorzystaniu oświetlenia przejścia dla pieszych oraz braku dodatkowego oświetlenia ciągu pieszych poruszających się chodnikiem. Odcinek drogi krajowej nr 47, na którym przeprowadzono pomiary zlokalizowany jest w obszarze zabudowanym, w pobliżu skrzyżowania z drogą lokalną - ul. Klikuszówka.

Metodyka

Badania przeprowadzono w 8-godzinny interwale czasowym od godziny 8:00 do godziny 16:00 w okresie całego tygodnia tj. od poniedziałku do niedzieli. Przejście dla pieszych stanowiące przedmiot badań ma szerokość 7 metrów, natomiast chodnik prowadzący do przejścia dla pieszych ma szerokość 2 metrów. Na rysunku 1 przedstawiono analizowane przejście dla pieszych oraz zaznaczono kolorem żółtym drogę pokonywaną przez pieszych.



Rys. 1. Podstawowe parametry geometryczne analizowanego przejścia dla pieszych

Punkt pomiarowy _____			
Przejście przez _____			
Data pomiaru _____		godzina: od _____ do _____	
Dzień tygodnia _____			
Numer pomiaru	Godzina	Ilość pieszych	Suma
(i)	Pomiaru		
1	08:00-09:00		
2	09:00-10:00		
3	10:00-11:00		
4	11:00-12:00		
5	12:00-13:00		
6	13:00-14:00		
7	14:00-15:00		
8	15:00-16:00		
Ogółem	8h		

Rys. 2. Formularz pomiarowy dla pieszych

W obrębie analizowanego przejścia dla pieszych dokonano stosownych pomiarów tj.:

a) pomiar natężenia ruchu pieszych – obserwacje zostały zanotowane w formularzu, (którego wzór przedstawiono na rys. 2) zliczając każdego pieszych przechodzących przez przejście dla pieszych z uwzględnieniem kierunku przechodzenia,

b) pomiar szybkości ruchu pieszych - najprostszą metodą jest mierzenie czasu przebytej drogi na wybranym odcinku. Ponieważ nie jest możliwe rejestrowanie szybkości wszystkich pieszych, należy zachować w mierzonej próbie odpowiednie proporcje, określając różne kategorie wiekowe; kobiety i mężczyźni, choć pracochłonna w opracowaniu, może być również w tym przypadku stosowana metoda filmowa,

c) pomiar gęstości pieszych - przy mniejszym ruchu pieszym obserwator obchodzi odcinek chodnika tam i z powrotem, licząc mijanych pieszych z przeciwnego kierunku oraz tych, którzy go wyprzedzają.

d) liczba pieszych L_p , którzy w danym interwale czasu t (s) przechodzą przez przekrój chodnika obliczono ze wzoru:

$$L_p = k \cdot v_p \cdot B \cdot t \text{ (osób)}$$

gdzie:

- k – gęstość ruchu pieszego (os./m)
- v_p – prędkość pieszych (m/s),
- B – efektywna szerokość przekroju urządzenia dla pieszych (m),
- t – interwał czasu (s),

e) przepustowość urządzeń dla pieszych C_p o danej szerokości B (chodnika, korytarza, przejścia), którą obliczono się ze wzoru:

$$C_p = k \cdot v_p \cdot B \cdot 60 \text{ (osób/min)}$$

f) liczba samochodów – technika prowadzenia pomiaru polega na odnotowaniu w odpowiednich rubrykach formularzy (rys. 3) faktu przejazdu pojazdu przez przekrój drogi w miejscu stanowiska pomiarowego. Wyniki pomiarów wyrażone są w pojazdach rzeczywistych oraz w pojazdach umownych.

Rys. 3. Formularz pomiarowy pojazdów

Wyniki badań

Wykorzystanie przejścia dla pieszych – liczba przechodzących pieszych

Stopień wykorzystania przejścia dla pieszych jest kluczowym zagadnieniem w przypadku analizy oddziaływania danego przejścia na płynność ruchu samochodów oraz bezpieczeństwo pieszych. Każdy dzień tygodnia analizowano oddzielnie, ponieważ liczba pieszych w ciągu dnia roboczego dla każdego dnia tygodnia była różna. Na rysunku 4a przedstawiono charakterystykę liczby osób przechodzących przez przejście bez względu na kierunek przechodzenia. Odnotowano dwa szczytowe momenty występujące między godzinami 8:00 i 9:00 oraz między 13:00 a 14:00, co wynika z cyklu wyjazdów do pracy i powrotów z pracy osób. Należy zaznaczyć, że sumaryczna wartość w/w kumulacji pieszych na przejściu stanowi ponad 50% całkowitej liczby pieszych przechodzących przez przejście w ciągu 8-godzinnego cyklu pomiarowego.

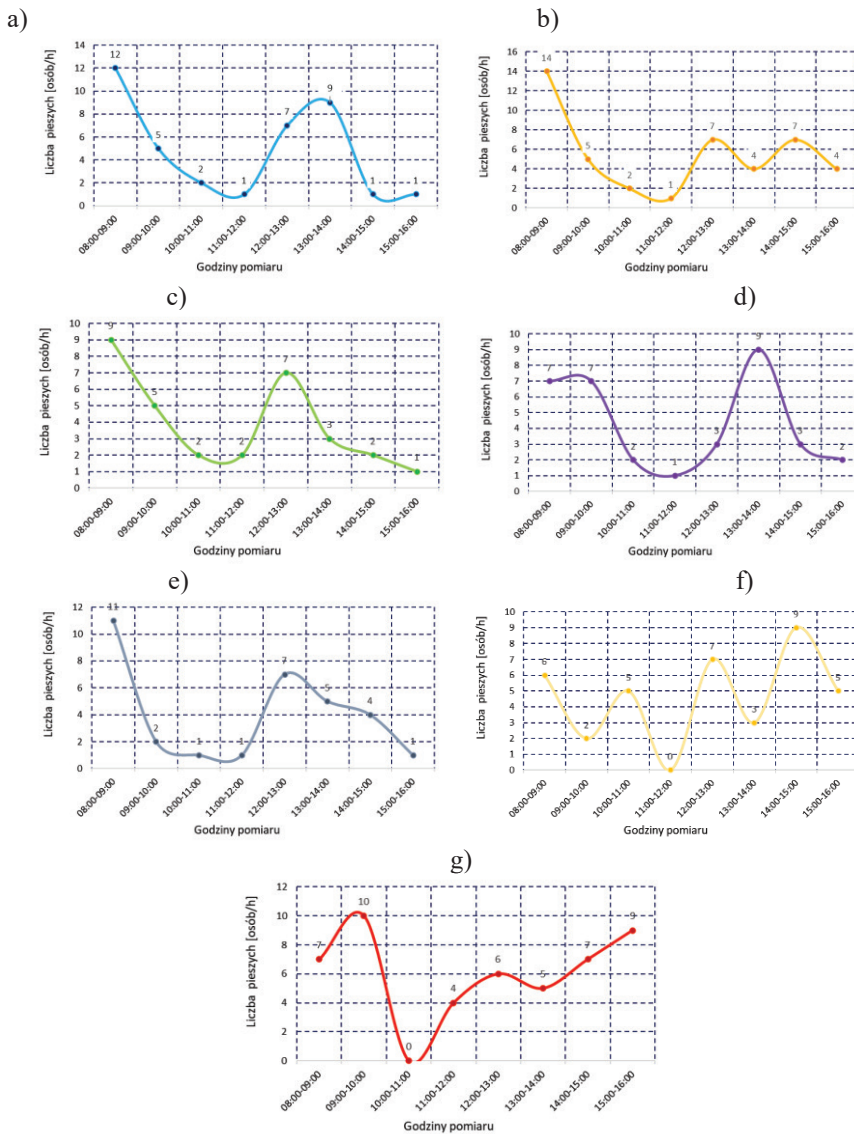
Analizując liczbę osób przechodzących przez przejście w drugim dniu tygodnia (rys. 4b) stwierdzono, że w pierwszej godzinie pomiaru (od 8:00 do 9:00) odnotowano większą o dwie liczby osób przechodzących przez przejście w stosunku do analogicznego okresu w poniedziałek i dwukrotnie większą w stosunku do pozostałych dwóch wartości szczytowych odnotowanych w tym dniu pomiarowym. Warty podkreślenia jest fakt, że w pierwszej godzinie pomiaru liczba pieszych korzystających z przejścia stanowiła ponad 30% globalnie wszystkich pieszych korzystających z przejścia w tym dniu.

Biorąc pod uwagę dane z trzeciego dnia pomiaru (rys. 4c) można stwierdzić, że w godzinie od 8:00 do 9:00 zanotowano szczytowy moment wartości liczby pieszych przechodzących przez jezdnie. Zaobserwowano również, że liczba pieszych jaka znajdowała się na jezdni - od momentu szczytowego, stopniowo malała aż do godziny 10:00, w której wartość pieszych przechodzących przez jezdnie wynosiła 2 osoby utrzymując się przez dwie godziny, co daje wartość aż o 78% mniejszą w stosunku do wartości maksymalnej odnotowanej tego dnia. W godzinach wczesno popołudniowych tj. od 12:00 odnotowano wzrost ruchu pieszych, który mógł być spowodowany powrotem uczniów ze szkoły. Po godzinie 13:00 odnotowano stopniowe zmniejszenie liczby pieszych korzystających z przejścia.

W czwartym dniu pomiarów odnotowano nieco inną strukturę wykorzystania przejścia dla pieszych, ponieważ przez dwie pierwsze godziny pomiaru liczba pieszych wynosiła 14 osób dając średnią wartość wynoszącą 7 osób na godzinę (rys. 4d) i była to wartość tylko o dwie osoby mniejsza w stosunku do najwyższej wynoszącej 9 osób na godzinę liczby pieszych odnotowanej w tym dniu pomiarów między godziną 13:00 a 14:00. Odnotowano również charakterystyczny spadek liczby pieszych do jednej osoby na godzinę, a następnie wzrost liczby pieszych po godzinie 12.00, by w godzinach od 13:00 do 14:00 osiągnąć wartość maksymalną wynoszącą 9 osób na godzinę dla tego dnia pomiarów.

Analizując kolejny rysunek 4e, piąty już dzień pomiaru, w liczbie pieszych przechodzących przez przejście można zauważyć bardzo duże zróżnicowanie między pierwszą godziną pomiaru, gdzie liczba pieszych wynosiła 11 i była to wartość maksymalna godzinowego wykorzystania przejścia dla pieszych w tym dniu, a drugą godziną pomiaru, gdzie tylko dwie osoby przechodziły przez przejście dla pieszych w ciągu godziny. Spadek wartości pieszych utrzymywał się do godziny 12:00. Następnie od godziny 12:00 do 13:00 odnotowano wzrost

znaczący liczby pieszych przechodzących przez przejście dla pieszych (7 osób na godzinę), po czym ponownie odnotowano tendencje spadkową liczby pieszych.



Rys. 4. Liczba pieszych przechodzących przez przejście w a) poniedziałek; b) wtorek; c) środek; d) czwartek; e) piątek; f) sobotę; g) niedzielę

W szóstym dniu pomiarów (rys. 4f) zauważono, że struktura liczebności pieszych korzystających z przejścia była odmienna w stosunku do struktury opisywanej w przypadku wcześniejszych dni pomiarowych. Najwięcej, bo dziewięciu pieszych odnotowano między godziną 14:00 a godziną 15:00. Jednak porównując w/w wartości z pozostałymi wartościami liczby pieszych należy stwierdzić brak istotnego zróżnicowania, tj. z godziny szczytowej od 14:00 do 15:00 do kolejnej najwyższej odnotowanej wartości zanotowano spadek o dwie osoby. W godzinie od 11:00 do 12:00 nie odnotowano żadnego pieszego, co oznacza, że szóstego dnia pomiaru w tym przedziale czasowym nie wystąpiło zakłócenie ruchu drogowego spowodowane ruchem pieszych.

Odnotowano również mniejsze zróżnicowanie liczby przechodniów, a mianowicie brak typowej struktury tj. szczytowa wartość w godzinach porannych, następnie wartość ta spada by w godzinach popołudniowych się zwiększyć. Struktura przedstawiona na rysunku 4f może wynikać z faktu, że analizowany dzień pomiarów to sobota, a więc dzień wolny od zajęć szkolnych oraz w dużej mierze wolny od pracy.

Siódmego dnia pomiarów (rys. 4g) odnotowano trzy szczytowe momenty tj. 08:00-09:00 wynoszący 14,58% pieszych ogółem w tym dniu, 09:00-10:00 – 20,83% oraz 15:00-16:00 – 18,75%, co może mieć ścisły związek z położeniem przejścia dla pieszych w pobliżu miejsca kultu religijnego. W przedziale czasowym od 10:00 do 11:00 na jezdni nie odnotowano udziału pieszego, natomiast od godziny 11:00 wartość pieszych z godziny na godzinę stopniowo rosła.

Czas przejścia przez przejście dla pieszych

Konsekwencją liczby pieszych przechodzących przez przejście dla pieszych w pierwszy dzień pomiarów był sumaryczny czas przejścia, czyli czas, w którym ulica jest zablokowana przez ruch pieszych, który był adekwatny do liczby osób przechodzących przez przejście (rys. 5a). Dla momentu szczytowego tj. w przedziale 8:00-9:00 wynosi on 61,27 s, natomiast dla kolejnego wyróżniającego się zakresu (13:00-14:00) zaobserwowano spadek o około 15,22 s w stosunku do wartości maksymalnej w danym dniu. Takie same wartości odnotowano dla przedziałów 11:00-12:00 i 14:00-15:00, przy czym stanowią one 8,27% wartości momentu szczytowego występującego dla przedziału od 8:00 do 9:00.

Analizując pomiary z dnia drugiego (których struktura została przedstawiona na rysunku 5b) odnotowano, że wartość szczytowa czasu przekroczenia jezdni przez pieszego przez przejście dla pieszych w godzinie od 8:00 do 9:00 była około dwukrotnie większa niż w drugim okresie szczytowym tj. (12:00-13:00) oraz (14:00-15:00). Wartość najmniejsza wynosi 5,07 s dla przedziału 11:00-12:00 i jest identyczna jak w dniu wcześniejszym dla tego samego zakresu czasowego. Z kolei zaobserwowano znaczny wzrost czasu przejścia w przedziale od godziny 14:00 do 15:00, który stopniowo malał wraz z upływem czasu. Odnotowano także, że czas przejścia dla przedziału czasowego 13:00-14:00 oraz 15:00-16:00 był taki sam, a jego wartość jest około cztery razy większa w stosunku do najkrótszego czasu zanotowanego w danym dniu, czyli w godzinach 11:00-12:00.

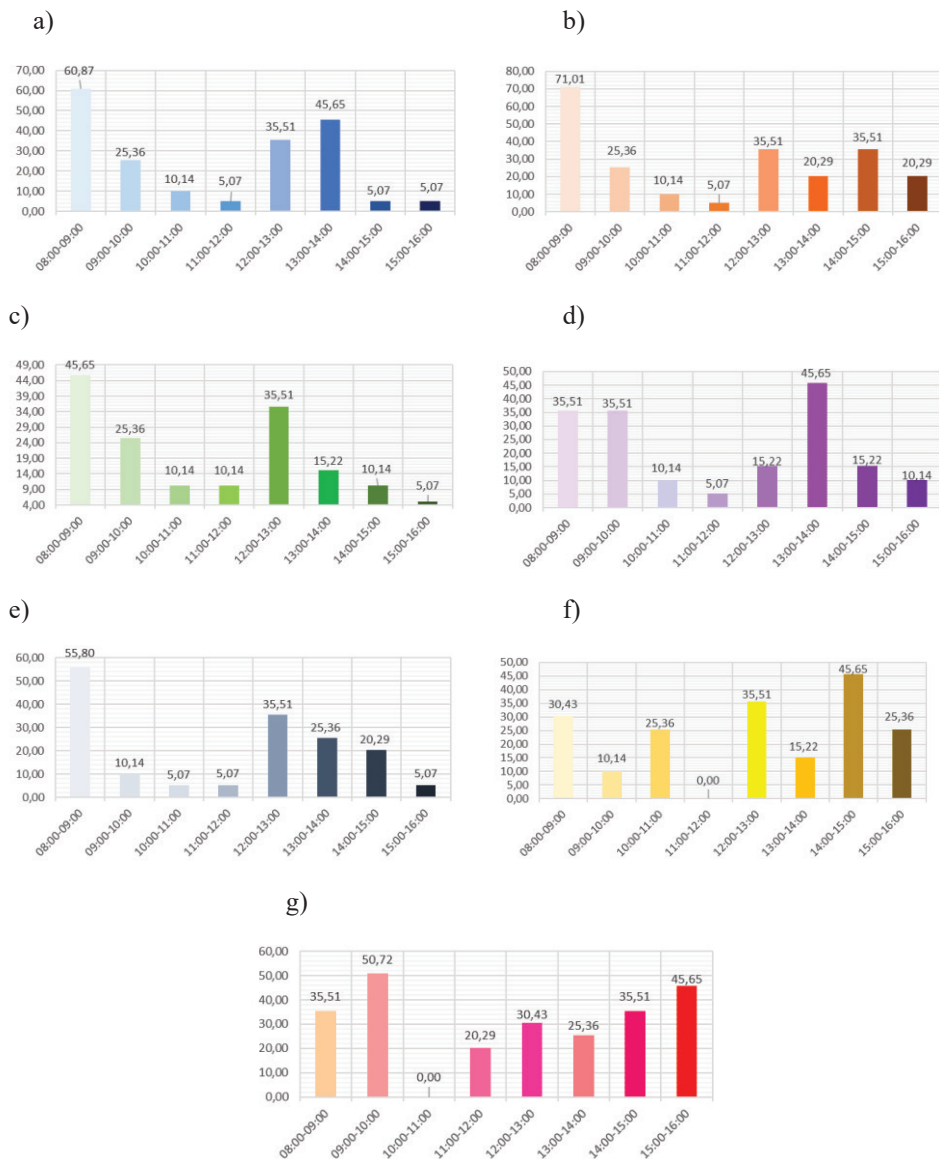
Trzeciego dnia zaobserwowano dwa momenty szczytowe ukazane na rysunku 5c, występujące w godzinach 08:00-09:00 oraz 12:00-13:00, wynoszące odpowiednio 46,05 s i 35,51 s, które można powiązać z działalnością placówek dydaktycznych takich jak przedszkole czy szkoła podstawowa. Zauważalny jest także stopniowy spadek wartości czasu przejścia pieszych dla przedziału od godziny 8:00 do 10:00, a dla przedziału od 10:00 do

12:00 następuje stabilizacja czasu dla podanego przedziału czasowego, co może być związane z realizowanymi wycieczkami rekreacyjnymi w tych godzinach przez niewielką ilość pieszych, co może być wynikiem mało atrakcyjnego terenu dla spacerowiczów.

Obserwując zestawione wyniki pomiarów z czwartego dnia badań odnotowano trzy momenty szczytowe, których obecność zawiera wykres ukazany na rysunku 5d. W godzinach 08:00-09:00, 09:00-10:00, 13:00-14:00, które również są związane z cyklem dydaktycznym pobliskich placówek edukacyjnych, tak jak poprzednim dniu w tych godzinach. W odróżnieniu do wcześniej analizowanych dni, dla których wartością szczytową były godziny poranne, w czwartym dniu pomiarów tj. czwartek, wartość maksymalną odnotowano dla przedziału od godziny 13:00 do godziny 14:00. Godziny poranne, czyli przedział czasu od godziny 8:00, aż do 10:00 przejście dla pieszych charakteryzuje się jednakowym natężeniem ruchu pieszych. Tożsame wartości zostały odnotowane w godzinach 10:00-11:00, a także 15:00-16:00.

Analizując czas, w którym piesi przechodzili przez wyznaczone przejście przez jezdnię w piątym dniu (rys. 5e) realizowanych pomiarów, zaobserwowano, że wartość szczytowa, odnotowana w godzinach porannych tj. 8:00-9:00 jest wyższa o 58,27% w stosunku do uzyskanego czasu dla godzin wczesno-popołudniowych, za które przyjęto czas z przedziału od godziny 12:00 do 13:00. Badane przejście dla pieszych przebiega przez drogę, na której w analizowanym dniu panowało średnie natężenie pojazdów w stosunku do reszty analizowanych dni – dla którego wyróżnić można natężenie dla pasa prawego tj. w kierunku Zakopanego wynoszące 3759 samochodów oraz natężenie w przeciwnym kierunku tj. w stronę Krakowa, którego wartość to 4044 w przedziale czasowym obejmującym 8 godzin – od godziny 8:00 do 16:00. Warto podkreślić, że szczytowa wartość czasu spędzonego przez pieszych na jezdni była o 51,13 s większa, w stosunku do najmniejszej odnotowanej wartości w godzinach od 10:00 do 12:00 oraz 15:00-16:00.

Czas przejścia pieszych przez jezdnię w szóstym dniu pomiarów (rys. 5f) odznacza się występowaniem skokowych wartości, spowodowanych prawdopodobnie dniem wolnym od zajęć dydaktycznych oraz pracy, co z kolei powoduje przemieszczanie się w różnych porach, aby zrealizować indywidualne cel podróży, do których zaliczyć można dokonywanie zakupów w pobliskich sklepach przemysłowo-spożywczych lub także korzystanie z dostępnych usług w okolicy. Nie zaobserwowano aktywności pieszych w przedziale od godziny 11:00 do 12:00. Wartość szczytowa wyniosła 46,05 s dla przedziału 14:00-15:00 i jest ona jedynie o 10,54 s większa od osiągniętego czasu przejścia pieszych w godzinach od 12:00 do 13:00. Najkrótszy czas, w którym piesi znajdowali się przejściu zanotowano w przedziale czasowym od godziny 9:00 do 10:00, który wynosił 10,14 s dla dwóch przechodniów, a tym samym był on niższy o około 78% od wartości szczytowej. Najdłuższy czas przebywania pieszych na jezdni w tym dniu osiągnięto pomiędzy godziną 14:00, a 15:00 i wynosi on 46,05 s, jednocześnie jest to najwyższy pomiar, w którym jezdnia była wyłączona dla ruchu pojazdów w związku z ustępowaniem pierwszeństwa pieszym we wspomnianym przedziale czasowym, uwzględniając cały tydzień pomiarowy.



Rys. 5. Czas przejścia pieszych przez jezdnie: a) poniedziałek; b) wtorek; c) środa; d) czwartek; e) piątek; f) sobota; g) niedziela

Biorąc pod uwagę dane z ostatniego - siódmego dnia pomiarów (rys. 5g) zauważono wyróżniający się moment szczytowy, którego występowanie po raz kolejny przypada na godziny poranne - tym razem są to jednak godziny z przedziału od 9:00 do 10:00. Wpływ na maksymalną wartość czasu przejścia pieszych na jezdni ma najprawdopodobniej wysoka

liczba pieszych, których przemieszczanie w tych godzinach mogło być spowodowane wydarzeniem religijnym w pobliskim kościele, które odbywa się cyklicznie o konkretnych porach. Aktywności ruchu pieszych nie odnotowano dla przedziału czasu od godziny 10:00 do 11:00, a po tym okresie wzrastała ona stopniowo, osiągając maksymalną wartość dopiero pomiędzy godziną 12:00, a 13:00.

Stopień wykorzystania przejścia dla pieszych

Zaczynając analizę zebranych wyników od pierwszego dnia pomiarów (rys. 6a), stwierdzono wartość wskaźnika stopnia wykorzystania przejścia dla pieszych nieprzekraczającą 1%, a w godzinach największego obciążenia ruchem pieszych, wartość ta oscyluje w granicach 1,5%. Stopień wykorzystania badanego przejścia dla pieszych jest ściśle związany z liczbą pieszych przechodzących przez jezdnię. Najwyższe wartości analizowanego wskaźnika przypadają na godziny poranne tj. od 8:00 do 9:00 oraz godziny popołudniowe rozumiane przez przedział czasowy od 13:00 do 14:00 i wynoszą one odpowiednio 1,69% oraz 1,27%. Jako powód przypisać można przemieszczanie się pieszych do zakładów pracy, jak również powroty do domu.

Kolejnego dnia pomiarów (rys. 6b) stopień wykorzystania przejścia dla pieszych oscylował w granicach 1%. Wartość szczytowa wystąpiła w godzinach od 08:00 do 09:00, wynosząc 1,97%, następnie zaobserwowano tendencję spadkową, aż do godziny 12:00 gdzie stopień wykorzystania przejścia dla pieszych wyniósł 0,14% i jest to jednocześnie najniższa wartość spośród zanotowanych tego dnia. Kolejną wartością niższą od szczytowej przypisano na przedział czasowy od 12:00 do 13:00 oraz od 14:00 do 15:00, stopień wykorzystania przejścia w tych przedziałach czasowych był o niecały punkt procentowy niższy od wspomnianej wartości szczytowej. Warto zauważyć, że przejście dla pieszych w dużej mierze jest wykorzystywane w godzinach porannych (08:00-09:00) oraz wczesno popołudniowych (12:00-15:00) co może być podyktowane strukturą dnia roboczego a mianowicie - piesi udają się do placówek szkolnych, przedszkolnych czy też zakładów pracy.

Analizując trzeci dzień pomiarów (rysunek 6c) pod względem stopnia wykorzystania przejścia, zauważono dwa momenty szczytowe, w których piesi korzystali z przejścia przez jezdnię. Wartości te wynoszą odpowiednio dla przedziału między 08:00 a 09:00 – 1,27%, natomiast dla przedziału czasowego 12:00-13:00 stopień wykorzystania przejścia dla pieszych wyniósł 0,99% co jest o 0,28 punktu procentowego wynikiem mniejszym. W przedziale czasu od godzinny 15:00 do 16:00 wykorzystanie przejścia miało najniższą wartość – 0,14% co daje wartość dziewięć razy mniejszą od wartości maksymalnej. Struktura przedstawiona na rysunku poniżej ukazuje, iż wartość maksymalna przypadająca na godzinę od 08:00-09:00 zrzesza wokół przejścia najwięcej pieszych co może być spowodowane wyjściem do pracy lub szkoły okolicznych mieszkańców. Następnie zaobserwowano tendencję spadkową – do godziny 10:00, utrzymującą się do godziny 12:00 po czym odnotowano wzrost, aż do niecałego procenta wykorzystania przejścia. Od godziny 13:00 odczytano tendencję spadkową aż do końca dnia pomiarowego.

Biorąc pod uwagę wyniki z czwartego dnia pomiarów przedstawionych na rysunku 6d można stwierdzić, że wartość wskaźników w ciągu całego dnia oscylowała w okolicach 1% - jedynie w przedziale czasowym między 13:00 a 14:00 przekroczyła ona tą wartość, stając tym samym najwyższą wartością wykorzystania przejścia tego dnia, która sięga 1,27%. Natomiast najniższy stopień wykorzystania przejścia przez jezdnię odnotowano w godzinie

od 11:00 do 12:00, który był dwukrotnie niższy w porównaniu do otrzymanej wartości dla przedziałów 10:00-11:00 oraz 15:00-16:00. W godzinach porannych nie odnotowano wartości szczytowej, natomiast między 08:00, a 10:00 wartości te rozłożyły się równo po 0,99% na godzinę.

Analizując stopień wykorzystania przejścia dla pieszych piątego dnia pomiarów (rys. 6e) wartość stopnia wykorzystania przejścia dla pieszych zazwyczaj nie przekraczała 1%, jedynie w godzinach największego obciążenia ruchem pieszych wartość sięgała 1,55%, co z kolei było około trzykrotnie większą wielkością niż wartość otrzymana dla przedziału w godzinach popołudniowych tj. 14:00-15:00. Piąty dzień pomiarów nie odznaczał się wysoką aktywnością pieszych, co jest zauważalne występowaniem aż trzech minimalnych wartości wskaźnika, wynoszącego 0,14% dla przedziałów czasowych 10:00-11:00, 11:00-12:00 oraz 15:00-16:00. Tendencję spadkową dostrzeżono od godziny 9:00 do godziny 11:00, po czym wartość stopnia wykorzystania przejścia dla pieszych do godziny 12:00 utrzymuje się na tym samym poziomie. Kolejny spadek uzyskanej wartości wskaźnika przypada na przedział czasu od godziny 13:00, aż do 16:00, czyli do końca dnia pomiarowego. Przejście dla pieszych jest najbardziej obciążone w godzinach porannych od 8:00 do 9:00, co może być związane z przemieszczaniem się dzieci i młodzieży do placówek edukacyjnych oraz w godzinach wczesnopołudniowych tj. 12:00-13:00, za które może odpowiadać powrót ze szkół do domów okolicznych mieszkańców.

Stopień wykorzystania przejścia dla pieszych szóstego dnia pomiarów (rysunek 6f) jest różnorodny, a wartość szczytowa wynosząca 1,27%, tak jak w czwartym dniu pomiarów, lecz tym razem przypada ona między godziną 14:00 a 15:00, a nie 13:00-14:00. Może to wynikać z tego, że ten dzień pomiarowy jest dniem wolnym od zajęć dydaktycznych oraz przeważnie od pracy, co z kolei może wpływać na przesunięcie aktywności pieszych na godziny późniejsze. Zebrane dane, pozwalają na wysunięcie stwierdzenia, że w stosunku do innych dni pomiarowych, ten dzień charakteryzuje się występowaniem wartości skokowych, a nie tendencyjnie malejących bądź rosnących. Należy zwrócić też uwagę na wartość występującą w godzinach 11:00-12:00 wynoszącą 0%, co oznacza, że w tym przedziale czasowym nie dostrzeżono żadnego pieszego poruszającego się przez przejście dla pieszych.

Rozważając stopień wykorzystania przejścia dla pieszych ostatniego, siódmego dnia pomiarów (rys. 6g) można stwierdzić, że przez większość dnia wartość wskaźnika nie przekroczyła 1%. Wyjątek stanowią dwa przedziały, osiągające wartości szczytowe odnotowane w godzinach 09:00-10:00 oraz 15:00-16:00, które wynosiły odpowiednio 1,41% oraz 1,27%. Zanotowano tendencję spadkową od godziny 10:00 do 11:00, następnie wartość wskaźnika stopniowo rosła sięgając 0,85% dla przedziału czasowego od 12:00 do 13:00 i nieznacznie zmalała w przedziale 13:00-14:00.



Rys. 6. Stopień wykorzystania przejścia dla pieszych a) poniedziałek; b) wtorek; c) środa; d) czwartek; e) piątek; f) sobota; g) niedziela

Płynność ruchu pojazdów w obrębie analizowanego przejścia dla pieszych

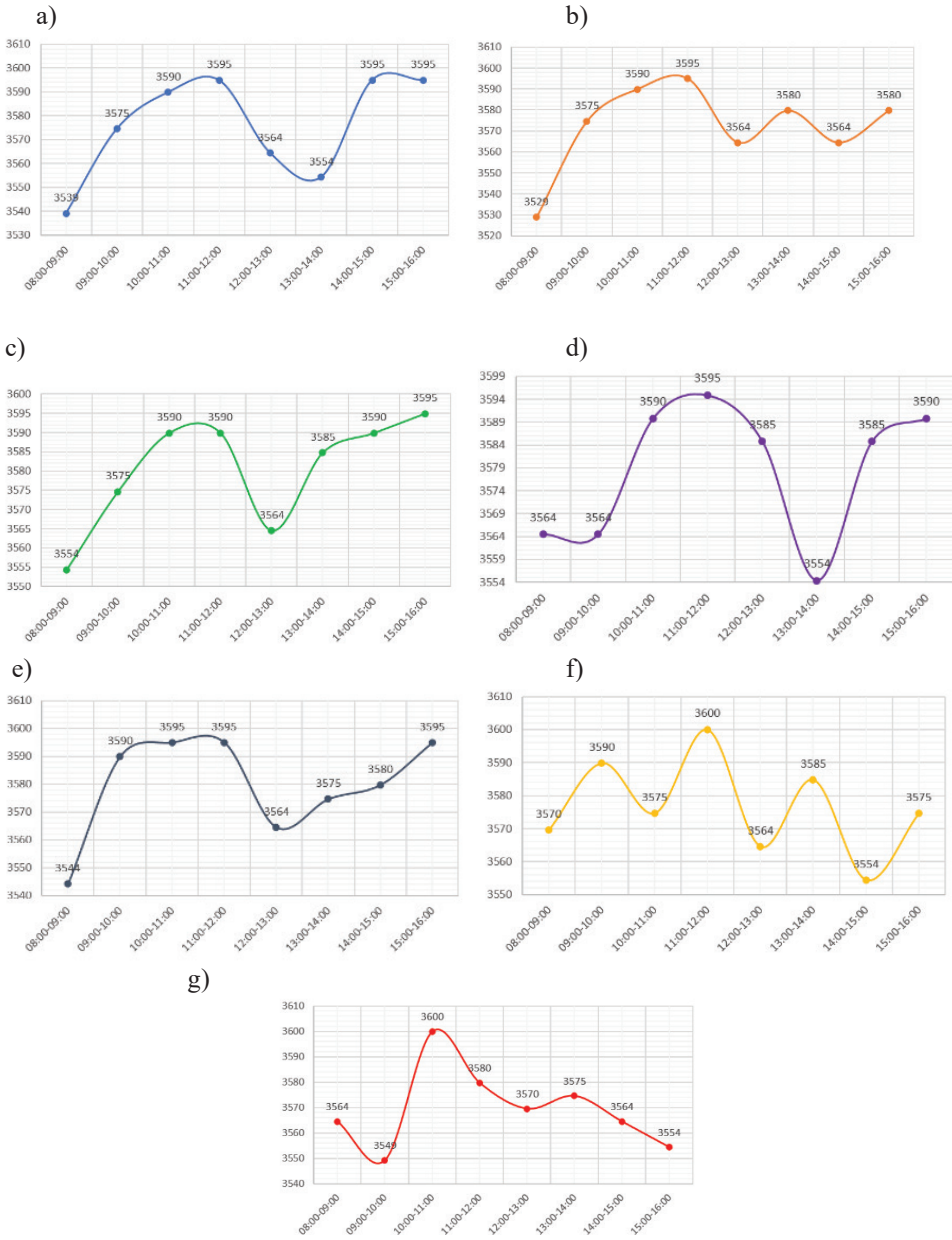
Pierwszego dnia pomiarów (rys. 7a) najwyższa wartość czasu jazdy samochodu przypadła na przedział czasowy między 14:00 a 16:00, wynosząc tym samym 3595 s, co oznacza, że w tym okresie czasowym na przejściu dla pieszych znajdowało się z kolei najmniej pieszych w ciągu dnia. Najmniejszy sumaryczny czas, w którym pojazdy swobodnie poruszały się po jezdni bez konieczności zatrzymywania się odnotowano w godzinach od 13:00 do 14:00. Nieznacznie większą wartość czasu jazdy pojazdów otrzymano dla wcześniejszego przedziału tj. 12:00-13:00 – wyższą o 10 s. Największy spadek zaobserwowano pomiędzy przedziałami 11:00-12:00 oraz 12:00-13:00, dla których różnica czasu jazdy pojazdów wynosi 31 s.

Biorąc pod uwagę czas jazdy pojazdów drugiego dnia pomiarów (rys. 7b), stwierdzono, że największe zakłócenia na drodze występowały w godzinach porannych co związane jest z cyklem dydaktycznym pobliskich placówek, a tym samym wzmożenie aktywności pieszych w tym przedziale czasowym tj. 8:00-9:00. Najmniejsza różnica czasu poruszania się pojazdów po jezdni, zauważalna jest pomiędzy przedziałami czasowymi 10:00-11:00 i 11:00-12:00 i wynosi jedynie 5 s. Z kolei największa różnica, a tym samym wzrost zanotowanego czasu występuje między przedziałem 8:00-9:00 i 9:00-10:00 i wynosi 46 s.

Analizując czas jazdy pojazdów trzeciego dnia pomiarów (rys. 7c) zauważono najwyższą płynność jazdy między godziną 15:00 a 16:00 wynoszącą 3595 s, stanowiącą około 99,86% wykorzystania jezdni przez pojazdy, przy jednoczesnym niskim ruchu pieszych dla tego przedziału czasowego. Największe zakłócenia przypadają w tym dniu na przedział czasowy 08:00-09:00 oraz 12:00-13:00, wynoszące odpowiednio około 98,72% i 99%, co spowodowane było wzmożoną aktywnością pieszych, przemieszczających się w celu zaspokojenia indywidualnych potrzeb codziennych lub rekreacyjnych.

Czwartego dnia pomiarów, czyli w czwartek, (rys. 7d) czas, w którym piesi przebywali na jezdni w godzinie od 11:00 do 12:00 to tylko 5 sekund, a więc płynność jezdni dla tego przedziału odznaczała się wysoką wartością, kształtującą się na poziomie 99,86% wykorzystania jezdni przez przejeżdżające pojazdy. Natomiast w godzinie od 13:00 do 14:00 czas, w którym piesi znajdowali się na przejściu dla pieszych był o 41 sekund dłuższy, co z kolei przyczyniło się do najkrótszego czasu jazdy pojazdów w całym dniu pomiarowym, który wynosił jedynie 3554 s, co jest wynikiem niższym o około 1,14 punktu procentowego w stosunku do wartości szczytowej dla czasu jazdy pojazdów wzdłuż jezdni.

Uwzględniając zebrane dane w piątym dniu pomiarowym (rys. 7e) analizowanym pod kątem czasu jazdy pojazdów na jezdni w ciągu godziny, stwierdzono, że najwyższa wartość przypadła na godzinę od 15:00 do 16:00 i wyniosła 3595 s, co przekłada się na wykorzystanie jezdni w 99,86%. Tak wysoki wynik wykorzystania jezdni można przypisać niskiej aktywności pieszych przebywających na przejściu – opisywany przedział czasowy obejmuje swym zakresem powroty z pracy do domu, a większość dorosłych mieszkańców przemieszcza się przy wykorzystaniu pojazdów. Najdłuższe wstrzymanie ruchu pojazdów nastąpiło w godzinach od 8:00 do 9:00, wynosiło 16 s, na co wpływ miało przemieszczanie się pieszych do placówek edukacyjnych zlokalizowanych niedaleko analizowanego przejścia przez jezdnię.



Rys. 7. Sumaryczny czas jazdy pojazdów w ciągu godziny a) poniedziałek; b) wtorek; c) środa; d) czwartek; e) piątek; f) sobota; g) niedziela

Biorąc pod uwagę czas jazdy pojazdów szóstego dnia pomiarów, czyli sobotę (rys. 7f) zauważono, że w godzinie od 11:00 do 12:00 nie zostało wymuszone zatrzymanie się pojazdów, które byłoby spowodowane przejściem pieszych przez jezdnię – zatem osiągnięto maksymalny stopień wykorzystania jezdni przez poruszające się pojazdy. Najdłuższe wstrzymanie ruchu przypadło na godzinę od 14:00 do 15:00, a miało to związek ze szczytową wartością stopnia wykorzystania przejścia dla pieszych, przyczyniającego się do spadku wykorzystania jezdni przez pojazdy o 1,28%. Sytuacja kształtowała się podobnie dla przedziału czasowego w godzinach 12:00-13:00, dla którego stopień wykorzystania jezdni przez pojazdy kształtował się na poziomie 99%.

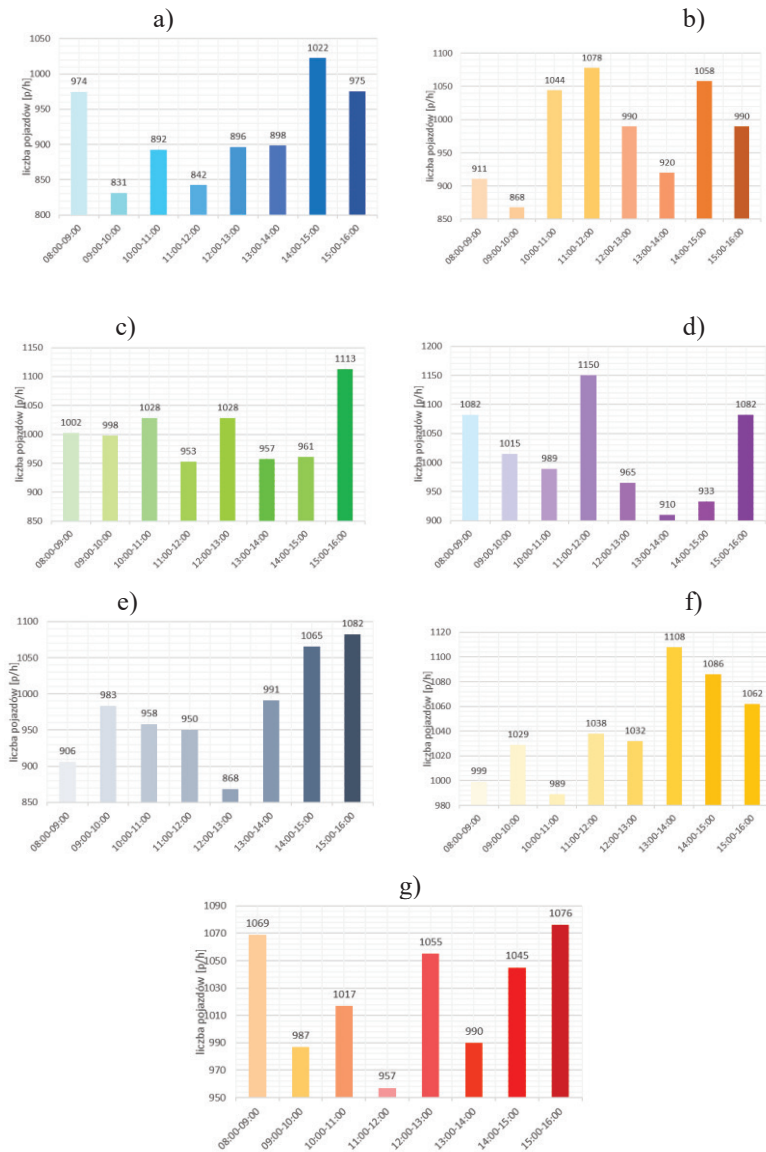
Analizując siódmy dzień pomiarów (rys. 7g) pod względem płynnej jazdy pojazdów, ponownie tak jak w szóstym dniu wystąpił przedział godzin również od 10:00 do 11:00, w którym ruch nie został wstrzymany w konsekwencji przemieszczania się pieszych przez przejście. Przedziałem, w którym pojazdy musiały zatrzymać się najdłużej były godziny pomiędzy 15:00-16:00, dla których wartość stopnia wykorzystania jezdni wynosiła 98,72%.

Struktura natężenia ruchu pojazdów wg kierunków w obrębie przejścia dla pieszych

Na kolejnych rysunkach przedstawiono strukturę natężenia ruchu pojazdów w poszczególnych godzinach pomiaru poruszających się w obydwu kierunkach. Na rysunku 8a przedstawiona jest liczba pojazdów w pierwszym dniu pomiarów. Odnotowano, że moment szczytowy, którego wartość to 1022, przypada na przedział od godziny 14:00 do 15:00. Zauważalny jest zbliżony wynik dotyczący liczby pojazdów w dwóch przedziałach tj. w godzinach porannych (8:00-9:00) oraz godzinach popołudniowych, stanowiących ostatni przedział czasowy w analizowanym dniu pomiarowym (15:00-16:00). Najniższą liczbę pojazdów przejeżdżających przez analizowaną jezdnię, dostrzeżono w przedziale pomiędzy godziną 9:00, a 10:00.

Biorąc pod uwagę kolejny dzień pomiarów (rys. 8b) i analizując uzyskane wyniki pod względem liczby pojazdów przejeżdżających na jednostkę czasu, stwierdzono występowanie trzech momentów szczytowych przypadających na godziny: 10:00-11:00; 11:00-12:00 a także 14:00-15:00. Różnica pomiędzy najwyższą wartością w tym dniu i przypadającą na godzinę 11:00-12:00, a najniższą wartością z przedziału czasowego 8:00-9:00 to 167 pojazdów, co stanowi około 15,49% wartości szczytowej. Natomiast średnia wartość z drugiego dnia pomiarów w porównaniu do pomiarów pierwszego dnia pomiarów wzrosła o 14,85%. Pomiedzy założonymi przedziałami czasu, nie występują znaczące dysproporcje. Sumaryczna liczba pojazdów odnotowanych podczas 8-godzinnego dnia pomiarowego, którym był wtorek, wzrosła o 7,22% w stosunku do dnia wcześniejszego.

Analizując rysunek 8c pod względem liczby pojazdów, które przejechały przez jezdnię trzeciego dnia pomiarów, stwierdzono, że średnia ich ilość oscyluje około tysiąca pojazdów na godzinę. Między godziną 15:00 a 16:00 pojawia się wartość szczytowa, wynosząca 1113 pojazdy, co wiąże się z cyklem pracy przedsiębiorstw zlokalizowanych w pobliżu miejsca pomiarowego i wynikającą z tego koniecznością powrotu do miejsca zamieszkania. Najniższą liczbą pojazdów, którą odnotowano w tym dniu, wynoszącą 953 samochody przypisać można pomiędzy godziną 11:00-12:00. Warto zwrócić uwagę, że pomiędzy wartościami skrajnymi tj. najniższą i najwyższą, różnica w zaobserwowanej liczbie pojazdów wynosi 160 pojazdów – stanowi to zaledwie 1,99% wszystkich pojazdów poruszających się zarówno w stronę Zakopanego, jak i w stronę Krakowa.



Rys. 8. Liczba pojazdów poruszających się w ciągu godziny a) poniedziałek; b) wtorek; c) środa; d) czwartek; e) piątek; f) sobota; g) niedziela

Czwartego dnia pomiarów tj. w czwartek (rys. 8d) liczba pojazdów poruszających się po jezdni jest podobna do pomiarów z dnia poprzedniego i również oscyluje koło tysiąca. Nieznacznie podwyższona wartość wystąpiła w godzinach między 11:00-12:00 i wynosi 1150, co wiąże się z cyklem dydaktycznym pobliskiego przedszkola oraz szkoły podstawowej. Kolejna wysoka liczba odnotowanych pojazdów przypada w godzinach od 15:00 do 16:00, co wynika z cyklu pracy okolicznych mieszkańców i wynosi 1082 – jest to wartość wyższa o około 15,97% w stosunku do minimalnej odnotowanej liczby pojazdów z przedziału 14:00-15:00. Należy zaznaczyć, że występujące wahania pomiędzy przedziałami czasu są nieznaczne. Płynność jazdy w tym dniu została zachowana, nie odnotowano znaczących skoków uzyskanych pomiarów. Sumaryczna liczba pojazdów poruszających się w obu kierunkach w tym dniu wynosi 8126, co jest wartością o 1,07% większą w stosunku do dnia poprzedniego.

Analizując piąty dzień pomiarów liczby pojazdów poruszających się po jezdni, których zestawione wyniki zostały przedstawione na rysunku 8e, stwierdzono, że liczba pojazdów waha się w granicach tysiąca osób. Jedyne wartości, które przekraczają tę liczbę to pomiary z godzin popołudniowych tj. od 14:00 do 15:00 z wartością 1065 oraz przedział czasu pomiędzy 15:00, a 16:00 z liczbą pojazdów równą 1082. Pomiedzy tymi przedziałami, różnica odnotowanych pojazdów przejeżdżających przez jezdnie w obu kierunkach wynosi 17. Sumaryczna liczba przejeżdżających pojazdów przez analizowany obszar wynosiła 7803, zatem zauważalny jest spadek o około 3,97% w stosunku do poprzedniego dnia.

Biorąc pod uwagę dane z szóstego dnia pomiarów (rys. 8f), stwierdzono, że szczytowa wartość liczby pojazdów przypadła na godzinę 14:00-15:00, wynosząc tym samym 1108. Może to być spowodowane dniem wolnym od pracy lub zajęć dydaktycznych, jak również możliwością przejazdu turystów w stronę Zakopanego.

Siódmy dzień pomiarów (rys. 8g) odznacza się zróżnicowaną liczbą pojazdów przejechanych przez jezdnie w przeciągu godziny. Jeden z wyższych pomiarów, występujący w godzinach porannych tj. 8:00-9:00 wiąże się z odbywanym w niedziele obrzędem religijnym w polskim kościele i wynosi 1069. Z kolei najniższą liczbę pojazdów poruszających się w obu kierunkach, należy przypisać do przedziału czasu od godziny 11:00-12:00, która jest niższa od najwyższej wartości o 119 pojazdów – stanowiąc jej 88,94%. Sumaryczna liczba zaobserwowanych pojazdów, poruszających się po drodze krajowej nr 47 w obie strony, łączącej Kraków i Zakopane, wynosiła 8196 i biorąc pod uwagę pozostałe dni pomiarów, jest to najwyższy uzyskany wynik.

Podsumowanie

Analiza ruchu pieszych stanowi kluczowe zagadnienie z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz samej inżynierii ruchu. W obrębie analizowanego przejścia dla pieszych największe natężenie ruchu pojazdów odnotowywano w weekend, gdzie liczba sumaryczna pojazdów przejeżdżających przez przejście dla pieszych dla 8- godzinowego dnia pomiarowego przekraczała 8000, co jest wynikiem usytuowania przejścia dla pieszych na drodze krajowej nr 47 prowadzącej z Krakowa do Zakopanego. Zakopane, będąc miastem typowo turystycznym przyciągając według statystyk około 15 mln turystów rocznie, generuje nadmierny ruch głównie w dni wolne od pracy i w konsekwencji te właśnie dni są najbardziej

niebezpieczne dla pieszych. W dni robocze sumaryczna liczba pojazdów była o około 1000 pojazdów niższa. Największe natężenie ruchu pieszych odnotowano w niedzielę, którego struktura była nierównomierna a wartości szczytowe były adekwatne do harmonogramu spotkań religijnych, natomiast w pozostałych godzinach liczba pieszych przechodzących przez przejście była wynikiem spacerów rekreacyjnych. W pozostałe dni tygodnia z wyjątkiem soboty można było bardzo wyraźnie wyodrębnić godziny tzw. szczytowe gdzie następowała kumulacja liczby pieszych i okresy, gdzie pieszych nie było wcale. Najniższe wartości dotyczące liczby pieszych przypadają na trzeci dzień pomiarów tj. środę oraz na piątek. Bardzo istotnym parametrem jest stopień wykorzystania przejścia dla pieszych, który w analizowanym przypadku wynosił maksymalnie około 2%, co wydaje się bardzo małą wartością, ale należy zaznaczyć, że biorąc pod uwagę natężenie ruchu na tym odcinku drogi, jej przekroczenie przez pieszego byłoby bardzo niebezpieczne dla wszystkich użytkowników ruchu a szczególnie dla w/w pieszych. Można stwierdzić, że wpływ przejścia dla pieszych na płynność ruchu był nieznaczny.

Bibliografia

- Goniewicz M., Goniewicz K.: Wypadki drogowe w Polsce – czynniki sprawcze i zapobieganie [w] Czasopismo Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka, nr 9, 14-17, 2010.
- Kiełbasa P., Drózd T., Nawara P., Trzyniec K.: Ocena Obciążenia Skrzyżowania Ruchem Pieszych W Obrębie Nowo Wybudowanych Osiedli W Mydlnikach W Krakowie [w] Monografia naukowa - I Konferencja naukowa z cyklu „Logistyka dziś i jutro” pod redakcją Dzieniszewskiego G oraz Kubonia M., Przemysł, ISBN 978-83-64377-27-3, 2018.
- Kowalski K.: Projektowanie bez barier – wytyczne, 2015.
- Sobota A., Karoń G.: Postrzeganie warunków ruchu miejskiego- płynność ruchu - wyniki badań ankietowych [w] Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie, 2009. Pozyskano z: <http://www.sitk.org.pl/wp-content/uploads/2015/07/148.pdf#page=207>
- Tomczuk P., Wytrykowska A.: Analiza czynników wpływających na bezpieczeństwo pieszego na przejściu dla pieszych typu "zebra" niesterowanym sygnalizacją świetlną [w] Czasopismo Logistyka, nr 4, 1077-1086, 2015.
- Ząbczyk K.: Meteorologia drogowa a bezpieczeństwo ruchu. Międzynarodowa Konferencja Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego GAMBIT, SIGNALCO, Ltd. Polska Gdańsk, 2006. Pozyskano z: http://www.signalco.pl/data/dokumenty/meteorologia_drogowa_a_bezpieczenstwo_ruchu.pdf?fbclid=IwAR2v36requirmB3xwaV99X7DqCrbc17t4prchsfZkxX490etHnxG0gmeIA
- Żochowska R., Sobota A.: Ocena wpływu przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej na zakłócenia w ruchu drogowym [w] Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, Z.117, Warszawa, 2017.

Adres do korespondencji: pawel.kielbasa@urk.edu.pl
ORCID: Anna Miernik 0000-0003-0394-9185
ORCID: Paweł Kiełbasa 0000-0003-0249-8626

CYFRYZACJA DOKUMENTÓW TRANSPORTOWYCH

Piotr Nawara¹

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

Wstęp

Wraz z rozwojem nowoczesnych technologii informacyjnych handel światowy wkroczył w erę e-commerce. Środki i sposoby prowadzenia handlu międzynarodowego ulegają szerokim zmianom. Transgraniczny handel bez użycia papieru staje się nowym powodem wzrostu gospodarczego, technologia cyfrowa reorganizuje również proces transakcyjny w handlu światowym. Zmiany te przyspieszają również modernizację i cyfryzację branży spedycyjnej, wśród których ogromną uwagę przyciąga dematerializacja konosamentu (BL), jednego z najważniejszych dokumentów handlowych.

Od końca lat 80 ubiegłego wieku procedury biznesowe związane z elektronicznym listem przewozowym (eBL) zaczęły się rozwijać, a odpowiadające im przepisy i regulacje prawne również etapowo dojrzywały. Z perspektywy globalnej, firmy próbują i dążą do wykorzystywania systemów elektronicznych w odprawach celnych, załadunku, rozładunku i magazynowaniu, co powoduje wzrost zapotrzebowania na wykorzystanie elektronicznych dokumentów transportowych¹. W porównaniu z tradycyjną wersją papierową elektroniczna skrzynka pocztowa ma wyraźne zalety pod względem wydajności, bezpieczeństwa, ceny i szybkości. Ze względu na różnice w technologiach leżących u podstaw dokumentów eBL można je podzielić na zwykłe eBL i eBL typu blockchain. Zwykłe eBL opiera się na technologii elektronicznej wymiany danych (*Electronic Data Interchange*) i rejestruje wszystkie przeniesienia tytułu własności towarów w scentralizowanym rejestrze tytułów własności. Blockchain eBL wykorzystuje technologię blockchain do regulowania przekazywania BL, umożliwiając przewoźnikowi, nadawcy, odbiorcy, bankowi i innym uczestnikom jednoczesne ukończenie i nadzorowanie procesu wystawiania, zatwierdzania i przekazywania BL. Blockchain to zbiór bloków, w których przechowywane są transakcje, zapisy i skrypty, a wszystkie bloki są połączone ze sobą w celu utworzenia łańcucha w oparciu o pewne techniki kryptograficzne. Nowo wygenerowane bloki są stale dołączane do łańcucha w cyfrowej księdze, a księga ta jest prowadzona przez wszystkich uczestników sieci. Dlatego też blockchain jest również nazywany technologią księgi rozproszonej (DLT). Blockchain

¹ Documents and Forms International Federation of Freight Forwarders Associations, Published by FIATA, Printed by Hürzeler AG, Switzerland, available: https://fiata.org/fileadmin/user_upload/documents/Diverses/FIATA_Documents_and_Forms.pdf, Accessed: May 2022

umożliwia platformie wykonywanie zaufanych zadań i transakcji w niezaufanym środowisku, bez konieczności angażowania zaufanego podmiotu. Blockchain został początkowo wprowadzony jako rozproszona księga główna systemu Bitcoin^{2,3,4} w celu rozwiązania problemu podwójnego wydawania pieniędzy w tej kryptowalucie. Jedną z kluczowych cech blockchaina jest to, że dzięki niezmienności księgi rozproszonej, pozwala on na zawieranie transakcji stronom transakcji i interesariuszom na budowanie zaufania wśród niezaufanych podmiotami w sposób zdecentralizowany. Ze względu na ogromny sukces Bitcoina, blockchain przyciągnął dużą uwagę społeczności badawczej. Z drugiej strony, wraz z rosnącym postępem technologii pojazdowych, komunikacji satelitarnej i cybernetycznych technologii, komunikacji satelitarnej^{5,6} i systemów cyber-fizycznych (CPS), pojazdy stają się coraz bardziej inteligentne od systemów fizycznych, a pojazdy stają się coraz inteligentniejsze i bardziej autonomiczne lub półautonomiczne niż wcześniej, umożliwia to integracje szeregu systemów w tym elektronicznych dokumentów przewozowych^{7,8,9}.

W skali globalnej istnieją obecnie trzy zwykłe platformy eBL i cztery platformy eBL oparte na technologii blockchain, które zostały oficjalnie zatwierdzone przez International Group of P&I Clubs (*IG Clubs*). Korzystanie z eBL pozwala obniżyć koszty operacyjne i ograniczyć ryzyko dostarczenia przez przewoźnika towaru bez okazania oryginalnego BL. Nie ma też żadnych przeszkód technicznych, zwłaszcza po oficjalnym zatwierdzeniu przez IG Clubs, a ryzyko związane z korzystaniem z kilku platform eBL jest ubezpieczone, co stanowi dużą ulgę dla firm spedycyjnych.

Reguły Rotterdamskie stanowią ramy prawne dla regulacji elektronicznych zapisów transportowych. Modelowe prawo UNCITRAL dotyczące elektronicznych zapisów zbywalnych z 2017 r. (*MLETR - Model Law on Electronic Transferable Records*) jest również modelem prawnym dotyczącym zbywalności zapisów elektronicznych. Jednak jak dotąd Reguły Rotterdamskie zostały ratyfikowane tylko przez pięć krajów. Ponadto sama Konwencja MLETR nie ma mocy prawnej, a jedynie Bahrajn i Singapur wprowadziły jej treść do swojego ustawodawstwa krajowego. Obecnie cyfryzacja handlu międzynarodowego odnosi się głównie do cyfryzacji procesu zawierania umów. Modelowa ustawa UNCITRAL o handlu

² Nakamoto S.: Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system, Manubot, Tech. Rep., 2019.

³ Tschorsch F., Scheuermann B.: Bitcoin and beyond: A technical survey on decentralized digital currencies, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 3, pp. 2084-2123, 2016.

⁴ Belotti M., Božić N., Pujolle G., Secci S.: A vademecum on blockchain technologies: When, which, and how, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 4, pp. 3796-3838, 2019.

⁵ Li F., Lam K.-Y., Chen H.-H., Zhao N.: Spectral efficiency enhancement in satellite mobile communications: A game-theoretical approach, *IEEE Wireless Communications*, vol. 27, no. 1, pp. 200-205, 2019.

⁶ Li F., Lam K.-Y., Liu X., Wang J., Zhao K., Wang L.: Joint pricing and power allocation for multibeam satellite systems with dynamic game model, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 3, pp. 2398-2408, 2017.

⁷ Hussain R., Zeadally S.: Autonomous cars: Research results, issues, and future challenges, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 2, pp. 1275-1313, 2018.

⁸ Kazmi S. A., Dang T. N., Yaqoob I., Ndikumana A., Ahmed E., Hussain R., Hong C. S.: Infotainment enabled smart cars: A joint communication, caching, and computation approach, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 9, pp. 8408-8420, 2019.

⁹ Sun Y., Song H.: *Secure and trustworthy transportation cyberphysical systems*, Springer, 2017.

elektronicznym, modelowa ustawa o podpisie elektronicznym oraz Konwencja Narodów Zjednoczonych o wykorzystaniu łączności elektronicznej w umowach międzynarodowych koncentrują się na cyfryzacji w procesie wymiany informacji i osiągania porozumienia. Na obecnym, początkowym etapie dematerializacja BL nadal zajmuje się podstawowymi zagadnieniami, takimi jak ustalenie standardów technicznych, budowa niezawodnych platform oraz przekształcanie wersji papierowej w eBL. Wraz z dalszym rozwojem cyfryzacja z pewnością obejmie cały proces handlowy, w tym transport, płatności, dostawy, transfery itp.

eCMR i eFBL

e-CMR to Elektroniczny Międzynarodowy List Przewozowy. Docelowo ma on zastąpić jego papierową formę i stać się pełnoprawnym dokumentem wykorzystywanym przez firmy, zarówno w Unii Europejskiej, jak i poza nią. Zgodnie z unijnym rozporządzeniem eFTI (*Electronic Freight Transport Information*) przedstawiciele wszystkich krajów członkowskich mają mieć możliwość odbierania informacji dotyczących transportu towarowego w postaci elektronicznej. Nierzadko – aby przyspieszyć proces wystawiania dokumentu i minimalizować odręczne pomyłki – CMR drukowany jest w kooperacji z systemem finansowo-księgowym dostawcy tak, aby kluczowe dla transportu i CMR dane wynikały z danych zgromadzonych na etapie przyjmowania zamówienia i uzgadniania warunków jego dostawy. CMR wersji wydrukowanej (papierowej) musi być wystawiony w trzech egzemplarzach – dla nadawcy, dla przewoźnika oraz odbiorcy towaru. Elektroniczny list przewozowy, który spełniać będzie wymogi Protokołu Dodatkowego do Konwencji o umowie międzynarodowego przewozu drogowego towarów (CMR), jest traktowany na równi z jego papierowym odpowiednikiem, o którym mowa w Konwencji CMR. Tym samym, bez wątpienia, prawidłowo sporządzony eCMR pełni funkcję dowodową i wywiera takie same skutki co poprawnie wypełniony CMR w wersji papierowej (zawierając wręcz te same dane, co analogowy list przewozowy)^{10,11,12,13}.

eCMR uwierzytelniany jest poprzez podpis elektroniczny lub jakąkolwiek inną elektroniczną metodę uwierzytelnienia dozwoloną przez prawo kraju, w którym elektroniczny list przewozowy został wystawiony. Dla sprawnego działania systemu będzie więc posiadanie stosownych podpisów przez podmioty uczestniczące w przemieszczeniu (w tym odbiorze) towaru. Niewątpliwie eCMR to zaoszczędzony czas. Biorąc pod uwagę skalę towarowych transakcji międzynarodowych i liczbę czynności jakie trzeba wykonać do pełnego wystawienia papierowego listu przewozowego (tj. wydrukowanie, wypełnienie, zebranie listów od poszczególnych kierowców, którzy dla efektywności pracy wracają na bazę stosunkowo rzadko, wysyłkę do klienta, po archiwizację) – zdarzają się sytuacje, kiedy CMR dołączany

¹⁰ Karcz J., Kushta Y., Świeboda J., Wolak M.: Elektroniczny list przewozowy e-CMR, badanie ankietowe, Wrocław, 2021.

¹¹ Horzela A., Jadcak D., Chwalczuk Ł.: Spotkanie Członków FORUM w zakresie podjęcia działań na rzecz zmian przepisów prawa związanych z eCMR w transporcie drogowym, GS1 Polska, 2021.

¹² Chwalczuk Ł.: List przewozowy CMR, Pozyskano z: <https://iuridica.com.pl/list-przewozowy-cmr/> (dostęp: 1.08.2022).

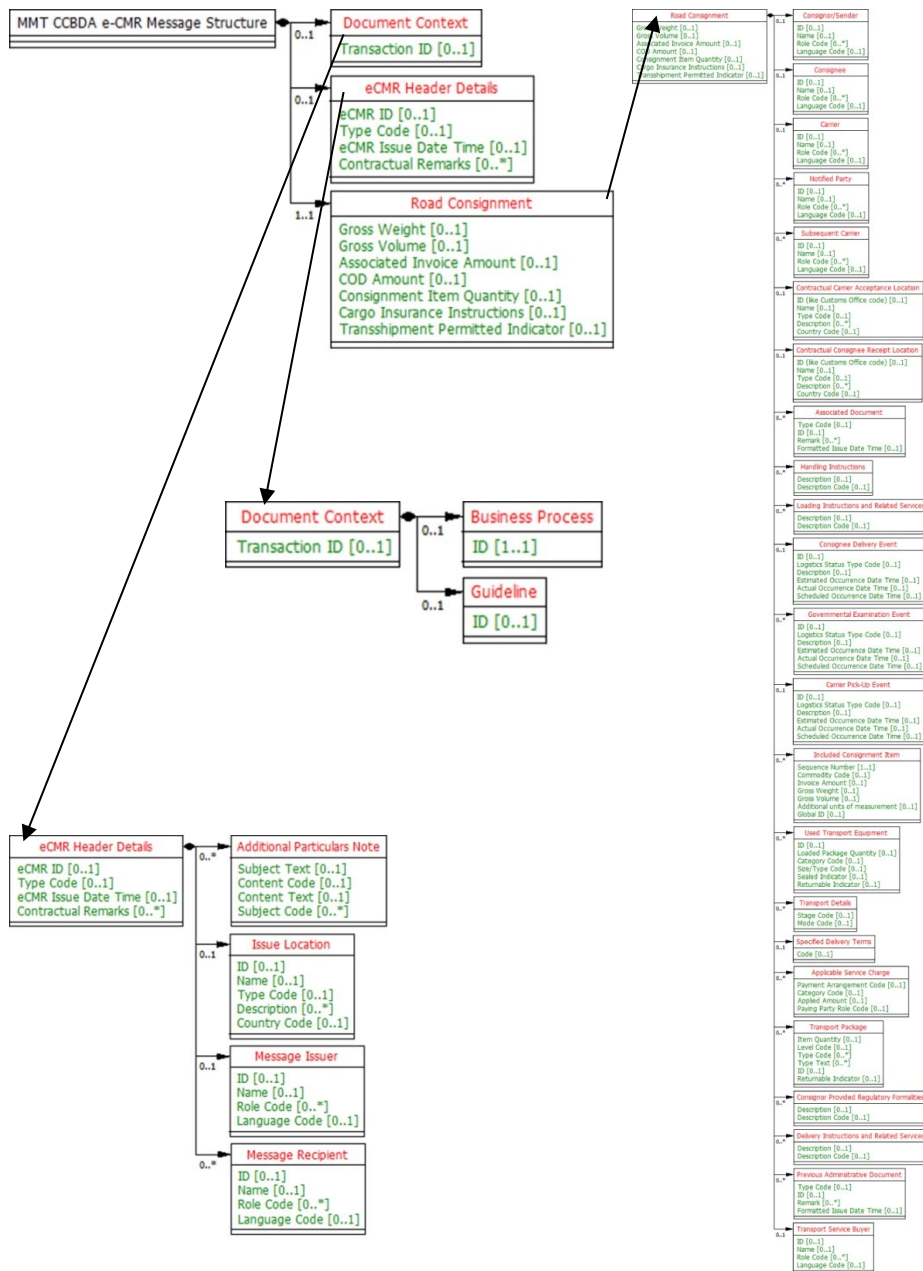
¹³ Komisja Europejska, Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie elektronicznych informacji dotyczących transportu towarowego, Bruksela, 2018.

jest do dokumentacji nawet po kilku miesiącach (do 111 dni) od transakcji. Niejednokrotnie zdarzają się też sytuacje, w których CMR jest wypełniony błędnie lub posiada braki, które wymagają skorygowania. Brak CMR u dostawcy to często brak płatności u przewoźnika. Pamiętajmy też o sytuacjach, w których dostawca towaru nie otrzyma w terminie dokumentu potwierdzającego wywóz zagraniczny, np. CMR i zobowiązany jest rozpoznać transakcję ze stawką VAT krajową, ten VAT przedsiębiorca płaci z własnej firmy. Dopiero po otrzymaniu kompletu potrzebnych dokumentów może dokonać reklasyfikacji transakcji i zastosować 0%. Elektroniczne CMR pozwalają w dużej mierze uniknąć takich sytuacji dzięki temu, że wszystkie strony transakcji będą miały stały dostęp do listu przewozowego¹⁴.

Zdecydowaną zaletą eCMR jest łatwiejsze przechowywanie w porównaniu z jego papierowym odpowiednikiem. CMR w wersji elektronicznej jest dostępny dla wszystkich stron transakcji bez możliwości zniszczenia go lub zagubienia. GS1 Polska, jako niezależna i globalna jednostka standaryzująca powołała Forum eCMR, które łączy Uczestników Systemu GS1 w Polsce, dostawców rozwiązań – platformy eCMR oraz najważniejsze w naszym kraju zrzeszenia działające na rzecz branży TSL. GS1 dostosowała modelowe rozwiązanie przepływu danych do wymogów unijnych w sprawie elektronicznych informacji dotyczących transportu towarowego – eFTI, uwzględniając w nim wykorzystanie elektronicznego listu przewozowego. Na potrzeby całego rynku TSL i rozporządzenia eFTI, GS1 opracowało standard elektronicznego listu przewozowego w specyfikacji UN/CEFACT i obecnie prowadzi prace nad możliwością wykorzystania go w Polsce i na świecie. Model dokumentu eCMR (unece.org) przedstawiono na rysunku 1, a podstawowa struktura modelu eCMR to:

- Kontekst dokumentu (Document Context): Proces biznesowy, Wytyczne,
- Dane nagłówka eCMR (eCMR Header Details): Dodatkowe dane Uwaga, Miejsce wydania, Nadawca, Określone dane kontaktowe, Telefon, Telefon komórkowy, Adres e-mail, Odbiorca,
- Przesyłka (Road Consignment): Nadawca, Odbiorca, Przewoźnik, Strona notyfikowana, Kolejny przewoźnik, Miejsce Przyjęcia Przewoźnika Umownego, Umowny odbiorca Miejsce odbioru, Powiązany dokument, Instrukcje załadunku i usługi powiązane, Badanie rządowe, Zdarzenie, Zdarzenie odbioru przez przewoźnika, Włączona pozycja przesyłki, Używany sprzęt transportowy, Szczegóły dotyczące transportu, Określone warunki dostawy, Obowiązująca opłata za usługę, Instrukcje dotyczące formalności prawnych dostarczone przez nadawcę, Poprzedni dokument administracyjny, Kupujący usługę transportową.

¹⁴ Świeboda J., Chwalczuk L., Horzela A., Jemiołek M., Kushta Y., Majowicz A., Zajac K.: Raport: e-CMR czy jesteś gotowy? Listopad 2022.



Rys. 1. Model eCMR

Źródło: (<https://service.unece.org>)

Dane zawarte w eCMR dają możliwość szybkiego zweryfikowania co w danym momencie dzieje się z towarem, tym samym usprawniając transport i całe łańcuch dostaw. Zabezpiecza to też bezpieczeństwo dokonywanych transakcji – ze strony organów podatkowych trudniej byłoby podważać wiarygodność danych z takich dokumentów. eCMR niesie wiele korzyści zarówno dla dostawców, przewoźników, jak i nabywców towarów, pozostaje nam zatem tylko poczekać, aż to rozwiązanie będzie powszechnie stosowane.

Biorąc pod uwagę trendy i potrzeby branży, FIATA rozpoczęła prace nad rozwiązaniem w zakresie cyfryzacji dokumentów transportowych - projekt elektronicznego multimodalnego listu przewozowego FIATA (eFBL). Techniczna wykonalność projektu została sprawdzona w ramach proof of concept, który trwał siedem miesięcy, od lutego do sierpnia 2021 roku. Początkowo projekt koncentrował się na Multimodalnym Liście Przewozowym FIATA - powszechnie znanym dokumencie, który stał się punktem odniesienia na rynku - ale w przyszłości projekt będzie stopniowo obejmował również inne dokumenty transportowe FIATA stosowane w działalności spedycyjnej i transportowej.

Głównym celem projektu eFBL jest zapewnienie członkom FIATA możliwości wystawiania eFBL poprzez ich codzienne narzędzia, TMS i inne, w tym platformy elektronicznego transferu dokumentów. Otwarty standard eFBL został udostępniony wszystkim dostawcom oprogramowania i technologii, a rozwiązanie FIATA będzie również zawierać system śledzenia dokumentów, którego celem jest zapewnienie autentyczności, identyfikacji i możliwości śledzenia e-dokumentów wystawianych przez spedytorów. Wszystkie zainteresowane strony będą mogły zweryfikować ważność dokumentu, tożsamość jego wystawcy oraz integralność jego treści.

Standard eFBL jest kompatybilny z istniejącymi rozwiązaniami i innymi standardami, umożliwiając interoperacyjność z narzędziami i technologiami stosowanymi obecnie zarówno przez podmioty prywatne, jak i publiczne. Organizacja FIATA jest przekonana, że projekt pozwoli na rozwiązanie wielu wyzwań związanych z szybką cyfryzacją i integracją procesów dokumentacyjnych w łańcuchu dostaw i logistyki, nadążając jednocześnie za ewolucją prawa dotyczącego elektronicznych dokumentów handlowych i transportowych¹⁵.

W Genewie 10 marca 2022 Międzynarodowa Federacja Stowarzyszeń Spedytorów Towarowych (FIATA) i Europejska Komisja Gospodarcza Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNECE) ogłosiła oficjalne wydanie elektronicznego standardu danych FIATA Multimodal Bill of Lading (eFBL) - Elektroniczny multimodalny standard danych listów przewozowych FIATA dostępny jako open-source. W weryfikacji koncepcji eFBL, uczestniczyło 7 dostawców oprogramowania i 19 firm spedycyjnych.

UNECE jest jedną z 5 regionalnych komisji gospodarczych Organizacji Narodów Zjednoczonych. Centrum Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Ułatwień w Handlu i Biznesu Elektronicznego (UN/CEFACT MMT) służy jako punkt centralny w ramach systemu ONZ w zakresie zaleceń dotyczących ułatwień w handlu i elektronicznych standardów biznesowych. Posiada globalne członkostwo, a jego członkami są eksperci z organizacji międzyrządowych, władz poszczególnych krajów oraz środowiska biznesowego. FIATA jest pionierem we współpracy z UNECE, aby umożliwić znormalizowaną wymianę danych wspierającą transport multimodalny do celów operacyjnych, wykorzystując standardy UN/CEFACT jako

¹⁵ The global voice of freight logistics. FIATA REFERENCE HANDBOOK November 2019, https://fiata.org/fileadmin/user_upload/documents/Diverses/FIATA_Reference_Handbook_-_November_2019_05.12.2019.pdf

podstawę ułatwiającą interoperacyjność. Wdrożenie elektronicznego systemu ma ułatwiać bezproblemową wymianę danych między spedytorem a ich interesariuszami z branży. Wydanie modelu danych eFBL to kierunek handlu elektronicznego, który ma przynieść korzyści wszystkim uczestnikom łańcucha dostaw poprzez zmniejszenie kosztów, zwiększenie bezpieczeństwa i zwiększenie wydajności. Na rys. 2 przedstawiono makietę cyfrową dokumentu eFBL.

The image displays two screenshots of the digital FIATA Multimodal Transport Bill of Lading (eFBL) form. Screenshot 'a' shows page 1 of N, and screenshot 'b' shows page N of N. Both forms include fields for consignor, consignee, port of loading, and goods description, along with a QR code and a 'FIATA' logo.

Form 'a' (Page 1 of N):

- Consignor:** Includes fields for name, address, and contact information.
- Consignee:** Includes fields for name, address, and contact information.
- Port of loading:** Field for the origin of the goods.
- Port of discharge:** Field for the destination of the goods.
- Marks and numbers:** Field for identifying the goods.
- Number and kind of packages:** Field for describing the quantity and type of packages.
- Measurement:** Field for describing the volume or weight of the goods.
- Goods weight:** Field for describing the weight of the goods.
- Declared value:** Field for describing the value of the goods.
- Freight amount:** Field for describing the cost of transport.
- Charge insurance:** Field for describing the insurance status.
- For delivery of goods please apply to:** Field for describing the recipient.

Form 'b' (Page N of N):

- Marks and numbers:** Field for identifying the goods.
- Number and kind of packages:** Field for describing the quantity and type of packages.
- Description of goods:** Field for describing the nature and quantity of the goods.
- Gross weight:** Field for describing the weight of the goods.
- Measurement:** Field for describing the volume or weight of the goods.
- Declared value:** Field for describing the value of the goods.
- Place and date of issue:** Field for describing the location and date of issuance.
- Stamp and signature:** Field for describing the official stamp and signature.

Rys. 2. Cyfrowa makietka dokumentu eFBL: a – strona 1 z N, b – strona N z N

Źródło: (www.fiata.org)

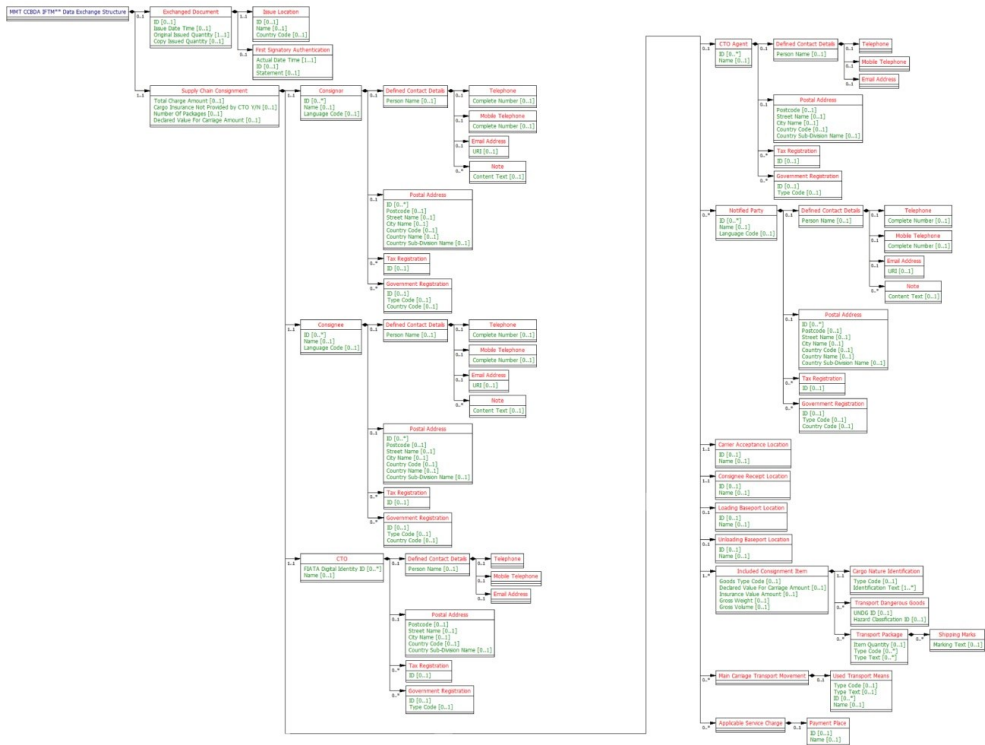
Standard danych, stworzony na podstawie mapowania Negotiable FIATA Multimodal Transport Bill of Lading (FBL) z referencyjnym modelem danych UN/CEFACT MMT, umożliwia wymianę danych BL w znormalizowany sposób, ułatwiając interoperacyjność pomiędzy wszystkimi trybami interesariuszy z sektora transportu i przemysłu. Dostępny za pośrednictwem repozytorium GitHub firmy FIATA, standard danych jest oferowany do wdrożenia jako open source dla wszystkich dostawców oprogramowania i interesariuszy branżowych.

Standard danych, stworzony na podstawie mapowania z referencyjnym modelem danych UN/CEFACT MMT, umożliwia wymianę danych BL w znormalizowany sposób. Za pośrednictwem repozytorium GitHub¹⁶, standard danych jest oferowany do wdrożenia jako open

¹⁶ FIATA's GitHub repository, available: <https://github.com/FIATA/eFBL>, Accessed: May 2022.

source dla wszystkich dostawców oprogramowania, a mapowanie eFBL składa się z następujących informacji:

- Nazwa handlowa (Business name),
- Nazwa pozycji słownikowej - definicja Dictionary (entry name – Definition)
- Obowiązkowe/nieobowiązkowe (Mandatory/Not Mandatory),
- Unikalny identyfikator przypisany przez ONZ (Unique UN Assigned ID),
- Odpowiadający element dokumentu papierowego (Corresponding paper document element),
- Uwagi (Comments).



Rys. 3. Model eFBL

Źródło: (www.github.com)

Natomiast model (struktura) eFBL składa się z następujących elementów (Rys. 3):

- Nazwa firmy (Exchanged dokument): IDENTYFIKATOR, Data wydania Godzina, Pierwotnie wydany Ilość,
- Status dokumentu: Miejsce wydania, ID, Nazwa, Kod kraju,
- Klauzula umowna: ID, Treść Tekst
- Uwierzytelnienie pierwszego sygnatariusza: Data rzeczywista Godzina, ID, Oświadczenie

- Łącuch dostaw Przesyłka: Waga brutto, Całkowita kwota opłaty, Ubezpieczenie ładunku zapewnione przez CTO Tak/Nie, Liczba opakowań, Deklarowana wartość dla kwoty przewoźnego
 - Nadawca: ID, Nazwa, Kod języka,
 - Określone dane kontaktowe: Imię i nazwisko osoby, Telefon, Pełny numer, Telefon komórkowy, Pełny numer, Adres e-mail, URI, Notatka
- Dane zamieszczone w eFBL tak jak w eCMR pozwalają na szybką weryfikację co się dzieje w danym momencie w łańcuchu dostaw.

Podsumowanie

Cyfrowe dokumenty eCMR, eFBL stworzone na podstawie mapowania Negotiable FIATA Multimodal Transport Bill of Lading (FBL) z referencyjnym modelem danych UN/CEFACT MMT, umożliwiają wymianę danych BL w znormalizowany sposób, ułatwiając interoperacyjność pomiędzy wszystkimi trybami interesariuszy z sektora transportu i przemysłu. Dostępny za pośrednictwem unece.org eCMR lub repozytorium GitHub firmy FIATA, jest oferowany do wdrożenia jako open source dla wszystkich dostawców oprogramowania i interesariuszy branżowych. Brak dostosowanego prawa w poszczególnych krajach uniemożliwia wprowadzenie w pełni elektronicznych dokumentów transportowych. Polskie prawo przewozowe stoi w sprzeczności z ustawą o transporcie drogowym w kwestii wykorzystania elektronicznych listów przewozowych na potrzeby kontroli drogowych. Zgodnie z art. 87 ustawy o transporcie drogowym w trakcie kontroli kierujący ma obowiązek przedstawić m.in. dokumenty związane z przewożonym ładunkiem. Powstaje zatem zastrzeżenie, czy takim dokumentem może być np. dokument elektroniczny, który nie posiada podpisu nadawcy w rozumieniu art. 38 ustawy prawo przewozowe. Ponadto nowelizacja rozporządzenia nr 1072/2009 do Ustawy o transporcie drogowym dopuszcza możliwość stosowania elektronicznych listów, w zakresie przewozów kabotażowych od 21.02.2022 roku. Wskazana niespójność może mieć dla przewoźników bolesne konsekwencje, ponieważ, w przypadku sporu z kontrahentami, nie ma jasności co do podstawy prawnej.

Bibliografia

- Documents and Forms International Federation of Freight Forwarders Associations, Published by FIATA, Printed by Hürzeler AG, Switzerland, available: https://fiata.org/fileadmin/user_upload/documents/Diverses/FIATA_Documents_and_Forms.pdf, Accessed: May 2022.
- Nakamoto S.: Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system, Manubot, Tech. Rep., 2019.
- Tschorsch F., Scheuermann B.: Bitcoin and beyond: A technical survey on decentralized digital currencies, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 3, pp. 2084-2123, 2016.
- Belotti M., Božić N., Pujolle G., Secci S.: A vademecum on blockchain technologies: When, which, and how, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 4, pp. 3796-3838, 2019.
- Chwalczuk Ł.: List przewozowy CMR, <https://iuridica.com.pl/list-przewozowy-cmr/> (dostęp: 1.08.2022).
- FIATA's GitHub repository, available: <https://github.com/FIATA/eFBL>, Accessed: May 2022.

- Horzela A., Jadcak D., Chwalczuk Ł.: Spotkanie Członków FORUM w zakresie podjęcia działań na rzecz zmian przepisów prawa związanych z eCMR w transporcie drogowym, GS1 Polska 2021.
- Hussain R., Zeadally S.: Autonomous cars: Research results, issues, and future challenges,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 2, pp. 1275-1313, 2018.
- Karcz J., Kushta Y., Świeboda J., Wolak M.: Elektroniczny list przewozowy e-CMR, badanie ankietowe, Wrocław 2021.
- Kazmi S. A., Dang T. N., Yaqoob I., Ndikumana A., Ahmed E., Hussain R., Hong C. S.: Infotainment enabled smart cars: A joint communication, caching, and computation approach,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, no. 9, pp. 8408-8420, 2019.
- Komisja Europejska, Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie elektronicznych informacji dotyczących transportu towarowego, Bruksela 2018.
- Li F., Lam K.-Y., Chen H.-H., Zhao N.: Spectral efficiency enhancement in satellite mobile communications: A game-theoretical approach, IEEE Wireless Communications, vol. 27, no. 1, pp. 200–205, 2019.
- Li F., Lam K.-Y., Liu X., Wang J., Zhao K., Wang L.: Joint pricing and power allocation for multibeam satellite systems with dynamic game model,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 67, no. 3, pp. 2398-2408, 2017.
- Sun Y., Song H.: Secure and trustworthy transportation cyberphysical systems. Springer, 2017.
- Świeboda J., Chwalczuk Ł., Horzela A., Jemiolek M., Kushta Y., Majowicz A., Zając K.: Raport: e-CMR czy jesteś gotowy?, Listopad 2022.
- The global voice of freight logistics. FIATA REFERENCE HANDBOOK November 2019, https://fiata.org/fileadmin/user_upload/documents/Diverses/FIATA_Reference_Handbook_-_November_2019_05.12.2019.pdf

Adres do korespondencji: piotr.nawara@urk.edu.pl
ORCID: Piotr Nawara 0000-0002-4497-8858

ELEKTRONICZNY DOKUMENT NORMATYWNY FBL (NEGOTIABLE FIATA MULTIMODAL TRANSPORT BILL OF LADING) OPRACOWANY PRZEZ FIATA

Piotr Nawara¹, Tomasz Jakubowski¹, Zygmunt Sobol¹, Dariusz Baran¹

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

Wstęp

Wymagania użytkowników w kierunku oprogramowania do obsługi i zarządzania dokumentami elektronicznymi w tym eFBL wprowadza standardy mapowania z referencyjnym modelem danych UN/CEFACT MMT, umożliwia wymianę danych. Najważniejsze kwestie dotyczące mapowania to ujednolicona struktura dokumentu, bezpieczeństwo udostępnianych danych, duża baza użytkowników, użyteczność i dostosowanie do założeń mobilności dla zainteresowanych stron, jednolite standardy dotyczące zawartości dokumentów i zasad bezpieczeństwa, otwartość na import i eksport danych z systemów takich jak TMS, WMS, ERP, kompatybilność pomiędzy rozwiązaniami, a także możliwościami służb kontrolnych w różnych krajach w UE, ale i poza jej granicami. Wiele firm zajmujących się oprogramowaniem już zadeklarowało implementację eFBL jak np. Akanea, DSS (Dynamic Software Solution), CargoX, Cargowise, CANdata, TradeGO, CargoSoft, EasyClear, eOnePay, Selectbilisim i wiele innych firm (pełna lista firm udostępniła jest na stronie www.efbl.fiata.org). Promując interoperacyjność i wdrażając standard danych eFBL, spedytorski wzbogaca ofertę przy ograniczonym wysiłku, celem szybkiej wymiany danych EBL pomiędzy wszystkimi zainteresowanymi stronami zaangażowanymi w przesyłkę tj. nadawca, odbiorca, magazyn odbioru, magazyn załadunku, kierowca, korzystając z otwartego modelu danych eFBL oraz usługi API. Dokumenty i formularze FIATA, których znajomość jest niezbędna dla każdego spedytora na całym świecie, tak jak promowanie jednolitych standardów dla dokumentów i formularzy spedytorskich jest jednym z najważniejszych celów FIATA i innych organizacji logistyczno-spedytorskich¹. FIATA (*International Federation of Freight Forwarders Associations*) to pozarządowa organizacja członkowska reprezentująca

¹ Dyrektywa nr 106/1992 z dnia 1992 r. w sprawie stworzenia wspólnych reguł dla niektórych rodzajów transportu kombinowanego między państwami członkowskimi (Dz.U. WE z 1992 r., nr 368).
- Terminology on combined transport. Prepared by the UN/ECE, the European Conference of Ministers of Transport (ECMT) and the European Commission EC. United Nations, New York, Geneva 2001.
Pozyskano z: <https://unece.org/DAM/trans/wp24/documents/term.pdf>
- Neider J.: Transport międzynarodowy. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2012.

spedytorów w około 150 krajach². Członkostwo FIATA składa się z 111 członków stowarzyszeń i ponad 5500 członków indywidualnych, reprezentujących w sumie branżę 40000 firm spedycyjnych i logistycznych na całym świecie. FIATA z siedzibą w Genewie to „globalny głos logistyki frachtu”³. Promowanie jednolitych standardów dla dokumentów i formularzy spedytorów jest jednym z najważniejszych celów w dobie obiegu dokumentów elektronicznych. FIATA ponad 50 lat temu uznało, że pożądany jest pewien stopień harmonizacji i wytycznych w zakresie dokumentów i formularzy spedycyjnych i formularzy i stworzyła:

- 1955 - FIATA FCR - FIATA *Forwarders Certificate of Receipt* (zielony),
- 1959 - FIATA FCT - FIATA *Forwarders Certificate of Transport* (żółty),
- 1970 - FBL - FIATA *Negotiable Combined Transport Bill of Lading* (niebieski),
- 1975 - FWR - FIATA *Warehouse Receipt* (pomarańczowy),
- 1984 - FFI - instrukcja spedycyjna FIATA (biała),
- 1984 - FIATA SDT - *Shippers Declaration for the Transport of Dangerous Goods* (biała/czerwona),
- 1992 - znowelizowany FBL - *Negotiable FIATA Multimodal Transport Bill of Lading* (niebieski), zastępujący,
- FIATA *Combined Transport Bill of Lading* (konosament transportu kombinowanego FIATA),
- 1996 - FWB - niezwykły multimodalny list przewozowy FIATA (biały/niebieski),
- 1997 - FIATA SIC - certyfikat wagi intermodalnej dla załadowców (biały/zielony),
- 2005 - zrewidowany FIATA SDT - *Shippers Declaration for the Transport of Dangerous Goods* (biały/czerwony), jako jednolite standardowe dokumenty i formularze o charakterystycznych kolorach⁴.

W Genewie 10 marca 2022 r. Międzynarodowa Federacja Stowarzyszeń Spedytorów Towarowych (FIATA) i Europejska Komisja Gospodarcza Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNECE) ogłosiła oficjalne wydanie elektronicznego standardu danych FIATA

² Salomon A.: *Spedycja. Teoria – przykłady – ćwiczenia*, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia, 2011.

³ The global voice of freight logistics. *Fiata Reference Handbook*, November 2019. Pozyskano z: https://fiata.cdn.prismic.io/fiata/ccc8f60f-b6ba-4c78-bcdb_5b8648696147_FIATA_Reference_Handbook_-_November_2019_05.12.2019.pdf

Documents and Forms. International Federation of Freight Forwarders Associations, Published by FIATA, Printed by Hürzeler AG, Switzerland. Pozyskano z: https://fiata.cdn.prismic.io/fiata/afedd989-c99b-4142-9f64-8281c99aa4c5_FIATA_Documents_and_Forms.pdf; Gierszewska G., Romanowska M.: *Analiza strategiczna przedsiębiorstwa*. PWE, Warszawa, 2007; Wasilewska-Marszałkowska I.: *Spedycja we współczesnych łańcuchach dostaw*. CeDeWu S-ka z o.o., Warszawa, 2015; Ficoń K. *Modelowanie logistycznego łańcucha spedycji*. Systemy Logistyczne Wojsk nr 45, Warszawa, 2016.

⁴ The global voice of freight logistics. *Fiata Reference Handbook*, November 2019. Pozyskano z: https://fiata.cdn.prismic.io/fiata/ccc8f60f-b6ba-4c78-bcdb_5b8648696147_FIATA_Reference_Handbook_-_November_2019_05.12.2019.pdf; Documents and Forms. International Federation of Freight Forwarders Associations, Published by FIATA, Printed by Hürzeler AG, Switzerland. Pozyskano z: https://fiata.cdn.prismic.io/fiata/afedd989-c99b-4142-9f64-8281c99aa4c5_FIATA_Documents_and_Forms.pdf




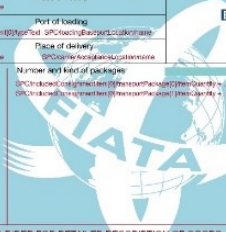
Multimodal Bill of Lading (eFBL) - Elektroniczny multimodalny standard danych listów przewozowych FIATA dostępny jako open source. UNECE jest jedną z 5 regionalnych komisji gospodarczych Organizacji Narodów Zjednoczonych. Centrum Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Ułatwień w Handlu i Biznesu Elektronicznego (UN/CEFACT MMT) służy jako punkt centralny w ramach systemu ONZ w zakresie zaleceń dotyczących ułatwień w handlu i elektronicznych standardów biznesowych. Posiada globalne członkostwo, a jego członkami są eksperci z organizacji międzyrządowych, władz poszczególnych krajów oraz środowiska biznesowego.

Przykładem rozwiązań jest ROHLIG SUUS Logistics, który w celu ograniczenia bezpośrednich kontaktów zastąpił sposób pisemnego dokumentowania, dostarczenia i odbioru przesyłek w treści listu przewozowego, potwierdzeniem dostarczenia za pośrednictwem kodu SMS. Rozwiązanie uruchomione w czasie trwania pandemii sprawdziło się idealnie i udowodniło, że rozwiązania digitalne z powodzeniem mogą zastąpić papier. Rozwiązania cybernetyczne są akceptowalne i coraz częściej oczekiwane przez zleceniodawców, jednak w związku z brakiem odpowiednich przepisów, aby zapewnić kierowcom komplet wymaganych dokumentów na wypadek kontroli drogowej, nadal stosowany jest papier. Zgodnie z art. 87 ust. 1 pkt 3 UTD podczas wykonywania przewozu drogowego rzeczy, kierowca jest obowiązany mieć przy sobie i okazywać na żądanie uprawnionego organu kontroli dokumenty związane z przewożonym ładunkiem. Nie definiuje pojęcia dokumentu, jednak ustawa wyraźnie odróżnia pojęcie dokumentu od innych nośników informacji. Można zatem postawić tezę, że ustawa za dokumenty uznaje wyłącznie dokumenty w formie papierowej, a dokumenty elektroniczne mogłyby zostać uznane za inne nośniki informacji. Drugim ograniczeniem, w świetle przepisów prawa polskiego, jest art. 38 ust. 2 pkt 1 ustawy Prawo przewozowe, który przewiduje, że elementem obligatoryjnym listu przewozowego jest m.in. podpis nadawcy. To oznacza, że za list przewozowy może uchodzić tylko taki przekaz elektroniczny, który zawiera podpis nadawcy, czyli w praktyce dokument w formie elektronicznej z kwalifikowanym podpisem elektronicznym lub podpisem elektronicznym, w rozumieniu rozporządzenia eIDAS, co wyklucza stosowanie tego rozwiązania w szerokiej skali. Polska przystąpiła do eCMR 11 września 2019 roku. Rozporządzenie unijne w sprawie elektronicznych informacji dotyczących transportu towarowego określiło ogólne zasady i kierunki przetwarzania informacji w platformach eFTI (*Electronic Freight Transport Information*), powołania jednostek certyfikujących w państwach członkowskich oraz wprowadziło harmonogram zmian. Komisja Europejska ma za zadanie przyjąć akty wykonawcze, zapewniając interoperacyjność rozwiązań technologicznych do 21 sierpnia 2023 r. Natomiast rozporządzenie ma wchodzić w życie w dniu 21 sierpnia 2024 r., a do sierpnia 2025 r. ma nastąpić już pełne wprowadzenie rozwiązań technologicznych.

Elektroniczny FBL

Standard danych, stworzony na podstawie mapowania Negotiable FIATA *Multimodal Transport Bill of Lading* (FBL) z referencyjnym modelem danych UN/CEFACT MMT, umożliwia wymianę danych BL w znormalizowany sposób, ułatwiając interoperacyjność pomiędzy wszystkimi trybami interesariuszy z sektora transportu i przemysłu. Dostępny za pośrednictwem repozytorium GitHub firmy FIATA, standard danych jest oferowany do wdrożenia jako open source dla wszystkich dostawców oprogramowania i interesariuszy

branżowych⁵. Standard danych eFBL jest pierwszym rezultatem współpracy FIATA i UNECE. Trzy inne dokumenty zgodne ze standardem FIATA są w trakcie mapowania z UN/CEFACT MMT RDM i spodziewać się można, że odpowiednie standardy danych zostaną wydane do końca drugiego kwartału 2022 r. tj. FWB, FWR, FCR. FIATA jest pionierem we współpracy z UNECE, aby umożliwić znormalizowaną wymianę danych wspierającą transport multimodalny do celów operacyjnych, wykorzystując standardy UN/CEFACT jako podstawę ułatwiającą interoperacyjność. Wdrożenie elektronicznego systemu ma ułatwić bezproblemową wymianę danych między spedytorem a ich interesariuszami z branży. Wydanie modelu danych eFBL to kierunek handlu elektronicznego, który ma przynieść korzyści wszystkim uczestnikom łańcucha dostaw poprzez zmniejszenie kosztów, zwiększenie bezpieczeństwa i zwiększenie wydajności. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono makietę cyfrową dokumentu eFBL.

Consignor SPCConsignorName SPCConsignorPostalAddressCountryName SPCConsignorPostalAddressStreetName SPCConsignorPostalAddressCityName SPCConsignorPostalAddressRegionName SPCConsignorPostalAddressZipCode		 FBL EX51d NEGOTIABLE FIATA MULTIMODAL TRANSPORT BILL OF LADING issued in full to UN/EDTAD / ICC Rules for Multimodal Transport Documents (ICC Publication 4811)	
Consigned to order of SPCConsigneeName SPCConsigneePostalAddressCountryName SPCConsigneePostalAddressStreetName SPCConsigneePostalAddressCityName SPCConsigneePostalAddressRegionName SPCConsigneePostalAddressZipCode		SPCConsigneeName SPCConsigneePostalAddressCountryName SPCConsigneePostalAddressStreetName SPCConsigneePostalAddressCityName SPCConsigneePostalAddressRegionName SPCConsigneePostalAddressZipCode	
Notify address SPCNotifyPartyName SPCNotifyPartyPostalAddressCountryName SPCNotifyPartyPostalAddressStreetName SPCNotifyPartyPostalAddressCityName SPCNotifyPartyPostalAddressRegionName SPCNotifyPartyPostalAddressZipCode		 Track Powered by Kangoo 	
SPCConsignorPostalAddressCountryName		Place of receipt	
Ocean vessel SPCOceanVesselName SPCOceanVesselCompany		Port of loading	
Port of discharge SPCPortOfDischargeCountryName		Place of delivery	
Make and numbers SPCGoodsDescription SPCGoodsQuantity		Number and kind of packages SPCNumberAndKindOfPackages	
Weight SPCWeight		Measurement SPCMeasurement	
			
PLEASE SEE ATTACHED RIDER FOR DETAILED DESCRIPTION OF GOODS		PAGE 1 of N	
Contractual clauses EXDContractClauses			
according to the declaration of the consignor			
Declaration of interest of the consignor in timely delivery (Clause 8.2)		Declared value for ad valorem rate according to the declaration of the consignor (Clause 7 and 9)	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
The goods and instructions are accepted and dealt with subject to the Standard Conditions printed overleaf.			
Taken in charge in apparent good order and condition, unless otherwise noted herein, at the place of receipt for transport and delivery as mentioned above.			
One of these Multimodal Transport Bills of Lading must be surrendered duly endorsed in exchange for the goods. In witness whereof the original Multimodal Transport Bills of Lading all of this tenor and date have been signed in the number stated below, one of which being accomplished this tenor to be void.			
Freight amount SPCFreightAmount		Freight payable at SPCFreightPayableAt	
Charge insurance through the underwriter <input type="checkbox"/> Not covered <input type="checkbox"/> Covered according to attached Policy		Number of Original FBLs SPCNumberOfOriginalFBLs	
For delivery of goods please apply to SPCDeliveryPartyName SPCDeliveryPartyPostalAddressCountryName SPCDeliveryPartyPostalAddressStreetName SPCDeliveryPartyPostalAddressCityName SPCDeliveryPartyPostalAddressRegionName SPCDeliveryPartyPostalAddressZipCode		Place and date of issue SPCPlaceAndDateOfIssue	
Stamp and signature SPCStampAndSignature		Stamp and signature SPCStampAndSignature	

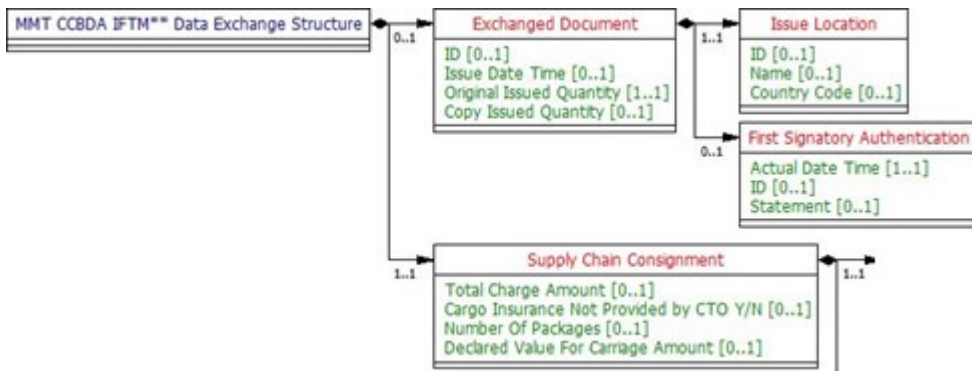
Rys. 1. Cyfrowa makietka dokumentu eFBL – strona 1 z N

Źródło: FIATA's GitHub repository. Pozyskano z: <https://github.com/FIATA/eFBL>

⁵ FIATA's GitHub repository. Pozyskano z: <https://github.com/FIATA/eFBL>

Mapowanie eFBL

Standard danych mapowania z referencyjnym modelem danych UN/CEFACT MMT, umożliwia wymianę danych i początkowa struktura składa się z: Exchanged document i Supply Chain Consignment (rys. 3). Struktura Exchanged document posiada 2 warstwy: Issue Location, First Signatory Authentication.



Rys. 3. Struktura Exchanged document - Wymieniany dokument, Issue Location - Miejsce wydania, First Signatory Authentication - Pierwszy uwierzytelniający sygnatariusz, Supply Chain Consignment - Łańcuch dostaw przesyłki(-ek)

Źródło: FIATA's GitHub repository. Pozyskano z: <https://github.com/FIATA/eFBL>

Struktura Exchanged document - Wymieniany dokument (zbiór danych dotyczących dokumentu pisemnego, drukowanego lub elektronicznego, który jest wymieniany między dwiema lub większą liczbą stron) posiada następujące informacje:

- ID - Identyfikator (unikalny identyfikator tego dokumentu podlegającego zmianie),
- Issue Date Time - Data wydania i Godzina – (data, godzina, czas lub inna wartość czasowa daty wystawienia tego dokumentu podlegające zmianie),
- Original Issued Quantity - Pierwotnie wydana ilość (liczba wydanych oryginałów tego dokumentu podlegającego zmianie),
- Document status - Status dokumentu (kod określający status tego dokumentu podlegającego zmianie).

Następnie struktura Exchanged document posiada 2 struktury tj.:

- Struktura Issue Location - Miejsce wydania (miejsce, w którym ten dokument został wystawiony) i posiada następujące informacje:
- ID - Identyfikator (unikalny identyfikator tej lokalizacji związanej z logistyką, taki jak kod lokalizacji Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNLOCODE) lub Globalny Numer Lokalizacji GSI (GLN)).
- Name - Nazwa (nazwa miejsca związanego z logistyką, wyrażona w postaci tekstu).
- Country Code - Kod kraju (unikalny identyfikator kraju dla danej lokalizacji logistycznej).

- Struktura First Signatory Authentication - Uwierzytelnienie pierwszego sygnatariusza (pierwszy lub główny podpis, który uwierzytelnia niniejszy wymieniony dokument) i posiada następujące informacje:
- Actual Date Time - Rzeczywista data i godzina (rzeczywista data, godzina, lub inna wartość czasowa - daty - uwierzytelnienia tego dokumentu).
- ID - Identyfikator (unikalny identyfikator uwierzytelnienia tego dokumentu).
- Statement - Oświadczenie (oświadczenie, wyrażone jako tekst, dotyczące uwierzytelnienia tego dokumentu).

Następnie struktura *Supply Chain Consignment* - Łańcuch dostaw przesyłki(-ek) (odzielnie identyfikowalny zbiór pozycji towarowych, które mają być przewiezione lub są dostępne do przewiezienia od jednego nadawcy do jednego odbiorcy w łańcuchu dostaw za pomocą jednego lub więcej rodzajów transportu, gdzie każda przesyłka jest przedmiotem jednej umowy przewozowej) posiada następujące informacje:

- Gross Weight - Waga brutto (miara wagi (masy) brutto przesyłki w łańcuchu dostaw, która obejmuje wagę opakowania, ale nie obejmuje wagi jakiegokolwiek sprzętu transportowego),
- Total Charge Amount - Całkowita kwota opłaty (łączna wartość pieniężna wszystkich opłat frachtowych i innych opłat za usługi związane z tą przesyłką w łańcuchu dostaw),
- Cargo Insurance Provided by CTO Y/N - Ubezpieczenie ładunku zapewnione przez CTO Tak/Nie (wskazanie, czy przesyłka tego łańcucha dostaw ma wartość ubezpieczenia),
- Number Of Packages - Liczba opakowań (liczba opakowań w tej przesyłce z łańcucha dostaw),
- Declared Value For Carriage Amount - Deklarowana wartość dla kwoty przewoźnego (wartość pieniężna przesyłki w łańcuchu dostaw zadeklarowana przez nadawcę lub jego agenta w celu zróżnicowania poziomu odpowiedzialności przewoźnika w stosunku do poziomu przewidzianego w umowie przewozu, w przypadku utraty lub uszkodzenia towaru lub opóźnienia dostawy).

Struktura Contractual Clause - Klauzula umowna (klauzula umowna niniejszego dokumentu podlegającego zmianie) posiada następujące informacje:

- ID - Identyfikator (unikalny identyfikator klauzuli dokumentu),
- Content Text - Treść tekstu (treść wyrażona w postaci tekstu).

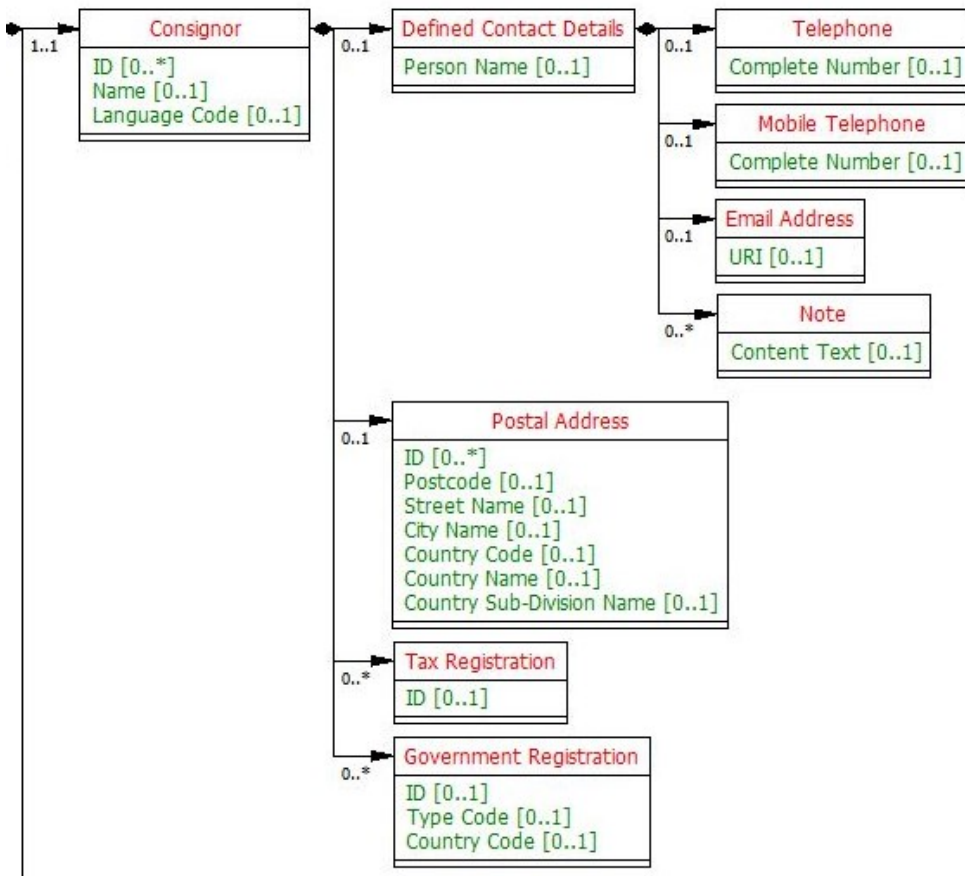
Struktura Consignor (rys. 4) - Nadawca (strona wysyłająca przesyłki w łańcuchu dostaw) posiada następujące informacje:

- ID - Identyfikator – (unikalny identyfikator tej strony handlowej),
- Name - Nazwa (nazwa, wyrażona w postaci tekstu, dla niniejszego podmiotu handlowego),
- Language Code - Kod języka (kod określający język dla niniejszego podmiotu handlowego).

Warstwami Consignor składa się ze struktury Defined Contact Details - Określone dane kontaktowe (kontakt handlowy zdefiniowany dla tego podmiotu handlowego) z informacją Person Name - Imię i nazwisko osoby (wyrażone w formie tekstu imię i nazwisko osoby odpowiedzialnej za kontakt handlowy). Następnie Defined contact details posiada podwarstwę:

- Telephone - Telefon (informacje o komunikacji telefonicznej dla niniejszego kontaktu handlowego) z informacją tj.:

- Complete Number - Pełny numer - Ciąg znaków tekstowych składający się na pełny numer tej komunikacji uniwersalnej.
- Mobile Telephone - Telefon komórkowy (informacje o łączności przez telefon komórkowy dla niniejszego partnera handlowego) z informacją tj.:
- Complete Number - Pełny numer (ciąg znaków składający się na pełny numer tego uniwersalnego komunikatu).



Rys. 4. Struktura Cosignor - Nadawca

Źródło: FIATA's GitHub repository. Pozyskano z: <https://github.com/FIATA/eFBL>

- E-mail Address - Adres e-mail (informacje o komunikacji za pośrednictwem URI poczty elektronicznej dla tego kontaktu handlowego) z informacją tj.:
- URI - URI - Identyfikator URI (Uniform Resource Identifier), taki jak adres internetowy lub e-mail, dla tego uniwersalnego komunikatu.
- Note - Notatka (uwaga określona dla niniejszego kontaktu handlowego) z informacją tj.:

- Content Text - Treść tekstu (treść tej notatki wyrażona w postaci tekstu).
- Kolejne trzy warstwy Consignor to:
- Postal Address - Adres pocztowy (adres pocztowy dla niniejszej strony handlowej) z informacjami:
- ID - Identyfikator (unikalny identyfikator tego adresu handlowego).
- Postcode - Kod pocztowy (kod określający kod pocztowy niniejszego adresu handlowego).
- Street Name - Nazwa ulicy (nazwa ulicy lub drogi przelotowej, wyrażona w postaci tekstu, dla niniejszego adresu handlowego).
- City Name - Nazwa miasta (wyrażona w formie tekstu nazwa miasta, miejscowości lub wsi, w której znajduje się niniejszy adres handlowy).
- Country Code - Kod kraju (unikalny identyfikator kraju dla niniejszego adresu handlowego).
- Country Name - Nazwa kraju (wyrażona w formie tekstu nazwa kraju, w którym znajduje się niniejszy adres handlowy).
- Country Sub-Division Name - Nazwa podokręgu kraju (wyrażona w formie tekstu nazwa podokręgu kraju, w którym znajduje się niniejszy adres handlowy).
- Tax Registration - NIP (rejestracja podatkowa określona dla tego podmiotu handlowego z informacją ID - Identyfikator (unikalny identyfikator tej rejestracji podatkowej).
- Government Registration - Numer rejestracyjny agencji (rejestracja agencji określona dla tego podmiotu handlowego) posiada:
- ID - Identyfikator (kod określający typ rejestracji urzędowej).
- Type Code - Kod typu (kod określający typ rejestracji urzędowej).
- Country Code - Kod kraju (identyfikator kraju dla rejestracji urzędowej).

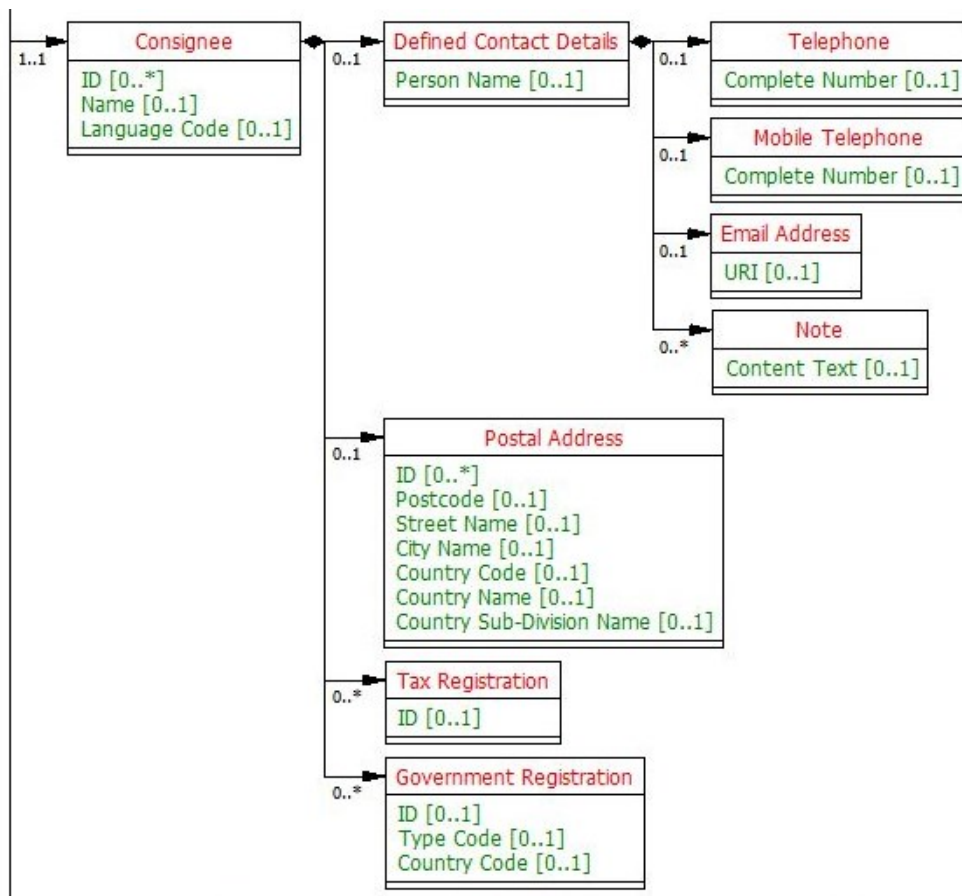
Struktura Consignee (rys. 5) - Odbiorca - Strona odbiorcy dla tej przesyłki w łańcuchu dostaw posiada identyczne informacje co Consignor (dla nadawcy) tylko dla odbiorcy.

Combined Transport Operator (CTO) (rys. 6) - Operator transportu kombinowanego (CTO) (strona przewoźnika dla tej przesyłki w łańcuchu dostaw) z informacjami takimi jak:

- FIATA Digital Identity ID - Identyfikator tożsamości cyfrowej FIATA (unikalny identyfikator strony handlowej).
- Name - Nazwa (nazwa, wyrażona w postaci tekstu, dla podmiotu handlowego).
- Language Code - Kod języka (kod określający język dla podmiotu handlowego).

Struktura Combined Transport Operator (CTO) posiada warstwy:

- Defined contact details.
- Postal Address - Adres pocztowy.
- Tax Registration.
- Government Registration.

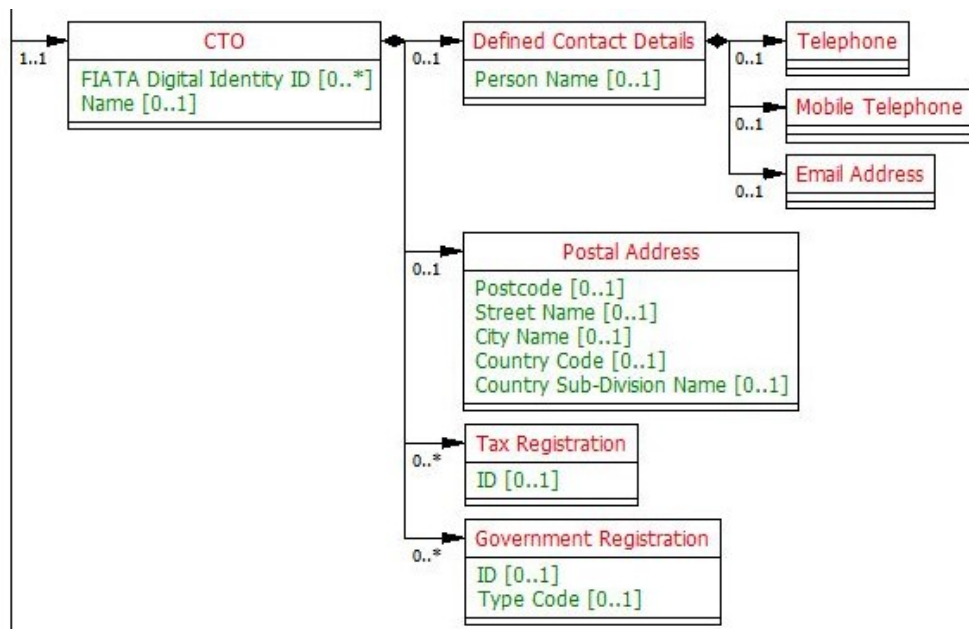


Rys. 5. Struktura Consignee - Odbiorca

Źródło: FIATA's GitHub repository. Pozyskano z: <https://github.com/FIATA/eFBL>

Warstwa Defined contact details - Zdefiniowane dane kontaktowe (kontakt handlowy zdefiniowany dla tego podmiotu handlowego) posiada informację Person Name - Imię i nazwisko osoby (wyrażone w formie tekstu) oraz ma podwarstwę:

- Telephone - Telefon (informacje o komunikacji telefonicznej dla kontaktu handlowego) w tym informację.
- Complete Number - Pełny numer (ciąg znaków tekstowych składający się na pełny numer).
- Mobile Telephone - Telefon komórkowy (informacje o komunikacji przez telefon komórkowy dla partnera handlowego) tj.:
- Complete Number - Pełny numer (ciąg znaków składający się na pełny numer do komunikacji).



Rys. 6. Struktura CTO - Operator transportu kombinowanego

Źródło: FIATA's GitHub repository. Pozyskano z: <https://github.com/FIATA/eFBL>

- E-mail Address - Adres e-mail (informacje o komunikacji za pośrednictwem poczty elektronicznej dla kontaktu handlowego) tj.:
- URI - URI - Identyfikator URI (Uniform Resource Identifier), taki adres internetowy lub e-mail do komunikacji).
- Note - Notatka - Uwaga określona dla niniejszego kontaktu handlowego tj.:
- Content Text - Tekst treści (treść notatki w postaci tekstu).

Struktura Postal Address - Adres pocztowy (adres pocztowy dla kontaktu handlowego jest kolejną podstrukturą struktury Combined Transport Operator (CTO) i zawiera:

- ID - Identyfikator (unikalny identyfikator tego adresu handlowego).
- Postcode - Kod pocztowy (kod określający kod pocztowy adresu handlowego).
- Street Name - Nazwa ulicy (wyrażona w formie tekstu nazwa ulicy lub drogi przelotowej dla adresu handlowego).
- City Name - Nazwa miasta (wyrażona w formie tekstu nazwa miasta, miejscowości lub wsi, w której znajduje się niniejszy adres handlowy).
- Country Code - Kod kraju (unikalny identyfikator kraju dla niniejszego adresu handlowego).
- Country Name - Nazwa kraju (wyrażona w formie tekstu nazwa kraju, w którym znajduje się adres handlowy).

- Country Sub-Division Name - Nazwa podokręgu (województwa) kraju (wyrażona w formie tekstu, w którym znajduje się niniejszy adres handlowy).

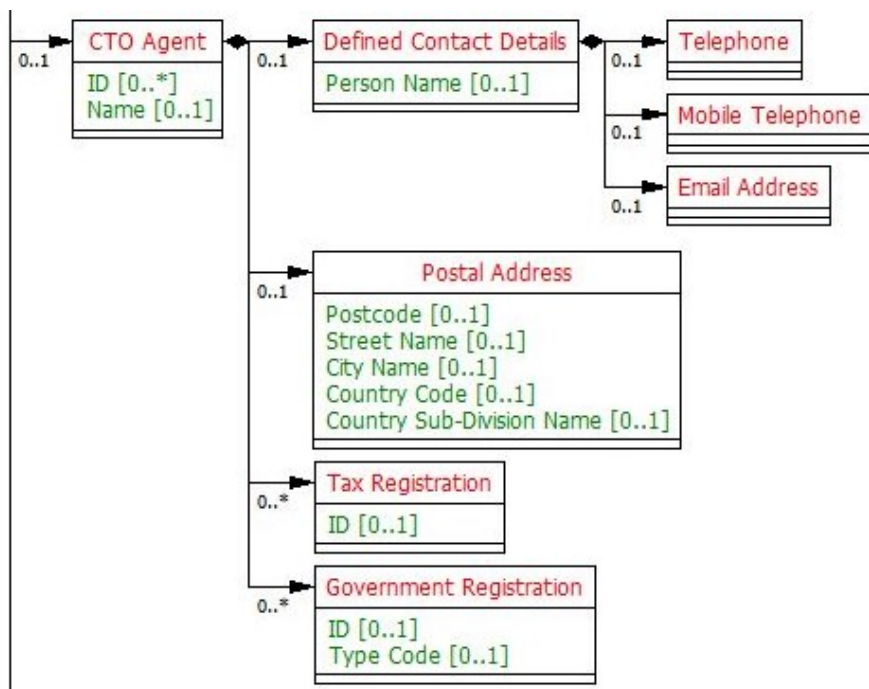
Struktura Tax Registration - NIP (rejestracja podatkowa określona dla tego podmiotu handlowego z informacją ID - Identyfikator (unikalny identyfikator tej rejestracji podatkowej) jest podstrukturą struktury Combined Transport Operator (CTO).

Struktur Combined Transport Operator (CTO) posiada jeszcze jedną podstrukturę Government Registration - Numer rejestracyjny urzędu (rejestracja urzędowa określona dla niniejszego podmiotu handlowego) z informacjami:

- ID - Identyfikator (kod określający typ rejestracji urzędowej).
- Type Code - Typu kodu (kod określający typ rejestracji urzędowej).

CTO Agent (rys. 7) - Agent CTO (strona występująca jako agent przewoźnika dla tej przesyłki w łańcuchu dostaw) posiada informację:

- ID - Identyfikator (unikalny identyfikator strony handlowej).
- Name - Nazwa (nazwa, wyrażona w postaci tekstu, dla niniejszego podmiotu handlowego).
- Language Code - Kod języka (kod określający język niniejszego podmiotu handlowego).



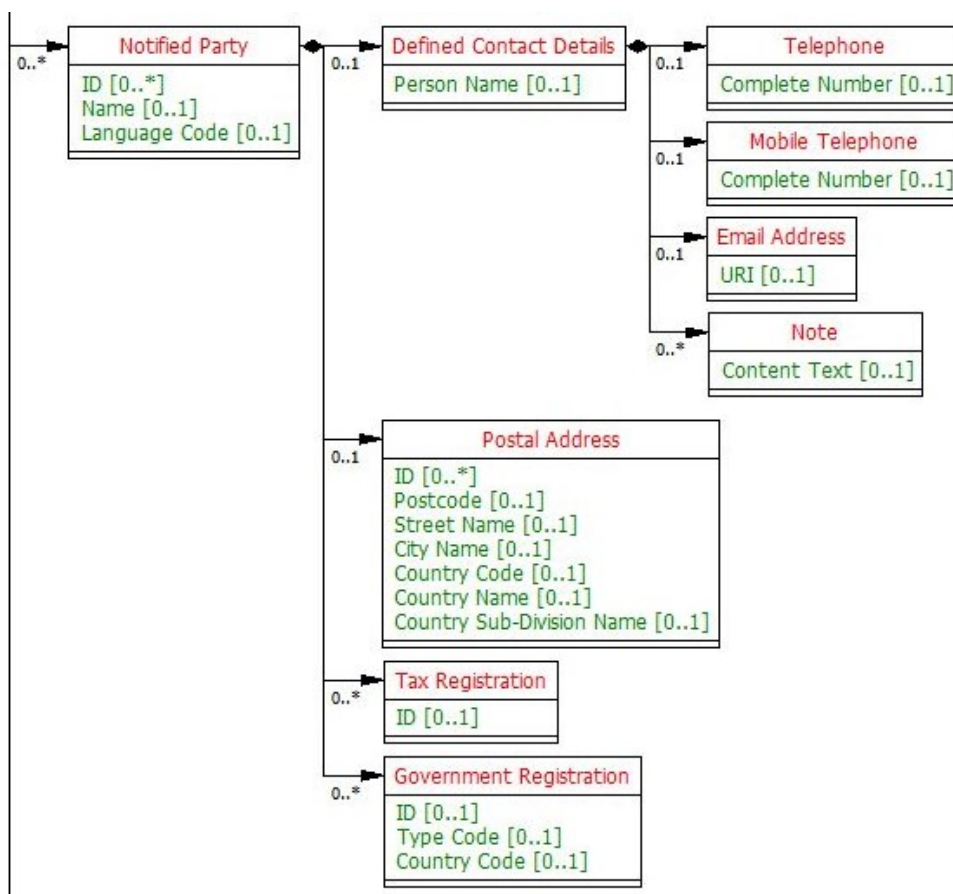
Rys. 7. Struktura CTO Agent - Agent CTO

Źródło: FIATA's GitHub repository. Pozyskano z: <https://github.com/FIATA/eFBL>

Pozostałe struktury tj: Defined Contact Details - Zdefiniowane dane kontaktowe, Telephone - Telefon, Mobile Telephone - Telefon komórkowy, Complete Number - Pełny numer oraz Postal Address - Adres pocztowy, Tax Registration – NIP, Government Registration - Numer rejestracyjny urzędu posiada informacje takie jak w strukturze CTO.

Kolejną strukturą Supply Chain Consignment jest - Łańcuch dostaw przesyłki(ek) jest podstruktura Notified party (rys. 8) - Strona notyfikowana - Strona, która została lub zostanie powiadomiona o tej przesyłce w łańcuchu dostaw posiadająca informacje takie jak:

- ID - Identyfikator (unikalny identyfikator tej strony handlowej).
- Name - Nazwa (nazwa, wyrażona w postaci tekstu, dla podmiotu handlowego).
- Language Code - Kod języka (kod określający język niniejszego podmiotu handlowego).



Rys. 8. Struktura Notified Party - Strona notyfikowana

Źródło: FIATA's GitHub repository. Pozyskano z: <https://github.com/FIATA/eFBL>

Struktura Defined Contact Details - Określone dane kontaktowe, posiada podstruktury takie jak w strukturze CTO Agent - Agent CTO tj.:

- Telephone – Telefon.
- Mobile Telephone - Telefon komórkowy.
- E-mail Address - Adres e-mail.
- Note – Notatka.

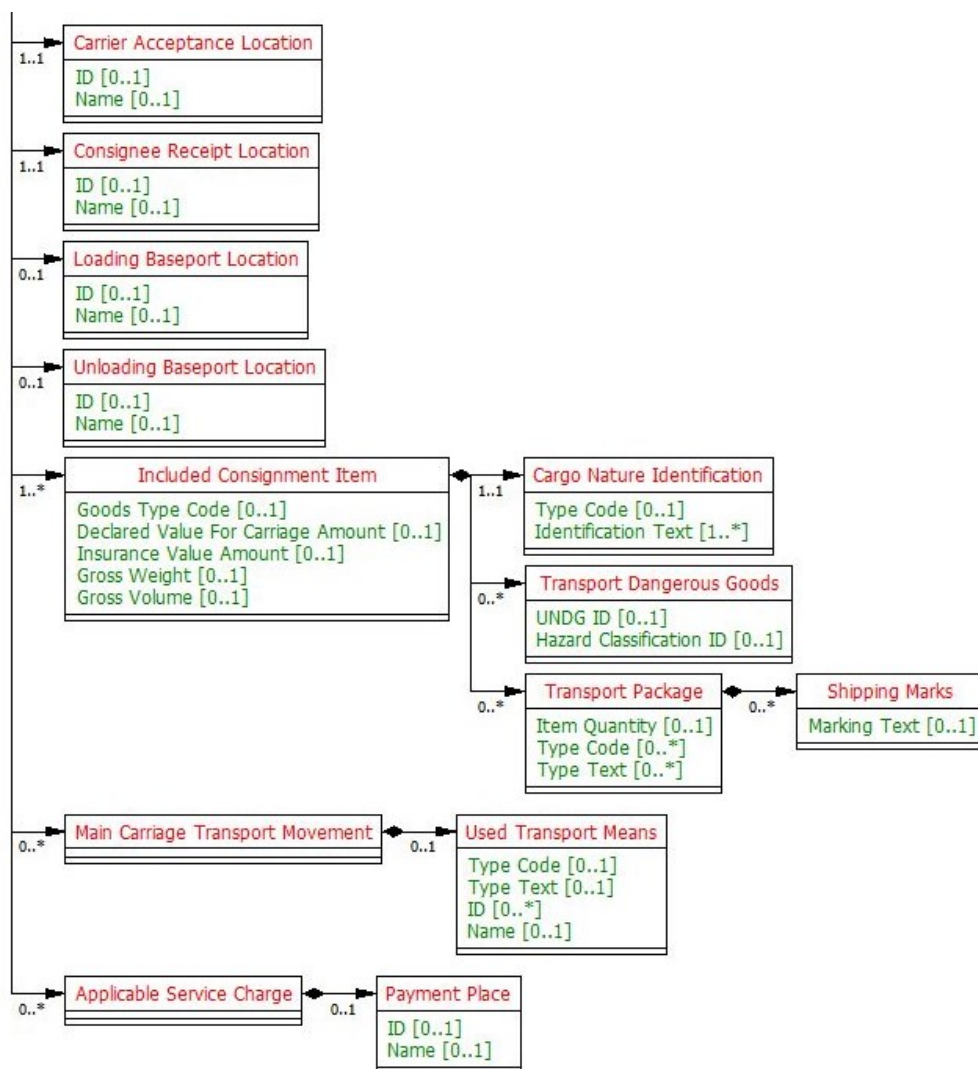
oraz struktura:

- Postal Address - Adres pocztowy - Adres pocztowy dla tego kontaktu handlowego.
- Tax Registration - NIP - Rejestracja podatkowa określona dla tego podmiotu handlowego.
- Government Registration - Numer rejestracyjny urzędu (rejestracja urzędowa określona dla tego podmiotu handlowego), dla strony notyfikującej.

Na rysunku 9 przedstawiono strukturę Supply Chain Consignment - Łańcuch dostaw przesyłki(ek).

Struktura Supply Chain Consignment - Łańcuch dostaw przesyłki(ek) składa się podstruktur tj.:

- Carrier Acceptance Location - Miejsce przyjmowania zgłoszeń przez przewoźnika (miejsce, w którym ta przesyłka łańcucha dostaw zostanie lub została przyjęta przez przewoźnika) zawierająca elementy:
- Consignee Receipt Location - Miejsce odbioru przez odbiorcę (miejsce, w którym ta przesyłka w łańcuchu dostaw będzie lub została odebrana przez odbiorcę) zawierająca elementy:
- ID - Identyfikator - Unikalny identyfikator tego miejsca związanej z logistyką, taki jak Kod Lokalizacyjny Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNLOCODE) lub Globalny Numer Lokalizacyjny GSI (GLN).
- Name - Nazwa - Nazwa tej lokalizacji związanej z logistyką, wyrażona w postaci tekstu.
- Loading Baseport Location - Lokalizacja bazy załadunkowej (lokalizacja portu bazowego, w którym przesyłka łańcucha dostaw ma być załadowana na środek transportu zgodnie z umową przewozową) zawierająca elementy takie jak w Consignee Receipt Location - Miejsce odbioru przez odbiorcę.
- Unloading Baseport Location - Lokalizacja basenu rozładunkowego (miejsce w porcie bazowym, w którym przesyłka łańcucha dostaw ma być rozładowana ze środka transportu zgodnie z umową przewozową) zawierająca informację takie jak w Consignee Receipt Location - Miejsce odbioru przez odbiorcę.
- Included Consignment Item - Włączona pozycja przesyłki (pozycja przesyłki zawarta w tej przesyłce w łańcuchu dostaw) posiada informację:
- Goods Type Code - Kod Rodzaju Towaru (kod określający rodzaj przesyłki w łańcuchu dostaw).
- Declared value for Carriage amount - Wartość zadeklarowana dla kwoty przewoźnego (wartość pieniężna tego elementu przesyłki w łańcuchu dostaw zadeklarowana przez nadawcę lub jego agenta w celu zróżnicowania poziomu odpowiedzialności przewoźnika w stosunku do poziomu przewidzianego w umowie przewozu, w przypadku utraty lub uszkodzenia towaru lub opóźnienia dostawy).
- Insurance Value Amount - Kwota wartości ubezpieczeniowej (wartość pieniężna tej pozycji przesyłki w łańcuchu dostaw, która jest objęta polisą ubezpieczeniową).



Rys. 9. Struktura Supply Chain Consignment - Łańcuch dostaw przesyłki(ek), z podstrukturami: Struktura Carrier Acceptance Location, Consignee Receipt Location, Loading Baseport Location, Unloading Baseport Location, Included Consignment Item, Main Carriage Transport Movement, Applicable Service Charge

Źródło: FIATA's GitHub repository. Pozyskano z: <https://github.com/FIATA/eFBL>

- Gross Weight - Waga brutto (miara wagi (masy) brutto tego artykułu przesyłki z łańcucha dostaw, która obejmuje opakowanie, ale nie obejmuje środków transportowych).
- Gross Volume - Objętość brutto (miara objętości brutto, zwykle obliczana przez pomnożenie maksymalnej długości, szerokości i wysokości tego elementu łańcucha dostaw).
- Cargo Nature Identification - Rodzaj ładunku Identyfikacja (dane dotyczące ładunku transportowanego w tym elemencie przesyłki w łańcuchu dostaw, wystarczające do określenia jego rodzaju dla celów celnych, statystycznych lub transportowych) posiada informację takie jak:
- Type Code - Typ Kod (kod, taki jak jednocyfrowe kody zalecenia EKG ONZ nr 21, określający rodzaj przewożonego ładunku).
- Identification Text - Tekst identyfikacyjny (identyfikacja, wyrażona w formie tekstu dla tego ładunku transportowego, wystarczająca do zidentyfikowania go dla celów celnych, statystycznych lub transportowych).
- Transport Dangerous Goods - Transport towarów niebezpiecznych (szczegóły dotyczące transportu towarów niebezpiecznych w łańcuchu dostaw) posiada informację:
- UNDG ID - Identyfikator UNDG (kod określający niepowtarzalny numer ONZ dla towarów niebezpiecznych (UNDG) przypisany przewożonym towarom niebezpiecznym).
- Hazard Classification ID - Identyfikator klasyfikacji niebezpieczeństwa (unikalny identyfikator klasy zagrożenia mającej zastosowanie do przewożonych towarów niebezpiecznych, określony przez właściwy organ regulacyjny).
- Associated Transport Equipment - Towarzący sprzęt transportowy (wskazany element wyposażenia transportowego związanego z niniejszą pozycją przesyłki w łańcuchu dostaw) posiadającą informację ID - Identyfikator czyli unikalny identyfikator niniejszego środka transportu logistycznego).
- Transport Package - Pakiet transportowy (opakowanie transportowe dla niniejszej pozycji przesyłki w łańcuchu dostaw) posiada informację takie jak:
- Item Quantity - Pozycja ilość (liczba opakowań logistycznych).
- Type Code - Typ kod (kod określający typ opakowania logistycznego).
- Type Text - Typ tekst (typ, wyrażony w postaci tekstu niniejszego pakunku logistycznego).
- Shipping Marks - Oznaczenia wysyłki (fizyczne oznaczenia wysyłki i informacje o kodzie kreskowym dla niniejszej paczki logistycznej) posiada informację Marking Text - Tekst oznakowania (oznaczenie, wyrażone w postaci tekstu, dla niniejszych logistycznych znaków przewozowych).
- Used Transport Equipment - Używany sprzęt transportowy (logistyczny środek transportu wykorzystany w tej przesyłce w łańcuchu dostaw) posiada informację: ID - Identyfikator (unikalny identyfikator niniejszego logistycznego sprzętu transportowego) oraz Seal Quantity - Ilość plomb (ilość plomb dla logistycznego środka transportu).
- Affixed seal - Przyklejona plomba (plomba przytwierdzona do niniejszego logistycznego środka transportu) z informacją ID - Identyfikator (unikalny identyfikator niniejszego zamknięcia logistycznego środka transportu).
- Main Carriage Transport Movement - Główny przewóz Ruch transportowy (główny ruch logistyczny przesyłki w łańcuchu dostaw).

- Used Transport Means - Używane środki transportu (środek transportu użyty w tym logistycznym ruchu transportowym).
- Type Code - Rodzaj Kod (kod określający rodzaj logistycznego środka transportu (patrz zalecenie EKG ONZ nr 28)).
- Type Text - Typ Tekst (typ tego środka transportu logistycznego, wyrażony w postaci tekstu).
- ID - Identyfikator (identyfikator tego środka transportu logistycznego, taki jak numer statku nadany przez Międzynarodową Organizację Morską).
- Name - Nazwa (wyrażona w formie tekstu nazwa tego środka transportu logistycznego).
- Transport Movement Identifier - Identyfikator przewozu (unikalny identyfikator tego logistycznego środka transportu, taki jak numer rejsu, numer lotu lub numer podróży).
- Applicable service charge - Obowiązująca opłata za usługę (opłata za usługę logistyczną, mająca zastosowanie do tej przesyłki łańcucha dostaw, np. opłaty za fracht lub ubezpieczenie).
- Payment arrangement code - Kod porozumienia płatniczego (kod określający sposób płatności za tę opłatę za usługi logistyczne (odniesienie do listy kodów ONZ (UNCL) 4237)).
- Payment Place - Miejsce płatności (lokalizacja miejsca uiszczenia opłaty za usługi logistyczne) posiada informacje: ID - Identyfikator (unikalny identyfikator tego miejsca związanego z logistyką, taki jak kod lokalizacji Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNLOCODE) lub Globalny Numer Lokalizacji GS1 (GLN)) oraz Name - Nazwa (nazwa tego miejsca związanego z logistyką, wyrażona w postaci tekstu).

Podsumowanie

Przedstawiony standard danych, stworzony na podstawie mapowania Negotiable FIATA Multimodal Transport Bill of Lading (FBL) z referencyjnym modelem danych UN/CEFACT MMT, umożliwia wymianę danych BL w znormalizowany sposób, ułatwiając interoperacyjność pomiędzy wszystkimi trybami interesariuszy z sektora transportu i przemysłu. Dostępny za pośrednictwem repozytorium GitHub firmy FIATA i jest oferowany do wdrożenia jako open source dla wszystkich dostawców oprogramowania i interesariuszy branżowych.

Standard danych eFBL jest pierwszym rezultatem współpracy FIATA i UNECE i po pierwszych wdrożeniach pozwolą wprowadzić trzy inne dokumenty zgodne ze standardem FIATA, które są w trakcie mapowania z UN/CEFACT MMT RDM i spodziewać się można (i z zapowiedzi), że kolejne elektroniczne dokumenty FIATA zostaną wydane do końca drugiego kwartału 2022 r. tj. FWB, FWR, FCR.

Bibliografia

- Documents and Forms. International Federation of Freight Forwarders Associations, Published by FIATA, Printed by Hürzeler AG, Switzerland. Pozyskano z: https://fiata.cdn.prismic.io/fiata/afeddd989-c99b-4142-9f64-8281c99aa4c5_FIATA_Documents_and_Forms.pdf
- Dyrektywa nr 106/1992 z dnia 1992 r. w sprawie stworzenia wspólnych reguł dla niektórych rodzajów transportu kombinowanego między państwami członkowskimi (DzURz WE z 1992 r., nr 368).
- FIATA's GitHub repository, <https://github.com/FIATA/eFBL>
- Ficoń K.: Modelowanie logistycznego łańcucha spedycji. Systemy Logistyczne Wojsk nr 45, Warszawa, 2016.
- Gierszewska G., Romanowska M.: Analiza strategiczna przedsiębiorstwa. PWE, Warszawa, 2007, 38–48.
- Neider J.: Transport międzynarodowy. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2012.
- Salomon A.: Dokumenty normatywne fiata w pracy spedytora międzynarodowego. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni nr 87, Gdynia, 2014.
- Salomon A.: Spedycja. Teoria – przykłady – ćwiczenia, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia, 2011.
- Terminology on combined transport. Prepared by the UN/ECE, the European Conference of Ministers of Transport (ECMT) and the European Commission EC. United Nations, New York, Geneva. Pozy-skano z: <https://unece.org/DAM/trans/wp24/documents/term.pdf>.
- The global voice of freight logistics. FIATA REFERENCE HANDBOOK November 2019. Pozyskano z: https://fiata.cdn.prismic.io/fiata/cc8f60f-b6ba-4c78-bcdb-5b8648696147_FIATA_Reference_Handbook_-_November_2019_05.12.2019.pdf
- Wasilewska-Marszałkowska I.: Spedycja we współczesnych łańcuchach dostaw. CeDeWu S-ka z o.o., Warszawa, 2015.

Adres do korespondencji: e-mail: piotr.nawara@urk.edu.pl
ORCID: Piotr Nawara 0000-0002-4497-8858
ORCID: Tomasz Jakubowski 0000-0002-5141-2705
ORCID: Zygmunt Sobol 0000-0002-0082-7935
ORCID: Dariusz Baran 0000-0001-7548-3180

SZTUCZNA INTELIGENCJA W SYSTEMACH TELEMATYCZNYCH WSPIERAJĄCYCH LOGISTYKĘ

Karolina Trzyniec¹, Sławomir Kurpaska²

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

² Katedra Inżynierii Bioprocessów, Energetyki i Automatyzacji, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie Wstęp

Wstęp

Termin *telematyka* pochodzi z połączenia dwóch słów: *telekomunikacja* oraz *informatyka*. Współcześnie, telematyka jest najczęściej interpretowana jako rozwiązania telekomunikacyjne, informatyczne i informacyjne oraz rozwiązania automatycznego sterowania, dostosowane do potrzeb obsługiwanych systemów fizycznych, wynikających z ich zadań, infrastruktury, organizacji, procesów utrzymania i zarządzania¹. Pojęcia tego jednak używa się również w nawiązaniu do rozwiązań strukturalnych, w których komunikacja elektroniczna, elektroniczne pozyskiwanie i przetwarzanie informacji są integralnymi elementami systemu. Współtworzące każdy system telematyczny technologie informatyczne należą do najbardziej efektywnych sposobów podnoszenia jakości i sprawności zarządzania systemami wykorzystywanymi w logistyce². Innowacyjne technologie wykorzystywane są do zarządzania niemal każdym etapem poszczególnych procesów logistycznych. Cechy systemów telematycznych, które szczególnie przydają się w zarządzaniu łańcuchem dostaw to: możliwość dowolnego i nieograniczonego łączenia ze sobą różnych urządzeń i funkcji, pozyskiwanie, gromadzenie i przetwarzanie dużej ilości danych oraz szybka reakcja na zmiany warunków procesu, pozwalająca osiągnąć większą elastyczność działania.

Prognozy P&S Market Research przewidują, że do końca 2022 roku światowy rynek telematyczny wzrośnie z 26 mln do ponad 140 mln dolarów. Roczny wskaźnik wzrostu w okresie 2016 – 2022 wyniesie wówczas 28,5%. Bezpośredni wpływ na to ma oczywiście rozwój zaawansowanych technologii informatycznych oraz telekomunikacyjnych, ale również chęć zyskania przez przedsiębiorców konkurencyjności na rynkach światowych. Aby zyskać większą efektywność realizowanych procesów logistycznych, inwestują oni w tech-

¹ Neuman T.: Wykorzystanie systemów telematyki na przykładzie wybranych przedsiębiorstw transportu drogowego, nr 12, *Autobusy: Efektywność transportu*, 2017.

² Buwała B.: Rzeczywistość rozszerzona jako technologia wspierająca telematykę w logistyce, nr 3, *Logistyka*, Poznań, 2012.

nikę i know-how wpisujące się w filozofię Industry 4.0 i opracowują nowe sposoby zarządzania oparte na informatycznych modelach wspomagania decyzji strategicznych. Zastosowane rozwiązania telematyczne są więc wspierane przez interaktywne systemy komputerowe, pomagające decydom wykorzystać modele i dane w rozwiązywaniu problemów niestrukturalnych.

Internet rzeczy i zaawansowana robotyka

Termin Internet rzeczy (ang. *Internet of Things - IoT*) został użyty po raz pierwszy w 1999 roku przez Kevina Ashтона, określanego mianem pioniera technologii i eksperta w dziedzinie innowacji cyfrowych. Szersze zastosowanie i popularność technologia zyskała jednak dopiero w ostatniej dekadzie, a powszechnie stosowana jest od 2014 roku³.

Choć do tej pory powstało mnóstwo definicji określających, czym jest Internet rzeczy, wszystkie opisy tej technologii są zgodne - IoT kreują urządzenia lub zwykłe przedmioty, które za pomocą zainstalowanych czujników są w stanie przesyłać dane⁴. Coraz częściej IoT definiuje się również jako technologiczny paradygmat, którego celem jest połączenie wszystkiego i wszystkich, zawsze i wszędzie⁵ (rys. 1).

Proces przesyłania danych pomiędzy elementami Internetu rzeczy może być realizowany automatycznie lub za pośrednictwem użytkownika, wyposażonego w urządzenie sterujące. Komunikacja odbywa się dzięki zastosowaniu rozległej sieci komputerowej, korzystanie z danych umożliwiają chmury obliczeniowe, a aplikacje IoT tworzą interfejs, który umożliwia interakcję między ludźmi i przedmiotami, przedstawianie informacji w intuicyjny i zrozumiały sposób, identyfikowanie problemów i proponowanie rozwiązań⁶.

Naukowcy i praktycy uważają, że logistyka jest jednym z obszarów, który najbardziej skorzystał na zastosowaniu IoT⁷. Jest to realizowane poprzez połączenie do Internetu obiektów różnego zastosowania, dzięki któremu możliwe jest realizowanie łańcucha dostaw - pojazdów, sprzętu i wyposażenia, obiektów infrastruktury. Szacuje się, że do 2025 roku liczba elementów Internetu rzeczy przekroczy 75 miliardów⁸.

³ Pozyskano z: <https://iot-analytics.com/internet-of-things-definition/>

⁴ Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M., Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions, 29(7), Future Generation Computer Systems, 1645-1660, 2013.

Hozdić E.: Smart Factory for Industry 4.0: A Review, 8(1), International Journal of Modern Manufacturing Technologies, 28-35, 2015.

Neugebauer R., Hippmann S., Leis M., Landherr M.: Industrie 4.0 - Form the perspective of applied research, 57, Procedia CIRP, 2-7, 2016.

⁵ Lu Y., Papagiannidis S., Alamanos E.: Internet of things: a systematic review of the business literature from the user and organisational perspectives, 136, Technological Forecasting and Social Change, 285-297, 2018.

⁶ Lee I., Lee K.: The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises, 58(4) Business Horizons, 431-440, 2015.

⁷ Kim S., Kim S.: A multi-criteria approach toward discovering killer IoT application in Korea, 102, Technological Forecasting and Social Change, 143-155, 2016.

⁸ Kostrzewski M., Varjan P., Gnap J.: Solutions Dedicated to Internal Logistics 4.0. In: K. Grzybowska et al. (eds.), Sustainable Logistics and Production in Industry 4.0, Springer Nature Switzerland AG, Switzerland, 243-262, 2020.



Rys. 1. Koncepcja technologii IoT

Źródło: (Gaździcki, 2020)

Zarządzanie logistyczne wymaga jednoczesnego monitorowania wielu działań. W zależności od rodzaju potrzeb przedsiębiorstwa oraz możliwości technicznych, IoT może służyć do tworzenia cyfrowych zleceń i zarządzania nimi, wymiany informacji pomiędzy poszczególnymi urządzeniami, lokalizowania pojazdów, wyznaczania tras, śledzenia kontenerów, zarządzania flotą oraz pojazdami autonomicznymi, monitorowania parametrów urządzeń i procesów, zwiększania bezpieczeństwa (np. transportu lub magazynu) i cyberbezpieczeństwa, a także ochrony (np. ładunku), automatyzacji procesu inwentaryzacji, śledzenia zasobów, organizacji automatycznego pakowania i etykietowania i wielu innych⁹. Technologia IoT wykorzystywana w konfiguracjach przemysłowych, czyli np. w zakładach produkcyjnych, doczekała się nawet osobnego określenia, jakim jest Przemysłowy Internet Rzeczy (ang. *Industry Internet of Things - IIoT*). Jak podaje portal WDX¹⁰, „Przemysłowy Internet Rzeczy usprawnia komunikację między maszynami i udostępnia kierownikom zakładów dane zapewniające lepszy wgląd w ich działanie. Dzięki ciągłemu gromadzeniu informacji na najniższym poziomie, firmy przemysłowe mogą lepiej monitorować zużywaną energię, wodę i inne zasoby, czas pracy maszyn oraz ich wydajność produkcyjną. Na podstawie uzyskanych danych mogą wprowadzać modyfikacje ręczne lub korzystać z automatycznej optymalizacji pracy wykonanej przez same urządzenia”. Do sprawnej realizacji procesów produkcji, magazynowania i kompletacji zamówienia niezbędne jest zastosowanie robotów, wyręczających ludzi w ciężkiej i monotonnej pracy. Nie mamy tu jednak do czynienia jedynie z automatyzacją i robotyzacją, znaną z trzeciej rewolucji przemysłowej. Dziś są to maszyny najnowszych generacji, których cechą jest możliwość wchodzenia w interakcję ze

⁹ Tadić S.: Technological solutions in Logistics 4.0, nr 69, *Ekonomika Preduzeca*, 2021.

¹⁰ Pozyskano z: <https://wdx.pl/2020/11/24/internet-rzeczy-iiot/>

światem. Systemy złożone z elementów realizujących wspólny cel mają zdolność do prawidłowego interpretowania danych pochodzących z zewnątrz, nauki na ich podstawie oraz wykorzystywania tej wiedzy, aby wykonywać określone zadania i osiągać założone cele poprzez elastyczne dostosowanie. Rozwój technologii wizyjnej, zestawiony z osiągnięciami w dziedzinie IoT, dał robotom możliwość przetwarzania instrukcji i obrazów przez nie same i automatycznego realizowania kolejnych kroków będących z logicznego punktu widzenia sekwencjami czynności¹¹.

Wśród korzyści wynikających z zastosowania Internetu rzeczy w logistyce najważniejszym wydaje się zwiększenie elastyczności, oszczędność nakładów przy jednoczesnej maksymalizacji wydajności, a w konsekwencji - zwiększenie poziomu zaufania i zadowolenia klienta. Dzięki coraz większym możliwościom opisywanej technologii, możliwe jest nie tylko osiągnięcie optymalizacji procesów intralogistycznych, ale również podejmowanie trafnych decyzji strategicznych, opartych na danych zebranych przez wdrożony system telematyczny¹².

Pojazdy autonomiczne i automatyczne systemy transportowe

Wymienione w tytule terminy: pojazd autonomiczny i zautomatyzowany system transportowy brzmią podobnie, a czasami są nawet stosowane wymiennie. Jednak istnieją spore różnice, które pozwalają zdefiniować je jako odmienne. Automatyczne systemy transportowe (ang. *Automated Guided Vehicle - AGV*) oznaczają pojazdy zdalnie sterowane, poruszające się po z góry określonej ścieżce, do kierowania których wykorzystywane są fale radiowe, kamery, magnesy, lasery itp.¹³. Pojazdy autonomiczne (ang. *Autonomous Vehicle - AV*), nazywane w literaturze również pojazdami w pełni zautomatyzowanymi, pojazdami samojezdnymi lub pojazdami bez kierowcy, to rodzaj zautomatyzowanych pojazdów kierowanych, które nie mają ustalonej, z góry określonej ścieżki, ale samodzielnie decydują o trasie na podstawie informacji z otoczenia oraz algorytmów i rozwiązań programowych wchodzących w skład ich systemu operacyjnego¹⁴.

Różny jest także aspekt zastosowania AV i AGV w logistyce. Automatyczne systemy transportowe są wykorzystywane głównie w procesach magazynowania i przeładunku, natomiast w procesie transportowym ich zastosowanie ogranicza się głównie do transportu wewnętrznego. Wykorzystanie AGV zredukowano do obszarów zamkniętych, takich jak terminale, centra logistyczne, porty, lotniska, hale produkcyjne, czy kompleksy przemysłowe. Pojazdy autonomiczne są obecnie testowane i wykorzystywane wyłącznie w procesach transportowych, zarówno w transporcie krótkodystansowym, jak i długodystansowym¹⁴ (rys. 2).

¹¹ Pozyskano z: <https://controlengineering.pl/roboty-i-sztuczna-inteligencja-usprawnia-prace-fabryk-przyszlosci/>

¹² Pozyskano z: <https://wdx.pl/2020/11/24/internet-rzeczy-iot/>

¹³ Jünemann R., Schmidt T.: *Materialflusssysteme: systemtechnische Grundlagen*, Springer, Berlin, 2000.

¹⁴ Tadić S.: *Technological solutions in Logistics 4.0*, nr 69, *Ekonomika Preduzeca*, 2021.



Rys. 2. Autonomiczny koncept Vera firmy Volvo

Źródło: (Mocek, 2022)

W kwietniu 2016 roku konwój kilkunastu autonomicznych samochodów ciężarowych, należących do sześciu różnych producentów, pokonał trasę ze Szwecji do Holandii. Jechały one samodzielnie w kolumnach składających się z 2-3 pojazdów i zachowywały stałe tempo jazdy, przy czym pierwszy z pojazdów ustalał trasę i prędkość. Nad procesem czuwał człowiek, który siedział na miejscu kierowcy. Wszystkie ciężarówki dotarły do Rotterdamu bez najmniejszych incydentów, co jest dowodem na to, że transport realizowany przez autonomiczny pojazd może być bezpieczny dla pozostałych uczestników ruchu. Główną przeszkodą w stosowaniu pojazdów autonomicznych są oczywiście uwarunkowania prawne, dotyczące szczególnie ustalenia zakresu odpowiedzialności. W amerykańskim stanie Teksas, w 2017 roku, wprowadzono przepisy, które miały na celu przyspieszenie rozwoju automatycznego transportu. Trwają prace nad ustawą, która nie tylko pozwoli firmom testować autonomiczne pojazdy transportowe, ale także umożliwi ich wdrożenie do użytku bez konieczności ponoszenia dodatkowych kosztów. Szeroko zakrojone działania mogą skutkować tym, że pierwsze zrobotyzowane samochody ciężarowe wyjadą na publiczne drogi już w 2023 roku¹⁵.

Rzeczywistość rozszerzona

Sztuczna inteligencja, w najszerszym znaczeniu tego określenia, oznacza zdolność komputera do wykonywania zadań, które zwykle są wykonywane przez istoty inteligentne. Te zadania wymagają percepcji, obserwacji, rozumowania, rozwiązywania problemów, uczenia się i komunikacji¹⁶. Rozwój technik sztucznej inteligencji umożliwił wykreowanie technologii inteligentnego otoczenia (ang. *Ambient Intelligence - AmI*), rzeczywistości rozszerzonej

¹⁵ Pozyskano z: <https://motoryzacja.interia.pl/raporty/raport-samochody-autonomiczne/samochody-autonomiczne/news-autonomiczne-ciezarowki-za-rok-wyjada-na-drogi-na-razie-tylk,nId,6109187>

¹⁶ Copeland B. J.: Artificial intelligence. Encyclopædia Britannica, Inc., Chicago, 2020.

(ang. *Augmented Reality - AR*) i rzeczywistości wirtualnej (ang. *Virtual Reality - VR*). Rozszerzona rzeczywistość jest połączeniem obrazu świata rzeczywistego z wirtualnymi elementami stworzonymi przy pomocy technologii informatycznej. Augmented Reality, w odróżnieniu od Virtual Reality, poszerza obraz, który widzimy oraz nakłada elementy, np. nowe obiekty (rys. 3).



Rys. 3. Rzeczywistość rozszerzona

Źródło: (Lis, 2020)

Rzeczywistość rozszerzona jest technologią coraz częściej i chętniej wykorzystywaną w przedsiębiorstwach i fabrykach. Przy użyciu odpowiednich narzędzi (takich jak inteligentne okulary czy zestaw do sterowania głosem) możliwe jest na przykład przeprowadzenie szkolenia nowego pracownika, pomoc osobie znajdującej się w innym miejscu, nawigacja pojazdów w warunkach ograniczonej widoczności, planowanie powierzchni magazynowej lub towarów, sterowanie procesami magazynowymi, lokalizowanie/przydzielanie towarów, czy bezkosztowe testowanie nowego produktu/usługi. AR wykorzystywana jest również do nawigowania wewnątrz budynków. Możliwe jest bowiem opracowanie aplikacji do wirtualnego poruszania się po lotnisku, szpitalu czy magazynie. Rozszerzona rzeczywistość ułatwia również zarządzanie informacjami w formie cyfrowej, co może nie tylko pomóc w ograniczeniu ilości dokumentacji papierowej, ale także zmniejszyć ryzyko popełnienia błędu.

Podsumowanie

Zastosowanie w logistyce technologii opartej na telematyce oraz narzędziach sztucznej inteligencji to zagadnienie, którego rozwój przyczynia się do radykalnych zmian w sposobie funkcjonowania łańcucha dostaw. Wdrożenie synergii tych technologii pozwala nie tylko na odciążenie ludzi nakładem ciężkich czy monotonna prac, ale przede wszystkim – umożliwia wykorzystanie olbrzymich ilości danych i na ich podstawie planować działania, starając się przewidzieć rynkowe trendy i zachowania klientów¹⁷. Samouczące się algorytmy mogą być przydatne do przewidywania przyszłych stanów sieci logistycznej, a procesy realizowane w sposób autonomiczny lub częściowo kontrolowany przez inteligentne systemy zarządzania zapewniają osiągnięcie przewagi konkurencyjnej w dynamicznym otoczeniu rynkowym.

Bibliografia

- Bukała B.: Rzeczywistość rozszerzona jako technologia wspierająca telematykę w logistyce. *Logistyka*, 3, 2012.
- Copeland B.J.: *Artificial intelligence*. Encyclopædia Britannica. Inc., Chicago, 2020.
- Sztuczna inteligencja w logistyce i przykłady jej zastosowania (on-line). Pozyskano z: <https://www.mecalux.pl/blog/sztuczna-inteligencja-logistyka>.
- Gaździcki M.: IoT, czyli internet rzeczy – w czym rzecz? Co warto o nim wiedzieć? (on-line). Pozyskano z: <https://geex.x-kom.pl/wiadomosci/iot-czyli-internet-rzeczy-w-czym-rzecz-co-warto-o-nim-wiedziec-geex/>.
- Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M.: Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660, 2013.
- Hozdić E. Smart Factory for Industry 4.0: A Review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 8(1), 28-35, 2015.
- Internet of Things definition (on-line). Pozyskano z: <https://iot-analytics.com/internet-of-things-definition/>
- Internet rzeczy (on-line). Pozyskano z: <https://wdx.pl/2020/11/24/internet-rzeczy-iot/>
- Jünemann R., Schmidt T.: *Materialflusssysteme: systemtechnische Grundlagen*. Springer, Berlin, 2000.
- Kim S., Kim S.: A multi-criteria approach toward discovering killer IoT application in Korea. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 143-155, 2016.
- Kostrzewski M., Varjan P., Gnap J.: Solutions Dedicated to Internal Logistics 4.0. In: K. Grzybowska et al. (eds.), *Sustainable Logistics and Production in Industry 4.0*, Springer Nature Switzerland AG, Switzerland, 243-262, 2020.
- Lee I., Lee K.: The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431-440, 2015.
- Lis P.: Po co mi rozszerzona rzeczywistość? (on-line). Pozyskano z: <https://przemyslprzy-szlosci.gov.pl/po-co-mi-rozszerzona-rzeczywistosc/>.
- Lu Y., Papagiannidis S., Alamanos E.: Internet of things: a systematic review of the business literature from the user and organisational perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 285-297, 2018.

¹⁷ Pozyskano z: <https://www.mecalux.pl/blog/sztuczna-inteligencja-logistyka>

- Mocek K.: Autonomiczne ciężarówki za rok wyjadą na drogi? Na razie tylko amerykańskie. (on-line). Pozyskano z: <https://motoryzacja.interia.pl/raporty/raport-samochody-autonomiczne/samochody-autonomiczne/news-autonomiczne-ciezarowki-za-rok-wyjada-na-drogi-na-razie-tylk,nId,6109187>.
- Neugebauer R., Hippmann S., Leis M., Landherr M.: Industrie 4.0- Form the perspective of applied research. *Procedia CIRP*, 57, 2-7, 2016.
- Neuman T.: Wykorzystanie systemów telematyki na przykładzie wybranych przedsiębiorstw transportu drogowego. *Autobusy: Efektywność transportu*, 12, 2017.
- Roboty i sztuczna inteligencja usprawnią pracę fabryk przyszłości (on-line). Pozyskano z: <https://controlengineering.pl/roboty-i-sztuczna-inteligencja-usprawnia-prace-fabryk-przyszlosci/>
- Samochody autonomiczne (on-line). Pozyskano z: <https://motoryzacja.interia.pl/raporty/raport-samochody-autonomiczne/samochodyautonomiczne/news-autonomiczne-ciezarowki-za-rok-wyjada-na-drogi-na-razie-tylk,nId,6109187>
- Tadić S.: Technological solutions in Logistics 4.0. *Ekonomika Preduzeca*, 69, 2021.

Autor do korespondencji: karolina.trzyniec@urk.edu.pl
ORCID: Karolina Trzyniec 0000-0003-3178-4410
ORCID: Sławomir Kurpaska 0000-0003-1885-4568

ORGANIZACJA DOSTAW NA PODSTAWIE CENTRUM DYSTRYBUCJI

Monika Wilk¹, Elżbieta Olech², Maciej Kuboń^{2,3}, Urszula Malaga-Tobola², Katarzyna Grotkiewicz², Ireneusz Kaczmar³, Natalia Matlok⁴

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

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

³ Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych Przemysłu

⁴ Zakład Inżynierii Produkcji Rolno-Spożywczej, Uniwersytet Rzeszowski

Wstęp

W czasach postępującej globalizacji rynku, gdzie łańcuchy dostaw i kanały dystrybucji towarów stają się coraz bardziej złożone i często funkcjonują poza granicami politycznymi i geograficznymi określonego kraju kluczowe znaczenie dla zapewnienia rentowności i zadowolenia klientów ma skuteczne zarządzanie łańcuchami dostaw. Aby sprostać rosnącym wymaganiom klientów oraz wytworzyć niekiedy dosyć złożone produkty końcowe, w produkcję których zaangażowane są czasem liczne przedsiębiorstwa, potrzebna jest sprawna i przynosząca korzyści współpraca w różnych obszarach funkcjonalnych pomiędzy wszystkimi uczestnikami łańcucha dostaw tych wyrobów¹. Współpraca ta powinna uwzględniać interesy partnerów biznesowych, motywować do efektywnej pracy, przyczyniać się do kształtowania popytu na produkty oraz umożliwiać szybką reakcję w sytuacji zmiany koniunktury na rynku. Ważnymi ogniwami łańcuchów dostaw, które mogą przyczyniać się do usprawnienia przepływu dóbr i usług, są centra logistyczne i dystrybucyjne. Współpracują one z różnymi dostawcami i odbiorcami towarów, oferując szeroki zakres usług dostosowany do oczekiwań klientów. Ponadto, ich udział w łańcuchu dostaw pozwala na redukcję kosztów transportowo-magazynowych oraz uelastycznienie konfiguracji łańcuchów dostaw. Centra te zajmują się m.in. zarządzaniem zapasami i zamówieniami, wykorzystując do tego innowacyjne rozwiązania techniczno-technologiczne oraz dostępne systemy i technologie informacyjne².

¹ Skwron-Grabowska B.: Centra logistyczne w łańcuchach dostaw. PWE, Warszawa, 2011.

² Gajewska T, Filina-Dawidowicz L.: Analiza łańcucha dostaw na przykładzie centrum logistycznego, Eksploatacja 12, 2015.

Dystrybucja jest jednym z ważniejszych elementów w łańcuchu logistycznym. Ma za zadanie przekazanie towarów w odpowiednim miejscu i czasie odbiorcom. Terminowość dostaw jest czynnikiem, który wpływa na ocenę jakości usług oraz zadowolenie klienta³.

Logistyka dystrybucji łączy ze sobą czynności, które są powiązane z zaopatrzeniem odbiorcy w wyroby gotowe. Traktowana jest jako integrator procesów produkcyjnych oraz konsumpcyjnych, do których dochodzi na rynku. Łączona jest wówczas z procesem planowania, realizowania oraz kontrolowania sprawnego a zarazem efektywnego ekonomicznie przepływu, składowania surowców, zapasów produkcji, wyrobów gotowych z miejsca pochodzenia do miejsca konsumpcji w celu zaspokojenia wymagań klienta⁴. Podstawowym zadaniem dystrybucji jest dostarczenie klientom oczekiwany przez nich produktów do miejsc, w których chcą je nabyć, w odpowiednim czasie, na uzgodnionych warunkach i po akceptowanej przez nich cenie. Zadaniem dystrybucji jest przepływ produktów od producenta do konsumenta. Główne jej cele to zagwarantowanie nabywcom odpowiedniego poziomu obsługi i minimalizacja kosztów^{5,6,7}.

Centrum dystrybucyjne można porównać do centrum logistycznego, ponieważ pełnią podobne funkcje oraz są nieodłącznym elementem w łańcuchu dostaw. Są to miejsca, gdzie magazynowane są towary od różnych dostawców z kraju lub całego świata. Dzięki dobrze dobranej infrastrukturze oraz organizacji realizowane są usługi logistyczne związane z kompletowaniem, magazynowaniem, planowaniem czy wysyłką towarów do klientów⁸.

Centra logistyczne przyczyniają się do wzrostu sprawności oraz efektywności procesów logistycznych. Nasilają ich elastyczność i zasięg możliwości kształtowania wartości w łańcuchach dostaw oraz sprzyjają redukcji kosztów logistyki. W związku z tym centra logistyczne przyczyniają się do pozytywnego funkcjonowania systemów logistycznych w zakresie⁹:

- zmniejszania kosztów użytkowania infrastruktury transportu,
- tworzenia jedności w świadczeniu usług i wykorzystywaniu potrzebnych do tego celu zasobów,
- rozwiązywania problemów transportowych współwystępujących w działalności logistycznej, w głównej mierze w zakresie dużych aglomeracji miejskich i ośrodków przemysłowych,

³ Kramarz M.: Elementy logistyczne obsługi klienta w sieciach dystrybucji. Pomiar, ocena, strategie, Wydawnictwo Difin, Warszawa, 2014.

⁴ Kolasińska-Morawska K.: Zarządzanie logistyczne, Tom XV, część III, Wydawnictwo Społecznej Akademii Nauk, Łódź, 11, 2014.

⁵ Rutkowski K.: Logistyka dystrybucji. Difin, Warszawa, 99-100, 2005.

⁶ Brytek N., Diesok G.: Funkcjonowanie systemów logistycznych w opinii pracowników przedsiębiorstw, *Engineer XXI*, vol.4, 2021.

⁷ Kuklinowska I.: Logistyka dystrybucji na przykładzie sieci handlowej Tesco, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, Gliwice, 253, 2018,

⁸ Klepacki B., Wicik L.: Systemy logistyczne w funkcjonowaniu przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego. SGGW, Warszawa, 2014.

⁹ Kisperska-Moroń D., Krzyżaniak S.: Logistyka, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 176-296, 2009.

- organizowania ładu przestrzennego ze względu na sposób funkcjonowania sprzyjający planistom oraz profesjonalne planowanie przestrzenne i podejmowanie decyzji pozwalających ignorować lub ograniczać nieporozumienia między działalnością gospodarczą i odmiennymi dziedzinami życia podczas np. korzystania ze wspólnych zasobów infrastruktury transportu.

Podstawową rolą centrów logistycznych jest kreowanie warunków do efektywnego przepływu dóbr, ograniczenie lub likwidowanie utrudnień, jakie przedsiębiorstwo logistyczne oddziałuje na otoczenie, dodatkowo ułatwianie lub wdrażanie korzystnych trendów rozwoju działalności gospodarczej. Jako kolejną rolę można podać możliwość świadczenia usług wszystkim przedsiębiorstwom, które są zainteresowane regułami rynkowymi. W ten sposób działają centra logistyczne o charakterze publicznym, do których przystępują niezależni usługodawcy. Rolą ich zarządów jest upublicznianie warunków do prowadzenia przedsiębiorstwa. Jednym z ważniejszych zadań centrum logistycznego jest umożliwianie użytkownikom korzystania z usług transportowych, a w szczególności z transportu intermodalnego, który ma na celu wykorzystanie więcej niż jednego środka transportu¹⁰.

Głównym celem centrum dystrybucji jest zapewnienie najszybszego przebiegu procesu przy zachowaniu optymalnego poziomu jakości obsługi klientów, czyli zarządzanie łańcuchami dostaw, przepływami wartości od dostawców do ostatecznych użytkowników¹¹.

Analiza organizacji dostaw na przykładzie centrum dystrybucyjnego

Centrum dystrybucyjne znajduje się w województwie małopolskim. Centrum posiada powierzchnię magazynową 21,5 tys. m² oraz 51 bram, dzięki którym dziennie zostaje przyjętych około 3600 palet. Towary są dostarczane przez 280 partnerów handlowych. Flota samochodowa jest dostosowana do obsługi aglomeracji miejskiej. W roku 2014 składała się z 50 samochodów dostawczych i 50 naczep. Codziennie z centrum wyjeżdżało około 120 pojazdów z dostawami.

Przestrzeń magazynu podzielona jest na cztery strefy, które odpowiadają podstawowym fazom procesu magazynowania. Są to strefy:¹²

- przyjęć – obszar, w którym przeprowadzane są prace wyładunkowe jednostek towarowych ze środków transportu. Istotną kwestią jest sprawdzenie zgodności towaru z deklarowaną ilością i jakością oraz operacje związane z przyjęciem towarów do magazynu (segregowanie, sortowanie itp.),
- składowania – to największa część magazynu. Strefa, w której znajdują się regały wypełnione towarami, które mogą być składowane krótko lub długoterminowo. Niezbędna jest tutaj stała kontrola odpowiednich warunków przechowywania towaru,
- kompletacji – w tej strefie realizowane są zadania dotyczące przygotowania zamówień według zamówień odbiorcy,

¹⁰ Kucharczyk R.: Centra logistyczne – istota, zadania, funkcje, Logistyka nr 3, 2014.

¹¹ Śliżewska J., Zadrozna D.: Organizowanie i monitorowanie dystrybucji, Podręcznik do nauki zawodu Technik logistyk, WSIP, Warszawa, 12-15, 2014.

¹² Krystek J.: Analiza procesu magazynowania w magazynie wysokiego składowania, Zakład Inżynierii Systemów, Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej, 617- 618, 2011.

– wydań – znajdują się niedaleko ramp załadunkowych. W tej strefie następuje wydanie towaru z magazynu i zachodzą związane z tym zadaniem niezbędne prace załadunkowe, w których wykorzystywane są środki transportu.

Powierzchnia magazynowa podzielona jest na 11 podmagazynów. W każdym z nich znajdują się korytarze, dzięki którym pracownicy korzystając z wózków kompletacyjnych są w stanie załadować lub rozładować towar z regału.

W przedsiębiorstwie wykorzystywany jest system informatyczny SAP (*niem. Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*). System ERP (*ang. Enterprise Resource Planning*) ma za zadanie dostarczyć moduły potrzebne do zarządzania przedsiębiorstwem. System obsługuje szeroki wachlarz procesów biznesowych, ułatwia firmom prowadzenie operacji finansowych, zarządzanie kadrami, realizację zadań związanych z logistyką, projektowanie i wytwarzanie produktów, a także sprzedaż i serwisowanie.¹³

Do analizy i oceny organizacji i jakości oraz efektywności dostaw zostały pozyskane dane na podstawie wywiadu przeprowadzonego z kierownikiem magazynu oraz specjalistą ds. magazynowych. Pozyskiwane informacje i materiały dotyczyły czasów dostawy, czasu pracy pracowników, danych odnośnie towarów (przyjętych, wysłanych). Analiza zebranych danych została przedstawiona dla całego roku 2020 oraz I kwartału 2021 roku.

Zebrane dane zostały wykorzystane do obliczenia wybranych wskaźników podsystemu logistycznego, jakim była dystrybucja towarów.

Według literatury wskaźniki do oceny organizacji i jakości oraz efektywności dostaw to^{14,15}: wskaźnik gotowości dostaw, przeciętny czas dostawy, przeciętny czas realizacji zamówienia, udział opóźnionych dostaw, wskaźnik reklamacji, wskaźnik zwrotów, udział wadliwych dostaw, terminowość dostaw, sprawność kompletacji, wydajność kompletacji oraz wydajność dostaw.

Analizę uzyskanych wyników rozpoczęto od wielkości i struktury realizowanych dostaw. Logistyka to system przepływu dóbr materialnych w sektorach gospodarki, wielkość i struktura utrzymywania w tych sektorach zapasów oraz infrastruktura techniczna określająca procesy przepływu i podtrzymywania zapasów¹⁶.

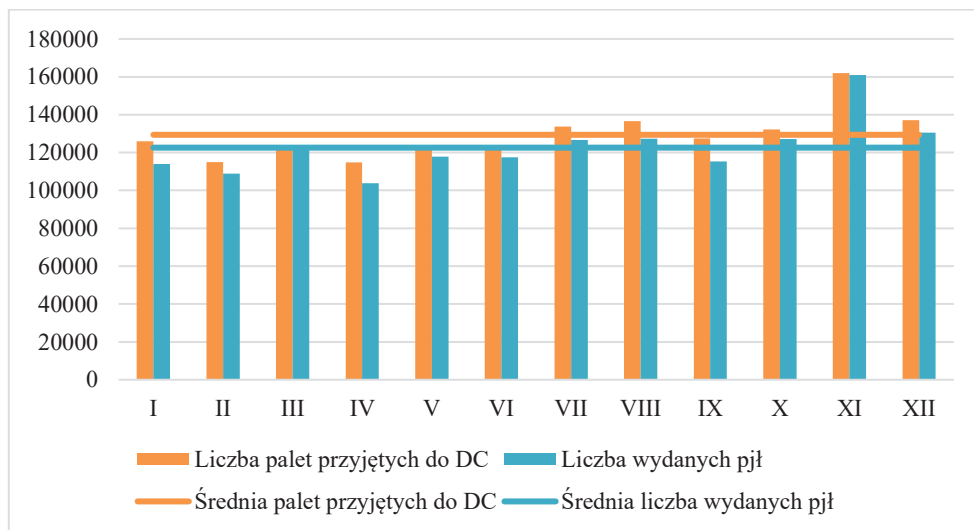
Na rysunku 1 przedstawiono liczbę przyjętych i wydanych w analizowanym okresie paletowych jednostek ładunkowych (PJŁ) z centrum dystrybucji do sklepów w poszczególnych miesiącach 2020 roku.

¹³ Szkoda M.: Realizacja procesów logistyki dystrybucji z zastosowaniem systemu SAP ERP, Logistyka nr 5, 2013.

¹⁴ Miłaszewska B., Wengel M.: Wskaźnikowa ocena funkcjonowania logistyki dystrybucji. Logistyka nr 6, 2015.

¹⁵ Twaróg J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 58-61, 2005.

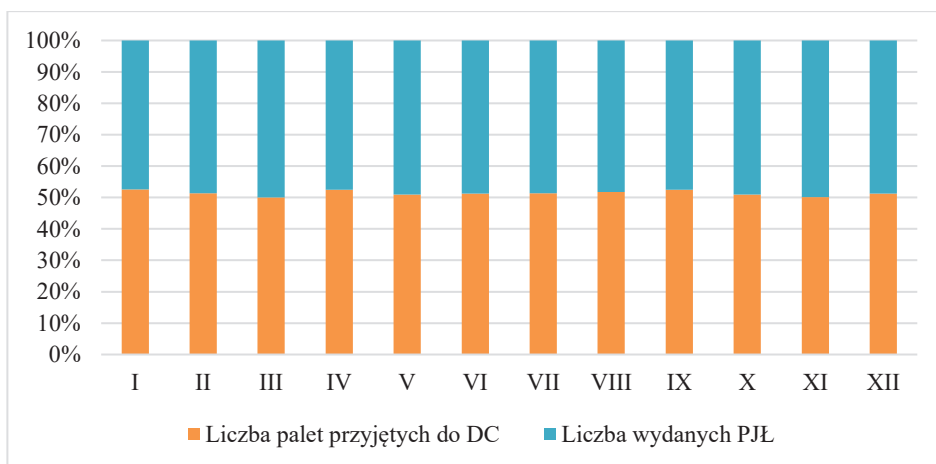
¹⁶ Mroczko F.: Logistyka. WWSZiP, Wałbrzych, 24, 2016.



Rys. 1. Liczba przyjętych i wydanych PJŁ z centrum dystrybucji w roku 2020

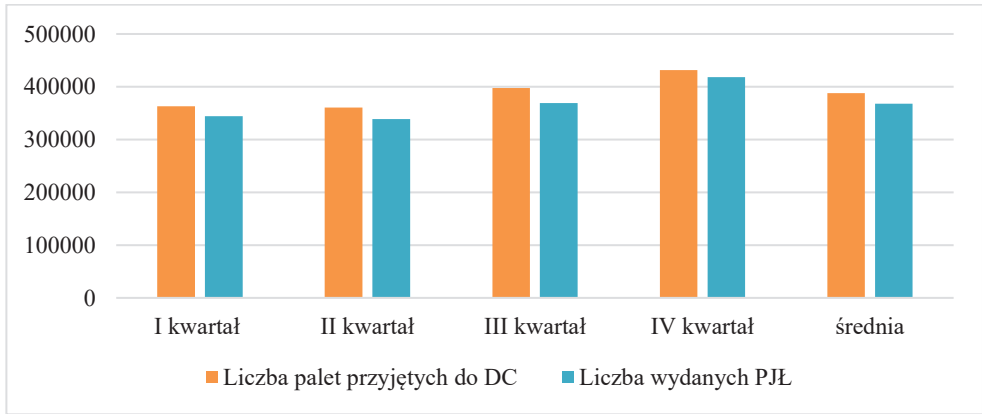
Z danych na rysunku wynika, że najwięcej jednostek przyjętych oraz wydanych z centrum dystrybucji (DC) było w listopadzie, a najmniej w kwietniu. Wysoki poziom przyjętych oraz wydanych PJŁ w listopadzie świadczy o dużych oraz częstych zamówieniach towaru przez sklepy, które w tym okresie przygotowują się do zwiększonej sprzedaży poprzez zbliżające się święta.

Następnie przedstawiono procentowy udział liczby PJŁ przyjętych i wydanych z centrum dystrybucji na przestrzeni całego roku. Jak można zauważyć, w miesiącach styczeń, kwiecień oraz listopad, występował nieco większy stosunek przyjętych jednostek do wydanych.



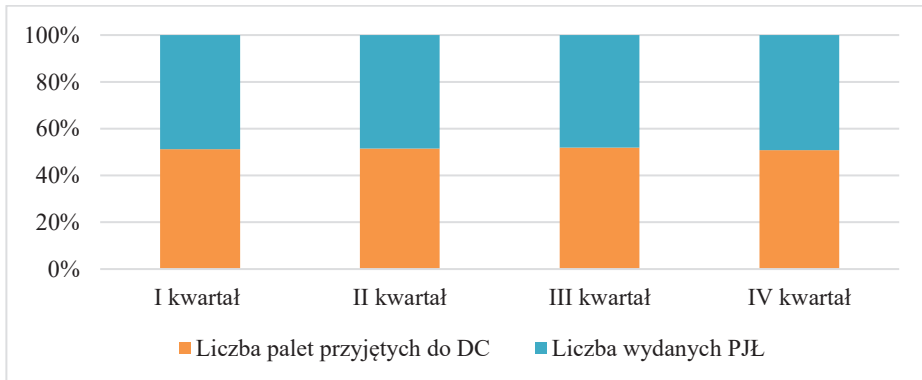
Rys. 2. Procentowy udział liczby palet przyjętych i wydanych z DC

Na rysunku 3 przedstawiono liczbę przyjętych oraz wydanych z centrum dystrybucji PJŁ w ujęciu kwartalnym. W IV kwartale roku 2020 rok odnotowano największą liczbę przyjęć oraz wydań w porównaniu do poprzednich kwartałów. Średnio w ciągu roku przyjęto 388 141 PJŁ, a wydano 367771 PJŁ, tj. o 5,24% mniej.



Rys. 3. Liczba PJŁ przyjętych do centrum dystrybucji oraz wysłanych z centrum dystrybucji do sklepów w poszczególnych kwartałach 2020

Rysunek 4 przedstawia procentowy udział PJŁ przyjętych raz wysłanych z centrum dystrybucji w poszczególnych kwartałach.



Rys. 4. Procentowy udział palet przyjętych do centrum dystrybucji oraz wysłanych z centrum dystrybucji do sklepów w poszczególnych kwartałach 2020

Stwierdzono, że w kwartale I, II oraz III stosunek wydanych PJŁ do przyjętych wynosił powyżej 50%. Nieco niższy odnotowano dla IV kwartału.

W tabeli 1 i 2 przedstawiono liczbę PJŁ przyjętych oraz wysłanych z centrum dystrybucji do sklepów w I kwartale 2020 i 2021 roku. W obu tabelach została przedstawiona również średnia liczba palet przyjętych oraz wysłanych.

Tabela 1. Liczba palet przyjętych i wysłanych z DC w I kwartale 2020

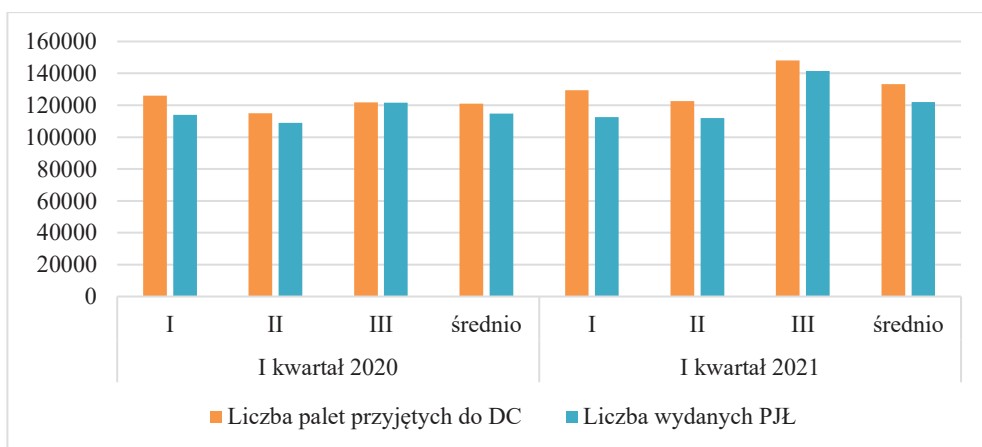
Miesiąc	I kwartał 2020			Średnio
	I	II	III	
Liczba przyjętych PJŁ	125985	114967	121811	120921
Liczba wydanych PJŁ	113862	108872	121660	114798

Tabela 2. Liczba palet przyjętych i wysłanych z DC w I kwartale 2021

Miesiąc	I kwartał 2021			średnio
	I	II	III	
Liczba przyjętych PJŁ	129370	122523	148022	133305
Liczba wydanych PJŁ	112506	111943	141375	121941

Z powyższych danych w tabelach wynika, że w I kwartale 2021 roku średnia liczba PJŁ przyjętych do centrum oraz wysłanych do sklepów zwiększyła się w porównaniu do I kwartału 2020. W przypadku przyjęcia jednostek, liczba ta zwiększyła się o 10,2%, a w przypadku wydań 6,2%.

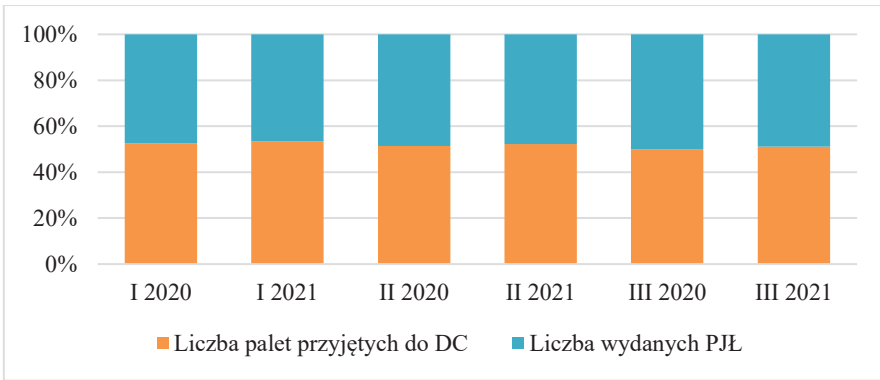
Na rysunku 5 przedstawiono porównanie liczby PJŁ przyjętych do centrum dystrybucji oraz liczbę palet wysłanych z centrum do sklepów w I kwartale 2020 i 2021.



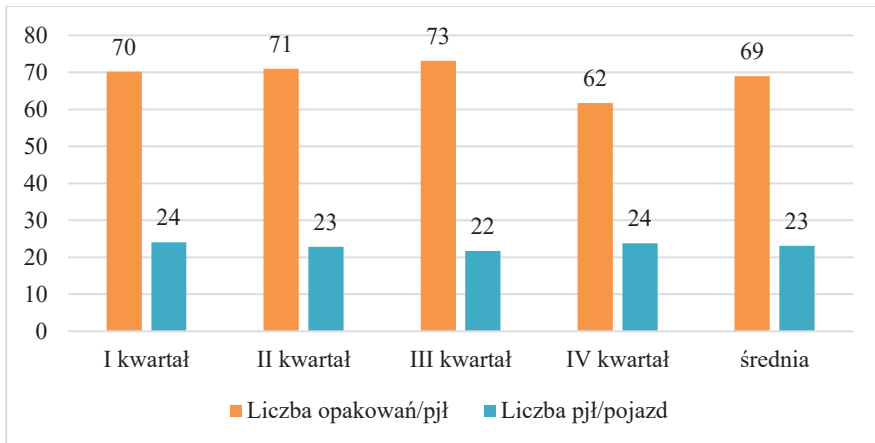
Rys. 5. Liczba palet przyjętych do centrum dystrybucji oraz wysłanych z centrum dystrybucji do sklepów w I kwartale 2020 oraz 2021

Jak można zauważyć największa liczba przyjętych oraz wydanych PJŁ była w III miesiącu 2021 roku w porównaniu do poprzednich miesięcy. Średnio w I kwartale 2021 roku przyjęto 133 305 PJŁ, a wydano 121 941 PJŁ tj. o 12384 PJŁ więcej przyjętych oraz 7143 PJŁ więcej wydanych niż w poprzednim kwartale.

Następnie przedstawiono procentowy udział PJŁ przyjętych do centrum dystrybucji oraz wysłanych jednostek do sklepów w I kwartale 2020 i 2021 (rys. 6). Wynika z niego, że stosunek wydanych PJŁ do przyjętych przez DC w styczniu 2020 roku jest taki sam jak w styczniu 2021 (53%), natomiast w II oraz III miesiącu 2021 stosunek ten jest wyższy o 1 punkt procentowy w porównaniu do 2020 roku.



Rys. 6. Procentowy udział palet przyjętych do centrum dystrybucji oraz wysłanych z centrum dystrybucji do sklepów w I kwartale 2020 oraz 2021



Rys. 7. Średnia liczba opakowań na paletową jednostkę ładunkową oraz średnia ładowność pojazdu

Z kolei na rysunku 7 przedstawiono średnią liczbę opakowań na PJŁ oraz średnią liczbę PJŁ na środku transportowym w roku 2020 – w ujęciu kwartalnym. Średnio na jednej jednostce ładunkowej znajdowało się 69 opakowań zbiorczych z towarem, a na jeden pojazd ładowano średnio 23 PJŁ.

Biorąc pod uwagę poszczególne kwartały, zauważono, że najwięcej opakowań na jednostce ładunkowej występowało w III kwartale roku, a najmniej w kwartale IV. Odmienną sytuację można zauważyć w przypadku liczby PJŁ przypadających na 1 pojazd. Najwięcej PJŁ było ładowanych w kwartale I i IV – 24 PJŁ, a najmniej w kwartale III – 22 PJŁ.

Następnym aspektem była ocena organizacji i jakości dostaw. Do oceny organizacji i jakości dostaw wykorzystano wskaźniki: reklamacji, zwrotów, opóźnionych dostaw, gotowości dostaw, wadliwych jednostek paletowych oraz wskaźnik przeciętego czasu realizacji zamówienia.

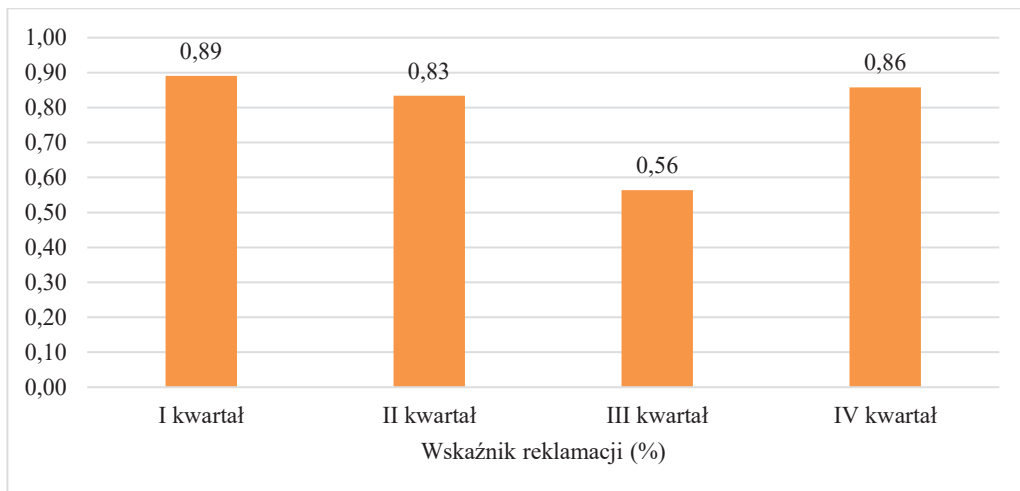
Tabela 3. Wskaźnik reklamacji dostaw dla poszczególnych miesięcy w roku 2020

Miesiąc	Liczba reklamacji (szt.)	Liczba dostarczonych opakowań (szt.)	Wskaźnik reklamacji (%)
I	44344	7841185	0,6
II	60230	7675801	0,8
III	114418	8659263	1,3
IV	95345	7536781	1,3
V	53683	8000303	0,7
VI	48026	8493887	0,6
VII	52194	9142089	0,6
VIII	81165	9156310	0,9
IX	20299	8662527	0,2
X	61094	8434181	0,7
XI	112877	8344905	1,4
XII	43250	8738894	0,5
Średnio	65577	8390511	0,8

Z danych w tabeli wynika, że najwyższy wskaźnik reklamacji występował w listopadzie (1,4%), a najniższy we wrześniu (0,2%). Średnio w ciągu całego roku wskaźnik reklamacji wynosił 0,8%, co należy uznać za wynik bardzo dobry. Świadczy to o wysokim poziomie obsługi klienta oraz dobrze wykonanej pracy przez pracowników, którzy kompletują zamówienia oraz zabezpieczają towar przed wysyłką. Dostarczane produkty przygotowywane są z odpowiednią starannością, a pracownicy załadunku dokładnie wykonują swoją pracę, dzięki otrzymanym wytycznym.

Powodem reklamacji towarów w centrum dystrybucji jest między innymi źle ułożona paleta na samochodzie, nieprawidłowo zapakowany towar, brak taśm zabezpieczających lub nieprawidłowe zabezpieczenie palety folią.

Na rysunku 8 przedstawiono wskaźnik reklamacji w ujęciu kwartalnym dla analizowanego roku. Jak można zauważyć, najwyższy wskaźnik reklamacji występował w I kwartale roku (0,89%), a najniższy w kwartale III – 0,56%.



Rys. 8. Wskaźnik reklamacji (%)

Analizując wskaźnik reklamacji należy również przeanalizować wskaźnik zwrotów. W tabeli 4 przedstawiono wskaźniki zwrotów dla poszczególnych miesięcy w 2020 roku. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że najwyższy wskaźnik zwrotów wystąpił w listopadzie (13%), a najniższy w grudniu (9,5%). Natomiast wskaźnik zwrotów dla całego roku wynosił średnio 10,3%.

Tabela 4. Wskaźnik zwrotów (%)

Miesiąc	Liczba zwróconych opakowań (szt.)	Liczba dostarczonych opakowań (szt.)	Wskaźnik zwrotów (%)
I	824562	7841186	10,5
II	740411	7675801	9,6
III	837849	8659263	9,7
IV	749205	7536781	9,9
V	786386	8000303	9,8
VI	855909	8493888	10,1
VII	881158	9142089	9,6
VIII	985723	9156310	10,8
IX	871430	8662527	10,1
X	935752	8434181	11,1
XI	1082539	8344906	13,0
XII	832129	8738894	9,5
Średnio	865254	8390511	10,3

Głównym powodem zwrotu towarów jest między innymi zmiądzony towar, który został źle zapakowany do transportu i nie nadawał się do wystawiania na hali sklepu. Zdarza się również, że towar, który został dostarczony do sklepów posiadał krótką datę ważności, która nie została sprawdzona przed załadunkiem w DC. Wskaźnik zwrotów rósł z 9,95% w I kwartale do 11,2% w kwartale IV. W ostatnim kwartale liczba zwrotów była najwyższa, ponieważ liczba wydanych PJŁ była stosunkowo wysoka, z uwagi na miesiąc listopad i grudzień, gdzie sklepy składały większą liczbę zamówień w porównaniu do innych kwartałów.

Kolejnym krokiem było przedstawienie opóźnionych dostaw co ujęto w tabeli 5 (procentowy udział opóźnionych dostaw w ujęciu miesięcznym). Najniższy wskaźnik opóźnionych dostaw występował w kwietniu i maju (1%), a najwyższy w grudniu (5%). Średnio w ciągu całego roku wskaźnik opóźnionych dostaw wynosił 2,5%, co należy uznać za wynik bardzo dobry.

Tabela 5. Udział opóźnionych dostaw (%)

Miesiące	Liczba opóźnionych dostaw (PJŁ)	Łączna liczba dostaw (PJŁ)	Udział opóźnionych dostaw (%)
I	4554	113862	4,0
II	1089	108872	1,0
III	2433	121660	2,0
IV	1037	103742	1,0
V	1178	117819	1,0
VI	2350	117496	2,0
VII	2532	126613	2,0
VIII	3818	127260	3,0
IX	3459	115294	3,0
X	3814	127126	3,0
XI	4826	160879	3,0
XII	6523	130462	5,0
Średnio	3135	122590	2,5

Tabela 6 przedstawia wskaźnik gotowości dostaw, dla poszczególnych miesięcy 2020. Należy zauważyć, że w każdym miesiącu wskaźnik wynosił powyżej 99%. W maju oraz czerwcu wskaźnik ten wynosił 99,9%, co oznacza, że gotowość dostaw była na bardzo wysokim poziomie. Średnio w ciągu roku wskaźnik gotowości dostaw odnotowano na poziomie 99,6%.

Należy zauważyć, że w I kwartale wskaźnik gotowości dostaw wynosił 99,35%, w kolejnym kwartale wzrósł do 99,85% i był on najwyższy w analizowanym roku, natomiast w kolejnych dwóch kwartałach wskaźnik ten zmalał, w III kwartale o 0,21, a w IV o 0,29 punktów procentowych.

Następnie w tabeli 7 przedstawiono przeciętny czas realizacji zamówienia. Dane przedstawiono dla wybranego miesiąca w roku 2020. Do obliczeń wykorzystano średni czas dostawy zamówienia, który wynosił 10 godzin 22 minuty i 23 sekundy.

Tabela 6. Gotowość dostaw (%)

Miesiące	Liczba zamówień zrealizowanych (szt.)	Liczba zamówień otrzymanych (szt.)	Gotowość dostaw (%)
I	7841185	7911600	99,1
II	7675801	7697642	99,7
III	8659263	8727050	99,2
IV	7536781	7556255	99,7
V	8000303	8011734	99,9
VI	8493887	8498276	99,9
VII	9142089	9170165	99,7
VIII	9156310	9193771	99,6
IX	8662526	8693200	99,6
X	8434181	8474883	99,5
XI	8344905	8385008	99,5
XII	8738894	8771580	99,6
Średnio	8390511	8424264	99,6

Tabela 7. Przeciętny czas realizacji zamówienia (min)

Dzień	Liczba załadowanych samochodów w ciągu dnia (szt.)	Przeciętny czas realizacji zamówienia (min.)
01.sty	177	84
02.sty	178	83
03.sty	179	83
04.sty	69	216
05.sty	177	84
06.sty	174	85
07.sty	175	85
08.sty	178	83
09.sty	174	85
10.sty	176	84
11.sty	70	213
12.sty	158	94
13.sty	175	85
14.sty	174	85
15.sty	173	86
16.sty	175	85
17.sty	179	83
18.sty	60	248

Dzień	Liczba załadowanych samochodów w ciągu dnia (szt.)	Przeciętny czas realizacji zamówienia (min.)
19.sty	181	82
20.sty	176	84
21.sty	175	85
22.sty	171	87
23.sty	175	85
24.sty	172	86
25.sty	68	219
26.sty	148	100
27.sty	186	80
28.sty	176	84
29.sty	174	85
30.sty	175	85
31.sty	174	85
Średnio	160	103

Z danych w tabeli wynika, że średni czas realizacji zamówienia w styczniu 2020 roku wynosił 103 minuty. Przeciętny czas realizacji zamówienia zależy od liczby pracowników. Z tabeli można zauważyć, że 5. stycznia, 11. stycznia, 18. stycznia oraz 25. stycznia czas wynosił powyżej 200 minut, ponieważ nie są to dni robocze, a soboty. W te dni pracuje tylko jedna zmiana, stąd też czas kompletacji jest wydłużony.

Kolejnym etapem analizy była ocena efektywności realizowanych dostaw.

Działania logistyczne mogą przynieść oczekiwany wynik efektywnościowy, jeżeli będą celowo zorganizowane, spójne i zintegrowane w określonym układzie gospodarczym. Połączenie konkretnych segmentów określonej struktury gospodarczej, z wykorzystaniem relacji zachodzących pomiędzy tymi segmentami, to systemowe widzenie logistyki skierowane na optymalizację łańcucha logistycznego oraz osiągnięcie wysokiej efektywności działań całego układu gospodarczego¹⁷.

Do oceny efektywności realizowanych dostaw wykorzystano wskaźniki terminowości dostaw, sprawności kompletacji, wydajności kompletacji oraz wydajności dostaw.

Najwyższy wskaźnik terminowości odnotowano w lutym, kwietniu oraz maju (99%), a najniższy w grudniu (95%). Średnio w ciągu roku wskaźnik terminowości dostaw wynosił 97,50%, co jest wynikiem bardzo dobrym. Powodem najniższego wskaźnika terminowości dostaw w grudniu było dużo zamówień złożonych przez sklepy przez nadchodzące święta oraz trudne warunki drogowe, przez co kierowcy nie dojeżdżali do klientów na czas. Należy zauważyć, że w I kwartale wskaźnik był na poziomie 97,67%, w II kwartale wzrósł o 1 punkt procentowy, następnie w kolejnych kwartałach spadł i wynosił on 97,33% dla III kwartału oraz 96,33% dla IV kwartału.

¹⁷ Mroczko F.: Logistyka. WWSZiP, Wałbrzych, 2016.

Tabela 8. Terminowość dostaw (%)

Miesiąc	Liczba dostaw terminowych (PJŁ)	Liczba dostaw ogółem (PJŁ)	Terminowość dostaw (%)
I	109308	113862	96,00
II	107783	108872	99,00
III	119227	121660	98,00
IV	102705	103742	99,00
V	116641	117819	99,00
VI	115146	117496	98,00
VII	124081	126613	98,00
VIII	123442	127260	97,00
IX	111835	115294	97,00
X	123312	127126	97,00
XI	156053	160879	97,00
XII	123939	130462	95,00
Średnio	119456	122590	97,50

W tabeli 9 przedstawiono wskaźnik sprawności kompletacji. Jak można zauważyć, najwyższy wskaźnik sprawności kompletacji odnotowano w styczniu – 0,24 h/PJŁ, a najniższy w listopadzie – 0,15 h/PJŁ.

Tabela 9. Sprawność kompletacji (h/PJŁ)

Miesiąc	Czas kompletacji (h)	Liczba dostaw ogółem (PJŁ)	Sprawność kompletacji (h/PJŁ)
I	26948,91	113862	0,24
II	25183,10	108872	0,23
III	26120,77	121660	0,21
IV	22525,15	103742	0,22
V	21527,17	117819	0,18
VI	21124,82	117496	0,18
VII	22078,99	126613	0,17
VIII	22703,32	127260	0,18
IX	22307,86	115294	0,19
X	24545,55	127126	0,19
XI	24015,76	160879	0,15
XII	24436,96	130462	0,19
Średnio	23626,53	122590,42	0,19

Średnia sprawność kompletacji dla całego roku wynosiła 0,19 h/PJŁ, co oznacza, że pracownicy w strefie kompletacji w ciągu tego czasu są w stanie przygotować jedną paletę towaru, która następnie kierowana jest do działu spedycji. Należy zauważyć, że wskaźnik sprawności kompletacji malał od 0,23 h/PJŁ w I kwartale do 0,18 h/PJŁ w IV kwartale. W III oraz IV kwartale wskaźnik odnotowano na tym samym poziomie – 0,18 h/PJŁ.

Tabela 10 przedstawia wskaźnik wydajności kompletacji dla poszczególnych miesięcy rok 2020. Jak można zauważyć, najwyższy wskaźnik kompletacji występował w lipcu (414,06 szt./h), a najniższy w styczniu – 290,96 szt./h. Średnio w ciągu roku, w ciągu jednej godziny kompletowano 357,5 szt. PJŁ.

Tabela 10. Wydajność kompletacji (szt./h)

Miesiąc	Liczba dostarczonych opakowań (szt.)	Czas kompletacji (h)	Wydajność kompletacji (szt./h)
I	7841185	26949	291
II	7675801	25183	305
III	8659263	26121	331
IV	7536781	22525	334
V	8000303	21527	371
VI	8493887	21125	402
VII	9142089	22079	414
VIII	9156310	22703	403
IX	8662527	22308	388
X	8434181	24545	343
XI	8344905	24016	347
XII	8738894	24437	357
Średnio	8390511	23627	358

Tabela 11. Wydajność dostaw (PJŁ/h)

Miesiąc	Liczba dostarczonych palet (PJŁ)	Czas realizacji zamówienia (h)	Wydajność dostaw (PJŁ/h)
I	113862	51575	2,21
II	108872	44706	2,44
III	121660	48938	2,49
IV	103742	46751	2,22
V	117819	49901	2,36
VI	117496	51650	2,27
VII	126613	56653	2,23
VIII	127260	59500	2,14
IX	115294	56250	2,05
X	127126	60111	2,11
XI	160879	57933	2,78
XII	130462	63951	2,04
Średnio	122590	53994	2,28

Tabela 11 przedstawia wydajność dostaw na jednostkę czasu jaką jest godzina. Z danych w tabeli wynika, najwyższy wskaźnik wydajności dostaw odnotowano w listopadzie – 2,78 PJŁ/h, a najniższy w grudniu – 2,04 PJŁ/h. Średnio w ciągu roku wydajność dostaw wynosiła 2,28 PJŁ/h.

Należy zauważyć, że wskaźnik wydajności dostaw rósł od 2,38 PJŁ/h w I kwartale do 2,29 PJŁ/h w II kwartale, następnie zmalał w III kwartale (2,10 PJŁ/h), by ponownie wzrosnąć w IV kwartale do poziomu 2,37 PJŁ/h.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy w wybranym centrum dystrybucji stwierdzono, że logistyka odgrywa istotną rolę w funkcjonowaniu przedsiębiorstwa. Dzięki niej proces dystrybucji jest odpowiednio planowany jak również realizowany zgodnie z wymaganiami klientów oraz kontrolowany, przez co organizacja i jakość dostaw jest na wysokim poziomie.

Wielkość i struktura wykonywanych dostaw jest realizowana na wysokim poziomie, co potwierdziła ocena jakościowa realizowanych zleceń. Niski wskaźnik reklamacji, zwrotów oraz wadliwych dostaw świadczą o solidnie wykonywanej pracy przez pracowników zarówno przy kompletacji, jak też załadunku towarów. Wysoki poziom gotowości dostaw wskazuje, że duża część zamówień została realizowana w krótkim czasie.

Efektywność realizowanych dostaw w analizowanym przedsiębiorstwie realizowana jest na wysokim poziomie, co potwierdza wysoki wskaźnik terminowości dostaw.

W celu podniesienia poziomu obsługi klienta, poprzez skrócenie czasu realizacji zamówień, należałoby wprowadzić drugą zmianę pracowników w soboty, ponieważ aktualnie w te dni pracuje tylko jedna zmiana. Zwiększenie liczby pracowników spowoduje zwiększenie wydajności kompletowanych zamówień a tym samym zwiększy się liczba załadowanych samochodów.

Bibliografia

- Brytek N., Diesok G.: Funkcjonowanie systemów logistycznych w opinii pracowników przedsiębiorstw, *Engineer XXI*, vol.4, 2021.
- Gajewska T, Filina-Dawidowicz L.: Analiza łańcucha dostaw na przykładzie centrum logistycznego, *Eksploatacja* 12, 2015.
- Kispierska-Moroń D., Krzyżaniak S.: *Logistyka*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 176-296, 2009.
- Klepacki B., Wicik L.: *Systemy logistyczne w funkcjonowaniu przedsiębiorstw przetwórstwa rolno-spożywczego.*, SGGW, Warszawa, 2014.
- Kolasińska-Morawska K.: *Zarządzanie logistyczne*, Tom XV, część III, Wydawnictwo Społecznej Akademii Nauk, Łódź, 11-15, 2014.
- Kramarz M.: *Elementy logistyczne obsługi klienta w sieciach dystrybucji. Pomiar, ocena, strategie*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2014.
- Krystek J.: *Analiza procesu magazynowania w magazynie wysokiego składowania*, Zakład Inżynierii Systemów, Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej, 617-618, 2011.
- Kucharczyk R.: *Centra logistyczne – istota, zadania, funkcje*, *Logistyka* nr 3, Warszawa, 2014.
- Kuklinowska I.: *Logistyka dystrybucji na przykładzie sieci handlowej Tesco*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, Gliwice, 253, 2018.
- Miłaszewska B., Wengel M.: *Wskaźnikowa ocena funkcjonowania logistyki dystrybucji*. *Logistyka* nr 6, Warszawa, 2015.
- Mroczo F.: *Logistyka*. WWSZiP, Wałbrzych, , s. 24, 2016.

Rutkowski K.: Logistyka dystrybucji. Difin, Warszawa, 99-100, 2005.

Skowron-Grabowska B.: Centra logistyczne w łańcuchach dostaw. PWE, Warszawa, 2011.

Szkoda M.: Realizacja procesów logistyki dystrybucji z zastosowaniem systemu SAP ERP, Logistyka nr 5, Warszawa, 2013.

Śliżewska J., Zadrożna D.: Organizowanie i monitorowanie dystrybucji, Podręcznik do nauki zawodu Technik logistyk, WSIP, Warszawa, 12-13, 2014.

Twaróg J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 58-61, 2005.

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

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

ORCID: Maciej Kuboń 0000-0003-4847-8743

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

ORCID: Katarzyna Grotkiewicz 0000-0001-8564-0928

ORCID: Ireneusz Kaczmar 0000-0002-5394-1168

ORCID: Natalia Matłok 0000-0003-3658-7176

EFEKTYWNOŚĆ PROCESÓW TRANSPORTOWYCH

Katarzyna Zachwieja¹, Dariusz Kwaśniewski², Maciej Kuboń^{2,3},
Urszula Malaga-Toboła², Elżbieta Olech², Ireneusz Kaczmar³

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, Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

Wstęp

Podstawową usługą na rynku usług logistycznych, nadal pozostaje usługa transportowa. Wysoka jakość organizacji tych usług przejawia się w elastyczności działań, reakcji na potrzeby konsumentów czy dostosowaniu strategii firmy do warunków obecnie panujących na rynku. Co więcej firma powinna być jednostką, która się nieustannie uczy, wyciąga wnioski i jest otwarta na zmiany, jakie zachodzą w konkurencyjnym otoczeniu¹. Działania takie niewątpliwie niosą ze sobą same korzyści dla podmiotów gospodarczych, jednak intuicyjne stwierdzenie rozwoju jest niewystarczające. Aby w jednoznaczny sposób określić, że firma zdobywa coraz wyższą pozycję na rynku, a obrana strategia działań jest właściwa potrzebne jest przeprowadzanie badań, a następnie analiz efektywności poszczególnych procesów zachodzących w firmie. Firmy transportowe mają zasadniczy wpływ na funkcjonowanie logistycznego łańcucha dostaw. Można zatem stwierdzić, że realizowane przez te firmy procesy transportowe w dużym stopniu wywierają wpływ na efektywne bądź nieefektywne działanie poszczególnych ogniw łańcucha dostaw, ale również całego łańcucha. Nie da się ukryć, że kategoria efektywności należy do grupy zagadnień, które w obszarze nauk ekonomicznych są jednymi z najczęściej przytaczanych i wykorzystywanych do opisu procesów gospodarowania przez podmioty funkcjonujące w gospodarce rynkowej².

¹ Gaschi-Uciecha A.: Analiza i ocena procesu transportowego w wybranym przedsiębiorstwie sektora TSL. Z.121. Politechnika Śląska. Wydział Organizacji i Zarządzania Instytut Zarządzania i Administracji. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, 2018.

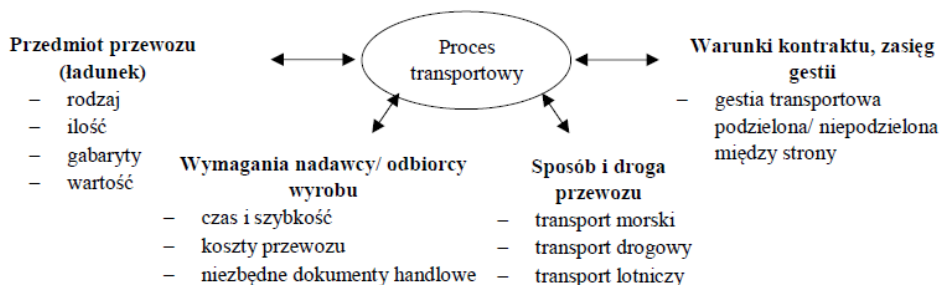
² Matwiejczuk R.: Efektywność – próba interpretacji. Przegląd Organizacji, 11, 2000.

Z powyższych stwierdzeń wynika, że tylko kontrola zapewnia prawidłowe funkcjonowanie podmiotu oraz osiągnięcie ponadprzeciętnych rezultatów³. Dlatego tak ważne jest prowadzenie badań i ocena efektywności uwidaczniająca mocne elementy realizowanych procesów, a także te stanowiące wąskie gardła, gdyż nie tyle ważna jest informacja o przeszłości dostarczana przez kontrolę wewnętrzną, ale identyfikacja, szacowanie i zarządzanie ryzykiem, co oznacza właściwe zarządzanie zdarzeniami przyszłymi⁴.

Jak wspomniano na początku usługa transportowa wciąż jest kluczową usługą na rynku usług logistycznych, zatem wraz z rozwojem sektora TSL bardzo ważnego znaczenia nabiera konieczność przeprowadzania oceny efektywności procesu transportowego.

Proces transportowy a pojęcie i ocena efektywności

Proces transportowy to szereg związanych ze sobą operacji wykonywanych kolejno w ustalonym porządku w celu dostarczenia klientowi określonej wartości dodanej. Realizowany jest począwszy od koncepcyjnego przygotowania, poprzez dopełnienie czynności formalno-prawnych i analizę kosztów, kończąc na odpowiednim uformowaniu ładunku i fizycznym przemieszczeniu do odbiorcy, na określonej trasie i w określonym czasie. Na tym etapie klient w pełni może cieszyć się dostarczonym towarem, przedsiębiorstwo natomiast powinno przeprowadzić całościową ocenę przebiegu zrealizowanego procesu. Pozwala to uzyskać konkretne informacje o świadczonych usługach, wygenerować poziom wskaźników niezbędnych do oceny efektywności, a przyszłościowo uniknąć ewentualnych pomyłek. Czynniki mające wpływ na przebieg procesu transportowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Czynniki warunkujące przebieg procesu transportowego

Źródło: opracowanie własne na podstawie⁵

³ Witzak I.: Efektywność jako narzędzie kontroli zarządczej na przykładzie firm branży kosmetycznej. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Nr 864 „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia”, 76, t. 2, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin, 349-358, 2015.

⁴ Kuc B.: Kontrola jako funkcja zarządzania. Difin, Warszawa, 2009.

⁵ Odlanicka-Poczobutt M., Kulińska E.: Determinanty procesów planowania transportu wyrobów piwowskich – studium przypadku. Logistyka 6, 808-817, 2015.

Efektywność często jest definiowana wyłącznie jako relacja efektów do nakładów. Dowodem może być następujące stwierdzenie: efektywność – ocenia się ją na podstawie stosunku osiągniętych wyników do nieodzownych nakładów, poniesionych w celu uzyskania tych wyników⁶.

Z biegiem lat rozbudowano interpretację kategorii efektywności. Definiowana jest ona za pomocą takich określeń, jak: sprawność działania, pozytywny wynik, rentowność, produktywność, wydajność, skuteczność, celowość, racjonalność, ekonomiczność czy użyteczność. Efektywność dotyczy relacji między efektami, celami, nakładami i kosztami w ujęciu strukturalnym i dynamicznym. Uważa się ją za klucz do wzrostu konkurencyjności poprzez wpływanie na realizację strategii i celów firmy, jest także istotnym narzędziem pomiaru skuteczności zarządzania⁷. Po upływie kolejnych kilku lat stwierdzono, że wielowymiarowość tego pojęcia jest związana z jego interdyscyplinarnym charakterem⁸. Niewątpliwie pojęcie efektywności przedsiębiorstwa można rozpatrywać w dwóch aspektach: organizacyjnym oraz ekonomicznym, jednak powyższe rozważania potwierdzają, że pojęcie efektywności zależy od podejścia i interpretacji, co przedstawiono w tabeli 1.

Mając na uwadze powyższe rozważania ważnego znaczenia nabiera konieczność przeprowadzania analizy oraz oceny procesu transportowego. Dokonuje się oceny wykorzystując podejście wskaźnikowe, parametryczne i nieparametryczne, a także różne metody, techniki oraz narzędzia badawcze takie jak: Strategiczna Karta Wyników, diagram przyczynowo – skutkowy, QFD, mapowanie procesu oraz wiele innych.

Według Rutkowskiej⁹ powszechnie stosowane metody pomiaru efektywności opierają się na podejściu wskaźnikowym, parametrycznym i nieparametrycznym.

Ujęcie wskaźnikowe sprowadza się do konstruowania relacji pomiędzy różnymi wielkościami. Ważne jest jednak odpowiednie oszacowanie tych wielkości i prawidłowa interpretacja. Wybór wskaźników podyktowany jest celem analizy. Proponowane są rozwiązania takie jak: systemy wielu wskaźników, ograniczenie się do analizy tylko kilku najważniejszych wskaźników lub tworzenie miar syntetycznych. Wskaźnikowa analiza ekonomiczna dysponuje dużą liczbą wskaźników, które najczęściej ujmowane są w następujące grupy: wskaźniki rentowności, wskaźniki płynności finansowej i wypłacalności, wskaźniki sprawności działania, wskaźniki zadłużenia i zdolności do obsługi długu, wskaźniki rynkowe.

Metody parametryczne stosowane są w przypadku modeli o ściśle określonej strukturze, którą należy zidentyfikować. Wymagają one przyjęcia założeń dotyczących postaci funkcji produkcji, określającej relacje między nakładami, a wynikami. W praktyce często jednak nie można zaobserwować wszystkich możliwych kombinacji nakładów i wyników, trudno zatem sprecyzować matematyczną postać funkcji produkcji dla danego podmiotu gospodarczego.

⁶ Pasieczny L., Więckowski J.: *Ekonomika i analiza działalności przedsiębiorstwa*. PWE, Warszawa, 1987.

⁷ Skrzypek E.: *Efektywność ekonomiczna jako ważny czynnik sukcesu organizacji. Efektywność – konceptualizacja i uwarunkowania*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Wrocław, 2012.

⁸ Witczak I.: *Efektywność jako narzędzie kontroli zarządczej na przykładzie firm branży kosmetycznej*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 864 „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia” 76, t. 2, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin, 349-358, 2015.

⁹ Rutkowska A.: *Teoretyczne aspekty efektywności - pojęcie i metody pomiaru*. Zarządzanie i Finanse, 11, nr 1, cz. 4, 439-453, 2013.

Tabela 1. Wybrane definicje efektywności

Podejście do zagadnienia	Rok	Definicja
Skuteczność jako warunek/element osiągnięcia efektywności	1998	Efektywność jest to użytkowanie zasobów gospodarczych w sposób najbardziej skuteczny.
	2008	W wąskim znaczeniu utożsamia efektywność z prakseologiczną kategorią ekonomiczności, natomiast w znaczeniu szerokim komponentami efektywności są: skuteczność, korzystność i ekonomiczność.
Efektywność jako kryterium oceny skuteczności	1997	Efektywność to miara sprawności i skuteczności, miara tego, w jakim stopniu osiąga się wyznaczone cele.
	2009	Efektywność odnosi się do stopnia osiągnięcia założonych celów przy minimalnych kosztach lub maksymalizacji stopnia osiągnięcia celu przy założonych kosztach.
Skuteczność i efektywność jako kategorie niezależne	2005	Praca skuteczna może być nieefektywna, jak również praca wydajna nie musi być efektywna.
	2008	Efektywność to „robienie rzeczy właściwie”, natomiast skuteczność to „robienie rzeczy właściwych”, działania skuteczne niekoniecznie muszą być efektywne i odwrotnie.
Efektywność= produktywność/wydajność	2007	Najbliższym synonimem pojęcia efektywności jest produktywność, tzw. ogólna, rozumiana jako stosunek łącznych wyników działalności gospodarczej do ogółu zużytych zasobów.
	2008	Efektywność w sensie ekonomicznym jest relacją wartości uzyskanych efektów do nakładu czynników użytych do ich uzyskania.
Efektywność rozumiana jako alokacja zasobów w sensie Pareto	1999	Efektywność oznacza, iż nie ma marnotrawstwa, gospodarka funkcjonuje efektywnie wtedy, kiedy nie może zwiększyć produkcji jednego dobra, nie zmniejszając produkcji drugiego.
	2000	Efektywność to optymalna alokacja zasobów czynników produkcji, produktów i optymalnej dystrybucji dochodu.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie¹⁰

W ramach podejścia parametrycznego wyodrębnia się metodę SFA (*Stochastic Frontier Approach*), TFA (*Thick Frontier Approach*) oraz DFA (*Distribution Free Approach*). Oceny efektywności bazujące na wykorzystaniu tej funkcji mają często charakter fragmentaryczny, uwzględniający tylko część kategorii efektywności.

Ujęcie nieparametryczne cechuje większa elastyczność. Wykorzystuje się tutaj procedurę programowania liniowego, nie uwzględnia się natomiast wpływu czynnika losowego na efektywność obiektów oraz potencjalnych błędów pomiaru. W metodach tych, nie analizuje się także zależności pomiędzy nakładami, a efektami. Do podstawowych metod nieparametrycznych należy metoda DEA (*Data Envelopment Analysis*) oraz FDH (*Free Disposal Hull*).

¹⁰ Gerlach J., Gil M.: Efektywność przedsiębiorstwa w teorii ekonomii – która z definicji najlepiej oddaje istotę zagadnienia? Współczesne Problemy Ekonomiczne nr 2. Uniwersytet Szczeciński. Szczecin, 2018.

Kompleksowa analiza efektywności procesów transportowych w aspekcie ekonomicznym powinna umożliwiać analizę wszystkich czynników wpływających na realizację procesu transportowego. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu Strategicznej Karty Wyników obejmującej analizę z perspektywy finansowej, klienta, procesów wewnętrznych oraz rozwoju (tab. 2).

Tabela 2. Wskaźniki efektywności procesu transportowego w poszczególnych perspektywach

Wskaźniki ekonomicznej efektywności procesu transportowego w poszczególnych perspektywach				
Perspektywa	Finansowa	Klienta	Procesów wewnętrznych	Rozwoju
Nazwa wskaźnika	<ul style="list-style-type: none"> – reklamacje i zwroty – kosztochłonność floty trans. I – kosztochłonność floty trans. II – koszty trans. na tonokilometr 	<ul style="list-style-type: none"> – terminowość przewozów – uszkodzenia ładunku podczas transportu – reakcyjność dostawy – udział niekompletnych dostaw do klienta 	<ul style="list-style-type: none"> – obciążenie floty transportowej – wykorzystanie ładowności środków trans. – planowanie ładunku – transportochłonność 	<ul style="list-style-type: none"> – udział wadliwych dostaw – elastyczność dostaw – niezawodność transportu – udział uszkodzeń podczas transportu

Źródło: Opracowanie własne na podstawie¹¹

Wskaźniki perspektywy finansowej są uważane za najczęściej wykorzystywane podczas oceny efektywności procesu transportowego. Część wskaźników w perspektywie klienta jest bardzo często sprowadzana do jednego wskaźnika OTIF – *On Time, In Full* (Na Czas, W Całości). Wskazuje on na poziom obsługi klienta widziany oczami klienta. Procesy zachodzące na poziomie operacyjnym mają największy wkład w ocenę efektywności procesu transportowego dlatego zestawienie mierników w perspektywie procesu wewnętrznego daje najbardziej widoczne ujęcie ekonomiczne. Wskaźniki w perspektywie rozwoju są najbardziej pożądaną formą oceny, jednak najtrudniejszą do opracowania. Mogą być one sprzeczne nie tylko ze skutecznym zarządzaniem transportem, ale również z podstawowymi celami strategicznymi przedsiębiorstwa lub łańcucha dostaw¹¹.

Celem pracy była ocena efektywności procesów transportowych zachodzących w firmie transportowo-spedycyjnej z wykorzystaniem wybranych mierników i wskaźników, przyjętych na podstawie literatury przedmiotu.

Zakresem pracy objęto badania w firmie „STEFAR PHU SP. Z O.O. SP.K.”, która zajmuje się spedycją i transportem drogowym kontenerowym działając na zlecenie klientów zewnętrznych. W badaniach wykorzystano dane z lat 2018, 2019 oraz 2020.

„STEFAR PHU SP.Z O.O. SP.K.” to firma transportowo-spedycyjna, działająca na rynku od niemal 30 lat. Początkowo składała się z kilku osób, a siedzibą było biuro w domu prywatnym. Z biegiem czasu oraz nabywanym doświadczeniem poszerzono zakres działalności.

¹¹ Stajniak M., Koliński A.: Analiza efektywności procesów transportowych w łańcuchu dostaw. Logistyka 3, 2014.

Obecnie firma jest położona w miejscowości Czerniec, gmina Łącko, gdzie znajduje się główna siedziba. Należy do Zrzeszenia Międzynarodowych Przewoźników Drogowych w Polsce, posiada karnety TIR oraz wymagane ubezpieczenia OCP i OCS przewoźnika, a także Certyfikat Kompetencji Zawodowych i Licencje uprawniające do przewozów międzynarodowych. Ponadto jest zrzeszona w Polskiej Izbie Gospodarczej.

Realizowane przewozy to transport kontenerowy. Odbywa się on na trasach krajowych i międzynarodowych. Główne kierunki działalności to Niemcy, w szczególności porty w Hamburgu i Bremerhaven, a także kraje Półwyspu Bałkańskiego, głównie Słowenia. Większość zleceń pochodzi od kontrahentów pozyskanych na podstawie wieloletniej współpracy. Są to w większości duże korporacje, ale nie tylko. W celu minimalizacji tzw. pustych przebiegów, okazjonalnie wykorzystywane są giełdy transportowe „TIMOCOM” oraz „Trans.eu”. Przedsiębiorstwo posiada 44 ciągniki siodłowe firmy DAF spełniające normę emisji spalin EURO 6. Każdy z nich jest przystosowany do transportu kontenerowego dzięki czemu możliwe są przewozy kontenerów różnych standardów: 20, 40DV, 40HC, 45HC, Open Top, Flat Rack, Tank – w zależności od potrzeb zleceniodawcy. Posiadany park maszynowy i własne zaplecze serwisowe pomagają w regularnym monitoringu stanu pojazdów, co przekłada się na wysoki poziom niezawodności realizowanych usług.

Informacje pozyskano na podstawie rozmów z właścicielem oraz pracownikami firmy „STEFAR PHU SP.Z O.O. SP.K.”, a także materiałów zamieszczonych na stronie internetowej firmy (<https://stefar.pl/>).

Metodyka badań i obliczeń

Do przeprowadzenia oceny efektywności procesów transportowych można wykorzystać jedną z wielu metod, jednak najbardziej przejrzyste wyniki daje ocena efektywności wykonana bezpośrednio na podstawie danych pozyskanych w konkretnych przedsiębiorstwach.

Następnie według określonych wzorów obliczane zostają wartości wskaźników. Są one podstawą do późniejszego formułowania wniosków dotyczących poziomu efektywności procesów transportowych w przedsiębiorstwie co niewątpliwie jest najważniejszym etapem, który daje jasną informację o standardzie usług oferowanych przez przedsiębiorstwa. Posługując się określonymi wskaźnikami można uzyskać niezbędne informacje o poziomie realizowanych procesów transportowych, zauważyć odbiegające od założonych planów odchylenia, a także wprowadzić konieczne usprawnienia, dzięki którym przedsiębiorstwo zwiększy swoją konkurencyjność. Zatem obliczone wskaźniki stanowią podstawę oceny decyzji już podjętych oraz jednocześnie pokazują kierunki rozwiązań w przyszłości^{12,13}.

Dane wejściowe do obliczeń wskaźników pozyskane zostały z firmy, od pracowników działu księgowości, w formie pliku Excel (tab. 3).

¹² Waściński T., Zieliński P.: Efektywność procesu transportowego. Systemy Logistyczne Wojsk nr 42. Wojskowa Akademia Techniczna. Wydział Logistyki. Instytut Logistyki, 2015.

¹³ Gaschi-Uciecha A.: Analiza i ocena procesu transportowego w wybranym przedsiębiorstwie sektora TSL. Z.121. Politechnika Śląska. Wydział Organizacji i Zarządzania Instytut Zarządzania i Administracji. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, 2018.

Tabela 3. Dane wejściowe do oceny efektywności procesu transportowego

Lp.	Miernik	Jednostka	2018	2019	2020
1	Liczba własnych środków transportu	szt.	37	39	44
2	Liczba wykorzystanych zewnętrznych środków transportu	szt.	56	40	52
3	Całkowita liczba przewozów	szt.	7 334	5 520	4 381
4	Całkowita liczba przejechanych kilometrów	km	8 800 800	6 624 000	5 257 200
5	Przewieziony ładunek rzeczywisty	t	132 379	99 849	76 230
6	Ładunek możliwy do przewiezienia	t	146 680	110 400	87 620
7	Liczba awarii środków transportu	szt.	9	12	10
8	Liczba przewozów wykonanych terminowo	szt.	7 315	5 489	4 350
9	Liczba natychmiastowo zrealizowanych zamówień (podjęcie tego samego dnia)	szt.	540	420	382
10	Wykorzystany czas pracy	godz.	63 360	65 280	69 120
11	Dysponowany czas pracy	godz.	72 180	73 440	77 760
12	Koszty transportu	PLN	15 040 180	11 580 380	9 938 200
13	Liczba spełnionych specjalnych wymagań	szt.	272	386	214
14	Dostawy akceptowane przez klienta	szt.	7315	5489	4350
15	Dostawy przed czasem	szt.	38	21	26
16	Liczba dni dostaw	dni	316	296	281
17	Liczba dni w roku	dni	365	365	366

Kompleksowa analiza efektywności procesów transportowych powinna umożliwiać analizę wszystkich czynników wpływających na realizację procesu transportowego. W tym celu do przeprowadzenia analizy zastosowano metodę wskaźnikową wykorzystującą wybrane

mierniki i wskaźniki logistyczne. Jako mierniki logistyczne wykorzystano dane pozyskane z firmy STEFAR PHU. Wskaźniki logistyczne dobrano na podstawie literatury^{14,15,16}.

Aby uzyskać pełną analizę procesu transportowego należy zbadać możliwie najwięcej czynników wpływających na jego realizację. W tym celu wykorzystuje się założenia Strategicznej Karty Wyników. Projekt strategicznej karty wyników to zestaw miar wyróżnionych z czterech perspektyw: procesu wewnętrznego, rozwoju, klienta i finansowej oraz ich wzajemnych interakcji.

Wskaźniki z perspektywy procesu wewnętrznego najlepiej obrazują faktyczny stan w przedsiębiorstwie. Ten fakt, nie powinien dziwić, gdyż to właśnie procesy zachodzące na poziomie operacyjnym mają największy wkład w ocenę efektywności procesu transportowego.

Obliczone w pracy wskaźniki wykorzystane do oceny efektywności procesu transportowego podzielono na cztery grupy:

- wskaźniki w perspektywie procesu wewnętrznego (tab. 4),
- wskaźniki w perspektywie rozwoju (tab. 5),
- wskaźniki w perspektywie klienta (tab. 6),
- wskaźniki w perspektywie finansowej (tab. 7).

Tabela 4. Wskaźniki efektywności procesu transportowego w perspektywie procesu wewnętrznego

Lp.	Wskaźnik	Wzór	Jednostka
1	Stopień wykorzystania środków transportu	$\frac{\text{przewieziony ładunek rzeczywisty}}{\text{ładunek możliwy do przewiezienia}} \cdot 100\%$	%
2	Stopień wykorzystania czasu pracy	$\frac{\text{wykorzystany czas pracy}}{\text{dysponowany czas pracy}} \cdot 100\%$	%
3	Liczba kilometrów na środek transportu	$\frac{\text{całkowita liczba przejechanych kilometrów}}{\text{liczba wszystkich środków transportu}}$	km
4	Liczba przewiezionych ton na środek transportu	$\frac{\text{przewieziony ładunek rzeczywisty}}{\text{liczba wszystkich środków transportu}}$	t
5	Liczba kilometrów pokonanych w jeden dzień przez wszystkie środki transportowe	$\frac{\text{całkowita liczba przejechanych kilometrów}}{\text{liczba dni w roku}}$	km·dzień ⁻¹
6	Rytmiczność dostaw	$\frac{\text{liczba dni w roku}}{\text{liczba dni dostaw}} \cdot 100\%$	%

¹⁴ Twaróg J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne. Wyd. Biblioteka Logistyka, Poznań, 2003.

¹⁵ Twaróg J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne.. Wyd. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2005.

¹⁶ Stajniak M., Koliński A.: Analiza efektywności procesów transportowych w łańcuchu dostaw. Logistyka 3, 2014.

Tabela 5. Wskaźniki efektywności procesu transportowego w perspektywie rozwoju

Lp.	Wskaźnik	Wzór	Jednostka
1	Niezawodność transportowa	$\frac{\text{liczba przewozów wykonanych terminowo}}{\text{całkowita liczba przewozów}} \cdot 100\%$	%
2	Awaryjność środków transportowych	$\frac{\text{liczba awarii środków transportu}}{\text{całkowita liczba przewozów}} \cdot 100\%$	%
3	Intensywność przewozów	$\frac{\text{całkowita liczba przewozów}}{\text{liczba dni w roku}}$	szt.·dzień ⁻¹
4	Udział opóźnionych dostaw	$\frac{\text{całkowita liczba przewozów} - \text{przewozy terminowe}}{\text{całkowita liczba przewozów}} \cdot 100\%$	%

Tabela 6. Wskaźniki efektywności procesu transportowego w perspektywie klienta

Lp.	Wskaźnik	Wzór	Jednostka
1	Gotowość dostawcza	$\frac{\text{liczba natychmiastowo zrealizowanych zamówień}}{\text{całkowita liczba przewozów}} \cdot 100\%$	%
2	Przeciętny czas trwania dostawy	$\frac{\text{wykorzystany czas pracy}}{\text{całkowita liczba przewozów}}$	godz.
3	Elastyczność dostaw	$\frac{\text{liczba spełnionych specjalnych wymagań}}{\text{całkowita liczba przewozów}} \cdot 100\%$	%
4	Jakość dostaw	$\frac{\text{wielkość dostawy akceptowanej przez klienta}}{\text{całkowita liczba przewozów}} \cdot 100\%$	%
5	Reakcyjność dostaw	$\frac{\text{dostawy dostarczone przed czasem}}{\text{całkowita liczba przewozów}} \cdot 100\%$	%

Tabela 7. Wskaźniki efektywności procesu transportowego w perspektywie finansowej

Lp.	Wskaźnik	Wzór	Jednostka
1	Koszty transportu na przewóz	$\frac{\text{koszty transportu}}{\text{całkowita liczba przewozów}}$	PLN·szt. ⁻¹
2	Koszty transportu na kilometr	$\frac{\text{koszty transportu}}{\text{całkowita liczba przejechanych kilometrów}}$	PLN·km ⁻¹
3	Koszty transportu na tonę przewiezionego ładunku	$\frac{\text{koszty transportu}}{\text{przewieziony ładunek rzeczywisty}}$	PLN·t ⁻¹
4	Kosztochłonność floty transportowej	$\frac{\text{koszty transportu}}{\text{liczba wszystkich środków transportu}}$	PLN

Wskaźniki efektywności procesu transportowego w perspektywie procesu wewnętrznego

Każde przedsiębiorstwo posiada własną strukturę organizacyjną i funkcjonalną oraz działa według określonej strategii. Kluczem do sukcesu jest jednak świadomość, że decyzje podejmowane na początku procesów mają wpływ na cały dalszy ich przebieg. Nie należy postępować pochopnie w sytuacjach będących na pierwszy rzut oka błahymi, lecz wskazane jest podjęcie pewnych przemyśleń dotyczących ewentualnych konsekwencji, które dana decyzja może za sobą nieść. Według Kaplana i Nortona¹⁷ perspektywa procesów wewnętrznych dotyczy wszelkich działań, jakie należy doskonalić aby właściciele i klienci firmy byli zadowoleni. To ogólne stwierdzenie można doprecyzować dodając, że procesy wewnętrzne zachodzące w przedsiębiorstwie mają przełożenie na możliwości rozwoju, osiągnięty poziom zadowolenia klienta oraz uzyskane wyniki finansowe. Oznacza to, że podejmowanie przemyślanych i trafnych decyzji na początku realizacji procesu wpłynie pozytywnie na jego dalsze etapy.

W celu weryfikacji wskaźnikowej analizy procesu transportowego otrzymane wyniki: liczby kilometrów na środek transportu, liczby przewiezionych ton na środek transportu oraz liczby kilometrów pokonanych w jeden dzień przez wszystkie środki transportowe zestawiono w tabeli 8. Pozostałe wskaźniki takie jak: stopień wykorzystania środków transportu, stopień wykorzystania czasu pracy oraz rytmiczność dostaw ukazano na rys. 2.

We wszystkich wskaźnikach przedstawionych w tabeli odnotowano tendencję spadkową. Oznacza to ogólne zmniejszenie wykorzystania ładowności środków transportu oraz możliwości przebiegu. Dwa pierwsze wskaźniki warto analizować wspólnie gdyż mają ściśle powiązania. Pierwszy z nich ukazuje liczbę kilometrów, jaką pokonał jeden środek transportu przez cały rok, zaś drugi odległość przejechaną przez wszystkie pojazdy łącznie w ciągu jednego dnia. Oba wskaźniki zależą od specyfiki realizowanego przewozu. Dane wejściowe wskazują, że ogólna liczba pokonanych kilometrów oraz liczba przewozów również się zmniejszały, a to może być związane z podejmowaniem zleceń na bliższe odległości, np. o zasięgu krajowym. Średni dystans zrealizowany w ciągu roku przez jeden środek transportu na początku badanego okresu wyniósł 94 632 km, rok później – 83 848 km, a finalnie 54 763 km. Różnica między skrajnymi latami wyniosła około 40 000 km, co stanowi spadek wartości w 2020 roku o 42% w porównaniu z rokiem 2018. Tą samą zależność przedstawia drugi wskaźnik z tabeli gdzie w 2018 roku wyniósł on 24 112 km-dzień⁻¹, następnie obniżył się do 18 148 km-dzień⁻¹, a finalnie osiągnął niemal 10 000 km mniej – 14 364 km-dzień⁻¹ (spadek o 40%).

W przypadku liczby ton przewiezionych przez jeden pojazd wartości malały od 1 423 t w roku 2018, poprzez 1 264 t do 794 t w 2020 roku. Może to świadczyć o realizacji mniejszej liczby przewozów, jak również być oznaką transportu lżejszych ładunków. Warto jednak pamiętać, że korzystne jest zwiększanie masy przewiezionych ładunków, a tym samym zmniejszenie kosztów własnych.

¹⁷ Kaplan R., Norton D.: Strategiczna karta wyników. Jak przełożyć strategię na działanie. Wydawnictwo Naukowe PWN SA. Warszawa, 2001.

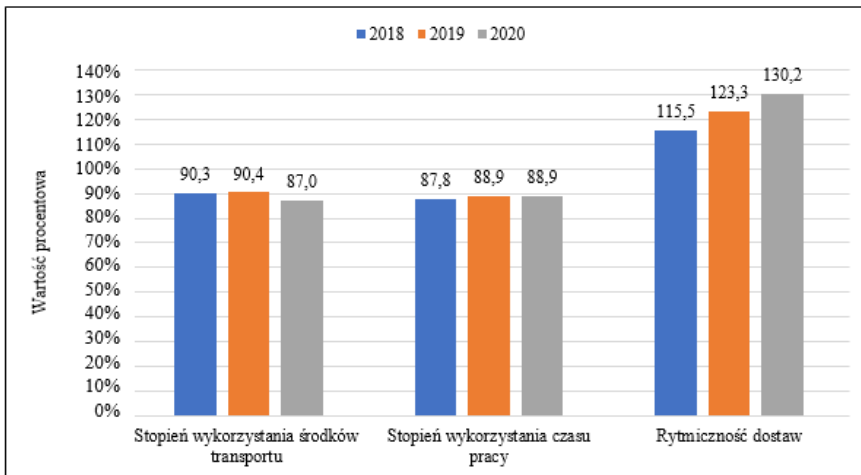
Tabela 8. Wskaźniki efektywności procesu transportowego w perspektywie procesu wewnętrznego

Lp.	Wskaźnik	2018	2019	2020	Jednostka
1	Liczba kilometrów na środek transportu	94 632	83 848	54 763	km
2	Liczba kilometrów pokonanych w jeden dzień przez wszystkie środki transportowe	24 112	18 148	14 364	km·dzień ⁻¹
3	Liczba przewiezionych ton na środek transportu	1 423	1 264	794	t

Kolejną ważną grupą podczas oceny efektywności w perspektywie procesu wewnętrznego są wskaźniki przedstawione na rys. 2. Stopień wykorzystania środków transportu jest związany z pojęciem zdolności przewozowej oraz stopniem jego wykorzystania. Zdolność przewozowa to inaczej ładunek możliwy do przewiezienia i stanowi granicę, do której powinna zbliżyć się wartość przewiezionego ładunku rzeczywistego. Znaczniejsze odchylenia są nazywane rezerwą. Maksymalne wykorzystanie ładowności byłoby stanem idealnym, w praktyce jest to jednak niemożliwe chociażby ze względu na różnorodne cechy ładunków (nieregularny kształt, ograniczone możliwości piętrzenia itp.). Poziom wykorzystania ładowności w przedsiębiorstwie wyniósł w 2018 roku 90,3%, rok później minimalnie wzrósł do 90,4%, natomiast w roku 2020 spadł o 3,4% osiągając 87,0%.

Najniższy wynik wykorzystania ładowności jest konsekwencją utrudnień związanych z pojawieniem się pandemii. Ogólnoświatowe spowolnienie działalności poszczególnych sektorów gospodarki doprowadziło do zmniejszenia dostępności ładunku, a tym samym zapotrzebowanie na usługę transportową znacznie zmalało. Przedsiębiorstwo zostało pozbawione możliwości wyboru najkorzystniejszych ofert przewozowych. W związku z tym realizacja kontraktu często wiązała się z transportem ładunku, który w niewielkim stopniu wykorzystywał potencjał ładowności pojazdu obniżając tym samym wartość statystyk. Należy pamiętać, że w ówczesnej sytuacji ważne było prowadzenie jakiegokolwiek aktywności na rynku. W przeciwnym razie nawet niewielkie grono klientów zostałoby utracone. Ważne w ujęciu procesu wewnętrznego jest efektywne wykorzystanie czasu pracy, które wzrosło z 87,8% w 2018 roku do 88,9% w latach następnych. Oprócz przestoju wynikających z dni wolnych od pracy czy złych warunków atmosferycznych, istnieją także przestoje spowodowane złą organizacją pracy. Subtelny wzrost wskaźnika oznacza poprawę tego aspektu mimo wystąpienia niekorzystnych czynników, na które firma nie miała wpływu.

O poziomie realizacji procesu transportowego w firmie świadczy również rytmiczność dostaw, która oznacza stopień równomierności realizowanych zleceń transportowych i spedycyjnych. W roku 2018, gdy liczba pokonanych kilometrów oraz ładowność była na najwyższym poziomie, średnia rytmiczność była najniższa – 115,5%. Oznacza to nierównomierne zapotrzebowanie na oferowaną usługę, zależne od okresu np. świątecznego. Następnie rytmiczność wzrosła, osiągając 123,3%. Co ciekawe, rok 2020, w którym odnotowano najniższe przebiegi i wykorzystaną ładowność odznaczył się najwyższym poziomem tego wskaźnika – 130,2%. Oznacza to, że firma regularnie realizowała mniejszą ilość przewozów co bez wątpienia miało wpływ na spokojniejszą pracę w dziale spedycji.

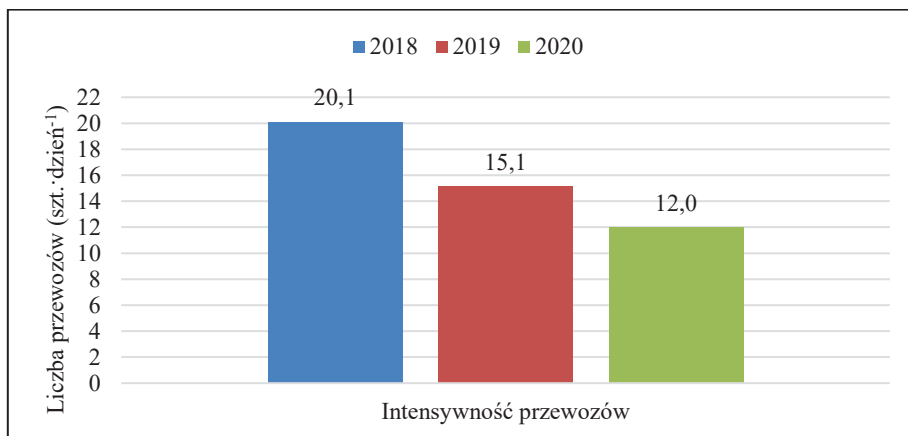


Rys. 2. Wskaźniki w perspektywie procesu wewnętrznego

Wskaźniki efektywności procesu transportowego w perspektywie rozwoju

W dzisiejszych czasach niemożliwe jest stworzenie jednostajnie funkcjonującej firmy, w której działania nie będą poddawane zmianom. Gospodarka nieustannie ewoluuje, a to wymusza konieczność pozyskiwania nowych umiejętności i testowania oryginalnych rozwiązań. Wszystko po to żeby wyniki przedsiębiorstwa były coraz lepsze lub przynajmniej nie spadały. W tym celu dokonano oceny efektywności procesów transportowych w perspektywie rozwoju, która objęła takie wskaźniki jak: intensywność, niezawodność przewozów, awaryjność środków transportowych oraz udział opóźnionych dostaw.

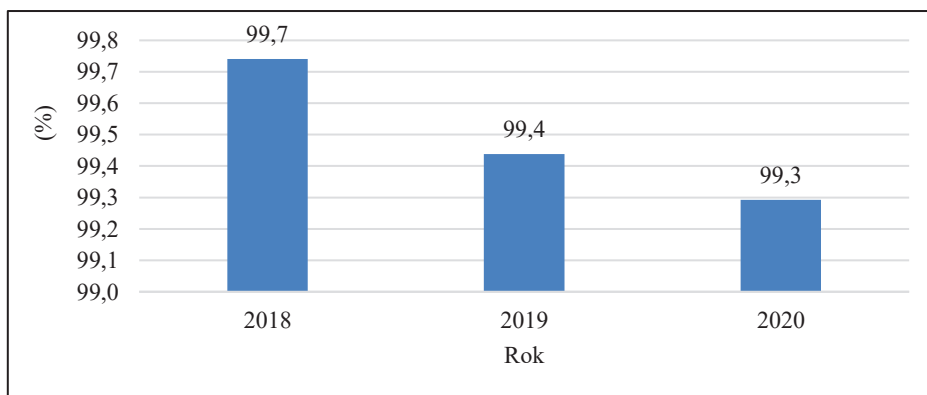
Jednym ze wskaźników służących do oceny jest intensywność przewozów (rys. 3). Jest ona rozumiana jako częstość realizowanych transportów, a dokładniej oznacza ich średnią liczbę wykonaną w ciągu jednego dnia przez wszystkie środki transportowe. Jej wielkość bez wątpliwości jest zależna od ilości wykorzystanego taboru, zarówno własnego, jak i zewnętrznego, a także od długości tras. Intensywność przewozów w firmie STEFAR PHU była najwyższa w 2018 roku i wyniosła średnio 20,1 szt./dzień⁻¹. W kolejnych latach jej wartość malała osiągając odpowiednio 15,1 i 12 szt./dzień. Najniższa wartość uzyskana w 2020 roku jest związana z najmniejszą całkowitą liczbą wykonanych przewozów co wynika głównie z utrudnień jakie niosła za sobą pandemia. Są to m. in. ograniczony dostęp do surowców, opóźnienia dostaw, utrudnienia w handlu międzynarodowym czy najogólniej ujmując problemy logistyczne.



Rys. 3. Wskaźnik intensywności przewozów

Niezawodność jest rozumiana jako pewność realizacji dostawy, a dokładniej prawdopodobieństwo dotrzymania ustalonego terminu. Jest to jeden z ważniejszych wskaźników oceny efektywności procesu transportowego, który ma wpływ na poziom innych wskaźników (takich jak jakość dostaw), a jego wysoki poziom jest oznaką szans na rozwój. Niezawodność transportowa (rys. 4) w badanej firmie charakteryzuje się tendencją spadkową.

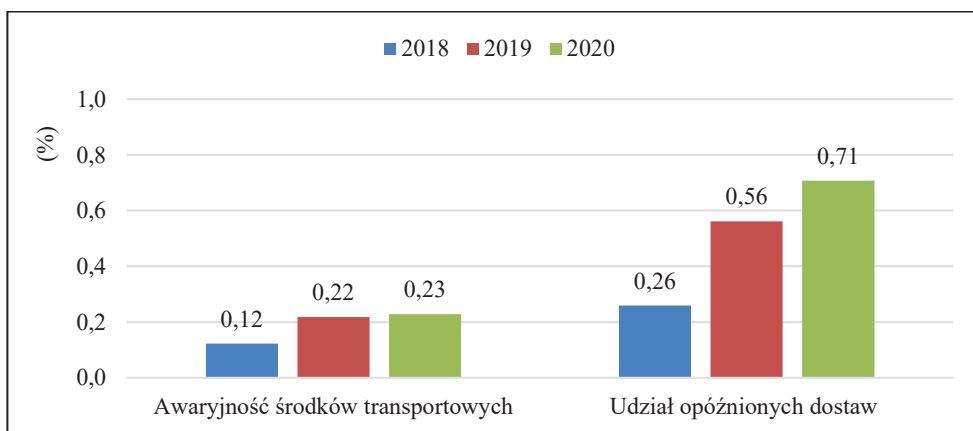
Mimo to przez wszystkie trzy lata utrzymuje się na bardzo wysokim poziomie, powyżej 99%. W roku 2018 zabrakło zaledwie 0,3% aby niezawodność osiągnęła maksymalnie wysoki poziom, co oznaczałoby, że wszystkie zrealizowane dostawy były terminowe. W roku 2020 odnotowano najniższą wartość wskaźnika – 99,3%. Tak wysoki poziom niezawodności może być związany ze współpracą przedsiębiorstwa opierającą się głównie na kontaktach ze stałymi klientami. Zlecenia transportowe są przesyłane odpowiednio wcześniej, co sprzyja sprawnej organizacji środków transportu na określony termin.



Rys. 4. Wskaźnik niezawodności transportowej

Czasem pojawiają się jednak pewne zakłócenia, a dotrzymanie terminowości jest niewykonalne. Wiąże się to zazwyczaj z wystąpieniem niemożliwych do przewidzenia i uniknięcia sytuacji losowych. Są to m. in. karambole na drogach, wszelkie awarie, przedłużone kontrole celne czy opóźnienia statków kontenerowych w portach. Istnieją zatem niespodziewane sytuacje, które mogą mieć negatywne znaczenie dla przebiegu realizowanego procesu transportowego. Są one nieuniknione, jednak ważne aby udział opóźnionych dostaw był jak najmniejszy. Mimo tendencji wzrostowej tego wskaźnika (rys. 5) w żadnym roku badanego okresu nie przekroczył on wartości 1% co świadczy o jego niewielkim wpływie na szansę rozwoju.

W analizowanej firmie udział dostaw nieterminowych w całkowitej liczbie przewozów był najniższy w roku 2018 i wyniósł 0,26%. W kolejnych okresach wzrósł do poziomu 0,56% w 2019 roku oraz 0,71% w 2020 roku.



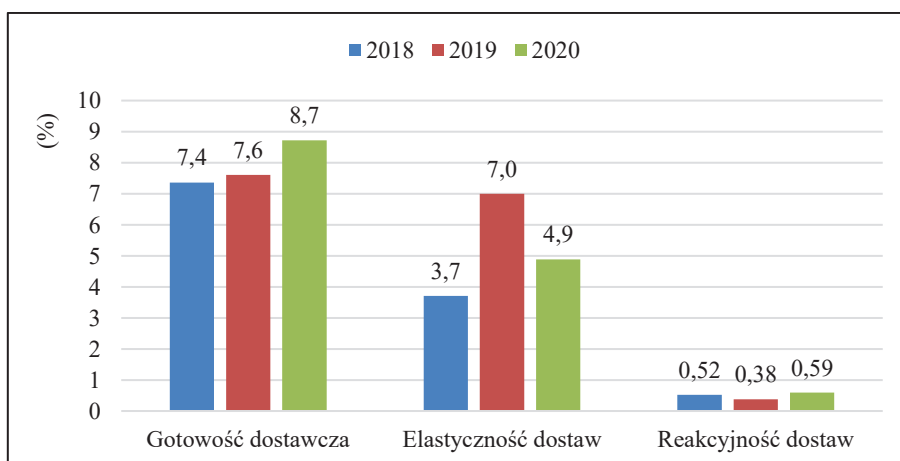
Rys. 5. Wskaźnik awaryjności środków transportowych i udział opóźnionych dostaw

Za istotny wskaźnik uznaje się również awaryjność środków transportu. Czym niższa jest jego wartość tym wyższe są rokowania firmy pod względem rozwoju. W każdym z trzech lat analizy wartość wskaźnika nie przekroczyła 0,3%, wahając się w granicach od 0,12% w 2018 roku do 0,23% w roku 2020. Jest to znikomy udział, a uzasadnienie tak niskiego poziomu awaryjności ma odniesienie w posiadaniu własnego zaplecza serwisowego. Wiąże się to z ciągłością obserwacji stanu technicznego pojazdów dzięki czemu minimalizuje się ryzyko powstania nagłych awarii.

Grupa przeanalizowanych wskaźników obejmuje zagadnienia intensywności, terminowości, opóźnień oraz awaryjności przewozów. Są one bardzo ważne z punktu widzenia przedsiębiorstwa, gdyż ich poziom w dużej mierze decyduje o tym czy firma ma szansę na rozwój czy musi podjąć działania korygujące. Pożądane jest jednak osiąganie jak najlepszych wyników i wyższej konkurencyjności rynkowej.

Wskaźniki efektywności procesu transportowego w perspektywie klienta

Każde dobrze prosperujące przedsiębiorstwo realizuje swoją strategię w oparciu o podstawowy cel, którym jest sprostanie wymaganiom klienta. Dlaczego należy on do nadrzędnych? Odpowiedź jest prosta, niezadowolony klient nie wróci do tej samej firmy, lecz skorzysta z usług konkurencji. Co więcej klienci jako końcowe ogniwo łańcucha dostaw określają zapotrzebowanie na konkretne usługi, a nawet na jakość ich realizacji. To w jakim stopniu firma będzie w stanie odpowiedzieć na potrzeby klienta ma przełożenie na zwiększenie grona odbiorców, rozwój, a finalnie na pozycję rynkową i zyski. Jakość to całość cech i charakterystyka usługi, które tworzą zdolność do spełnienia zakładanych lub stwierdzonych potrzeb. Można zatem stwierdzić, że jakość niejako uwzględnia najważniejsze determinanty wpływające na zadowolenie klientów obejmując w pewnym stopniu gotowość dostawczą, elastyczność i reakcyjność, których poziomy przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Wskaźniki gotowości dostawczej, elastyczności dostaw i reakcyjności dostaw

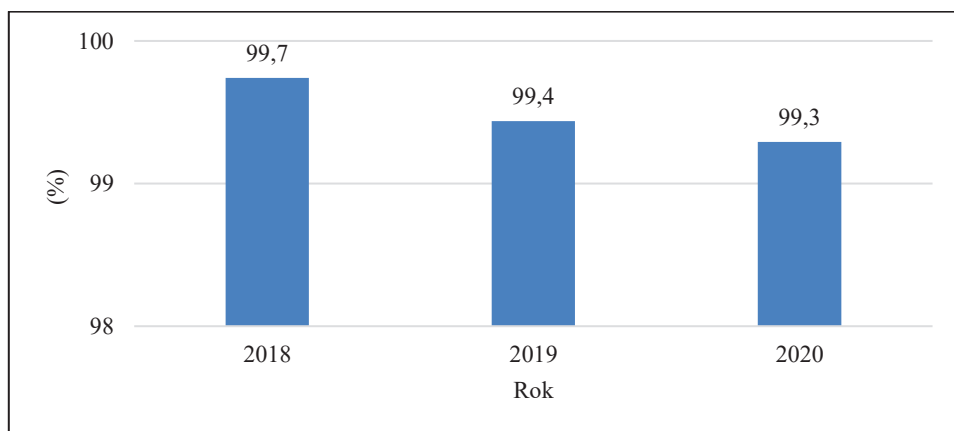
Gotowość dostawcza jest ściśle związana z czasem podjęcia ładunku, jeśli nastąpiło ono w dniu przyjęcia zlecenia transportowego miało to wpływ na podwyższenie wartości wskaźnika. W roku 2018 wyniósł 7,4% i sukcesywnie wzrastał przez kolejne lata osiągając wartość 8,7% w roku 2020. W celu głębszej analizy gotowości dostawczej należy nawiązać do wskaźników perspektywy procesu wewnętrznego (wskaźniki: stopnia wykorzystania środków transportu, przejechanych kilometrów oraz wykorzystanej ładowności), których wartości są najniższe w roku 2020. Najwyższy poziom gotowości dostawczej jest powiązany z małą ilością przejechanych kilometrów i niskim wykorzystaniem ładowności, na które miał wpływ wybuch pandemii. Zależność ta wydaje się być dość logiczna, gdyż niskie wykorzystanie możliwości środków transportu oznacza ich większą dostępność co przekłada się na liczbę załadunków zrealizowanych natychmiastowych.

Poziom elastyczności dostaw jest uwarunkowany ilością spełnionych specjalnych wymagań klienta. W przypadku firmy STEFAR PHU jest to transport mięsa przy wykorzystaniu

kontenerów chłodniczych. Na początku okresu badań w roku 2018 elastyczność dostaw wyniosła 3,7%, w roku 2019 odnotowano wzrost wskaźnika do wartości niemal dwa razy większej – 7%. Wynik ten jest uzasadniony, ponieważ od kilku lat prowadzono okazjonalną współpracę z klientem ze Słowenii, który zgłaszał zapotrzebowanie wyłącznie na transport mięsa. Zarząd firmy dostrzegł możliwość pozyskania stałego klienta i końcem 2018 roku zdecydował się na współpracę z polskim producentem mięsa. Dzięki tym działaniom intensywność przewozów spełniających specjalne wymagania transportowe, realizowanych w kierunkach południowej Europy, zostały zwiększone.

Kolejnym wskaźnikiem badanym w perspektywie klienta jest reakcyjność dostaw. Jej poziom w żadnym z trzech lat nie osiągnął 1%, co oznacza, że dostawy dostarczone przed czasem mają bardzo niewielki udział we wszystkich realizowanych przewozach.

Wskaźnik, którego wartość była najwyższa przez cały okres objęty analizą to jakość dostawy (rys. 7).

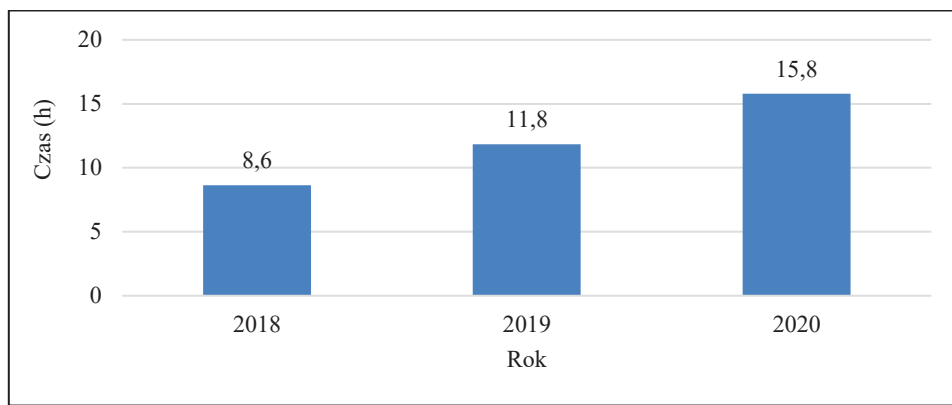


Rys. 7. Poziom jakości dostaw w poszczególnych latach

Wskaźnik jakości dostaw jest uzależniony od ilości dostaw akceptowanych przez klienta. Nie jest jednak jasno określone, jakie czynniki mają wpływ na akceptowalność dostawy przez klienta. Jest to sprawa indywidualna, gdyż dla każdego mogą być ważne inne aspekty. Niewykluczone jednak, że znaczenie ma między innymi gotowość dostawcza, spełnienie specjalnych wymagań czy reakcyjność. Według przeprowadzonej analizy wartość tych wskaźników jest dość niska, a mimo to jakość dostawy przez wszystkie trzy lata utrzymuje się na bardzo wysokim poziomie (kolejno 99,7%, 99,4% oraz 99,3%). Może to oznaczać, że wspomniane wskaźniki nie wpływają w znaczącym stopniu na poziom jakości dostawy według klientów. STEFAR PHU realizuje przewozy w głównej mierze dla wieloletnich partnerów co często wiąże się ze zgłaszaniem zleceń transportowych z pewnym wyprzedzeniem. Dzięki temu firma ma czas na zorganizowanie odpowiednich pojazdów, a klient jest zadowolony z dotrzymania terminu. W tym przypadku szybkość podjęcia czy dostawa przed czasem nie wpływa na jakość dostawy. Wysoka wartość dostawy akceptowanej przez klienta

może być również związana z plombowaniem przewożonych kontenerów. Plombowanie odbywa się przy załadunku, a zatem przed rozpoczęciem jakiegokolwiek udziału przewoźnika. Oznacza to, że wszelkie zastrzeżenia dotyczące zawartości kontenera zauważone przez odbiorcę powinny być kierowane do nadawcy. A ewentualne niezadowolenie może być związane jedynie z nieterminowością.

Ważne znaczenie odgrywa również czas trwania dostawy, który powinien być dostosowany do transportowanego ładunku. Klientom zazwyczaj zależy aby był on jak najkrótszy. Średni czas trwania dostawy w badanym przedsiębiorstwie z każdym rokiem wydłużał się (rys. 8).



Rys. 8. Przeciętny czas trwania dostawy w poszczególnych latach

W roku 2018 wyniósł 8,6 godz., rok później 11,8 godz., a w roku 2020 – 15,8 godz. Wynik ten może być związany ze zmianą kierunku działania (więcej zleceń na południu Europy), a także ze zwiększonym czasem oczekiwania na kontenery w porcie, kwarantanną ładunków i zachowaniem większych restrykcji podczas kontaktów z kierowcami.

Ocena efektywności procesów transportowych oczami klienta bez wątpienia opiera się na znacznie innych aspektach. Sprostanie wymaganiom klientów nie jest łatwym zadaniem, jednak firmy starają się w jak najlepszym stopniu sprostać temu zadaniu. Dbłość o klienta na różnych płaszczyznach jest kluczowa do osiągnięcia bardziej konkurencyjnej pozycji.

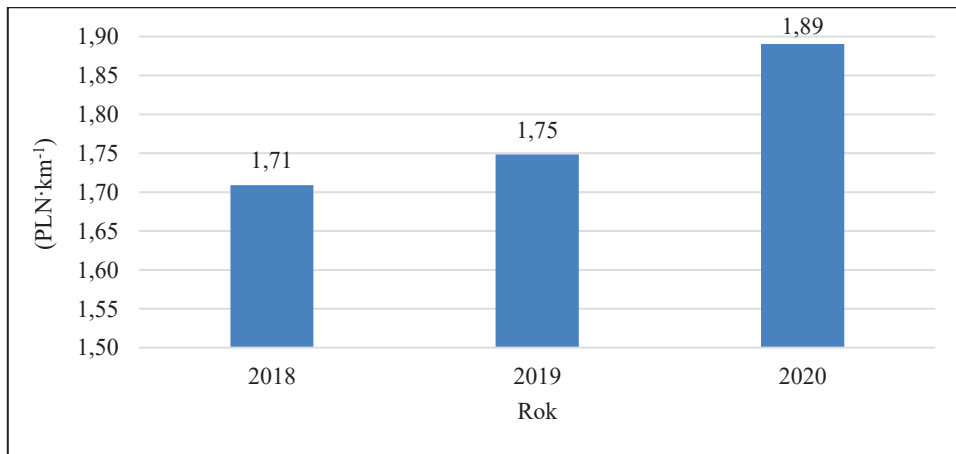
Wskaźniki efektywności procesu transportowego w perspektywie finansowej

Planowanie finansowe polega na badaniu zależności między rzeczowymi i finansowymi aspektami podejmowanych działań. Ważne jest zmniejszanie niepewności poprzez analizę decyzji terażniejszych ograniczając potencjalne niepowodzenie czy marnotrawstwo w przyszłości. Perspektywa finansowa jest zazwyczaj najważniejsza w oczach zarządu firmy i dotyczy najistotniejszego do osiągnięcia celu – maksymalizacji zysku, który jest zależny od działań realizowanych w ramach procesu wewnętrznego, rozwoju oraz klienta. Wybierane są możliwie najlepsze działania pozwalające uzyskać określone przychody przy jednocze-

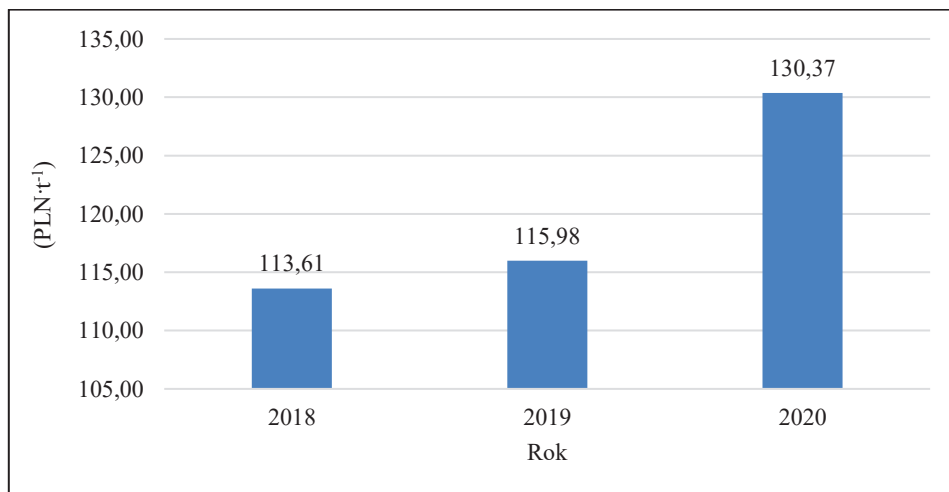
snym kontrolowaniu kosztów. W celu badań wydatków przedsiębiorstwa związanych z realizacją procesu transportowego dokonano oceny wydatków firmy wykorzystując wskaźniki: kosztów transportu na kilometr, na tonę przewiezionego ładunku, na przewóz oraz kosztocłonność transportu.

Ocena efektywności procesu transportowego rozpatrywana w perspektywie finansowej objęła analizę wskaźnika kosztu jednego przejechanego kilometra (rys. 9) oraz kosztu transportu jednej tony ładunku. Mimo, że odnoszą się do innych mierników posiadają wiele wspólnych powiązań. Na ich wysokość ma wpływ m. in. stopień wykorzystania ładowności pojazdu. Podczas realizacji transportu ładownego poniesione koszty będą wyższe niż w przypadku tzw. pustych przebiegów, które są minimalizowane w przedsiębiorstwach. Wynika to z ilości zużytego paliwa oraz faktu, że pojazd jest intensywniej eksploatowany co wiąże się z dodatkowymi wydatkami związanymi z konserwacją. Wpływ na cenę ma również obszar realizacji transportu, a dokładniej charakter krajowy lub międzynarodowy. Ten drugi jest często obciążony dodatkowymi kosztami chociażby dlatego, że niesie konieczność posiadania dodatkowych dokumentów, których pozyskanie jest płatne. Podczas badania obu wskaźników uwzględniono wszystkie powyższe czynniki, a wyniki przedstawiono jako wartości uśrednione.

Wzrost przedstawionego wskaźnika jest nierównomierny. Różnica między pierwszym, a drugim rokiem okresu objętego badaniami jest nieznaczna i wynosi zaledwie 4 grosze (w 2018 – 1,71 PLN·km⁻¹, zaś w 2019 – 1,75 PLN·km⁻¹). Znacznie większy wzrost odnotowano w roku 2020 gdy średni koszt wyniósł 1,89 PLN·km⁻¹ (różnica 14 groszy), a to daje wynik 3,5 razy większy w porównaniu do lat wcześniejszych. Wartości te warto analizować w oparciu o koszty transportu jednej tony ładunku (rys. 10), które również odznaczyły się nierównomierną tendencją wzrostową – 113,61 PLN·t⁻¹ w pierwszym roku, 115,98 PLN·t⁻¹ w drugim oraz 130,37 PLN·t⁻¹ w roku trzecim.



Rys. 9. Koszty transportu na kilometr



Rys. 10. Koszty transportu na tonę przewiezonego ładunku

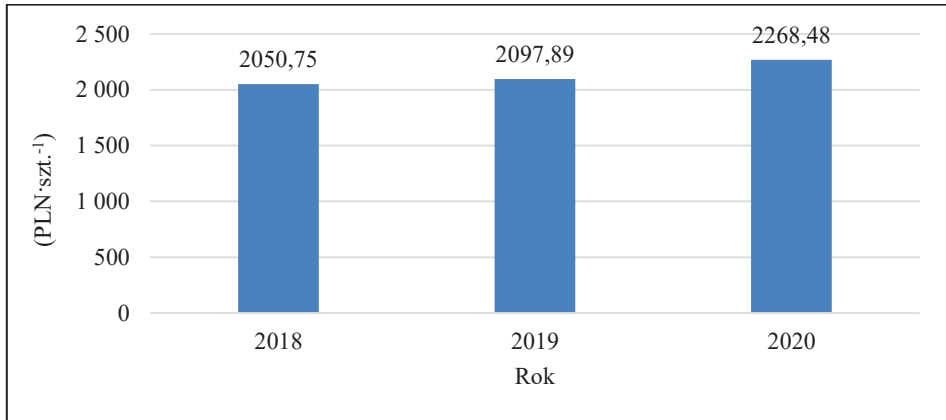
Duża część ponoszonych kosztów wiąże się z ceną paliw, na które firma nie ma wpływu. Ta w latach 2018 – 2020 wzrastała i wynosiła kolejno 4,65 PLN·l⁻¹ oraz 5,25 PLN·l⁻¹. Różnica ta bez wątpienia ma przełożenie na wartości wskaźników: kosztu transportu na kilometr oraz jednej tony ładunku.

Na rys. 11 przedstawiono ile średnio kosztowała firmę realizacja jednego przewozu. W roku 2018 odnotowano najniższy koszt, który wyniósł 2050,75 PLN·szt.⁻¹. W następnych latach wartość wzrastała. W 2019 roku do poziomu 2097,89 PLN·szt.⁻¹, a w roku 2020 koszty jednego przewozu osiągnęły najwyższy wynik – 2268,48 PLN·szt.⁻¹.

Na wysokość kosztów transportu ma wpływ wiele czynników. Należą do nich:

- lokalizacja miejsca załadunku i wyładunku,
- długość trasy,
- rodzaj ładunku i specjalne wymagania związane z jego transportem,
- okres najmu kontenera,
- wykorzystanie ładowności środka transportu,
- zużycie i koszty paliwa.

Oprócz tych najbardziej oczywistych aspektów, znaczenie mają również opłaty parkingowe i autostradowe, naprawy, konserwacja, ubezpieczenia, polisy OCP i OCS oraz wiele innych.

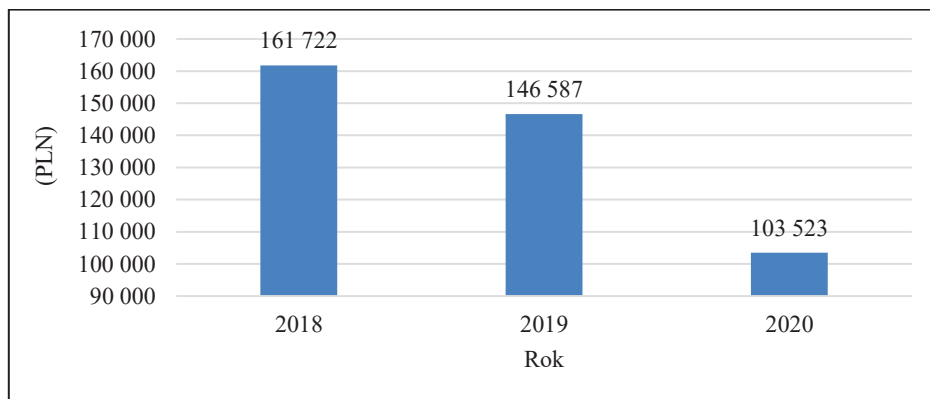


Rys. 11. Koszty transportu na przewóz

Wskaźnikiem, który szeroko obejmuje tematykę kosztów jest kosztocłonność (rys. 12). W tym przypadku rozumiana jako średni koszt związany z rocznym utrzymaniem i pracą jednego środka transportowego. Obejmuje wspomniane wcześniej zużycie paliwa, wymianę części nadmiernie wyeksploatowanych i inne.

W roku 2018 wskaźnik ten wynosił 161 722 PLN co było wartością najwyższą, rok później firmie udało się zmniejszyć jego poziom o ponad 15 tys. PLN co dało wynik 146 587 PLN. W roku 2020 odnotowano znaczny spadek (o blisko 60 tys. PLN) w porównaniu z rokiem 2018, a wskaźnik wydatków związanych ze środkami transportu wyniósł 103 523 PLN. Mimo, że w roku 2020 firma korzystała z największej ilości środków transportowych (96 szt.) kosztocłonność była najniższa. Może wiązać się to ze wskaźnikami perspektywy procesu wewnętrznego takimi jak: liczba przewiezionych ton na środek transportu, stopień wykorzystania środków pod względem ładowności oraz liczba kilometrów na pojazd. Wszystkie trzy wymienione wskaźniki odznaczyły się najniższą wartością właśnie w roku 2020. Uzasadnieniem takiego stanu rzeczy jest m. in. utrudniona wymiana międzynarodowa towarów chociażby przez wgląd na czasowe zamknięcia granic niektórych państw, zwłaszcza na południu Europy. Wiąże się to z mniejszą liczbą przewozów i niższym stopniem wykorzystania ciągników siodłowych, dzięki czemu generowane koszty były niższe. Należy zatem pamiętać, że redukcja kosztocłonności to działanie jak najbardziej pożądane.

Na koszty przewozu wpływ ma wiele czynników, jednak w największym stopniu są to zmieniające się ceny paliw. Oszczędności zatem należy szukać w ograniczeniu jego zużycia, a osoby zarządzające firmą powinny znaleźć skuteczne metody np. szkolenia dla kierowców z zakresu ecodrivingu.



Rys. 12. Kosztocłoność floty transportowej

Podsumowanie

1. Wartości wskaźników w perspektywie procesu wewnętrznego, które były związane z ilością pokonanych kilometrów oraz ładownością malały – najbardziej w roku 2020. Wynikało to z utrudnionego dostępu ładunków na skutek wybuchu pandemii, przez co potrzeba transportowa była znacznie mniejsza, a firma nie miała możliwości wyboru najkorzystniejszych ofert. Wskaźnikiem, którego wartość podniosła się w największym stopniu była rytmiczność dostaw. Z poziomu 115,5% osiągnęła końcowo 130,2%. Oznacza to większą regularność transportów co wiąże się ze spokojniejszą pracą w dziale spedycji.
2. Podczas analizy w perspektywie rozwoju zaobserwowano spadek wartości wskaźników intensywności oraz niezawodności przewozów, których poziom powinien być jak najwyższy. W przypadku wskaźników awaryjności pojazdów i udziału opóźnionych dostaw, które próbuje się eliminować, poziom wzrastał. To niekorzystne sprzężenie nie miało jednak dużego znaczenia. Intensywność przewozów spadła z poziomu 20,1 szt.·dzień⁻¹ w 2018 roku do 12,0 szt.·dzień⁻¹ w roku 2020. Niemal dwukrotne zmniejszenie częstotliwości transportów wynikało z coraz mniejszej liczby realizowanych przez firmę przewozów, a to było konsekwencją utrudnień funkcjonalnych gospodarki międzynarodowej związanych z pandemią.
3. Niezawodność transportu była uzależniona od terminowości dostaw, utrzymywała się przez wszystkie lata na bardzo wysokim poziomie – ponad 99%. Fakt, że nie osiągnęła 100% oznacza, że pewien udział miały również dostawy opóźnione. Był on jednak bardzo znikomy gdyż wahał się od 0,26% do 0,71%. Stan ten niejako wynika ze stałej biznesowej współpracy polegającej na zgłaszaniu potrzeb transportowych z odpowiednim wyprzedzeniem. Na wysoki poziom niezawodności wpływa także niska awaryjność pojazdów, która w ocenianych latach nie przekroczyła 0,3%. Wiązało się to z posiadaniem własnego zaplecza serwisowego i regularnej obserwacji stanu technicznego środków transportu.

4. W perspektywie klienta oceniono pięć wskaźników, wśród których znalazła się gotowość dostawcza. Jej poziom z roku na rok wzrastał (od 7,4% w roku 2018 do 8,7% w roku 2020). Było to związane ze zmniejszającą się ilością przejechanych kilometrów oraz wykorzystaną ładownością w poszczególnych latach. Oznacza to, że niskie spożytkowanie potencjału pojazdów przekłada się na ich większą dostępność. Natomiast wskaźnik reakcyjności dostaw w żadnym z trzech lat nie osiągnął 1%, co oznacza, że dostawy dostarczone przed czasem miały bardzo niewielki udział we wszystkich realizowanych przewozach. Czas trwania dostawy wydłużał się w badanym okresie od 8,6 godz. w 2018 roku do 15,8 godz. w 2020 roku. Badana elastyczność dostaw była związana ze zdolnością zrealizowania specjalnych wymagań – w przypadku badanej firmy był to przewóz mięsa. W 2018 roku poziom wskaźnika wyniósł 3,7% zaś rok później podniósł się niemal dwukrotnie (do 7%). Odnotowany wzrost wynika z podjęcia stałej współpracy z polskim producentem oraz klientem ze Słowenii.
5. Wskaźnik jakości dostaw przez cały badany okres utrzymywał się na bardzo wysokim poziomie (kolejno 99,7%, 99,4% oraz 99,3%). Czynniki mające wpływ na jego wartość były różnorodne i zależne od indywidualnych upodobań klientów. Na podstawie przeprowadzonej analizy można jednak stwierdzić, że w badanej firmie, która realizuje wyłącznie przewozy kontenerowe, największy wpływ na poziom jakości miała terminowość.
6. Koszty transportu w przeliczeniu na kilometr wzrastały w sposób nierównomierny. Początkowo wynosiły 1,71 PLN·km⁻¹, rok później 1,75, a w 2020 roku było to średnio 1,89 PLN·km⁻¹. Natomiast wysokość kosztów jednej przewiezionej tony ładunku była zależna od wykorzystanej ładowności pojazdu. Wskaźnik ten również się zwiększał (od 113,61 PLN·t⁻¹ przez 115,98 do 130,37 PLN·t⁻¹). Zarówno koszty na kilometr, jak i na przewóz, w największym stopniu wynikały ze wzrostu cen paliw, które rosły w badanym okresie.
7. W przypadku średnich kosztów, jakie firma musiała ponieść aby zrealizować jeden przewóz, tendencja również była wzrostowa. W 2018 roku było to 2050,75 PLN·szt.⁻¹, rok później 2097,89, zaś w 2020 roku 2268,48 PLN·szt.⁻¹. Wysokość tego wskaźnika była związana z charakterem krajowym lub międzynarodowym transportu, długością trasy, specjalnymi wymaganiami transportowymi stawianymi przez klienta oraz z dodatkowymi opłatami autostradowymi, ubezpieczeniami czy polisami.
8. W badanym okresie odnotowano spadek w wartości wskaźnika kosztochłonności floty transportowej, rozumianej jako średni koszt poniesiony na roczne utrzymanie i pracę jednego pojazdu. W porównaniu do roku 2018 zmalała ona o blisko 60 tys. PLN i był to wynik 103 523 PLN. Ten stan rzeczy był związany z niskimi wartościami wskaźników perspektywy procesu wewnętrznego z 2020 roku. Zmniejszanie kosztochłonności było pożądane, jednak nie zawsze wiąże się ze wzrostem zysków. Oszczędności zatem należy szukać w ograniczaniu zużycia paliwa np. poprzez szkolenie kierowców w tematyce eco-drivingu. Można również stosować systemy motywacyjne w postaci premii dla pracowników z najlepszymi statystykami.
9. Kompleksowa analiza efektywności procesów transportowych w badanej firmie opierała się na czterech perspektywach, które były wzajemnie powiązane i uzupełniały się. Wartości wskaźników z perspektywy procesu wewnętrznego w największym stopniu wpływały na poziom pozostałych (głównie na intensywność przewozów i gotowość dostawczą), gdyż decyzje podjęte na początkowym etapie realizacji procesu miały wpływ na jego dalszy przebieg.

10. Wybuch pandemii Covid-19 w 2020 roku miał niekorzystny wpływ na działalność firmy. Ogólnoświatowe ograniczenia i nakładane przez poszczególne państwa obostrzenia, utrudniły swobodną realizację zleceń o charakterze międzynarodowym. Doprowadziło to do zmniejszenia współpracy z klientami zagranicznymi, a tym samym do zwiększenia działalności na rynku krajowym.

Bibliografia

- Gerlach J., Gil M.: Efektywność przedsiębiorstwa w teorii ekonomii – która z definicji najlepiej oddaje istotę zagadnienia? *Współczesne Problemy Ekonomiczne*, nr 2. Uniwersytet Szczeciński. Szczecin, 2018.
- Gaschi-Uciecha A.: Analiza i ocena procesu transportowego w wybranym przedsiębiorstwie sektora TSL. Z.121. Politechnika Śląska. Wydział Organizacji i Zarządzania Instytut Zarządzania i Administracji. *Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej*, 2018.
- Kaplan R., Norton D.: *Strategiczna karta wyników. Jak przełożyć strategię na działanie*. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa, 2001.
- Kuc B.: *Kontrola jako funkcja zarządzania*. Difin. Warszawa, 2009.
- Matwiejczuk R.: Efektywność – próba interpretacji. *Przegląd Organizacji*, nr 11. 2000.
- Odlanicka-Poczobutt M., Kulińska E.: Determinanty procesów planowania transportu wyrobów piwowskich – studium przypadku. *Logistyka* 6. 808-817, 2015.
- Pasieczny L., Więckowski J.: *Ekonomika i analiza działalności przedsiębiorstwa*. PWE, Warszawa, 14, 1987.
- Rudnicki A.: *Jakość komunikacji miejskiej*. Wydawnictwo SITK. Kraków. 1999. s. 201.
- Rutkowska A.: Teoretyczne aspekty efektywności - pojęcie i metody pomiaru. *Zarządzanie i Finanse* r. 11, nr 1, cz. 4, 439-453, 2013.
- Skrzypek E.: Efektywność ekonomiczna jako ważny czynnik sukcesu organizacji. *Efektywność – konceptualizacja i uwarunkowania*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Wrocław, 2012.
- Stajniak M., Koliński A.: Analiza efektywności procesów transportowych w łańcuchu dostaw. *Logistyka* 3, 2014.
- Twaróg J.: *Mierniki i wskaźniki logistyczne*. Wyd. Biblioteka Logistyka. Poznań, 2003.
- Twaróg J.: *Mierniki i wskaźniki logistyczne..* Wyd. Instytut Logistyki i Magazynowania. Poznań, 2005.
- Waściński T., Zieliński P.: *Efektywność procesu transportowego. Systemy Logistyczne Wojsk* nr 42. Wojskowa Akademia Techniczna. Wydział Logistyki. Instytut Logistyki, 2015.
- Witczak I.: *Efektywność jako narzędzie kontroli zarządczej na przykładzie firm branży kosmetycznej*. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 864 „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia”*, 76, t. 2, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin, 349-358, 2015.
- Strona firmy „STEFAR PHU SP.ZO.O. SP.K.” Pozyskano z: <https://stefar.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

ORCID: Ireneusz Kaczmar 0000-0002-5394-1168

OPTIMALIZACJA W LOGISTYCE TRANSPORTU MLEKA

Grzegorz Zajac¹, Małgorzata Baryła-Paśnik¹, Joanna Szyszlak-Bargłowicz¹,
Tomasz Słowik¹

¹ Katedra Energetyki i Środków Transportu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wstęp

Współczesny poziom rozwoju gospodarczego i społecznego wymaga wprowadzenia istotnych zmian i rozwiązań technicznych, ekonomicznych i organizacyjnych zarówno w sektorze przemysłowym, gospodarczym, usługowym jak również i transportowym. Wiąże się to ze wzrostem standardu świadczonych usług, umocnieniem na rynku, jak również polepszeniem jakości przewożonych surowców, a tym samym wzrostem zapotrzebowania na wyroby z wyżej wymienionych sektorów¹.

We współczesnym systemie gospodarczym przedsiębiorstwa silnie ze sobą konkurują walcząc o jak najwyższe miejsce na rynku, stąd opracowują odpowiedni plan budowania strategii tak, aby to właśnie ich produkty i usługi cieszyły się wysokim uznaniem wśród potencjalnych konsumentów oraz poszerzały swój rynek zbytu poza granicami państwa. Całość systemu zarządzania transportem w sektorach przemysłowych wymaga tworzenia i przeprowadzenia odpowiedniej weryfikacji tak, aby jakość i efektywność przebiegu każdego z nich decydowała o sprawności i sposobie przepływu informacji w przedsiębiorstwie zarówno produkcyjnym, jaki i usługowym.

Transport towarów i usług jest jednym z największych ogniw łańcucha dostaw, ponadto jest istotnym, a zarazem bardzo wymagającym sektorem w całej Unii Europejskiej. Transport produktów rolno-spożywczych niesie za sobą cały szereg zagrożeń i ma istotny wpływ na bezpieczeństwo zdrowotne żywności, jak również na jakość przewożonego surowca (produktu). Pozytywną cechą sektora transportowego, w tym transportu żywności jest to, że oferuje on wysokiej jakości świadczone usługi, a co za tym idzie: umocnienie pozycji na rynku przewożonych surowców i produktów gotowych². W ujęciu systemowym wszelkie organizacje, w tym również i przedsiębiorstwa z sektora mleczarskiego są traktowane, jako systemy otwarte o charakterze społeczno-technicznym, zorientowane celowo i posiadające określone

¹ Stajniak M.: Racjonalizacja transportu w logistycznych procesach zaopatrzenia i dystrybucji, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2012.

² Hajdul M., Stajniak M., Foltiński M., Koliński A., Andrzejczyk P.: Organizacja i monitorowanie procesów transportowych, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2015.

uporządkowanie³. Działalność logistyczną w zakresie dostaw surowców i produktów mleczarskich, którą można podzielić na dwie główne kategorie⁴:

- A. koordynowania procesów wewnątrz przedsiębiorstwa, strategiczne podejmowanie decyzji logistycznych (np. o outsourcingu działań logistycznych);
- B. procesy logistyczne realizowane jako funkcja podstawowa podmiotu gospodarczego, czyli umiejętność znalezienia się w relacjach z innymi podmiotami - elementami łańcucha wartości, sprawne wykonywanie działań logistycznych, jako działań podstawowych oraz koordynowanie działań różnych podmiotów.

Elementami systemu logistycznego dostaw surowców i produktów mleczarskich mogą być^{5,6}:

- zintegrowane sieci komputerowe, które umożliwiają automatyczne wspomaganie zarządzania, przy czym informatyka jest tylko narzędziem realizacji celu, którego skuteczność zależy od rozwiązań systemowych w zakresie wszystkich funkcji zarządzania, czyli planowania, organizacji, motywacji oraz kontroli;
- środki techniczne, umożliwiające przemieszczanie, przeładunek i magazynowanie towarów w poszczególnych cyklach działania;
- procesy decyzyjne, zarządzające fizycznym przemieszczaniem towarów oraz informacji z zastosowaniem nowoczesnych narzędzi, optymalizacji i symulacji.

Transport mleka w sektorze mleczarskim

We współczesnej dobie rozwoju gospodarczego i społecznego, konsumenci coraz częściej domagają się, by spożywana żywność była jak najlepszej jakości i nie zagrażała zdrowiu i życiu. Istotne znaczenie w transporcie żywności ma tutaj ograniczenie potencjalnego zagrożenia do minimum. Wszelkiego rodzaju procedury dotyczące bezpieczeństwa muszą być opracowane przez producenta bądź też przez przewoźnika. Bardzo ważnym zagadnieniem podczas transportu artykułów spożywczych jest utrzymanie właściwej temperatury. Przepisy zawarte w ATP określają, że najwyższa temperatura podczas załadunku, przewozu i rozładunku mleka wynosi +4°C, przy czym czas przewożonego ładunku nie powinien przekraczać 48 godzin.

Transport mleka od producentów do zakładów mleczarskich wymaga szczególnego podejścia⁷. Wynika to głównie z wymogów dotyczących warunków przechowywania mleka. Surowe mleko powinno być przerabiane w ciągu 24 godzin od przyjęcia przez zakład przetwórczy. Jest to spowodowane ograniczonym czasem przechowywania ze względu na czynniki biologiczne.

³ Letkiewicz A.: Symetria systemów jako warunek sprawnego działania w logistyce: Prace Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej w Gdańsku, 15, 29-39, 2012.

⁴ Miler R., Mytlewski A., Pac B.: Kierunki racjonalizacji systemów i procesów logistycznych, CeDeWu, Warszawa, 2012.

⁵ Żurek J.: Przedsiębiorstwo: zasady działania, funkcjonowanie, rozwój, Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 2007; R. Miler, A. Mytlewski, i B. Pac, Kierunki racjonalizacji systemów i procesów logistycznych..., op. cit.

⁶ Miler R., Mytlewski A., Pac B.: Kierunki racjonalizacji systemów i procesów logistycznych..., op. cit.

⁷ Curry A.: Archaeology: The milk revolution: Nature, 500, 7460, 20-22, 2013.

Wraz ze wzrostem czasu przechowywania i czasu transportu rośnie ilość bakterii, zwiększa się metabolizm i aktywność enzymatyczna. To z kolei determinuje konieczność stosowania środków transportu znacznie szybciej odbierających i przemieszczających mleko, tym samym droższych gałęzi transportu.

Optymalne zarządzanie logistyczne dotyczące przewozu mleka od rolnika do zakładu produkcyjnego wymaga szczególnego podejścia, gdyż mleko jest specyficznym produktem, wymagającym dużego nakładu pracy oraz uwagi, aby w rezultacie jakość surowca nie uległa pogorszeniu podczas załadunku, przewozu jak i rozładunku. Chcąc zachować wysoką jakość i zdrowotność mleka, potrzebne są właściwe środki techniczne oraz organizacja dostaw.

Transport mleka od producenta do zakładu przetwórczego można podzielić na bezpośredni lub pośredni. Transport bezpośredni polega na odbiorze surowca wprost z gospodarstwa do mleczarni za pomocą autocystern zapewniających utrzymanie niskiej temperatury mleka⁸. Transport pośredni odbywa się za pośrednictwem punktów skupu mleka podlegających danej mleczarni lub za pomocą ruchomych tanków do odbioru i chłodzenia mleka. Ujemną cechą transportu pośredniego jest fakt, że odbierane mleko nie podlega żadnej segregacji pod względem jakościowym i trafia do jednego zbiornika, powoduje to znaczne obniżenie jego, jakości wskutek kilkakrotnego zwiększenia liczby drobnoustrojów. Ponadto dochodzi do mieszania mleka wolnego od substancji hamujących i skażonego nimi, co obniża jego jakość technologiczną⁹.

Dobór rodzaju i typu opakowań w transporcie ma zasadnicze znaczenie, dla jakości i efektywnego przebiegu procesów zachodzących podczas przewożenia mleka płynnego. Przewóz mleka w konwiach samochodami ciężarowymi skrzyniowymi powoduje najniższe wykorzystanie czasu pracy, małe wykorzystanie przestrzeni ładunkowej samochodu, co wpływa niekorzystnie na stosunek ciężaru brutto do ciężaru netto, powodując wysokie nieproduktywne zużycie energii trakcyjnej samochodu. Stosowanie konwi w transporcie jest bardzo niekorzystne i znaleźć może jedynie uzasadnienie w przypadku przewozu niewielkich ilości mleka przez drobnych dostawców.

W transporcie mleka stosuje się również kontenery izolowane i nieizolowane. Kontenerami izolowanymi transportuje się mleko na znaczne odległości dzięki izolowanym ścianom kontenera, które pozwalają przez dłuższy okres utrzymać stałą temperaturę w jego wnętrzu. Kontenerami nieizolowanymi przewozi się mleko na krótkie odległości ze względu na możliwość zmiany jego temperatury w czasie transportu. Wadą kontenerów jest duża masa całego opakowania, co powoduje większe zużycie energii pojazdu.

Najbardziej efektywny jest transport mleka przy użyciu dużych cystern samochodowych. Rozwiązania techniczne wyposażenia cystern samochodowych są różnorodne. Do załadunku i rozładunku mleka służą urządzenia próżniowe lub pompy, które zdolne są do zasysania nawet niewielkich ilości mleka z małych pojemników. Cysterny są wykonywane z aluminium lub ze stali nierdzewnej. Wielkość montowanych cystern na podwoziach samochodowych jest różnorodna, najczęściej 2-24 tys. dm³. Cysterny powyżej 20 tys. dm³ występują

⁸ Rudziński R.: Organizacja logistyki w zakładach przetwórstwa mleka: Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach Seria: Administracja i Zarządzanie, 87, 157-177, 2010.

⁹ Litwińczuk Z.: Surowce zwierzęce: ocena i wykorzystanie, Państwowe Wydaw. Rolnicze i Leśne, Warszawa, 2004.

w formie naczep instalowanych na ciągnikach siodłowych. Cysterny o dużej pojemności stosuje się najczęściej w transporcie międzynarodowym. Powszechnie są stosowane cysterny o pojemności 9-15 tys. dm³, najczęściej służące do transportu mleka surowego od rolników indywidualnych oraz z punktów skupu (zlewni)¹⁰.

System organizacji usług transportowych w spółdzielniach mleczarskich

Jak podkreślono wyżej transport surowców i produktów rolno-spożywczych jest ważnym elementem decydującym o jakości i bezpieczeństwie zdrowotnym w łańcuchu dostaw. Wszystkie procedury dotyczące sposobu transportowania żywności, sposobu przechowywania oraz procedur związanych z bezpieczeństwem są precyzyjnie określone i umieszczone w normach i rozporządzeniach. Jednym z głównych systemów monitorowania i kontrolowania, jakości żywności jest system HACCP, który kontroluje cały proces związany z bezpieczeństwem żywności począwszy od transportu poprzez cały etap produkcji¹¹.

Aby zachować jak najwyższą jakość mleka surowego ważna jest w dużej mierze technologia transportu obejmująca: czas przejazdu, sposób zabezpieczenia surowca przed wpływem szkodliwych czynników zewnętrznych oraz odpowiednie wyposażenie środków transportu. Wymaga się, aby autocysterny, zbiorniki, konwie oraz inne pojemniki do przewożenia mleka były tak skonstruowane, aby mleko spływało z nich całkowicie, co pozwala na łatwy proces czyszczenia, mycia i dezynfekcji oraz hermetyczne zamknięcie w czasie transportu¹².

Odpowiedni dobór floty transportowej oraz optymalne zarządzanie łańcuchem dostaw w zakładach przetwarzających surowe mleko przyczynia się w dużej mierze do optymalizacji kosztów ponoszonych na przewóz surowców od dostawców do spółdzielni.

Każde przedsiębiorstwo mleczarskie zajmujące się przetwórstwem surowego mleka pozyskanego bezpośrednio od indywidualnych dostawców, musi liczyć się z tym, że aby utrzymać się na rynku winna dołożyć wszelkich starań tak, aby konsumenci byli zadowoleni z produktów danej mleczarni. Dlatego też wszystkie mleczarnie czynią starania, aby ich surowiec był najwyższej jakości. Wykorzystywane są nowe technologie dostosowane bezpośrednio do przewożonego surowca lub produktu. Ma to na celu zwiększenie wydajności środków transportu oraz zapewnienie optymalnych warunków transportu w zakresie na przykład utrzymania odpowiedniej temperatury czy też poziomu wilgotności. Dąży się także do maksymalnego zwiększenia funkcjonalności, ergonomiczności, ekonomiczności i trwałości oferowanych produktów a także do poprawy bezpieczeństwa podczas użytkowania. Różnorodność dostępnych środków transportu i ich wyposażenia daje możliwość osiągnięcia wszystkich tych celów.

Charakterystyczną cechą organizacji systemów logistycznych w sektorze mleczarskim jest ich wielostopniowość i wzajemne przenikanie procesów przemieszczania i procesów magazynowania surowców i produktów mleczarskich. Specyfika logistyki produktów ulegają-

¹⁰ Ibid.

¹¹ Newcomb W.O.: ASQ Certification: A Brief History: Quality Progress, 1, 43, 2010.

¹² Ibid.

cych szybkemu zepsuciu wynika z niewielkich partii o dużej podatności na zepsucie, wymagających specjalistycznych środków transportu, procedur odbioru od producenta, magazynowania oraz zasad zachowania terminu dostaw¹³.

Zarządzanie logistyczne dotyczy każdego elementu z szeroko rozumianej infrastruktury wszystkich ogniw łańcucha dostaw, który ma wpływ na koszty funkcjonowania systemu i odgrywa istotną rolę w wytwarzaniu produktu końcowego¹⁴.

W przedsiębiorstwach specjalizujących się w produkcji mleka istotnym procesem logistycznym jest proces transportowy ze względu na stosunkowo częste dostawy surowców do produkcji oraz gotowych wyrobów. Cały proces transportowy obejmuje szereg etapów (dojazd, przyjazd i przewóz oraz załadunek i rozładunek)¹⁵.

Efektywne zarządzanie informacją może wspomóc wysiłki przedsiębiorstwa zmierzające do zaspokojenia logistycznych potrzeb klientów¹⁶. Badania wskazują, iż następujące operacje logistyczne w zakresie zaopatrzenia mogą być efektywnie wspomagane przez systemy informatyczne: dostawy „na czas”, kontrola poziomu zapasów dostępnych „pod ręką”, monitorowanie przebiegu realizacji zamówienia, kompletowanie dostawy, wyszukiwanie zamienników (substytutów), wybór form transportu. Wszystkie te operacje są zarządzane przez komórkę logistyczną i ich wdrożenie w znacznym stopniu zależy od właściwego przepływu informacji. Prawidłowo wdrożony system informacyjny zapewnia sprawne działanie łańcucha logistycznego.

Na rynku mleczarskim o nabywcę najczęściej konkurują nie poszczególne przedsiębiorstwa, lecz całe ich złożone sieci i zintegrowane z nimi łańcuchy dostaw¹⁷. Zarządzanie logistyczne opiera się na współdziałaniu operacyjnym według nowoczesnych zasad zarządzania logistycznego. Przykładem mogą być zintegrowane łańcuchy dostaw, gdzie poprzez współdziałanie i koordynację działań uczestników kanału dystrybucji, zyskuje się niższy poziom kosztów logistycznych¹⁸. Dalej idącym rozwiązaniem koncepcji zarządzania logistycznego, którego przydatność potwierdzono w warunkach kanałów dystrybucji produktów mleczarskich, jest efektywna obsługa klienta. Kluczowym zasobem, decydującym o kreatywności i funkcjonowaniu firm mleczarskich na konkurencyjnym rynku jest niewątpliwie wiedza i kompetencje logistyczne oraz skuteczna komunikacja rynkowa. Stanowią one ważne niematerialne zasoby firmy związane z ludzkim działaniem oraz zdobytym doświadczeniem¹⁹. Rozwój, gromadzenie i efektywne wykorzystanie dotychczasowych zasobów wiedzy może

¹³ Krajewski K.: Strategie rynkowe przedsiębiorstw w sektorze mleczarskim–tendencje rozwoju: Przegląd Mleczarski, 3, 35-37, 2011.

¹⁴ Harrison A., van Hoek R.: Zarządzanie logistyką, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2010.

¹⁵ Świetlińska M.: Outsourcing procesów logistycznych w przedsiębiorstwach mleczarskich: Logistyka, 6, 613-618, 2012.

¹⁶ Szymanowski W.: Łańcuchy i sieci dostaw żywności w Polsce iw wybranych krajach europejskich-ewolucje i przykłady zastosowań technologii informacyjnych, Wyd. WSHiFM im. Fryderyka Skarbka, Warszawa, 2006.

¹⁷ Krajewski K.: Uwarunkowania zarządzania logistycznego, a proces komunikacji rynkowej w sektorze mleczarskim: Logistyka, 4, 1026-1034, 2012.

¹⁸ Ibid.

¹⁹ Krajewski K.: Strategie rynkowe przedsiębiorstw w sektorze mleczarskim–tendencje rozwoju..., op. cit.

stanowiąc podstawę przewagi konkurencyjnej tych firm. W tej sytuacji obszar ten staje się istotnym przedmiotem zainteresowania zarządzania. Zarządzanie wiedzą logistyczną stanowi proces identyfikowania, zdobywania oraz wykorzystywania wiedzy z zakresu logistyki, mający na celu poprawę pozycji konkurencyjnej firmy, który wspierany jest przez cztery czynniki: przywództwo w łańcuchu dostaw, logistyczną kulturę organizacyjną, technologię logistyki i system informacji rynkowych²⁰.

Charakterystyka oraz rola w tworzeniu optymalizacji metodą AHP

Metoda Analytic Hierarchy Process (AHP) została zaprezentowana przez Thomasa L. Saaty z Uniwersytetu w Pittsburgu w latach 70 XX wieku²¹. „AHP jest ogólnym hierarchicznym podejściem do podejmowania wielokryterialnych decyzji, które pozwalają łączyć kryteria kwantyfikowane z niekwantyfikowanymi oraz obiektywnie mierzalne z subiektywnymi”²².

Metoda AHP opiera się na dekompozycji problemu na prostsze elementy składowe oraz przetwarzaniu ocen ekspertów w oparciu o porównywanie parami²³.

Liczne zastosowania tej metody we wspomaganiu decyzji ekonomicznych, technicznych czy społecznych potwierdza ich przydatność szczególnie w tych zastosowaniach”²⁴. Modelowanie przedstawione za pomocą AHP wykorzystywane jest wtedy, gdy nie jest znana zależność funkcyjna między elementami problemu decyzyjnego, opisanego w postaci hierarchii czynników, natomiast możliwy jest wówczas do oszacowania efekt występowania danych właściwości i ich efektu praktycznego²⁵.

Analytic Hierarchy Process jest często wykorzystywanym narzędziem do podejmowania złożonych decyzji w oparciu o znaczną liczbę kryteriów i przebiega w następujących etapach²⁶:

- Hierarchizacja problemu, czyli budowa właściwego modelu reprezentującego hierarchię analizowanych kryteriów poprzez dokonanie szczegółowej analizy problemu decyzyjnego oraz wyróżnienie określonych kryteriów. Model hierarchiczny został przedstawiony na rys. 1.

²⁰ Krajewski K.: Uwarunkowania zarządzania logistycznego, a proces komunikacji rynkowej w sektorze mleczarskim..., op. cit.

²¹ Saaty T.L.: A scaling method for priorities in hierarchical structures: *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 3, 234-281, 1977.

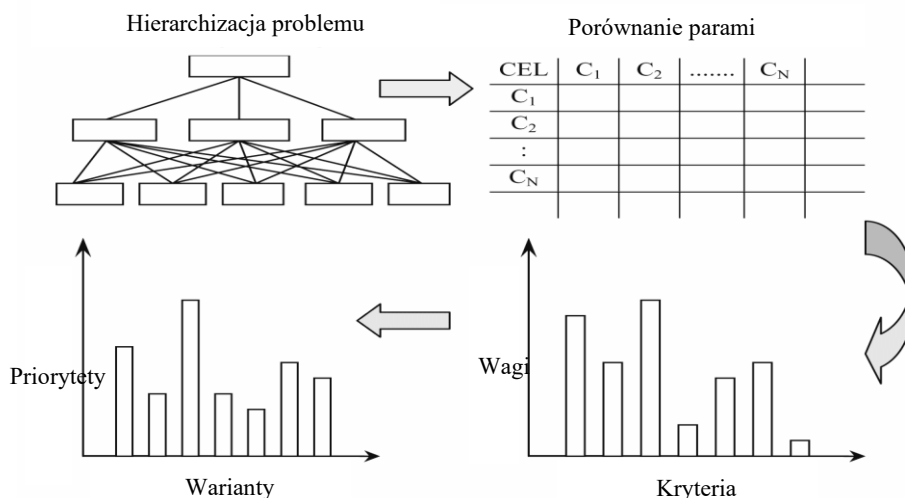
²² Saaty T.L.: Deriving the AHP 1-9 scale from first principles: *ISAHP 2001 proceedings*, Bern, Switzerland, 397-402, 2001.

²³ Dyer J.S.: Remarks on the analytic hierarchy process: *Management science*, 36, 3, 249-258, 1990; Saaty T.L.: *Creative thinking, problem solving & decision making*, RWS, Pittsburgh, 2001; Saaty T.L.: Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes: *European Journal of Operational Research*, 168, 2, 557-570, 2006.

²⁴ Tułeczki A., Król S.: Modele decyzyjne z wykorzystaniem metody Analytic Hierarchy Process (AHP) w obszarze transportu: *Problemy eksploatacji*, 171-179, 2007.

²⁵ Ibid.

²⁶ Adamus W.: Zastosowanie analitycznego procesu hierarchicznego AHP do racjonalizacji zarządzania i organizacji gospodarstw (przedsiębiorstw): *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 4-5, 20-41, 2000.



Rys. 1. Przykład klasycznego modelu Analytic Hierarchy Process (AHP)

Źródło: (Downarowicz i in., 2000)

- Przeprowadzenie oceny, czyli zestawienie (w sposób subiektywny) parami poszczególnych kryteriów jako wariantów decyzyjnych, stosuje się tu 9-stopniową skalę Saaty’ego, (1- jednakowa wartość, 3-niewielka przewaga, 5-silna przewaga, 7-bardzo silna przewaga, 9-absolutna przewaga, 2, 4, 6, 8- wartości pośrednie). Oceny o relacjach odwrotnych przedstawia się odwrotnością liczb całkowitych. Etap ten skutkuje utworzeniem macierzy $A = (a_{ij})$ o wymiarach $n \times n$, w której dokonuje się $n(n-1)/2$ tych porównań. Charakterystyczną cechą tej macierzy jest przekątna, która składa się z właściwości $a_{ji} = 1/a_{ij}$ (rys. 2 oraz rys. 3)²⁷.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Rys. 2. Kwadratowa macierz porównań parami

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = \mathbf{n} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}$$

Rys. 3. Iloczyn macierzy znormalizowanych ocen i wektora priorytetów

²⁷ Holder R.D.: Some comments on the analytic hierarchy process: Journal of the Operational Research Society, 41, 11, 1073-1076, 1990.

- Określenie preferencji, czyli tzw. wag zarówno lokalnych, jak i globalnych, dokonuje się po zbudowaniu macierzy i ustaleniu priorytetów, a następnie wyznaczenie łącznej wartości oceny przypadającej do konkretnego wariantu rozwiązania. Oceny eksperckie nie zawsze cechują się obiektywnością, dlatego też stosuje się współczynnik IR (1) :

$$IR = \frac{CI}{RI} < 0,2 \quad (1)$$

gdzie:

- CI – współczynnik konsekwencji,
- RI – indeks losowy (random index).

Współczynnik CI (2) oblicza się w odniesieniu do losowego wskaźnika RI ; który jest wartością średnią CI dla dużej liczby losowo wygenerowanej macierzy porównań. Wartość RI podana jest w formie tabeli (tabela 1).

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} < 0,10 \quad (2)$$

gdzie:

- λ – max-największa wartość własna macierzy priorytetów,
- n – liczba analizowanych ocen.

Tabela 1. Przykładowe wartości współczynnika (indeksu losowego)

N	0	3	4	5	6	7	8
RI	0	0,52	0,89	1,12	1,25	1,4	1,45

- Dokonanie klasyfikacji poszczególnych wariantów rozwiązań decyzyjnych tzn. kodyfikacja wariantów pod względem ich udziału w realizacji wymagań postawionych w celu nadrzędnym²⁸. Do realizacji tego etapu służy program „Super Decisions” bądź „Expert Choice”. Wyniki można zaprezentować na wykresie przedstawiającym proces optymalizacji tras.

W metodzie AHP to decydent ma wpływ na przebieg całego procesu, dlatego też posiada możliwość wyboru optymalnego rozwiązania spośród wielu wariantów. Decydent wartościuje możliwe warianty wyboru z uwzględnieniem określonych kryteriów²⁹.

Główne ograniczenia metody AHP³⁰:

- ograniczona z praktycznych względów do kilku liczb porównywalnych elementów na tym samym poziomie hierarchii,
- założenie pełnej porównywalności elementów (czynników i wariantów) występujących w modelu hierarchicznym,

²⁸ Zarzeka A., Frączek J., Woźniak A.: Optymalizacja transportu mleka z wykorzystaniem metody AHP: Logistyka, 6, 11671-11678, 2014.

²⁹ Wolsey L.A., Nemhauser G.L.: Integer and combinatorial optimization, 55, John Wiley & Sons, New York, 1999.

³⁰ Downarowicz O., Krause J., Sikorski M., Stachowski W.: Zastosowanie metody AHP do oceny i sterowania poziomem bezpieczeństwa złożonego obiektu technicznego: [w:] Wybrane metody ergonomii i nauki o eksploatacji., Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 7-42, 2000.

- wymaganie spójności macierzy ocen,
- duże uproszczenia w modelowaniu rzeczywistej sytuacji, dające jednak korzyści praktyczne w postaci uproszczonego postępowania podczas wspomaganie decyzji,
- utrudnione uwzględnienie zależności pomiędzy cząstkowymi funkcjami celu,
- zalecenie (niebezwzględna konieczność) współpracy zewnętrznego analityka-konsultanta, który powinien być także „organizatorem” procesu decyzyjnego,
- potrzeba przeszkolenia osób mających stosować metodę AHP w zakresie podstaw i praktycznych aspektów jej wykorzystania.

Metoda opracowania schematu optymalizacji dla przykładowego przedsiębiorstwa sektora mleczarskiego

Problematyka badań obejmowała optymalizację procesu transportowego w przedsiębiorstwie sektora mleczarskiego. Analizowano problem transportu surowca od indywidualnego dostawcy do zakładu produkcyjnego. Transport mleka od dostawcy do przedsiębiorstwa jest ważnym ogniwem łańcucha dostaw. Od tego, w jaki sposób zaplanowana jest trasa przejazdu zależy jakość surowca czas transportu surowca, a co najważniejsze długość drogi. Z tego powodu poddano analizie trasy przejazdowe od dostawców mleka do zakładu mleczarskiego. Należy zaznaczyć, że każde przedsiębiorstwo transportowe, a szczególnie odbierające mleko, boryka się z problemem doboru środków transportu, sposobem planowania tras przejazdu, tak aby były one w jak najlepszym stopniu zaplanowane poprzez wprowadzenie optymalizacji. Korzyści idące z odpowiednio zaplanowanych tras są duże, gdyż ułatwia to pracę kierowców, skraca czas przejazdu na zaplanowanych trasach odbioru mleka (poprawiając jego jakość) a ponadto zmniejsza zużycie paliwa przez pojazdy, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia kosztów ponoszonych na transport.

Celem przeprowadzonych badań była optymalizacja czterech wybranych tras transportu mleka w przedsiębiorstwie mleczarskim.

Pośród różnych możliwości skupiono się na schemacie objętościowo-drogowym. Schemat objętościowo-drogowy konstruuje możliwie najkrótszą trasę łączącą skupisko zasilające przedsiębiorstwo z pozostałymi skupiskami, natomiast marszrutyzacja (czyli podział na trasy cząstkowe) odbywa się wzdłuż wyznaczonej linii, według zasady naturalnego nasycenia, który należy rozumieć jako napełnianie się autocysterny do dopuszczalnego poziomu. Skupisko jest to grupa dostawców z danej miejscowości. Wykorzystana w badaniach metoda optymalizacyjna przy analizie tras transportu mleka, to metoda Technologii Optymalnej Produkcji 2 OPT (ang. Optimized Production Technology). Jako narzędzie optymalizacyjne wybrano program komputerowy Matlab, który pozwala na wielowariantowe projektowanie procesów optymalizacyjnych i późniejsze wykonanie zmian w kontekście poprawy organizacji transportu mleka odbieranego bezpośrednio od dostawców.

Wyniki optymalizacji tras odbioru mleka od dostawców

Wykorzystany w badaniach schemat objętościowo-drogowy wykorzystywał dane dotyczące ilości odbieranego mleka od pojedynczych dostawców i odległości pomiędzy dostaw-

cami. Uzyskane z przedsiębiorstwa informacje dotyczące liczby dostawców w danej miejscowości oraz ilości mleka pobieranego przez samochód w każdej z tych miejscowości zostały przedstawione w tabeli 2.

Na czterech analizowanych trasach znajdowało się 70 dostawców (tabela 2). Na pierwszej trasie znajdowało się 11 miejscowości i 27 dostawców, co stanowiło 44% z łącznej liczby wszystkich dostawców na analizowanych trasach. Łączna ilość mleka odbieranego przez autocysternę wynosiła 11 390 dm³. Na trasie drugiej składającej się z 4 miejscowości znajdowało się 10 dostawców, którzy dostarczali 9 500 dm³ mleka. Na kolejnej trasie obejmującej 6 miejscowości również znajdowało się 19 dostawców, a ilość odbieranego mleka wynosiła 9 530 dm³. W ostatniej grupie było tylko 3 miejscowości przy liczbie dostawców – 14, ilość odbieranego mleka wynosiła 11 390 dm³. Łączna ilość mleka odbieranego przez cysterny na wszystkich trasach wynosiła 41 810 dm³.

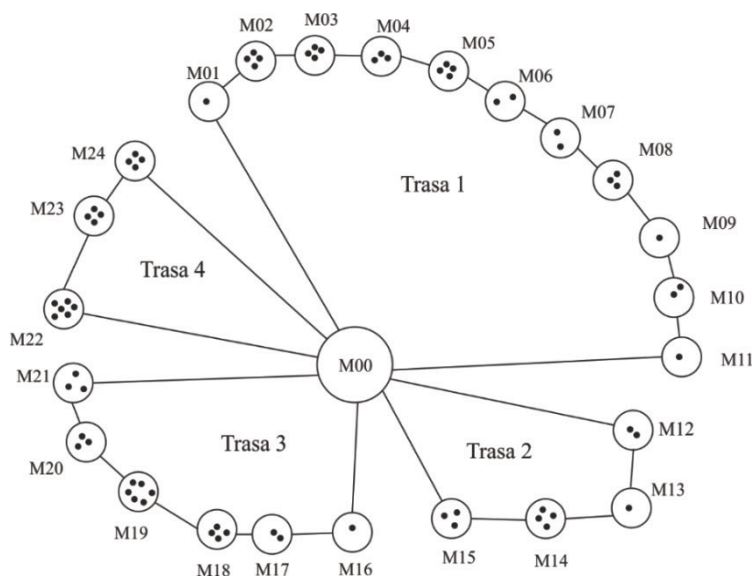
Tabela 2. Zestawienie liczby dostawców w miejscowości oraz ilość odbieranego mleka

Lp.	Nr węzła	Liczba dostawców w węźle (szt.)	Ilość mleka w węźle (dm ³)
1	M01	1	614
2	M02	4	3641
3	M03	4	1807
4	M04	3	765
5	M05	4	880
6	M06	2	1110
7	M07	2	575
8	M08	3	816
9	M09	1	198
10	M10	2	814
11	M11	1	170
Suma		27	11390
12	M12	2	1942
13	M13	1	1956
14	M14	4	4568
15	M15	3	1034
Suma		10	9500
16	M16	1	206
17	M17	2	391
18	M18	4	2683
19	M19	6	4054
20	M20	3	1584
21	M21	3	612
Suma		19	9530
22	M22	5	3506
23	M23	4	5045
24	M24	5	2839
Suma		14	11390
Razem		70	41 810

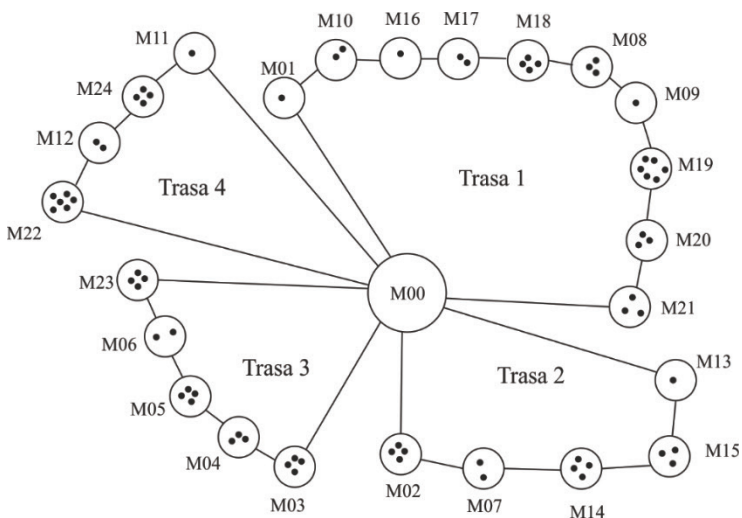
Informacje dotyczące ilości mleka odbieranego od dostawcy były informacjami statystycznymi, gdyż ilość mleka nie była taka sama codziennie i różniła się o kilka bądź kilkanaście litrów, zależało to od kilku czynników m.in. od liczby krów dojonych oraz od sezonu (pory roku). Większą ilość mleka dostawcy uzyskiwali w sezonie letnim, głównie dzięki temu, że krowy żywione były zieloną trawą na łąkach, jednak nie wszędzie istniała taka możliwość, dlatego też krowy dostawały zielonkę na swoje stanowiska. Sezon zimowy jest mniej wydajnym sezonem, jeśli chodzi o produkcję mleka.

Ważnym etapem badań była analiza odległości pomiędzy miejscowościami przy wykorzystaniu dostępnych map cyfrowych. Analiza obejmowała zarówno długości trasy jak również czas przypadający na pokonanie danej drogi. Czas przypadający na przejazd między tymi miejscowościami, ustalony był na podstawie średniej prędkości przejazdu uzyskanych od kierowców oraz map, gdzie weryfikowano odległość. Uzyskane dane wskazały, że analizowane trasy cechuje stosunkowo nieduża odległość zbierania surowca. W dalszym etapie badań przyporządkowano wszystkich dostawców z danej miejscowości w jedno skupisko. Ten sposób przyporządkowania dostawców pomaga na graficzne zaprezentowanie miejsc odbioru surowca. Wewnętrzny objazd skupiska również powinien odbywać się wzdłuż najkrótszej trasy wyznaczonej według grafu rozpisanego między skupiskami. Jednakże może zdarzyć się, że jeden z dostawców w danym skupisku znajdzie się na granicy miejscowości, a kolejny z dostawców z tej samej miejscowości może znaleźć się na drugim końcu. Odległości pomiędzy dostawcami w jednej miejscowości mogą być niekiedy większe niż pomiędzy dostawcami z innych miejscowości. Stwierdzono, że takie skupienie dostawców w jeden punkt będzie wystarczające do optymalizacji.

Na rysunkach 4 i 5 w formie grafu zostały przedstawione podziały na skupiska z umieszczonymi w środku punktami, które symbolizują liczbę dostawców w każdej miejscowości.

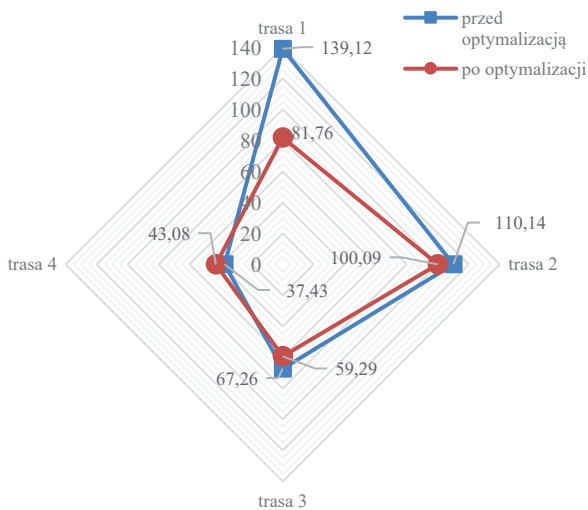


Rys. 4. Trasy odbioru mleka od dostawców realizowane przez przedsiębiorstwo



Rys. 5. Nowo utworzony podział na 4 najkrótsze trasy

Po dokonaniu grupowania indywidualnych dostawców w skupiska, które jednocześnie są miejscowościami, dokonano pomiarów odległości między samymi miejscowościami bez uwzględnienia przejazdów wewnątrz danego skupiska. W wyniku obliczeń otrzymano łączną długość dla tras z przedsiębiorstwa 353,94 km. Natomiast dla tras nowo utworzonych po dokonaniu optymalizacji uzyskano długość wszystkich tras łącznie 284,21 km. Wyniki te zostały przedstawione na rys. 6.



Rys. 6. Wyniki procesu optymalizacji dla tras transportowych mleka

Łączna długość trasy pierwszej wg danych przedsiębiorstwa wyniosła 139,12 km. Największa odległość pomiędzy jednym dostawcą (M6b) a drugim (M7a) wyniosła 20,8 km. Trasa wiodła przez 11 miejscowości i obsługiwała 27 dostawców. Po dokonaniu optymalizacji, długość trasy wyniosła 81,76 km przy najdłuższej odległości pomiędzy dostawcami wynoszącej 8,6 km. Trasa obsługiwała 25 dostawców w 9 miejscowościach.

Druga z tras przedsiębiorstwa miała długość 110,14 km. Największa odległość pomiędzy kolejnymi dostawcami mleka wyniosła 31,3 km (węzeł M15-M0). Trasa łączyła 4 miejscowości z 10 dostawcami. Po optymalizacji długość trasy wyniosła 100,09 km. Najdłuższa odległość między dostawcami mleka wyniosła 19,9 km. Ilość miejscowości zwiększyła się do 5 a ilość dostawców do 13.

Długość trasy trzeciej przed optymalizacją wyniosła 67,26 km łącząc 6 miejscowości i 19 dostawców. Największą odległość 8,9 km stwierdzono pomiędzy węzłami M01 a M16. Nowo utworzona trasa, wyniosła 59,29 km łącząc 5 miejscowości i 13 dostawców. Najdłuższa odległość do pokonania wyniosła pomiędzy węzłami 19,9 km (M13-M15).

Porównując ostatnią czwartą trasę przejazdu zauważono odmienną sytuację niż w przypadku poprzednich tras. Długość trasy po optymalizacji wydłużyła się z 37,43 km do 43,08 po optymalizacji. Najdłuższa odległość przed optymalizacją wyniosła 11 km (M24-M00), po optymalizacji najdłuższa odległość wyniosła 9,8 km (M11-M00). Trasa realizowana przez przedsiębiorstwo obsługiwała 14 dostawców w 3 węzłach, według zoptymalizowanej trasy było to 13 dostawców w 4 węzłach.

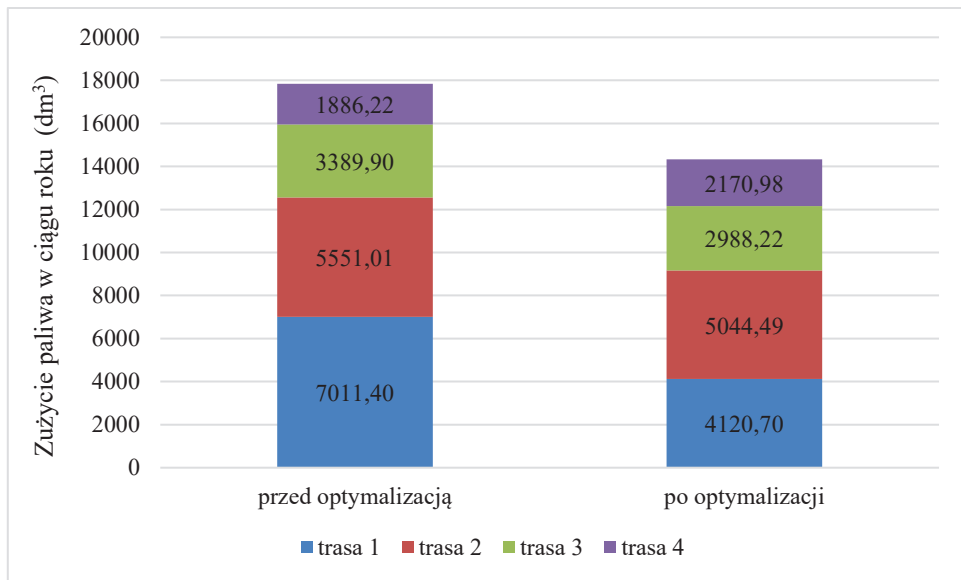
Po zestawieniu odległości tras przejazdu mierzonych między miejscowościami przez przedsiębiorstwo, a nowo utworzonymi trasami po przeprowadzonej optymalizacji, zauważono, że największa różnica wystąpiła na trasie 1 i wyniosła ona 57 km, trasy 2 i 3 dodały odpowiednio różnice 10,05 i 7,97 km. Jedynie na trasie 4 zauważono wydłużenie trasy o 5,65 km. Jednak sumaryczne uzyskano skrócenie długości przejazdu o 69,73 km. Zauważono również, że skupianie dostawców w jednym punkcie zmniejsza różnicę występującą na trasie a także zapobiega zbędnemu przejazdowi dwa razy do jednej miejscowości. Należy jednak zwrócić uwagę, że takie skupianie dostawców w punkty, które są jednocześnie miejscowościami cechuje się pewnym niedoszacowaniem, dlatego też różnica jest nieznacznie mniejsza niż przy obliczeniach długości drogi od adresu do adresu (punktu).

Analiza korzyści z optymalizacji wybranych tras

Analizę korzyści wynikających z optymalizacji analizowanych tras transportu mleka, dokonywano poprzez porównanie długości tras przed i po optymalizacji, i obliczenie zużycia paliwa. Do obliczeń przyjęto średnie zużycie paliwa na poziomie 28 dm³ na 100 km (norma zakładowa przyjęta przez przedsiębiorstwo). Statystycznie w ciągu miesiąca autocysterna wyjeżdżała 15 razy na analizowane trasy, ponieważ odbiór na tych trasach odbywał się co drugi dzień.

Na podstawie analizy uzyskanych danych oceniono skutki optymalizacji. Korzyści wynikające z optymalizacji dostaw mleka od dostawcy do przedsiębiorstwa przetwarzającego mleko zostały przedstawione na rys. 7. Z założenia optymalizacja analizowanych tras powinna zmniejszyć ilość przejeżdżanych kilometrów przy przewozie określonej ilości ładunku z określonych węzłów. Transport mleka przy mniejszej ilości przejeżdżanych kilometrów, to jednocześnie niższe koszty paliwa, ale również krótszy ogólny czas pracy pracowników (mniejsze płace). Ponadto dzięki optymalizacji uzyskano zmniejszenie ilości potrzebnych do

wykonania zadania pojazdów z autocysternami oraz zmniejszenie ilości potrzebnych do wykonania zadania pracowników. Mniejsze przebiegi pojazdów to również niższe koszty eksploatacyjne (napraw i utrzymania w gotowości technicznej autocystern, koszty zakupu opon, olejów i materiałów eksploatacyjnych). Mniejsze zapotrzebowanie na pojazdy w transporcie mleka, to również mniej nowych zakupów tych samochodów, zmniejszy się również nakład pracy przy myciu autocystern, a to wpłynie na mniejsze zapotrzebowanie na środki dezynfekcyjne.



Rys. 7. Zestawienie rocznego zużycia paliwa przed i po optymalizacji tras transportu mleka

Podsumowanie

Analizując metody zwiększające efektywność sektora usług transportowych, należy zwrócić szczególną uwagę na optymalizację transportu, skupiając się na rozwiązywaniu problemów dotyczących wytyczania trasy. Trasy przyjęte do poruszania się autocystern powinny być jak najkrótsze, co w efekcie generuje najmniejsze koszty transportu.

Analizując szereg metod optymalizacyjnych, można wyznaczyć te najbardziej skuteczne, które w efekcie końcowym dają stosunkowo jasny i wyrazisty obraz oczekiwanych rezultatów końcowych (korzyści) oraz metod znacznie prostszych, które niekiedy mogą być krytykowane, a mimo to mogą pomóc w podjęciu właściwych decyzji³¹.

Optymalizacja tras mimo pewnej subiektywności podejmowanych działań, które są charakterystyczne dla tego typu problemów, pozwala na opracowanie rozwiązania kompromisowego, najlepszego z punktu widzenia wielu istotnych kryteriów podczas świadczenia usług

³¹ Ehrgott M.: Multicriteria optimization, Springer Science & Business Media, Berlin, 2005.

transportowych. W każdym przedsiębiorstwie konieczne jest poddanie analizie bardzo wielu parametrów dotyczących przewozu, tak aby w jak największym stopniu wykorzystać posiadane zasoby techniczne i ludzkie. Dotyczy to między innymi odpowiedniego doboru środków transportu do wyznaczonych zadań, planowania odpowiednich tras do posiadanego taboru. Optymalizacja tras ruchu autocystern, wspomagana przez rozwiązania z zakresu technologii informatycznych umożliwi optymalne wytyczanie tras ruchu i odbioru mleka a tym samym skróceniu czasu przejazdu autocysterny i lepsze zarządzanie czasem pracy kierowców.

Przeprowadzony w badaniach schemat optymalizacyjny transportu mleka w przedsiębiorstwie mleczarskim wyłonił korzystniejsze rozwiązania niż funkcjonujące dotychczas. W stosunku do tras opracowanych przez przedsiębiorstwo, uzyskano skrócenie długości tras o 69,73 km. Na podstawie uzyskanych wyników obliczono roczne oszczędności zużywanego paliwa na poziomie 3 514,14 dm³ na omawianych trasach przewozu mleka.

Bibliografia

- Adamus W.: Zastosowanie analitycznego procesu hierarchicznego AHP do racjonalizacji zarządzania i organizacji gospodarstw (przedsiębiorstw): *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 4-5, 20-41, 2000.
- Curry A.: *Archaeology: The milk revolution: Nature*, 500, 7460, 20-22, 2013.
- Downarowicz O., Krause J., Sikorski M., Stachowski W.: Zastosowanie metody AHP do oceny i sterowania poziomem bezpieczeństwa złożonego obiektu technicznego: (w:) *Wybrane metody ergonomii i nauki o eksploatacji*, Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 7-42, 2000.
- Dyer J.S.: *Remarks on the analytic hierarchy process: Management science*, 36, 3, 249-258, 1990.
- Ehrgott M.: *Multicriteria optimization*, Springer Science & Business Media, Berlin, 2005.
- Hajdul M., Stajniak M., Foltyński M., Koliński A., Andrzejczyk P.: *Organizacja i monitorowanie procesów transportowych*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2015.
- Harrison A., van Hoek R.: *Zarządzanie logistyką*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2010.
- Holder R.D.: *Some comments on the analytic hierarchy process: Journal of the Operational Research Society*, 41, 11, 1073-1076, 1990.
- Krajewski K.: *Strategie rynkowe przedsiębiorstw w sektorze mleczarskim-tendencje rozwoju: Przegląd Mleczarski*, 3, 35-37, 2011.
- Krajewski K.: *Uwarunkowania zarządzania logistycznego, a proces komunikacji rynkowej w sektorze mleczarskim: Logistyka*, 4, 1026-1034, 2012.
- Letkiewicz A.: *Symetria systemów jako warunek sprawnego działania w logistyce: Prace Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej w Gdańsku*, 15, 29-39, 2012.
- Litwińczuk Z.: *Surowce zwierzęce: ocena i wykorzystanie*, Państwowe Wyd. Rolnicze i Leśne, Warszawa, 2004.
- Miler R., Mytlewski A., Pac B.: *Kierunki racjonalizacji systemów i procesów logistycznych*, CeDeWu, Warszawa, 2012.
- Newcomb W.O.: *ASQ Certification: A Brief History: Quality Progress*, 1, 43, 2010.
- Rudziński R.: *Organizacja logistyki w zakładach przetwórstwa mleka: Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach Seria: Administracja i Zarządzanie*, 87, 157-177, 2010.
- Saaty T.L.: *A scaling method for priorities in hierarchical structures: Journal of Mathematical Psychology*, 15, 3, 234-281, 1977.

- Saaty T.L.: Deriving the AHP 1-9 scale from first principles: ISAHP 2001 proceedings, Bern, Switzerland, 397-402, 2001.
- Saaty T.L.: Creative thinking, problem solving & decision making, RWS, Pittsburgh, 2001.
- Saaty T.L.: Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes: European Journal of Operational Research, 168, 2, 557-570, 2006.
- Stajniak M.: Racjonalizacja transportu w logistycznych procesach zaopatrzenia i dystrybucji, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2012.
- Szymanowski W.: Łańcuchy i sieci dostaw żywności w Polsce iw wybranych krajach europejskich - ewolucje i przykłady zastosowań technologii informacyjnych, Wyd. WSHiFM im. Fryderyka Skarbka, Warszawa, 2006.
- Świetlińska M.: Outsourcing procesów logistycznych w przedsiębiorstwach mleczarskich: Logistyka, 6, s. 613-618, 2012.
- Tulecki A., Król S.: Modele decyzyjne z wykorzystaniem metody Analytic Hierarchy Process (AHP) w obszarze transportu: Problemy eksploatacji, 171-179, 2007.
- Wolsey L.A., Nemhauser G.L.: Integer and combinatorial optimization, 55, John Wiley & Sons, NewYork, 1999.
- Zarzeka A., Frączek J., Woźniak A.: Optymalizacja transportu mleka z wykorzystaniem metody AHP: Logistyka, 6, 11671-11678, 2014.
- Żurek J.: Przedsiębiorstwo: zasady działania, funkcjonowanie, rozwój, Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 2007.

Autor do korespondencji: grzegorz.zajac@up.lublin.pl

ORCID: Grzegorz Zajac 0000-0002-9025-4551

ORCID: Joanna Szyszlak-Bargłowicz 0000-0001-9273-6725;

ORCID: Tomasz Słowik 0000-0001-9449-2234;



WIR
WYDAWNICTWO

ISBN 978-83-64377-53-2