

Monografia naukowa



# TRANSPORT I LOGISTYKA W DOBIE INŻYNIERII MECHANICZNEJ

Tom III

pod redakcją  
prof. dr hab. Macieja Kubonia

Kraków 2024

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie  
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

**TRANSPORT I LOGISTYKA  
W DOBIE INŻYNIERII MECHANICZNEJ  
TOM III**

**MONOGRAFIA**

pod redakcją  
prof. dr hab. Macieja Kubonia

Kraków, 2024

Wydawca: Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej

Opracowanie redakcyjne:

Prof. dr hab. inż. Maciej Kuboń

Dr hab. inż. Dariusz Kwaśniewski, prof. URK

Recenzenci:

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

Dr hab. inż. Katarzyna Szwedziak, prof. UP – UP Wrocław

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](mailto:biuro@novasandec.pl); <http://www.novasandec.pl>

Ark. wyd. 14,5; ark. druk. 13

Nakład: 100 egz.

© Copyright by Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków 2024

Wydanie I

**ISBN 978-83-64377-54-9**

**WIR**  
WYDAWNICTWO

Wydawnictwo „INŻYNIERIA ROLNICZA”

ul. Balicka 116B

30-149 Kraków

[www.wir.ptir.org](http://www.wir.ptir.org); e-mail: [redakcja@ptir.org](mailto:redakcja@ptir.org)

## Spis treści

<b>Cupiał M., Jabłońska K., Tabor S.:</b> Optymalizacja lokalizacji magazynu z wykorzystaniem metody AHP .....	5
<b>Dziechciowska M., Sikora J., Szelaż-Sikora A., Oleksy-Gębczyk A., Kowalska-Jarnot K., Stuglik J.:</b> Poziom dystrybucji towarów na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa.....	19
<b>Dziechciowska M., Sikora J., Szelaż-Sikora A., Oleksy-Gębczyk A., Kowalska-Jarnot K., Stuglik J.:</b> Ocena procesu transportowego na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa transportowo-spedycyjnego w przemyśle spożywczym	43
<b>Kielbasa P., Zagórda M., Zera K.:</b> Wpływ modyfikacji wybranych elementów infrastruktury drogowej na przepustowość skrzyżowań .....	67
<b>Kowalczyk Z., Kwaśniewski D., Patropoulos A.:</b> Logistyka usług dla gospodarstw rolnych z terenu powiatu leżajskiego .....	87
<b>Kurek G., Lis A., Furyk-Grabowska K., Olech E., Klosowska O.:</b> Optymalizacja produkcji poprzez rekonstrukcję stanowisk pracy – studium przypadku w wybranym przedsiębiorstwie .....	105
<b>Miernik A., Kielbasa P., Pysz P., Baran D., Grela A.:</b> Ergonomiczna ocena obciążenia psychofizycznego kierowcy samochodu osobowego w czasie jazdy miejskiej .....	123
<b>Molenda K., Matoga P.:</b> Wyznaczanie optymalnych lokalizacji magazynów z użyciem symulacji w programie anyLogistix® .....	139
<b>Pedryc N., Basista G., Hajos M., Dzieniszewski G.:</b> Diagnostyka pokładowa w transporcie i logistyce .....	155
<b>Sak B., Olech E., Kuboń M., Kwaśniewski D., Malaga-Toboła U., Borusiewicz A.:</b> Efektywność procesów magazynowych na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa .....	173
<b>Zydroń A., Kuboń M., Furyk-Grabowska K., Gajda J., Kowalczyk Z.:</b> Analiza systemu utrzymania ruchu w browarze - studium przypadku.....	195





# OPTIMALIZACJA LOKALIZACJI MAGAZYNU Z WYKORZYSTANIEM METODY AHP

Michał Cupiał<sup>1</sup>, Klaudia Jabłońska<sup>2</sup>, Sylwester Tabor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

<sup>2</sup> Dyplomantka w Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

## Wprowadzenie

Głównym zadaniem magazynu jest przechowywanie towarów. Gromadzone w nich zapasy to pewna ilość dóbr o dokładnie określonej lokalizacji, która jest wyrażana w miarach ilościowych (np. sztuka, kilogram, jednostka) lub wartościowych<sup>1</sup>. Odpowiednia lokalizacja magazynu i jego konstrukcja to podstawy efektywnego łańcucha dostaw. Magazyn powinien znajdować się w takim miejscu, aby sprawnie i na czas spełniać oczekiwania klientów, optymalizować koszty utrzymania i koszty transportu oraz pozwalać na zarządzanie zapasami w sposób możliwie najefektywniejszy. Utworzenie lub wynajęcie magazynu we właściwej lokalizacji jest kluczowe dla utrzymania płynnego przepływu operacji zaopatrzenia i dystrybucji towarów<sup>2</sup>.

Przedsiębiorstwo otwierające nowy magazyn lub na zmieniający jego lokalizację kierować się może różnymi czynnikami. Należą do nich czynniki związane z rosnącymi wymaganiami dotyczącymi obsługi, kwestie finansowe, aspekty prawne, zmiany rynkowe, presja konkurencji, poszukiwanie potrzebnej siły roboczej, a także zmiana formy własności przedsiębiorstwa<sup>3</sup>.

Wybór optymalnego miejsca magazynowego to skomplikowany proces, w którym należy zadbać o różne aspekty niematerialne i materialne. Mimo iż obecne metody zorientowane są głównie na względy finansowe, przedsiębiorstwo stojące przed takim wyzwaniem powinno uwzględniać zarówno czynniki ilościowe, jak i jakościowe, stosując podejście analityczne<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> Fertsch, M.: Słownik terminologii logistycznej. ILiM, Poznań, 2006.

<sup>2</sup> Sztelik, P.: Lokalizacja magazynu centralnego z zastosowaniem metod wielokryterialnych.

<sup>3</sup> Szada-Borzyszkowski i Szada-Borzyszkowska, „Wyznaczenie optymalnego miejsca magazynu towarów szybko psujących się w transporcie międzynarodowym”. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 2016.

<sup>4</sup> Wasiak, M., Jacyna-Gołda, I., Żak J.: Metodyka lokalizacji magazynów w sieci logistycznej. Wyd. Politechniki Poznańskiej, 2005.

Czynniki, które wpływają na wybór lub odrzucenie potencjalnych lokalizacji nie mają stałego i uniwersalnego charakteru, ponieważ w dużej mierze zależą od branży i charakterystyki danej firmy. Ogólnie można jednak określić czynniki, którymi należy kierować się podczas dokonywania analizy lokalizacji magazynu. Do czynników tych można zaliczyć<sup>5</sup>: wymiary magazynu, dostępną infrastrukturę magazynową i drogową, odległość od obecnych i potencjalnych klientów oraz kontrahentów, koszty eksploatacji, dostępność siły roboczej, uwarunkowania prawne, zagrożenia występujące na danym obszarze oraz możliwą konkurencję.

Dobór odpowiednich czynników wyboru nowej lokalizacji magazynu, przeprowadzona analiza oraz finalnie podjęta decyzja ma wpływ na przyszłe funkcjonowanie przedsiębiorstwa, a w konsekwencji na sukces lub porażkę. Dlatego tak istotne jest przeprowadzenie całego procesu z należytą dokładnością i zaangażowaniem.

### **Optymalizacja z wykorzystaniem metod wielokryterialnych**

W każdym obszarze działań przedsiębiorstwa, podejmowanie decyzji jest wpisane w jego funkcjonowanie. Stopień trudności dokonywanego wyboru jest zróżnicowany i wynika głównie z istotności danego problemu, liczby możliwych wariantów, ilości informacji związanych z możliwymi wariantami i konsekwencji podjętych decyzji. Przed podjęciem decyzji warto więc odpowiednio przeanalizować dostępne możliwości i ryzyko, jakie niosą, aby zminimalizować warunki niepewności. Podejmowanie decyzji wpływa na pozycję rynkową przedsiębiorstwa. Utrzymanie wysokiej pozycji konkurencyjnej niejednokrotnie zależy od tego jak szybko dokonany zostanie wybór i czy działania z nim związane zakończą się powodzeniem. Dlatego też osoby decyzyjne rozpatrują wszystkie możliwe warianty w poszukiwaniu najlepszego, czyli optymalnego rozwiązania. Działania te wspomagane są przez odpowiednie metody naukowe, których rodzaj zależy od charakterystyki występującego problemu decyzyjnego<sup>6</sup>.

Szczególną grupą problemów optymalizacyjnych są te, w których występuje więcej niż jedno kryterium decyzyjne. Kryteria mogą dotyczyć zarówno cech ilościowych, jak i jakościowych. Metodyka, która ma za zadanie pomóc w rozwiązaniu tego typu decyzji, obejmuje odpowiednie narzędzia, procedury oraz modele matematyczno-informatyczne. Podstawowymi własnościami wyróżniającymi wielokryterialny problem decyzyjny są<sup>7</sup>:

- zbiór wariantów (zbiór rozwiązań), obiektów bądź decyzji, który jest analizowany i oceniany przy podejmowania decyzji,
- zbiór kryteriów, za pomocą których poddawane są ocenie warianty.

Chcąc rozwiązać tego typu problem, niezbędne jest: definiowanie kryteriów, zdefiniowanie wariantów z uwzględnieniem danych kryteriów, pogrupowanie wariantów zgodnie z danymi normami bądź klasyfikacją, sklasyfikowanie wariantów od najlepszych do najgorszych.

---

<sup>5</sup> Matulewski M. i in.: Systemy logistyczne-komponenty, działania, przykłady, wyd. 2. Biblioteka Logistyka, 2008.

<sup>6</sup> Reszka, L.: Możliwości wykorzystania metody AHP do rozwiązywania wielokryterialnych problemów optymalizacyjnych w logistyce. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu i Logistyka, nr 51, Gdańsk, 2014.

<sup>7</sup> Żak, J.: Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2005.

Korzystając z analizy wielokryterialnej należy pamiętać, iż rozwiązanie problemu ściśle związane jest z podejściem kompromisowym, ponieważ osoby będące częścią procesu decyzyjnego mogą mieć rozbieżny punkt widzenia dotyczący kryteriów. Wprawdzie zbiory wariantów i kryteriów decyzyjnych są obiektywne, jednak ich analiza, ocena i porównywanie mają charakter subiektywny. Istotne jest więc stosowanie wymierności w przypadku oceniania wariantów, aby możliwie ograniczyć subiektywizm<sup>8</sup>.

Powodzenie zadania, jakim jest rozwiązanie problemu decyzyjnego, zależy w dużej mierze od wybranej do tego celu metody wielokryterialnej. Warto zatem przeanalizować dostępne strategie, w oparciu o wiedzę i zebrane dane, aby decyzja ostateczna okazała się sukcesem dla danego przedsiębiorstwa.

### Metoda AHP

Metoda AHP (*Analytic Hierarchy Process*) to narzędzie matematyczne i analityczne stosowane do podejmowania decyzji w sytuacjach, w których istnieje wiele kryteriów i opcji do rozważenia. Została opracowana przez Thomasa L. Saaty'ego i jest często używana w dziedzinie zarządzania, inżynierii, ekonomii i innych obszarach, gdzie konieczne jest hierarchiczne podejście do oceny i porównywania różnych aspektów problemu<sup>9</sup>.

Metoda AHP ma na celu sformalizowanie procesu decyzyjnego poprzez przypisanie wag i priorytetów różnym kryteriom oraz ocenę względnej istotności różnych opcji. Główne kroki w metodzie AHP to:

- Tworzenie hierarchii - problem jest rozłożony na hierarchiczne poziomy, z najwyższym poziomem reprezentującym cel główny, a niższymi poziomami reprezentującymi kryteria i opcje.
- Tworzenie macierzy porównań - w tym kroku ocenia się względne istotności każdego kryterium lub opcji wobec pozostałych. Użytkownik przypisuje parom kryteriów lub opcji numeryczne oceny, które reprezentują ich względne znaczenie.
- Obliczanie wag - na podstawie macierzy porównań oblicza się wagi dla każdego kryterium lub opcji. To jest kluczowy krok, w którym wykorzystywane są obliczenia matematyczne, takie jak wyznaczniki, aby uzyskać spójne wagi.
- Analiza spójności - w trakcie obliczeń istotne jest monitorowanie spójności macierzy porównań, aby upewnić się, że oceny są logiczne i spójne. W przeciwnym razie można dostosować oceny, aby uzyskać większą spójność.
- Agregacja wyników - po obliczeniu wag dla wszystkich poziomów hierarchii, można je agregować, aby uzyskać wynik końcowy, który pozwala porównać różne opcje pod względem ich ogólnej wartości.

Metoda AHP dostarcza strukturalnego podejścia do podejmowania decyzji, szczególnie w sytuacjach, gdzie istnieje wiele zmiennych i kryteriów do uwzględnienia. Pomaga wizualizować złożone problemy, osiągając bardziej klarowne i uzasadnione decyzje.

Jest ona zaliczana do metod dyskretnych opartych na funkcji użyteczności, w której kryteria zarówno policzalne, jak i niepoliczalne, poddaje się relatywnej skali ocen. Metoda ta jest jedną z najbardziej znanych i najczęściej wykorzystywanych wśród różnych dziedzin.

---

<sup>8</sup> Beria, P., Maltese I., Mariotti I.: Multicriteria versus Cost Benefit Analysis. European Transport Research Review 4, nr 3, 2012.

<sup>9</sup> Prusak A., Stefanów P.: AHP – analityczny proces hierarchiczny. Wydawnictwo CH Beck, 2014.

Jej niepodważalną zaletą jest uproszczenie złożonych wyborów poprzez porównywanie parami kolejno wszystkich kryteriów oraz w analogiczny sposób wariantów względem każdego kryterium, co sprawia, że wybór jest efektywny i skuteczny.

Punktem wyjścia jest zdefiniowanie celu głównego oraz identyfikacja oczekiwań, jakie wykazywane są w stosunku do niego. Kolejnym krokiem jest wyznaczenie celów pomocniczych, które względem siebie są równorzędne. Identyfikowane są także kryteria oceny oraz warianty/rozwiązania.

Kolejny etap obejmuje porównanie kryteriów. W tym etapie analizy wyznaczone wcześniej kryteria zostają poddane porównywaniu ze sobą parami. W tym celu tworzona jest macierz, w której zapisywane są wyniki odzwierciedlające subiektywną ocenę. Ich wartość nie jest przypadkowa i wynika bezpośrednio z skali preferencji.

Po dokonaniu oceny kryteriów następuje część obliczeniowa, w wyniku której otrzymuje się wartości, wyznaczające wagi poszczególnych kryteriów.

W dalszej kolejności warianty wyznaczone w etapie pierwszym zostają oceniane pod kątem kolejnych kryteriów. W zależności od charakterystyki danego kryterium ocena ta może być mniej lub bardziej obiektywna. W przypadku gdy kryterium jest wyrażone ilościowo, określenie preferencji jest łatwiejsze. Jeśli natomiast wyrażone jest jakościowo, należy odpowiednio przeskalować i porównać warianty, co stanowić może pewną trudność.

Po wykonaniu kolejnych obliczeń, uzyskuje się ranking końcowy na podstawie wyliczonych wag. Otrzymany wynik końcowy pozwala sklasyfikować rozwiązania od najlepszego do najgorszego. W przypadku znaczącej różnicy między nimi możliwe jest jednoznaczne wyłonienie optymalnego rozwiązania. W przypadku, gdy warianty z najwyższymi wynikami osiągną wartości zbliżone, ostateczny wybór dokonuje oceniający.

Ponieważ problem doboru lokalizacji magazynu opiera się na wielu kryteriach, zarówno policzalnych, jak i niepoliczalnych, do jego rozwiązania wybrano metodę AHP. Metoda postępowania w ramach tej analizy jest efektywna i daje możliwość oceny wybranych kryteriów oraz wariantów, dzięki czemu dopasowanie do charakterystyki i założeń przedsiębiorstwa jest dokładne i spójne.

### **Opis problemu badawczego**

Wszelkie realizowane działania i prace budowlane oparte są na obsłudze logistycznej w zakresie zaopatrzenia w odpowiednie zasoby, do których należą urządzenia techniczne, materiały, produkty, informacje, pieniądze czy kadra pracownicza<sup>10</sup>. Bez sprawnej koordynacji i zarządzania powstać mogą wąskie gardła, które zakłócą lub uniemożliwią realizację zadań. Działania, w których wykorzystywana jest logistyka obejmują m.in.:

- a) planowanie i sterowanie przepływem materiałów czy produktów potrzebnych do wykonania prac;
- b) zarządzanie zapasami zgromadzonymi na magazynie;
- c) koordynacja i planowanie terminów prac;
- d) planowanie terminów dostaw towarów do klientów;
- e) sprawne zarządzanie przepływem informacji;
- f) obsługa klienta.

---

<sup>10</sup> Sobotka A.: Zarządzanie logistyczne w przedsiębiorstwach budowlanych. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 29, nr 3/1, 2005.

Planowanie i sterowanie przepływem materiałów oraz produktów powiązane jest z zarządzaniem zapasami na magazynie. Od zamówienia, aż po magazynowanie i wydanie towarów prace muszą być odpowiednio skoordynowane. Charakterystyka działalności w zakresie okien, bram garażowych, osłon zewnętrznych oraz znacznej większości drzwi zewnętrznych i wewnętrznych zakłada produkcję na zamówienie. Zgodnie z nią gromadzenie zapasu przed zgłoszeniem zapotrzebowania od klienta nie jest możliwe. W związku z tym towary składowane są wyłącznie z przyczyn organizacyjnych, które wynikają z czasu oczekiwania na datę montażu. Podłogi oraz niektóre, wybrane przez producentów modele drzwi zewnętrznych i wewnętrznych mogą być zamawiane oraz składowane jeszcze przed wystąpieniem zapotrzebowania. Pozwala to spełnić oczekiwania konsumentów związane z szybką odpowiedzią na ich potrzeby. W tym celu należy jednak przeprowadzić analizę rynku oraz sporządzić prognozy, zgodnie z którymi zamówione zostaną jedynie wybrane modele danych produktów w określonych ilościach. Poziom różnorodności w segmencie podłóg jest tak duży, że składowanie każdego dostępnego dekoru jest nieopłacalny, a nawet niemożliwy do zrealizowania. Oprócz produktów gotowych dostarczonych od producentów, na magazynie składowane są również materiały niezbędne do wykonania montażu. Ich ilość oraz częstotliwość dostaw powinna być odpowiednio zaplanowana zgodnie z wybraną metodą odnawiania zapasu. Wszystkie wymienione towary charakteryzują się zaspokojeniem zapotrzebowania konsumpcyjnego, co kwalifikuje magazyn jako handlowy.

Kolejne działania logistyczne związane z branżą budowlaną dotyczą planowania zarówno prac montażowych, jak i dostaw zakupionego towaru do klientów. Każda pozycja asortymentowa cechuje się innym sposobem oraz czasem instalacji. Dodatkowo wielkość zamówienia, konstrukcja oraz rodzaj danego produktu nie jest stała. Warunki montażowe również cechują się zmiennością. Wymienione czynniki są znacznym utrudnieniem w określeniu czasu potrzebnego do zakończenia zlecenia. Skutkiem tego jest występowanie błędów w planowaniu terminów poszczególnych prac, które są bardzo ciężkie do przewidzenia i wyeliminowania. Planista powinien być więc przygotowany na takie sytuacje i w miarę możliwości tworzyć rozwiązania awaryjne, które pozwolą w niezakłócony sposób wykonywać dalsze działania budowlane z zachowaniem optymalnego stopnia zadowolenia klientów. Determinantą, która wpływa na zakłócenia w ustalonym grafiku i nie jest zależna od czynnika ludzkiego, to warunki atmosferyczne. Wszelkie załamania pogody czy znaczne spadki temperatur mogą uniemożliwić wykonanie zaplanowanego montażu produktów obejmujących etap stanu surowego zamkniętego. W pewnym stopniu można przewidzieć takie sytuacje i w porę na nie reagować poprzez sprawdzanie prognoz pogody. Nie zawsze jednak są one trafne, dodatkowo warunki mogą ulec nagłemu pogorszeniu, co skutkuje brakiem możliwości dostosowania się do wymuszonych zmian.

Aktualnie analizowane przedsiębiorstwo posiada magazyn zlokalizowany w Januszowicach, w odległości ok 30 km od Krakowa. Obiekt wynajmowany jest od lokalnego przedsiębiorcy. Jego powierzchnia wynosi 360 m<sup>2</sup>. W magazynie przechowywane są głównie produkty zamówione przez klientów. Dodatkowo składowane są również materiały oraz specjalistyczne narzędzia niezbędne do wykonania montażu stolarki budowlanej.

Główną konsekwencją otwarcia nowego salonu sprzedaży w 2020 roku, było zwiększenie obszaru działania. Nowe miejsca montażu, położone po drugiej stronie aglomeracji krakowskiej (m.in. Wieliczka, Dobczyce i okoliczne miejscowości), spowodowały wiele zmian zarówno pozytywnych, jak i negatywnych. Do drugiej grupy zalicza się:

- a) wzrost kosztów dojazdu monterów z magazynu na miejsce wykonania usługi, spowodowany dużą odległością magazynu od wskazanych obszarów;
- b) wzrost cen usług i dostaw dla klientów z wskazanych obszarów, wynikających z przeliczenia kosztów wymienionych w podpunkcie (a);
- c) mniejsza efektywność pracy, wynikająca z czasu poświęconego na dojazd od magazynu na miejsce wykonania usługi. Przekłada się to na mniejszy udział czasu poświęconego na montaż w ogólnym czasie pracy;
- d) powstanie wąskiego gardła w części procesu związanej z montażem, którego powodem jest sytuacja opisana w podpunkcie (c) oraz wzrost zleceń.

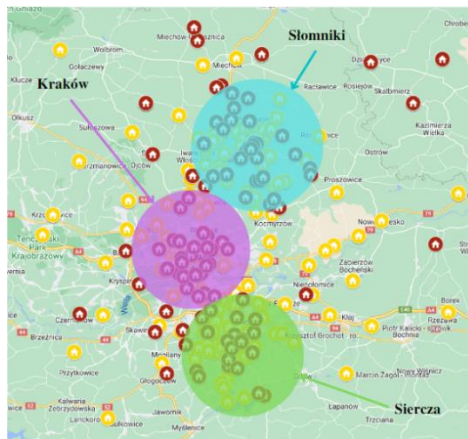
W konsekwencji postanowiono przeanalizować zaistniałą sytuację i sprawdzić, czy zmiana lokalizacji magazynu pozwoli zoptymalizować koszty oraz inne istotne dla przedsiębiorstwa czynniki. Wspomnianą analizę rozpoczęto od określenia założeń dotyczących obiektu magazynowego. Skupiono się na dwóch aspektach:

1. nowa lokalizacja magazynu musi obejmować swoim zasięgiem obszar, na którym wykonywane są usługi lub znajdować się w jego pobliżu;
2. powierzchnia nowego magazynu nie powinna przekraczać zakresu od 330 m<sup>2</sup> do 430 m<sup>2</sup>.

Powyższe założenia wymagały przeanalizowania firmowych danych dotyczących obszaru, na którym wykonywane są usługi, charakterystyki obecnego magazynu przedsiębiorstwa oraz charakterystyki pracy monterów. Analizie poddany został również rynek magazynowy w województwie małopolskim w celu wyznaczenia kilku potencjalnych lokalizacji. Powyższe działania były podstawą przeprowadzenia analizy wielokryterialnej metodą AHP

### Założenia wstępne

W pierwszej kolejności przeanalizowano obszar, w którym przedsiębiorstwo wykonywało usługi montażu oraz dostawy zamówionych produktów w ciągu roku. W tym celu stworzono mapę i rozlokowano na niej wskazane miejsca. Dane pozyskano z ubiegłorocznego grafiku wszystkich ekip montażowych.



Rys. 1. Mapa lokalizacji usług wykonanych przez firmę w ciągu roku z podziałem na 3 główne skupiska

*Źródło: Opracowanie własne*

Łączna liczba punktów wyniosła 331, z czego 38% stanowią usługi związane z produktami wewnętrznymi. Podział ten zastosowano do oceny ważności dostawcy wskazanych produktów. Zgodnie z przedstawionymi danymi dostawca pełni ważną rolę, ponieważ pozwala zrealizować prawie połowę zleconych przez klientów usług.

Analizując mapę zauważono, że lokalizacje wykonywanych usług podzielić można na 3 grupy przedstawione na rys. 1. Wyznaczone grupy lokalizacji skupiają się wokół 3 miejscowości. Grupa oznaczona kolorem:

- a) niebieskim grupuje miejsca wykonania usług, których centrum stanowią Słomniki. Jest to miasto, w którym znajduje się siedziba główna firmy;
- b) fioletowym grupuje miejsca wykonania usług, których centrum stanowi Kraków;
- c) zielonym grupuje miejsca wykonania usług, których centrum stanowi Siercza. W miejscowości tej zlokalizowany jest drugi salon sprzedaży firmy.

Pozostałe punkty oznaczone na mapie nie stanowią dużych skupisk, a jedynie pojedyncze przypadki, które nie są kluczowe. Z tego powodu nie zostały przydzielone do żadnej z grup.

Wśród dostępnych danych firmowych skupiono się również na charakterystyce magazynu. Obecny budynek pełni funkcję handlową, ponieważ jego głównym zadaniem jest przechowywanie towarów gotowych w oczekiwaniu na montaż. Produkty te lokowane są w magazynie na bazie:

- a) analizy ABC/XYZ;
- b) gabarytów, jakimi się odznaczają. Jeśli są dwie pozycje asortymentowe, które należą do jednej lub zbliżonej grupy z analizy ABC/XYZ, bliżej strefy przyjęć/wydań jest ta, której gabaryty są większe. Metoda przyjęta została, aby ułatwić i przyspieszyć manipulację towarami.

Dane firmowe zostały przeanalizowane również pod kątem pracowników wykonujących montaż i dostawy do klientów. Pracownicy ci podzieleni są na dwuosobowe grupy, których skład personalny jest niezmienny. Niemal wszyscy pracownicy mieszkają na terenie Słomnik i pobliskich miejscowości. Dlatego samochody służbowe znajdują się na prywatnych posesjach jednego z członków ekipy. Odległość floty od obecnego magazynu jest tak niewielka, że koszty paliwa związane z dojazdem nie są przerzucane na pracowników.

Czas pracy liczony jest od momentu przyjazdu na magazyn, zarówno przed, jak i po wykonaniu montażu. Aby załadunki odbywały się sprawnie, każda ekipa przyjeżdża o wyznaczonej godzinie w przedziale od 6:30 do 7:00 rano. Średnia liczba pracy w ciągu jednego dnia wynosi 9 godzin. Im dalej zlokalizowane jest miejsce montażu, tym krócej trwa sama usługa. Przekłada się to na małą efektywność w przypadku odległego miejsca.

Oprócz dokumentów, danych i charakterystyki firmy, analizą został objęty rynek magazynowy. Zakres terytorialny dotyczył województwa małopolskiego, a konkretniej obszaru, w którym przedsiębiorstwo wykonuje swoje usługi. Obszar ten wyznaczono za pomocą mapy przedstawionej wcześniej.

Celem analizy było wyłonienie potencjalnych lokalizacji magazynu. W oparciu o dane z serwisów internetowych, poszukiwano magazynów zgodnych z wcześniej wyznaczonymi założeniami, dotyczącymi powierzchni i danego obszaru. Dodatkowo wzięto pod uwagę układ technologiczny, wyposażenie oraz stan techniczny. Obiekty o wskazanych wymiarach, tj. między 330 m<sup>2</sup> a 430 m<sup>2</sup>, stanowiły niecałe 10% wśród dostępnych ogłoszeń. Czynnikiem ten znacznie zawęził możliwości wyboru.



Wśród magazynów zgodnych z założeniami, zakres cenowy związany z ceną wynajmu wahał się między 12,00 zł/m<sup>2</sup> a 32,00 zł/m<sup>2</sup>. Wartości uzależnione były głównie od lokalizacji, wyposażenia oraz ogólnego stanu technicznego budynku. Większe koszty wiązały się m.in. z bliskością dużych miast, dobrą infrastrukturą drogową, przestrzenią magazynową bez słupów konstrukcyjnych oraz nowoczesnym wyposażeniem.

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyznaczono 5 potencjalnych lokalizacji, którymi były: Bronowice (Kraków), Wolbrom, Myślenice, Niepołomice, Skawina. Następnie lokalizacje te zostały zestawione wraz z obecną, w celu przeprowadzenia obliczeń metodą AHP i dokonania optymalnego wyboru.

### **Kryteria decyzyjne**

Mając na uwadze charakterystykę przedsiębiorstwa, problemy z jakimi się mierzy oraz ogólne czynniki wpływające na decyzje lokalizacyjne, wyszczególniono następujące kryteria:

1. Cena wynajmu za 1 m<sup>2</sup> - poziom wykorzystania prądu, gazu i mediów w magazynie firmy jest na niskim poziomie. Dodatkowo ceny te są na stosunkowo podobnym poziomie w obrębie obszaru, na którym zlokalizowane są magazyny. Z tego powodu pod uwagę wzięto wyłącznie cenę najmu;
2. Lokalizacja względem klientów – czas pracy monterów rozpoczyna się w magazynie, stąd im bliżej do klientów, tym szybciej praca zostanie rozpoczęta, montaż będzie trwał nieco dłużej i czas zostanie wykorzystany efektywniej. Dodatkowo im mniejsza będzie odległość miejsca załadunku produktów od miejsca montażu, tym mniejsze jest prawdopodobieństwo ich uszkodzenia. W przypadku wystąpienia braku materiałów w trakcie wykonywania montażu, krótka odległość przyczyni się do krótkich przestojów w czasie pracy, co przełoży się na szybsze wykonanie usługi lub brak opóźnień. Z racji, iż klienci skupieni są w trzech różnych grupach najlepiej jest, aby lokalizacja magazynu firmy znajdowała się w centralnym skupisku. Położenie w jednym ze skrajnych skupisk lub w równomiernej odległości od każdego z nich jest rozwiązaniem uśrednionym, przy czym mniej korzystna jest druga z wymienionych opcji. Najmniej pożądane jest położenie poza wyznaczonymi grupami i jednocześnie bliżej jednej ze skrajnych;
3. Sytuacja na lokalnym rynku pracy – w obrębie montażu występują wąskie gardła. Ważne jest więc pozyskiwanie nowych pracowników, aby je zminimalizować lub wykluczyć. Wynajęcie magazynu w obszarze, na którym rynek pracowników jest stosunkowo duży, daje znacznie większą szansę na znalezienie nowego montera. Jeśli magazyn będzie znajdował się daleko od miejsca zamieszkania pożądanego pracownika, ciężko będzie go pozyskać. Wynagrodzenie może okazać się zbyt małe w stosunku do opłat związanych z dojazdem. Dużym atutem są pracownicy, którzy posiadają doświadczenie w branży budowlanej. Stąd magazyn powinien znajdować się w obszarze, w którym procent zatrudnienia jest stosunkowo wysoki w sektorze budowlanym. Zmiana pracy jest coraz częstszym zjawiskiem, dlatego nie ma obaw o brak zainteresowania ofertą ze względu na pracę w innej firmie.
4. Średnia odległość od floty – monterzy posiadający samochody służbowe mieszkają w Słomnikach lub okolicznych miejscowościach. W związku z tym, im dalej od siedziby firmy będzie znajdował się magazyn, tym więcej kilometrów będą musieli pokonać pracownicy, aby do niego dotrzeć. W przypadku, gdy montaż odbywać się będzie daleko od

- głównej siedziby, pracownicy i tak zmuszeni będą pokonać daną odległość, aby spakować produkty i materiały potrzebne do wykonania usługi. W obecnej sytuacji problem ten nie występuje, ponieważ magazyn znajduje się w obrębie miejsca zamieszkania pracowników posiadających samochody służbowe.
5. Dostępna infrastruktura drogowa – dostępność do rozbudowanej infrastruktury drogowej jest ważna pod kątem dostaw. Produkty z branży stolarki budowlanej dostarczane są do magazynu przez samochody ciężarowe. Łatwy, sprawny i szybki dojazd na miejsce jest atutem. Wynajęcie magazynu w miejscu, które połączone jest z głównymi szlakami komunikacyjnymi, przekłada się na brak trudności z dojazdem dostawców na miejsce wyładunku oraz uniknięciem problemów z ograniczeniami na drogach;
  6. Odległość od jednego z głównych dostawców – większość głównych dostawców znajduje się poza obszarem działania firmy. Zmiana lokalizacji magazynu nie wpłynie zatem na lepszą dostępność do ich siedzib. Jest jednak jeden kluczowy dostawca którego siedziba znajduje się na ul. Ciepłowniczej w Krakowie. Jeśli magazyn firmy byłby blisko tego dostawcy, łatwiej byłoby negocjować lepsze warunki pod kątem terminu i wielkości.
  7. Warunki lokalowe w podanej cenie – warunki obecnego magazynu są na niskim poziomie. Dużym plusem w nowej lokalizacji byłyby zatem dodatkowe udogodnienia. Jeśli cena najmu jest atrakcyjna, ale np. wystąpi potrzeba ponownego stworzenia przestrzeni biurowej, oznaczać to będzie dodatkowe koszty.
- Powyższe kryteria uwzględnione zostały w dalszych obliczeniach.

### Wybór optymalnej lokalizacji magazynu

Na podstawie obliczeń określono wagi oraz wyznaczono ranking kryteriów (zamieszczony w tabeli 1).

Tabela 1. Ranking kryteriów związanych z wyborem lokalizacji magazynu.

Lp.	Kryterium	Waga
1	Cena wynajmu za 1 m <sup>2</sup>	0,2880
2	Średnia odległość od floty	0,2292
3	Lokalizacja względem klientów	0,2010
4	Sytuacja na lokalnym rynku pracy	0,1369
5	Warunki lokalowe w podanej cenie	0,0738
6	Odległość od jednego z głównych dostawców	0,0465
7	Dostępna infrastruktura drogowa	0,0246

*Źródło: Opracowanie własne*

Analiza wykazała, że najważniejszym kryterium była cena wynajmu. Na drugim miejscu pod względem ważności znalazła się odległość od floty, na trzecim lokalizacja względem klientów. Najmniej istotna okazała się odległość od dostawcy oraz infrastruktura drogowa.

Wśród kryteriów, jakie wyznaczono zgodnie z charakterystyką firmy oraz wiedzą pozyskaną z dostępnej literatury, najważniejszymi okazały się być te związane bezpośrednio z kosztami. Mowa tutaj o cenie wynajmu za 1 m<sup>2</sup> oraz odległości potencjalnych magazynów od floty. Ma to odzworowanie w praktyce, gdyż koszty są czynnikiem, który ma kluczowy

wpływ na płynność finansową, możliwości i funkcjonowanie przedsiębiorstwa. Ograniczony budżet może całkowicie wyeliminować możliwości zmian na dużą skalę, stąd kryteria te znalazły się na czele pod względem ważności.

Trzeci wynik stanowiła lokalizacja magazynu względem klientów. Jest to istotne dla przedsiębiorstwa, ponieważ przyczynia się do lepszej efektywności pracy. Obecny magazyn ma korzystną lokalizację pod względem usług wykonywanych na terenie Słomnik i okolic. Gdy jednak montaż lub dostawy wykonywane są w skupisku drugim (Kraków) lub trzecim (Siercza), czas przeznaczony na pracę ulega zmniejszeniu. Skutkiem tego niektóre zlecenia przeciągają się w czasie. To z kolei wpływa na niezadowolenie klienta oraz kolejne przesunięcia w kalendarzu. Sytuacja pogarsza się w momencie wystąpienia braków podczas montażu lub pomyłek po dotarciu na miejsce. To często oznacza wcześniejsze skończenie prac i jeszcze większe opóźnienia. Dlatego optymalne położenie między trzema wyznaczonymi skupiskami jest tak istotne, co ma odzworowanie w otrzymanych wynikach.

Dwa ostatnie kryteria, czyli odległość od dostawcy oraz infrastruktura drogowa, uzyskały najmniejszą wagę. Stanowią one dla przedsiębiorstwa dodatkowy atut. Duża odległość lub średniej jakości infrastruktura nie wpływa negatywnie na działanie firmy. Krótki dystans bądź dobrej jakości infrastruktura jest natomiast szansą na dodatkowe korzyści oraz poprawę sytuacji pod kątem dostawców. Skutkiem tego oba kryteria są najmniej istotne w rankingu.

Kolejny etap obliczeń skupiał się na wariantach, czyli potencjalnych lokalizacjach. Aby możliwe było dokonanie obliczeń, należało w pierwszej kolejności: określić sposób opisu wariantów dla kryteriów, dla których zestawienie liczbowe nie było możliwe oraz zgromadzić dane dotyczące proponowanych rozwiązań pod kątem kryteriów. Tylko trzy spośród siedmiu kryteriów nie wymagały przekształcania cech wariantów. Zalicza się do nich cena najmu, średnia odległość od floty oraz odległość od jednego z głównych dostawców. Pozostałym nadano punktację, co znacznie ułatwiło porównanie rozwiązań względem siebie.

Następnym krokiem było opisanie wariantów. Dane dotyczące cen wynajmu oraz warunków lokalowych pozyskano w trakcie analizy rynku magazynowego. Do zebrania wszelkich danych lokalizacyjnych oraz dostępności infrastruktury wykorzystano Mapy Google oraz mapę lokalizacji klientów. Informacje, które dotyczyły lokalnych rynków pracy, znaleziono w serwisie [www.polskawliczbach.pl](http://www.polskawliczbach.pl).

Określenie parametrów poszczególnych lokalizacji pozwoliło na przeprowadzenie kolejnych obliczeń, gdzie każda lokalizacja została porównana ze sobą wzajemnie w ramach znanych kryteriów. Macierz stworzona została w oparciu o subiektywną ocenę decydenta. Mimo że nie wystąpiła absolutna przewaga cenowa między lokalizacjami, zauważyć można, iż warianty były zróżnicowane.

W następnym kroku dokonano stosownych obliczeń zgodnych z założeniami metody AHP. Obliczenia były wykonywane w programie MS Excel. Lokalizacje były analizowane pod względem poszczególnych kryteriów, a w konsekwencji zestawiono finalne wyniki poszukiwania optymalnej lokalizacji magazynu (tabela 2).

Poszukiwanie optymalnej lokalizacji magazynu oparte było o metodykę AHP. Zgodnie ze schematem postępowania otrzymano uszeregowane warianty od najbardziej do najmniej korzystnego. Istnieją sytuacje, w których użycie metody AHP nie zapewnia uzyskania jednoznacznego wyniku, co ma miejsce w analizowanym przypadku. Wyłoniono bowiem dwie lokalizacje o niemal identycznym wyniku. Są nimi: Januszowice oraz Bronowice. Magazyn w Januszowicach jest obecnym miejscem działania. Bronowice stanowią dla niego alternatywę.

Tabela 1. Wyniki poszukiwania optymalnej lokalizacji magazynu

Lp.	Lokalizacja	Wynik
1	Januszowice	0,2554
2	Bronowice (Kraków)	0,2517
3	Niepołomice	0,1765
4	Wolbrom	0,1355
5	Skawina	0,1103
6	Myślenice	0,0705

*Źródło: Opracowanie własne*

Mimo kryteriów, w których druga z lokalizacji odgrywała kluczowe znaczenie, nie została ostatecznie wskazana jako optymalna opcja. Spowodowane jest to głównie ceną wynajmu, która należy do kryterium najistotniejszego. W tym przypadku Bronowice uplasowały się na ostatnim miejscu wśród pozostałych wariantów, podczas gdy Januszowice uzyskały znacznie wyższy wskaźnik. Odległość od floty również okazała się być znacznie korzystniejsza dla obecnego magazynu. Alternatywna lokalizacja przeważała w reszcie kryteriów, które zgodnie z przydzielonymi wagami, były mniej istotne.

Pozostałe potencjalne rozwiązania należy odrzucić, ponieważ wedle dokonanych obliczeń nie są one optymalnym wyborem. Nie rozwiążą problemu w sposób zadawalający dla przedsiębiorstwa.

## Podsumowanie

W trakcie analizy, wykorzystano dane pozyskane z przedsiębiorstwa, małopolski rynek magazynowy, rynek budowlany oraz rynek pracy z obszaru, w którym firma wykonuje usługi. Pozwoliło to przeprowadzić obliczenia zgodnie z wymaganym schematem. Wyniki zostały odpowiednio zebrane, porównane i zinterpretowane. Na ich podstawie wybrane zostały dwie potencjalne lokalizacje, które dla przedsiębiorstwa są najlepszym rozwiązaniem w zakresie ustalonych kryteriów. Cel osiągnięto, jednak podjęcie decyzji o wyborze nowej lokalizacji magazynu, wymaga dalszej analizy.

Metodyka wykorzystana w ramach opracowania, nie wskazała jednoznacznego wariantu. Jest to mankament, który skutkuje koniecznością przeprowadzenia dalszych analiz. Przed ostateczną decyzją dotyczącą wyboru metody optymalizacji, należy wziąć ten fakt pod uwagę. Jeśli w ramach określonych kryteriów oraz wyznaczonych wariantów nie uda się wyłonić rozwiązania dominującego nad pozostałymi, warto ponownie przeanalizować ocenę poszczególnych elementów. Całkowita zgodność i brak wykrytego błędu logicznego może wskazywać na brak odpowiednich rozwiązań lub na ich zbyt dużą ilość.

W przypadku niniejszego opracowania, decydent nadal stoi przed wyborem między więcej niż jedną opcją. Skutkuje to ryzykiem podjęcia decyzji, która w dłuższym horyzoncie czasowym może okazać się nietrafiona. Należy więc rozważyć problem raz jeszcze w dalszej perspektywie lub przemyśleć zupełnie odmienne podejście.

W pierwszym wariantcie należałoby skupić się na najważniejszych kryteriach, które pozwolą rozwiązać problemy firmy. Są to: cena wynajmu, odległość od floty, odległość od klientów oraz rynek pracy. Zakładając, że przedsiębiorstwo zostanie przy obecnej lokalizacji,

problem efektywności czasu pracy, wąskiego gardła oraz trudności w znalezieniu monterów pozostaje bez zmian. Pozytywnym aspektem jest z pewnością oszczędność spowodowana dość niską ceną najmu. Dodatkowo początek pracy w magazynie nie powoduje dodatkowych kosztów, nawet w sytuacji, w której montaż odbywa się w okolicy siedziby firmy.

Przy założeniu, że wybór padnie jednak na magazyn zlokalizowany w Bronowicach, przedsiębiorstwo musi zwrócić uwagę na odpowiednią płynność finansową. Wynika ona z faktu, iż cena najmu wzrosnie dwukrotnie. Dojazdy do magazynu również mogą okazać się nieefektywne w przypadku, gdy montaż odbywałby się w Słomnikach. Z drugiej jednak strony, zmiana pozwoli na szybsze dotarcie do klientów w większości przypadków. Łatwiejsze znalezienie pracownika daje możliwość swobodnego rozwoju, bez problemów związanych ze znacznie wydłużonym terminem oczekiwania na usługę. Można również założyć, że nowi pracownicy będą mieszkać w pobliżu magazynu. Taka sytuacja pozwala na pozostawienie samochodu służbowego przy magazynie lub przekazanie go w ręce monterów. To z kolei częściowo zmniejsza problem związany z odległością od floty.

Jeśli więc przedsiębiorstwo może bez przeszkód pozwolić sobie na dodatkowe koszty, zarekomendować można zmianę lokalizacji magazynu na Bronowice. Motywowane jest to możliwością eliminacji lub zminimalizowania występujących problemów, oraz możliwością szybszego rozwoju firmy. Konkurencyjność jest bowiem bardzo ważnym aspektem z powodu rosnącego popytu.

Próba odmiennego podejścia do zagadnienia mogłaby polegać na porównaniu obecnej lokalizacji magazynu z budową nowego obiektu w wybranej przez siebie lokalizacji. Warunki i koszty są zupełnie inne w przypadku obu wariantów, jednak taka ścieżka poszukiwania optymalnego wyboru mogłaby okazać się najskuteczniejsza. W badanym okresie nie znaleziono znacznie lepszego rozwiązania od obecnego. Wnioskować więc można, że:

- należy poczekać na lepszą ofertę wynajęcia magazynu w innej lokalizacji,
- aktualnie nie ma możliwości znalezienia lokalizacji dominującej nad obecną.

Stąd też analiza pod kątem budowy magazynu może być trafnym rozwiązaniem dla firmy.

Podsumowując należy stwierdzić, że wykorzystywanie metody AHP przy wyszukiwaniu optymalnej lokalizacji magazynu, może pozwolić na uzyskanie jednoznacznej rekomendacji, lecz nie dzieje się tak w każdym przypadku. Jednak nawet brak uzyskania jednoznacznej odpowiedzi na pytanie o najlepszą lokalizację, pozwala na wyciąganie istotnych wniosków, które w konsekwencji będą skutkowały podjęciem właściwej decyzji. To sprawia że odpowiednio zastosowana metoda AHP może być istotnym narzędziem wspomagającym podejmowanie decyzji, w tym związanych z logistyką.

## Bibliografia

- Beria, P., Maltese I., Mariotti I.: Multicriteria versus Cost Benefit Analysis: A Comparative Perspective in the Assessment of Sustainable Mobility". *European Transport Research Review* 4, nr 3, pp. 137-52. <https://doi.org/10.1007/s12544-012-0074-9>.
- Fertsch, M.: Słownik terminologii logistycznej. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2006.
- Matulewski, M., Konecka S., Fajfer P., Wojciechowski A.: Systemy logistyczne-komponenty, działania, przykłady. Wyd. 2. Biblioteka Logistyka, Poznań, 2008.
- Prusak, A. Stefanów P.: AHP–analityczny proces hierarchiczny. Budowa i analiza modeli decyzyjnych krok po kroku. Warszawa: Wydawnictwo CH Beck, 2014.

- Reszka, L.: Możliwości wykorzystania metody AHP do rozwiązywania wielokryterialnych problemów optymalizacyjnych w logistyce. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. *Ekonomika Transportu i Logistyka*, nr 51 Modelowanie procesów i systemów logistycznych, cz. XIII, 2014.
- Sobotka, A.: Zarządzanie logistyczne w przedsiębiorstwach budowlanych”. *Górnictwo i Geoinżynieria* 29, nr 3/1, 2005.
- Szada-Borzyszkowski, W., Szada-Borzyszkowska M.: Wyznaczenie optymalnego miejsca magazynu towarów szybko psujących się w transporcie międzynarodowym”. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 19, nr 9, 2018.
- Szterlik, P.: Lokalizacja magazynu centralnego z zastosowaniem metod wielokryterialnych. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, nr 446, 2016.
- Wasiak, M., Jacyna-Gołda I., Żak J.: Metodyka lokalizacji magazynów w sieci logistycznej”. *Logistyka*, nr 4, CD 1, 2015.
- Żak, J.: *Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej Poznań, 2005.

*Adres do korespondencji: [michal.cupial@urk.edu.pl](mailto:michal.cupial@urk.edu.pl)*

ORCID: Michał Cupiał 0000-0002-1984-6861  
ORCID: Sylwester Tabor 0000-0003-4614-0247



# POZIOM DYSTRYBUCJI TOWARÓW NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO PRZEDSIĘBIORSTWA

Magdalena Dziechciowska<sup>1</sup>, Jakub Sikora<sup>1,4</sup>, Anna Szelağ-Sikora<sup>1,4</sup>, Aneta Oleksy-Gębczyk<sup>2</sup>, Katarzyna Kowalska-Jarnot<sup>3</sup>, Joanna Stuglik<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków

<sup>2</sup> Wydział Nauk Ekonomicznych, Akademia Nauk Stosowanych w Nowym Sączu, ul. Staszica 1, 33-300 Nowy Sącz

<sup>3</sup> Zakład Zarządzania i Rachunkowości, Wyższa Szkoła Ekonomii i Informatyki w Krakowie, ul. Św. Filipa 17, 31-150 Kraków

<sup>4</sup> Instytut Nauk Inżynieryjno-Technicznych, Małopolska Uczelnia Państwowa im. Rotmistrza Witolda Pileckiego w Oświęcimiu, Maksymiliana Kolbego 8, 32-600 Oświęcim

## Wprowadzenie

Nieodłącznym elementem efektywności biznesowej jest zaoferowanie produktu odbiorcy, zgodnie z jego potrzebami, w odpowiedniej formie, miejscu i czasie<sup>1</sup>. Szybka i płynna realizacja tego procesu wiąże się z uzyskaniem wyższych wyników finansowych. Nie jest to łatwe, ponieważ przepływy towarów i kanały dystrybucji produktów stają się coraz bardziej złożone i wychodzą poza granice geograficzne i polityczne krajów, w których funkcjonują firmy<sup>2</sup>. Coraz większe wymagania rynkowe, rosnąca konkurencja, niestabilność cen surowców, a także długi czas oczekiwania na dostępność produktów wymuszają poszukiwanie nowych metod zarządzania dystrybucją<sup>3</sup>. Pozwalają one wyeliminować nieprzydatne procesy, ułatwić podejmowanie decyzji, monitorować zapasy, skrócić czas pracy, udoskonalić wyrób gotowy i zwiększyć satysfakcje finalnego odbiorcy, a także przy pomocy generowanych prognoz i raportów przewidzieć problemy, które mogą być krytyczne dla przedsiębiorstwa w przyszłości<sup>4</sup>. Istotną rolę podczas przyływu towarów stanowią centra logistyczne, zajmu-

---

<sup>1</sup> Spyra, Z.: Kanały dystrybucji kształtowanie relacji, CeDeWu – Wydawnictwa Fachowe, Warszawa, 2008.

<sup>2</sup> Zrobek, J.: Marketing logistyczny w małych firmach w warunkach integracji europejskiej, Studia Prawno - Ekonomiczne, 2012.

<sup>3</sup> Woźniak, J.: Przedsiębiorczość i zarządzanie. Identyfikacja kanałów dystrybucji i otoczenia konkurencyjnego w branży papierniczo-biurowej na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa, Wydawnictwo SAN, Politechnika Rzeszowska, 2018.

<sup>4</sup> Śliżewska, J., Zadrozna, D.: Organizowanie i Monitorowanie dystrybucji, WSiP, 2014.



jące się przyjmowaniem towarów, magazynowaniem, przeładunkiem, wydawaniem produktów, pakowaniem zamówień, obsługą zwrotów i obsługą celną. Kluczowym zadaniem centrum logistycznego jest integracja różnych funkcji powodująca zsynchronizowany przepływ produktów. Przyczyniają się one do zmniejszenia kosztów transportowych i magazynowych<sup>5</sup>.

Niniejsze opracowanie poświęcone jest analizie dystrybucji towarów przez małopolskie przedsiębiorstwo branży chemicznej. Zawiera ono charakterystykę przedsiębiorstwa, omówienie sposobu zarządzania zapasami i towarami nierotującymi, analizę i obliczenie najważniejszych parametrów wpływających na badane procesy, a także rekomendacje i sposoby poprawy zarządzania przepływem produktów. Głównym celem opracowania jest analiza przepływu towarów w omawianym przedsiębiorstwie, a także zbadanie najmniej efektywnych etapów dystrybucji zasobów. Do przeprowadzenia badania zostały użyte dane z różnych okresów czasowych na przełomie lat 2021-2023. Na ich podstawie omówiono i obliczono najważniejsze wskaźniki, miernik i czynniki wpływające na przepływ towarów, takie jak:

- wielkość sprzedaży w sztukach,
- wielkość sprzedaży w kilogramach
- udział ilościowy towarów wysłanych na rynki zagraniczne na podstawie sztuk,
- udział ilościowy towarów wysłanych na rynki zagraniczne na podstawie kilogramów,
- udział ilościowy towarów występujących powyżej 365 dni,
- udział wartościowy towarów występujących powyżej 365 dni,
- wskaźnik poziomu obsługi klienta,
- wskaźnik terminowości odbiorów,
- wskaźnik rotacji zapasów,
- wskaźnik średniego dziennego wydania towarów,
- wskaźnik spełnienia prognozy popytu,
- wskaźnik średnich zapasów,
- wskaźnik średniej sprzedaży na jednego klienta.

### **Charakterystyka analizowanego przedsiębiorstwa**

Przedsiębiorstwo będące przedmiotem opracowania zostało założone w 1981 roku i prowadzi w Małopolsce działalność związaną z branżą chemiczną. Obecnie firma stacjonuje w 16 lokalizacjach na całym świecie, zatrudniając ponad 400 osób. W Polsce placówka działa od 2005 roku, jej główna siedziba znajduje się w południowej części kraju i odpowiada za sprzedaż i dystrybucję towarów na całą Europę. Wyroby gotowe są sprowadzane od producenta (spółka macierzysta) do magazynów, a następnie rozprowadzane do dalszych odbiorców. Celem przedsiębiorstwa jest szybkie reagowanie na zmieniający się rynek i zapewnienie produktów o określonej dostępności, które będą spełniały wymagania stawiane przez klientów. Firma jest innowacyjna i nastawiona na rozwój: jednym z celów jakie sobie postawiła jest zerowy poziom emisji dwutlenku węgla netto przy zachowaniu ładu korporacyjnego oraz przestrzeganiu etyki biznesowej w czasie do 2050 roku. W Polsce posiada dwa magazyny. W jednym ulokowane są towary neutralne, nie wymagające specjalnych warunków

---

<sup>5</sup> Szymańska, E., Korbiń, J.: *Ekonomika i Organizacja Logistyki*, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa, 2017.

przechowywania, w drugim składowane są produkty reagujące z wodą, mające niskie temperatury samozapłonu oraz towary niebezpieczne. Podczas rozchodu zapasów zazwyczaj wykorzystywana jest zasada FEFO<sup>6</sup>, ponieważ zasoby mają określone terminy przydatności. W firmie raz na miesiąc przeprowadzana jest analiza towarów, których daty ważności kończą się za mniej niż 3 miesiące. W takich przypadkach produkty te zostają ulokowane na specjalnej liście i oferowane klientom dużo częściej, po promocyjnych cenach.

Ze względu na ograniczoną dostępność towarów, a także długi czas potrzebny do sprowadzenia wyrobów gotowych od producenta, przedsiębiorstwo utrzymuje w swoich magazynach zapasy zabezpieczające, służące do zapewnienia odpowiedniego poziomu obsługi klienta, a także pozostania konkurencyjnym na rynku. Wielkość zapasu zabezpieczającego w firmie analizowana i korygowana jest raz na kwartał. Zapasy bezpieczeństwa tworzone są dla produktów najbardziej rotujących. W firmie występują również towary, na które popyt jest ograniczony. Zasoby te interpretowane są pod względem ilości dni występujących na magazynie. Raz na miesiąc kreowany jest raport produktów, które magazynowane są od ponad 180 dni. Produkty te oferowane są do klientów z dużo większą częstotliwością, a ich ceny ulegają obniżeniu.

Podczas analizy popytu w przedsiębiorstwie wykorzystywana jest metoda ABC/XYZ. Dzięki tej metodzie możliwe jest dostosowanie strategii zakupowej do każdego produktu<sup>7</sup>. W firmie stosowane są trzy główne strategie zakupowe:

- make to order - złożenie zamówienia u producenta po uprzednim otrzymaniu zamówienia od klienta, strategia ta najczęściej przypisana jest do produktów wolnorotujących, a także kupowanych przez jednego konsumenta,
- strategia forecast - zamawianie towarów zgodnie z prognozą klienta,
- forecast+safety stock zamawianie produktu prognozowanego przez klienta wraz z dodatkowym zapasem zabezpieczającym. Strategia ta przypisywana jest dla zasobów szybko rotujących, które dodatkowo posiadają wysoką wartość.

Analizę ABC warto połączyć z klasyfikacją XYZ, aby otrzymać dodatkowe informacje na temat regularności zużycia danych materiałów<sup>8</sup>. Analiza ABC/XYZ przeprowadzana jest w przedsiębiorstwie raz na kwartał. Podczas tworzenia tej analizy wykorzystywana jest historyczna sprzedaż z ostatnich 6 miesięcy oraz forecast na najbliższe pół roku.

W firmie popyt prognozowany jest przez dział handlowy, który otrzymuje informacje bezpośrednio od klientów. Materiał wejściowy do prognozy weryfikowany jest z danymi historycznej sprzedaży. Prognozy tworzone są na początku każdego miesiąca i aktualizowane o najnowsze informacje z rynku, w trakcie jego przebiegu. Ze względu na fakt, że czas realizacji zamówienia u dostawcy wynosi 3 miesiące, a czas realizacji zamówienia klienta wynosi 5 dni roboczych, konieczne jest zamawianie towarów u dostawcy na podstawie prognoz,

---

<sup>6</sup> Zasada FEFO zakłada, że towary, które mają najkrótszy termin ważności wydawane są z magazynu jako pierwsze, dzięki czemu możliwe jest zminimalizowanie straty związanych z zepsuciem się wyrobów gotowych, <https://businessinsider.com.pl/gospodarka/przepisy/co-to-jest-fefo/038d31y> [Data odczytu: 06.01.2023]

<sup>7</sup> Krzyżaniak, S., Cyplik, P.: Zapasy i magazynowanie, Biblioteka logistyka, Poznań, 2008.

<sup>8</sup> Kaczorowska, Z., Staniec, I.: Klasyfikacja ABC/XYZ w zarządzaniu gospodarką materiałową w przedsiębiorstwie produkcyjnym, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Nr 1228, Łódź, 2019.

co sprawia, że stanowią one istotną rolę w analizowanym przedsiębiorstwie. W firmie prowadzony jest również raport sprawdzalności prognozy, pokazujący ilości produktów, które muszą być sprzedane, aby prognoza była w 100% spełniona. Dzięki niemu możliwe jest podążanie za sprzedażą poprzez nakłanianie klienta, który prognozował dane ilości w określonym czasie aby złożył zamówienie.

Przedsiębiorstwo działa według standardów wiedzy APICS, które określają metody planowania oraz zarządzania<sup>9</sup>. Aby określić zapotrzebowanie na konkretne produkty w firmie stosowany jest system MRP II. Dane wsadowe do tego systemu omawiane są w przedsiębiorstwie raz w tygodniu podczas spotkań MPS (głównego harmonogramu produkcji). Bazuje on na prognozach konsumentów, a także obecnie złożonych zamówieniach u dostawcy, otrzymanych zamówieniach od klientów oraz czasów realizacji produkcji poszczególnych zasobów. Podczas spotkań MPS podejmowane są decyzje na temat wielkości nowych zamówień składanych u producenta i korygowane są terminy odbiorów produktów oraz przekazywanie informacji dotyczących zapasów zabezpieczających. W firmie co dwa tygodnie odbywa się spotkania S&OP. Materiały wsadowe do S&OP opierają się na prognozach klientów na najbliższe pół roku. Ze względu na fakt, że analizowane przedsiębiorstwo sprowadza znaczące ilości surowców do produkcji z Azji i Chin, podczas spotkań S&OP podejmowane są decyzje odnośnie wielkości globalnego zapotrzebowania na konkretne materiały oraz możliwości realizacji prognozowanych zamówień konsumentów.

Analizowane przedsiębiorstwo działa na wielu rynkach międzynarodowych. Głównym motywem ekspansji spółki macierzystej była chęć rozwoju i zwiększenia zysków, jak również, konieczność posiadania własnych komórek eksportowych na rynkach zagranicznych, ze względu na uwarunkowania prawne. Strategia wejścia na rynki międzynarodowe spółki macierzystej odbyła się w postaci eksportu bezpośredniego. Aktualnie firma posiada własne komórki eksportowe w 16 lokalizacjach na całym świecie. Komórki eksportowe odpowiedzialne są za badanie rynku oraz poszukiwanie i pozyskiwanie nowych klientów. Magazyny pełnią w przedsiębiorstwie kluczową rolę, ponieważ odpowiadają za właściwe gromadzenie i przechowywanie produktów. Ulokowane są one w sieci dystrybucji w taki sposób, aby dostęp do klienta i szybkość realizacji zamówienia były jak najbardziej efektywne. Z tego też powodu magazyny zlokalizowane są w obrębie wszystkich 16 miejsc, gdzie występują komórki eksportowe. Warto podkreślić, że analizowana firma związana jest z dystrybucją wyrobów gotowych otrzymywanych od producenta.

### **Mierniki i wskaźniki wykorzystywane w analizie dystrybucji towarów.**

Analiza dystrybucji towarów wymaga sprawdzenia i porównania wielu czynników, mierników oraz wskaźników. Niezmiernie ważna jest znajomość rynku danej branży, a także pozyskanie informacji na temat konkurencji oraz powodów utraconej sprzedaży. Badanie dystrybucji pozwala zwiększyć poziom obsługi klienta, wpływa na wzrost przychodów przedsiębiorstwa oraz minimalizuje utrzymywane zapasy na magazynie.

Mierniki są to liczby mianowane, określające dane zjawiska i zdarzenia. Służą one do dokładnego przedstawiania zmian jakie zachodzą w procesach logistycznych w danym cza-

---

<sup>9</sup> MRP II w procesie zarządzania przedsiębiorstwem, <https://core.ac.uk/download/pdf/160237404.pdf>

sie. Mierniki interpretują przepływ surowców, materiałów, półproduktów i produktów gotowych w określonej ilości, jakości, miejscu i czasie. Są one przedstawione w konkretnych, bezwzględnych jednostkach miary, dlatego nie służą do oceny, a jedynie do celów informacyjnych<sup>10</sup>.

Wskaźniki są to liczby wyrażające wzajemny stosunek określonych wielkości. Przedstawione są one jako jednostki względne, dlatego mogą służyć do oceny i porównania danych w układach statystycznych i dynamicznych. Wskaźniki używane są podczas sterowania, planowania i kontrolowania szeregu różnych procesów zachodzących w przedsiębiorstwie<sup>11</sup>.

Wielkość sprzedaży w sztukach została przedstawiona dla każdego miesiąca roku 2021 i 2022. Pokazuje ona łączną liczbę sztuk, które zostały sprzedane w każdym miesiącu. Dzięki takiej informacji możliwe jest określenie czy sprzedaż miesięczna była poniżej czy powyżej średniej rocznej. Jeżeli sprzedaż jest poniżej średniej rocznej i utrzymuje się na takim poziomie przez dłuższy czas może to wskazywać na problemy związane z pozyskaniem zamówień od klientów. Taka sytuacja daje również sygnały dla przedsiębiorstwa, że konieczne jest prowadzenie bardziej wzmoczonych działań marketingowych. Niezbędne jest także pozyskanie nowych klientów oraz dostosowanie się do ich potrzeb i wymagań. Podczas zwiększenia wielkości sprzedaży pomocne może być wykorzystanie bardziej nowoczesnych kanałów sprzedaży oraz odpowiednie zarządzanie działem handlowym. Istotnym elementem jest właściwe określenie celów półrocznych i rocznych dla handlowców. Cele te powinny być oparte o obecną sytuację rynkową, bazą klientów oraz doświadczeniem zawodowym. Źle określone i zinterpretowane cele mogą powodować brak motywacji, a tym samym spadek sprzedaży. Ważne jest aby wielkość sprzedaży była badana w przedsiębiorstwie regularnie i sprawdzana pod kątem średniej rocznej sprzedaży, ale również spełnienia określonego budżetu.

Wielkość sprzedaży w kilogramach jest bardziej szczegółowa niż wielkość sprzedaży w sztukach. W przedsiębiorstwie produkty sprzedawane są w różnych opakowaniach (beczkach, kanistrach oraz paletopojemnikach), które znacząco różnią się między sobą wagą. W niniejszym opracowaniu wielkość ta została określona dla każdego miesiąca roku 2021 i 2022. Należy podkreślić, że minimalny, globalny poziom sprzedaży, który musi być zrealizowany przez firmę w przeciągu roku, zakup produktów od dostawcy i ich sprzedaż do finalnego odbiorcy, planowanie globalnego popytu w przedsiębiorstwie, przygotowanie i wprowadzanie najważniejszych danych do modelu S&OP również bazuje na wielkościach prognozowanych i przeliczanych w kilogramach. Wszystkie te elementy sprawiają, że wielkość sprzedaży w kilogramach pełni istotną rolę w firmie i wykorzystywana jest z dużo większą częstotliwością niż wielkość sprzedaży w sztukach. Udział ilościowy towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie sztuk jest to procentowe przedstawienie wielkości eksportu na podstawie liczby sztuk w każdym miesiącu roku 2021 i 2022. Dzięki niemu możliwe jest określenie roli handlu międzynarodowego w analizowanym przedsiębiorstwie. Posiadanie informacji na temat poziomu miesięcznej ilości wysyłek zagranicznych pozwala określić stopień przejęcia rynku eksportowego przez daną firmę. Im większy udział ilości towarów wysyłanych na rynki międzynarodowe tym większe możliwości rozwoju dla przedsiębiorstwa. W takiej sytuacji firma staje się konkurencyjna nie tylko na rynku lokalnym, ale też światowym. Pozwala to również zwiększyć rozpoznawalność marki, kształtować firmę pod względem globalnym, zwiększyć dynamikę rozwoju, sprawić, że przedsiębiorstwo staje

---

<sup>10</sup> Twaróg, J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne, Biblioteka Logistyka, Poznań, 2003.

<sup>11</sup> Tamże.

się bardziej innowacyjne, a także zdobyć dostęp do szerokiej i bardziej zróżnicowanej grupy zakupowej. Udział ilościowy towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie sztuk został obliczony na podstawie poniższego wzoru:

$$U_1 = \frac{\text{Liczba sztuk w poszczególnym miesiącu wysyłana na rynki zagraniczne}}{\text{Liczba wszystkich sztuk sprzedanych w danym miesiącu}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Udział ilościowy towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie kilogramów pozwala precyzyjniej zweryfikować eksport towarów. W pracy został on policzony dla wszystkich miesięcy roku 2021 i 2022. Udział ten ma szczególne znaczenie podczas organizowania i finansowania transportu. Jeżeli na rynki zagraniczne wysyłane są towary, które można skumulować w jedną przesyłkę o większej wadze to możliwe jest organizowanie transportu bezpośrednio od producenta. Takie rozwiązanie wpływa na optymalizację kosztów transportu, czasu dostawy do klienta, obciążenia magazynu oraz kosztów magazynowych. Posiadanie umów z przewoźnikami, którzy dysponują regularnymi liniami międzynarodowymi, sprawia, że podczas zlecenia transportu z magazynu do konkretnego kraju na większe przesyłki znacznie obniżone zostają koszty oraz dochodzi do skrócenia czasu dostawy w porównaniu z innymi przewoźnikami, którzy odbierając mniejsze ilości towarów przeładowują je na kilku terminalach. Udział ilościowy towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie kilogramów można obliczyć używając wzoru:

$$U_2 = \frac{\text{Ilość kilogramów w poszczególnym miesiącu wysyłana na rynki zagraniczne}}{\text{Ilość kilogramów wszystkich sprzedanych towarów w danym miesiącu}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Występowanie produktów nierotujących w przedsiębiorstwie wiąże się z wieloma trudnościami. Przede wszystkim powoduje to brak wolnej przestrzeni magazynowej, co przyczynia się do braku możliwości sprowadzenia nowych, bardziej opłacalnych i rotujących towarów, a także straty i koszty spowodowane koniecznością utylizacji, jeśli produkt się zepsuje lub zakończy się jego termin ważności. Do głównych czynników, które odpowiadają za tworzenie się zasobów nierotujących w przedsiębiorstwie należą: niesprawdzalność prognoz, zmiana sytuacji na rynku, lepsze oferty od konkurencji oraz brak odpowiedniego marketingu i zareklamowania produktu. Bardzo często w firmach towaremi nierotującymi są specjalistyczne produkty, które sprzedawane są do małej liczby klientów. W takim przypadku sprzedaż jest dodatkowo utrudniona. Udział ilościowy towarów występujących na magazynie powyżej 365 dni, został obliczony dla 11 miesięcy – od czerwca 2022 roku do kwietnia 2023 roku. W celu dokładnego przedstawienia ilości posiadanych towarów nierotujących, został on obliczony na podstawie ilości kilogramów. Udział ilościowy towarów nierotujących został obliczony na podstawie wzoru:

$$U_3 = \frac{\text{Ilość kilogramów w poszczególnym miesiącu towarów występujących powyżej 365 dni}}{\text{Ilość kilogramów wszystkich występujących na magazynie towarów w danym miesiącu}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Udział wartościowy towarów występujących na magazynie powyżej 365 dni, został obliczony dla każdego miesiąca od czerwca 2022 roku do kwietnia 2023 roku. Udział wartościowy uwzględnia cenę produktów i ich stosunek do wartości wszystkich zasobów występujących w przedsiębiorstwie w określonym miesiącu. Udział ten jest szczególnie istotny dla działu finansowego, ponieważ pomaga określić ilość kapitału zamrożonego w towarach nierotujących, a także wspiera dział planowania podczas zarządzania zapasami w stosunku do ich wartości. Dodatkowo przedsiębiorstwo zobowiązane jest do założenia rezerwy, jeśli wartość zasobów nierotujących przekracza 100 000 zł. Firma posiadając rezerwę na towary nierotujące zakłada, że nie zostaną one sprzedane i konieczna będzie ich utylizacja. Procentowy udział wartościowy towarów nierotujących dokładniej przedstawia konieczność sprzedaży danego zasobu, co może być pomocne dla działu handlowego. Najczęściej produkty te sprzedawane są po dużo mniejszych marżach, czasami również minusowych, jednak brak sprzedaży i utylizacja towarów jest dla przedsiębiorstwa mniej korzystna niż sprzedaż po najniższych cenach. Udział wartościowy towarów występujących na magazynie powyżej 365 dni, został przedstawiony jako:

$$U_4 = \frac{\text{Wartość w poszczególnym miesiącu towarów występujących powyżej 365 dni}}{\text{Wartość wszystkich występujących na magazynie towarów w danym miesiącu}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Wskaźnik poziomu obsługi klienta pokazuje procentową ilość produktów obsłużonych zgodnie z wymaganym terminem. Bazuje on na ilość kilogramów towarów dostarczonych do klienta bez opóźnienia. Wskaźnik ten został obliczony dla 9 miesięcy od sierpnia 2022 roku do kwietnia 2023 roku. Wysoki poziom obsługi klienta wiąże się z większą satysfakcją i zadowoleniem konsumenta, co sprawia, że polecają oni dane przedsiębiorstwo, chcą nawiązać długotrwałą współpracę oraz zamawiają większe ilości towarów. Pomaga to również zwiększyć przewagę konkurencyjną oraz poprawić wizerunek firmy. W przedsiębiorstwie jednak, utrzymywanie wysokiego poziomu obsługi klienta nie zawsze jest opłacalne, ponieważ wiąże się to z posiadaniem dużo większych ilości zapasów i zamrożeniem w nich wysokiego kapitału. Wskaźnik poziomu obsługi klienta został obliczony na podstawie poniższego wzoru:

$$W_1 = \frac{\text{Ilość kilogramów towarów dostarczonych w wymaganym czasie}}{\text{Ilość kilogramów wszystkich towarów}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Wskaźnik terminowości odbiorów został przedstawiony za okres 13 miesięcy od kwietnia 2022 roku do kwietnia 2023 roku. Czynnikiem ten pokazuje procentową ilość przesyłek, które zostały odebrane przez przewoźnika w wymaganym terminie. Obliczony wskaźnik pełni istotną rolę podczas oceny przewoźników, ponieważ jeżeli jego wartość utrzymuje się przez dłuższy okres czasu poniżej 100% to konieczna może być zmiana firmy transportowej. Brak terminowości odbioru produktów wpływa także na opóźnienie dostaw do klientów oraz zaburzenie pracy magazynu, ze względu na przechowywanie produktów, które nie zostały odebrane. Wskaźnik terminowości odbioru ma również kluczowe znaczenie podczas wyboru przewoźnika do długotrwałej współpracy, ponieważ bardzo często zdarza się, że firmy trans-

portowe, które mają niższe stawki przewozowe, charakteryzują się niższą terminowością odbiorów i jakością wykonywanych usług. Wskaźnik terminowości odbiorów w przedsiębiorstwie został obliczony za pomocą poniższego wzoru:

$$W_2 = \frac{\text{Ilość przesyłek odebranych w wymaganym terminie}}{\text{Ilość wszystkich odebranych przesyłek}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Wskaźnik rotacji zapasów określa średnią liczbę dni ile towary występują na magazynie w przeciągu miesiąca. Wskaźnik ten został policzony dla 11 miesięcy – od czerwca 2022 roku do kwietnia 2023 roku. Wskaźnik rotacji zapasów bazuje na średniej wartości zapasów oraz na wartości sprzedaży w każdym miesiącu. Czynnikiem ten pełni kluczową rolę podczas analizy starzenia się stoku. Wysoki poziom wskaźnika rotacji zapasów oznacza, że obrót zasobami jest ograniczony oraz zalegają one na magazynie. Niski poziom wskaźnika rotacji zapasów, świadczy o tym, że posiadane na magazynie towary szybko rotują. Taka sytuacja jest lepsza dla przedsiębiorstwa, jednak należy pamiętać, że zbyt niska wartość tego czynnika może wskazywać na brak towarów dostępnych do sprzedaży, a także powodować przestoje w produkcji. Wskaźnik cyklu rotacji zapasów w przedsiębiorstwie został obliczony jako:

$$W_3 = \frac{\text{Wartość średniego zapasu w konkretnym miesiącu} \cdot \text{liczba dni w analizowanym okresie}}{\text{Wartość sprzedaży w danym miesiącu}} [\text{dni}] \quad (7)$$

Wskaźnik średniego dziennego wydania towarów jest to średnia ilość sztuk wydawanych z magazynu w przeciągu jednego dnia roboczego. Czynnikiem ten został obliczony dla każdego miesiąca roku 2021 oraz 2022. Jest on szczególnie ważny podczas planowania obciążenia i pracy magazynu oraz zarządzania zapasami i towarami występującymi w przestrzeni magazynowej. Wskaźnik ten pokazuje jak zmienia się wydajność magazynu w dłuższym okresie czasu. Dzięki niemu, a także przy uwzględnieniu prognoz na przyszłe miesiące, możliwe jest obliczenie i zweryfikowanie średniej dziennej ilości sztuk koniecznych do przygotowania oraz wydania w każdym miesiącu. Czynnikiem ten umożliwia również obliczenie obciążenia pracą na każdego pracownika w przyszłych miesiącach, co sprawia, że przedsiębiorstwo ma możliwość przygotowania i zabezpieczenia się przed ewentualnymi brakami kadrowymi. Wskaźnik średniego dziennego wydania towarów został obliczony na podstawie poniższego wzoru:

$$W_4 = \frac{\text{Ilość sztuk wydanych w analizowanym miesiącu}}{\text{Liczba dni roboczych w analizowanym miesiącu}} [\text{szt./dzień}] \quad (8)$$

Wskaźnik spełnienia prognozy popytu przedstawia stosunek ilości kupionych w kilogramach w porównaniu do ilości prognozowanych na analizowany miesiąc. Czynnikiem ten został obliczona dla połowy roku 2021 i całego roku 2022. Wskaźnik ten jest istotny dla każdego działu firmy i pełni kluczową rolę podczas planowania i zamawiania towarów. Najbardziej optymalną sytuacją dla przedsiębiorstwa jest kiedy wskaźnik ten równa się 100%, świadczy to o tym, że ilości kupione przez klientów były równe ilościom prognozowanym. Bardzo często zdarza się jednak, że czynnikiem ten jest poniżej zakładanego poziomu, co wskazuje na to, że prognozy są większe od sprzedaży. W takim przypadku dochodzi do gromadzenia się

towaru na magazynie, który zamawiany jest na podstawie prognoz, a także do zamrożenia w nim dużej ilości kapitału firmy. Jeżeli czynnik ten ma wartość powyżej 100% pokazuje to, że sprzedaż jest większa od prognozy. Taka sytuacja jest również nieefektywna dla przedsiębiorstwa, ponieważ może powodować opóźnienia w dostawach do klientów a tym samym, spadek poziomu obsługi klienta, ze względu na brak dodatkowego towaru występującego na magazynie. Wskaźnik spełnienia prognozy popytu został obliczony według poniższego wzoru:

$$W_5 = \frac{\text{Ilość kilogramów sprzedanych w danym miesiącu}}{\text{Ilość kilogramów zaprognozowanych na dany miesiąc}} \cdot 100\% \quad (9)$$

Wskaźnik średnich zapasów pokazuje ilość towarów, które zostają na magazynie po uwzględnieniu sprzedaży na dany miesiąc w stosunku do ilości dni w badanym okresie. Bazuje on na ilości zapasów w kilogramach. Czynnik ten został obliczony od kwietnia 2022 roku do kwietnia 2023 roku. Rosnąca wartość tego wskaźnika pokazuje, że w magazynie gromadzone jest coraz więcej produktów. Taka sytuacja jest niekorzystna dla przedsiębiorstwa, ponieważ związane jest to z zamrożeniem dużych ilości kapitału. Analiza wskaźnika średnich zapasów jest najbardziej efektywna jeśli prowadzona jest przez dłuższy okres czasu. Pozwala to zauważyć w jakim miesiącu zapasy rosną najbardziej, a także stwierdzić czy występuje sezonowość towarów oraz nadmierne ich nagromadzenie. Wskaźnik średnich zapasów w analizowanym przedsiębiorstwie został obliczony jako:

$$W_6 = \frac{\text{Ilość zapasów występująca na magazynie w ostatni dzień miesiąca}}{\text{Liczba dni w danym miesiącu}} \text{ [kg/dzień]} \quad (10)$$

Wskaźnik średniej sprzedaży na jednego klienta został obliczony dla każdego miesiąca roku 2021 i 2022. Bazuje on na wartości sprzedaży w danym miesiącu oraz liczbie klientów, do których odbywała się sprzedaż. Pokazuje on średnią miesięczną wartość wpływów przypadających ze sprzedaży na jednego konsumenta. Czynnik ten w połączeniu z prognozą może być pomocny dla przedsiębiorstwa podczas określania realizacji budżetu na przyszłość, ponieważ pokazuje on ile klientów musi być pozyskanych w analizowanym czasie, aby określona część budżetu została spełniona. Wskaźnik średniej sprzedaży na jednego klienta po party prognozą może być też motywacją dla działu handlowego. Wskaźnik średniej sprzedaży na jednego klienta został policzony zgodnie ze wzorem:

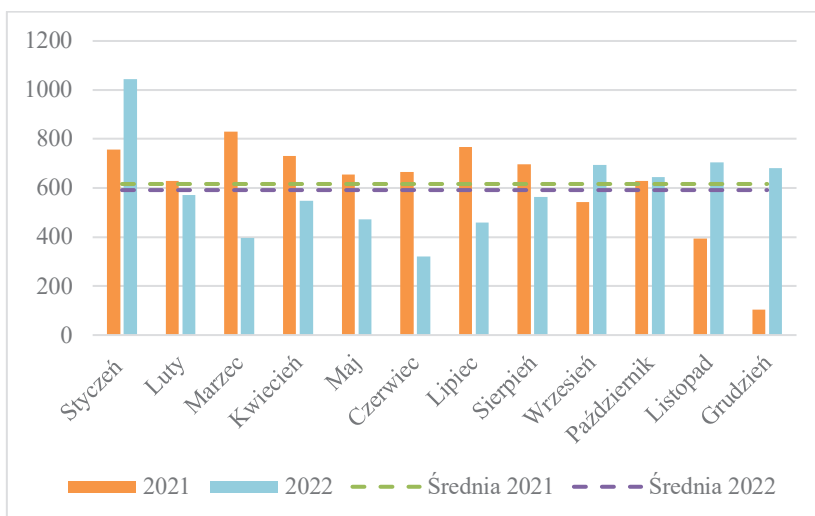
$$W_7 = \frac{\text{Wartość sprzedaży w danym miesiącu}}{\text{Liczba klientów, którzy kupili produkt w analizowanym miesiącu}} \text{ [zł/klient]} \quad (11)$$

### **Analiza wielkości sprzedaży w sztukach**

Analiza wielki w sztukach wskazuje ile sztuk wszystkich produktów dostępnych na magazynie w danym przedsiębiorstwie zostało sprzedanych w poszczególnych miesiącach. Podczas przeprowadzania badań do pracy analiza sprzedaży w sztukach została przedstawiona



dla wszystkich miesięcy roku 2021 i 2022. Wyniki badań dla tego parametru zostały przedstawione na rysunku nr 1.



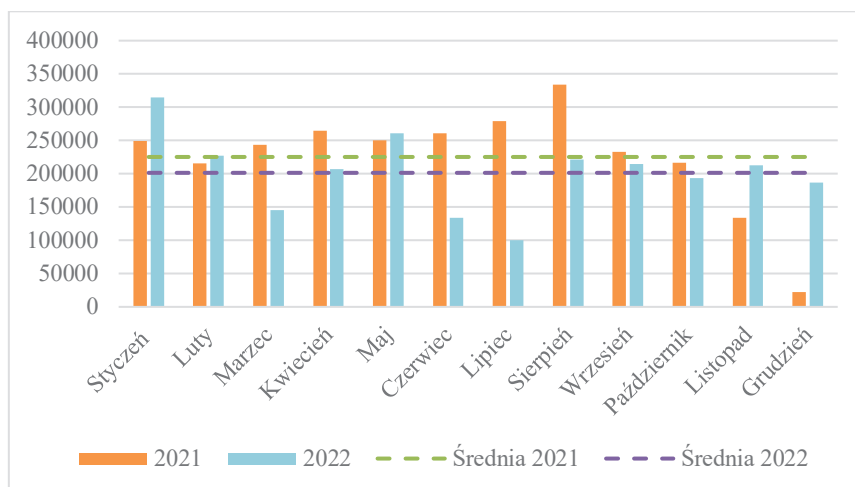
Rys. 1. Analiza wielkości sprzedaży w sztukach

Analiza wielkości sprzedaży w sztukach ukazuje, że większa ilość towarów została sprzedana w roku 2021. Spadek sprzedaży w listopadzie i grudniu 2021 roku związany był z faktem, że założony cel przychodów ze sprzedaży na rok 2021 końcem października został osiągnięty. Rozpoczęła się również znaczna redukcja cen, co przyczyniło się do podjęcia decyzji przez zarząd przedsiębiorstwa o zaprzestaniu sprzedaży i zrealizowaniu tylko tych zamówień, które były złożone przed końcem października. Sytuacja ta wpłynęła również na znaczący wzrost sprzedaży w styczniu 2022 roku, ponieważ duża ilość klientów przez brak możliwości zamawiania we wcześniejszych okresach, złożyła dużo większe zamówienia w tym czasie. Dla większości miesięcy z 2022 roku wartość sprzedaży w sztukach była poniżej średniej rocznej. Było to głównie spowodowane sytuacją geopolityczną i wojną na Ukrainie. Nałożone sankcje na szereg przedsiębiorstw rosyjskich sprawiło, że analizowana firma straciła część klientów, ale też inni konsumenci, którzy kupowali towar od analizowanego przedsiębiorstwa, używali go do produkcji własnych zasobów, a później lokowali swoje produkty na rynkach wschodnich nie mieli już takiego zapotrzebowania na zasoby.

### Analiza wielkości sprzedaży w kilogramach

Analiza wielkości sprzedaży w kilogramach przedstawia ilość kilogramów towarów, które zostały sprzedane przez firmę w każdym miesiącu roku 2021 i 2022. Analiza wielkości sprzedaży w kilogramach jest bardziej szczegółowa od analizy wielkości sprzedaży w sztukach. Dzieje się tak, ponieważ w przedsiębiorstwie produkty sprzedawane są w opakowaniach o różnej pojemności i masie. Podczas analizy sprzedaży w sztukach jedna sztuka jest jednakową miarą dla 1 IBC o masie 1000 kg, jak i dla 1 beczki o masie 200 kg czy 1 kanistra

o masie 25 kg. Z tego powodu w przedsiębiorstwie podczas obliczania szeregu różnych wskaźników dużo częściej korzysta się z danych opartych na kilogramach. Wyniki analizy wielkości sprzedaży w kilogramach zostały przedstawione na rys.2.

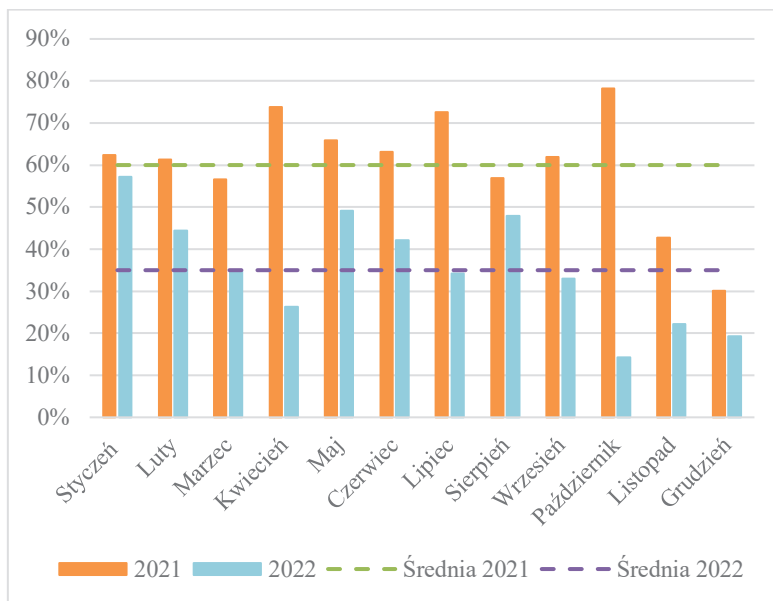


Rys. 2. Analiza wielkości sprzedaży w kilogramach

Analiza sprzedaży w kilogramach pokazuje, że w 2021 roku najwięcej towarów zostało sprzedanych w okresach letnich od maja do sierpnia. Jest to spowodowane tym, że produkty wytwarzane przez przedsiębiorstwo używane są między innymi w sektorze budowlanym, a miesiące od maja do sierpnia są szczytem sezonu dla takich rynków. Duża liczba klientów, którzy utracili rynki wschodnie ze względu na wojnę na Ukrainie odebrała swoje zamówienia złożone przed wybuchem wojny w kwietniu i maju 2022, było to jednak powodem zbyt dużej ilości towarów posiadanych na magazynach konsumentów i spadkiem popytu w czerwcu i lipcu 2022 roku. Analiza wielkości sprzedaży w kilogramach pokazuje, że popyt na oferowane produkty jest dynamiczny i ciągle się zmienia. Brak występowania sezonowości w analizowanych okresach czasu.

### Udział ilościowy towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie sztuk

Udział ilościowy towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie sztuk bazuje na ilości sztuk towarów sprzedanych na rynki zagraniczne w każdym miesiącu roku 2021 oraz 2022 w stosunku do ilości wszystkich sprzedanych sztuk w analizowanych miesiącach. Udział ten pozwala określić poziom eksportu w danym przedsiębiorstwie. Wyniki badań uzyskane podczas analizowania udziału ilościowego zasobów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie sztuk przedstawiono na rys. 3.

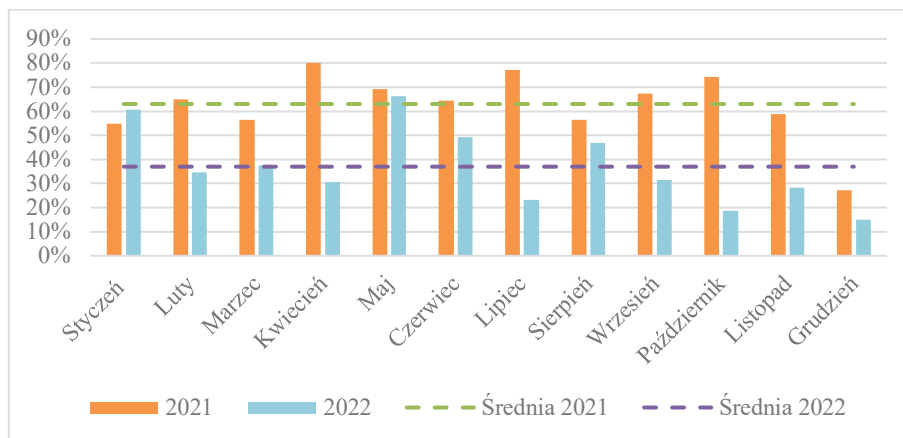


Rys. 3. Udział ilościowy towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie sztuk

Udział ilościowy towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie sztuk pokazuje, że średnio miesięcznie w 2021 na rynki międzynarodowe wysłano o 25% więcej towarów w porównaniu z rokiem 2022. Do znacznego spadku eksportu w 2022 roku przyczyniła się sytuacja geopolityczna. Największą wartość udziału można zaobserwować w październiku 2021 roku, co było spowodowane dużymi ilościami produktów wysyłanych do klientów na rynki wschodnie. W tym czasie do konsumentów, którzy zostali objęci sankcjami wysłano 46% wszystkich sprzedanych sztuk w październiku 2021 roku. Ilość eksportowanych towarów w stosunku do produktów sprzedawanych na rynki krajowe średnio w 2021 roku wynosiła 60%, natomiast w 2022 roku poziom ten spadł do 35%. Warto dodać, że ilość towarów, które były eksportowane do konsumentów objętych sankcjami w 2021 roku średnio wynosiły 35% wszystkich produktów w sztukach wysyłanych na rynki zagraniczne. Najmniejszy udział wysyłek na rynki zagraniczne został odnotowany w październiku 2022 roku, co było związane z występowaniem w przedsiębiorstwie COVID-19. W tym czasie bardzo dużo przesyłek zostało realizowanych w późniejszym terminie, co przyczyniło się do spadku ilości wysyłanych towarów na rynki zagraniczne w 2022 roku.

### Udział ilościowy towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie kilogramów

Udział ilościowy towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie kilogramów pokazuje procentowo ile kilogramów zasobów zostało sprzedanych na rynki międzynarodowe w stosunku do wszystkich sprzedanych produktów. Udział ten został policzony dla całego roku 2021 oraz 2022.

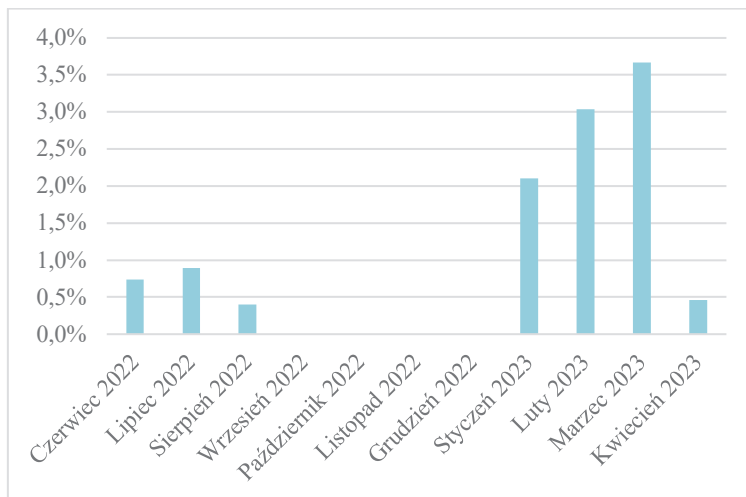


Rys. 4. Udział ilościowy towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie kilogramów

Udział ilościowy towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie kilogramów ukazuje bardziej szczegółowe dane niż udział ilościowy towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie sztuk. Połączenie obu tych wykresów pokazuje komplet informacji na temat przebiegu eksportu w analizowanym przedsiębiorstwie. Udział ten przedstawia, że w 2022 roku najwięcej produktów zostało eksportowanych w maju, natomiast udział na podstawie sztuk pokazuje, że najlichnieszym miesiącem był styczeń. Dzięki takim danym można stwierdzić, że w styczniu wysłano więcej sztuk towaru, ale w mniejszych opakowaniach np. w kanistrach lub beczkach, natomiast kilogramowo więcej towaru sprzedano w maju. Warto również zaznaczyć, że ceny produktów w analizowanym przedsiębiorstwie ustalane są na podstawie kilogramów, co sprawia, że im więcej wysyłek towarów na podstawie kilogramów, tym większe przychody firmy ponoszone z tytułu sprzedaży zasobów. W kwietniu 2021 roku aż 80% wszystkich sprzedanych produktów była rozprowadzona na rynki zagraniczne, w tym aż 42% towarów było wysłanych do państw, które w 2022 roku zostały objęte sankcjami. Analizując udział ilości towarów wysyłanych na rynki zagraniczne na podstawie kilogramów można zauważyć, że największe ilości produktów w 2021 roku sprzedawane były w kwietniu, lipcu oraz październiku. Wpływ na to miał rodzaj rynku na którym rozlokowane są sprzedawane produkty, a także ich właściwości.

### Udział ilościowy towarów nierotujących występujących na magazynie powyżej 365 dni

Za towary nierotujące w przedsiębiorstwie uważane są wszystkie produkty, które nie zostały sprzedane przez okres 365 dni, a także na które nie istnieją zamówienia sprzedaży oraz prognozy. W pracy ilość towarów nierotujących została policzona dla 11 miesięcy.

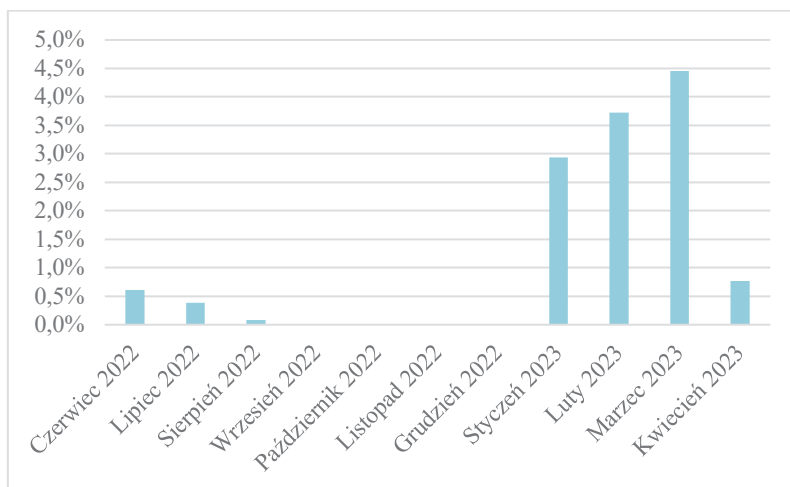


Rys. 5. Udział ilościowy towarów nierotujących występujących na magazynie powyżej 365 dni

Udział ilościowy towarów nierotujących występujących na magazynie powyżej 365 dni został przedstawiony na rys.5. Udział ilościowy towarów występujących na magazynie powyżej 365 dni został obliczony dla miesięcy od czerwca 2022 do kwietnia 2023. Było to spowodowane decyzją globalną, która została podjęta w maju 2022 roku i dotyczyła konieczności redukcji zapasów oraz monitorowania ilości towarów występujących w przedsiębiorstwie powyżej 365 dni. Od września do grudnia 2022 roku poziom produktów nierotujących był zerowy, ze względu na brak zasobów, które były na magazynie dłużej niż 365 dni. Najwyższa wartość ilości towarów nierotujących w kilogramach została odnotowana w marcu 2023 roku, czego przyczyną był spadek sprzedaży, jak również występowaniem na magazynie towarów, które były zamawiane pod klientów wschodnich i zatrzymane ze względu na nałożone sankcje. Produkty te najczęściej były sprzedawane tylko do jednego klienta przez co ich rozlokowanie na rynku było dodatkowo utrudnione. W kwietniu 2023 roku wiele zasobów, które w marcu były wykazane jako nierotujące zostało sprzedanych, przez zastosowanie różnych rabatów i promocji. Część z produktów została również odesłana do producenta ze względu na duży popyt jego klientów, a także możliwość zużycia niektórych materiałów do produkcji nowych towarów.

#### **Udział wartościowy towarów nierotujących, występujących na magazynie powyżej 365 dni**

Udział wartościowy towarów nierotujących, występujących na magazynie powyżej 365 dni, tak samo jak udział ilościowy został obliczony dla miesięcy od czerwca 2022 do kwietnia 2023 roku. Udział ten pełni istotną rolę, ponieważ ukazuje procentowo wartość kapitału utraconego przy założeniu, że towary te nie zostaną sprzedane.

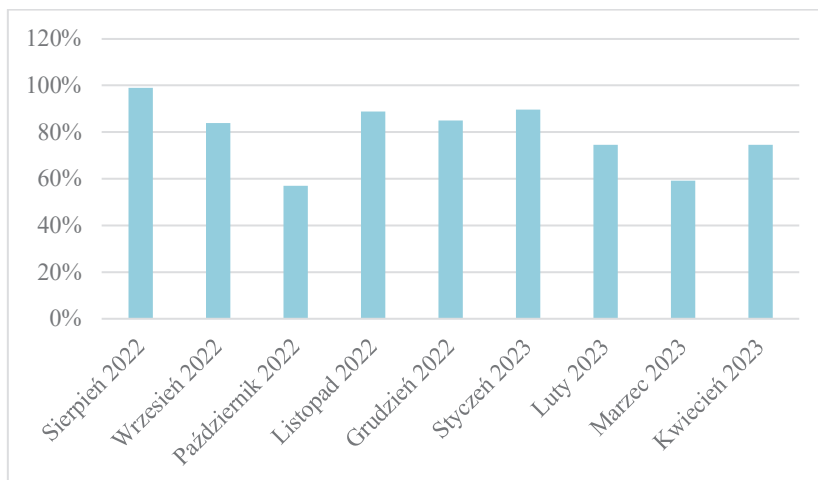


Rys. 6. Udział wartościowy towarów nierotujących występujących na magazynie powyżej 365 dni

Udział ten największy poziom posiada w marcu 2023 co świadczy o tym, że na magazynie gromadzone były towary o dużej wartości. Maksymalna wielkość dla udziału ilościowego również została odnotowana w marcu, co może wskazywać na to, że w przedsiębiorstwie składowane były produkty w dużych opakowaniach, które mają największą wartość np. w paletopojemnikach. Udział wartościowy towarów występujących powyżej 365 dni w lipcu jest niższy niż w czerwcu, jednak udział ilościowy produktów przedstawiony w kilogramach dla tego miesiąca jest wyższy niż w czerwcu, co świadczy o tym, że w czerwcu na magazynie występowało mniej zasobów nierotujących, ale o większej wartości. Należy zwrócić również uwagę na fakt, że w sierpniu ilość produktów występujących na magazynie powyżej 365 dni była bardzo zbliżona z wynikiem kwietniowym, jednak wartość zasobów w kwietniu była dużo wyższa.

### Wskaźnik poziomu obsługi klienta

Wskaźnik poziomu obsługi klienta, stanowi istotną rolę w analizowanym przedsiębiorstwie, pokazuje bowiem procentowo ilość przesyłek wysłanych do klienta później niż wymagany przez nich termin. Warto podkreślić, że jest on liczony na podstawie ilości opóźnionych kilogramów.



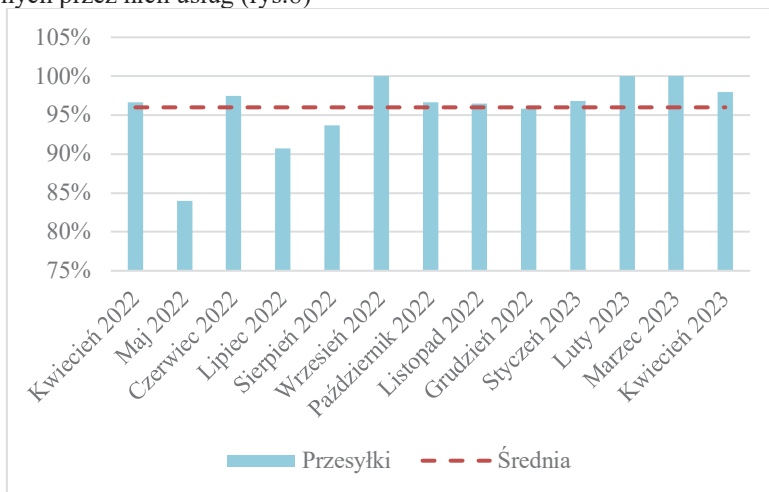
Rys. 7. Wskaźnik poziomu obsługi klienta

Wskaźnik poziomu obsługi klienta został obliczony dla 9 miesięcy od sierpnia 2022 roku do kwietnia 2023 roku. Był to kolejny element decyzji globalnej dotyczącej redukcji stanów magazynowych oraz minimalizowania ilości dni występowania towarów w przedsiębiorstwie. Głównym celem firmy jest, aby wskaźnik ten był na poziomie 80%, co oznacza, że tylko 20% towarów wyjedzie w czasie niezgodnym z wymaganiami klientów. Można zaobserwować, że najniższą wartość czynnika odnotowano w październiku 2022 roku, co było spowodowane występowaniem dużej liczby osób chorych w przedsiębiorstwie i koniecznością opóźniania wysyłek do klientów, a także przewożeniem towarów i realizowaniem przesyłek z magazynu zewnętrznego, obsługiwanego przez firmę outsourcingową. Spadek poziomu obsługi klienta odnotowano również w marcu 2023 roku. Główną przyczyną tego był zmieniający się rynek i konieczność realizowania zamówień klientów w krótszym czasie. Ze względu na to w placówce skrócono czas realizacji zamówień, który przed marcem wynosił 6 tygodni, a nagle zmienił się na 20 dni roboczych. Taka sytuacja sprawiła, że przedsiębiorstwo nie miało możliwości przygotowania się na zmiany, ze względu na odległą dostępność produktów, co skutkowało spadkiem poziomu obsługi klienta w marcu 2023 roku. Warto podkreślić, że średni czas oczekiwania na wyrób gotowy od dostawcy wynosi około 2 miesięcy. Najwyższy wskaźnik poziomu obsługi klienta odnotowano w sierpniu 2022 roku, co było spowodowane występowaniem na magazynie dużych ilości materiałów pozostałych po klientach wschodnich do których nie odbyły się transakcje ze względu na wybuch wojny i nałożone sankcje.

### Wskaźnik terminowości odbiorów

Wskaźnik terminowości odbiorów został przeanalizowany na podstawie 13 miesięcy – od kwietnia 2022 roku do kwietnia 2023 roku. Ukazuje on procentową ilość towarów odebranych z magazynu przez przewoźników w terminie wymaganym przez przedsiębiorstwo.

Wskaźnik ten pełni istotną rolę podczas analizy dostawców, ponieważ pokazuje jakość świadczonych przez nich usług (rys.8)



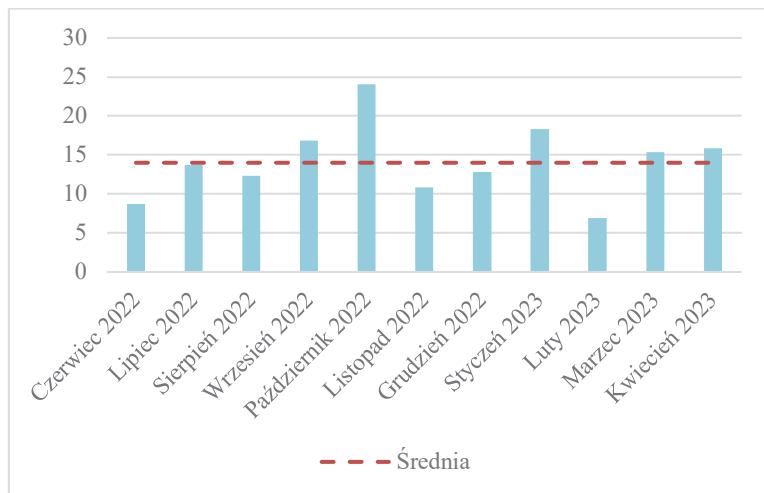
Rys. 8. Wskaźnik terminowości odbiorów

Firma dąży do tego aby wskaźnik ten był na poziomie 100%, jednak w dużej mierze jest to zależne od przewoźników odbierających towar z magazynu. Po rozpoczęciu wojny na Ukrainie firma podjęła decyzje, że ze względu na trudność w organizacji transportu, a także zagrożenie związane z wyjazdem na Ukrainę, możliwe jest odbieranie towarów tylko przez przewoźników zorganizowanych przez klienta. Wiązało się to jednak z wieloma opóźnieniami, ponieważ kierowcy przez długi czas czekali na granicach, wydłużono były również czynności związane z odprawą celną, co spowodowało spadek terminowości odbiorów w maju 2022 roku. Dodatkowo w tym czasie organizowano również bardzo dużo przesyłek, które wysyłane były bezpośrednio do klienta od producenta, ze względu na to, że były to produkty specjalistyczne, których konsument potrzebował tak szybko jak to możliwe. Opóźnienia kierowców, spowodowane były dłuższym rozładunkiem w innych przedsiębiorstwach, co skutkowało późniejszym przyjazdem na miejsce załadunku i możliwością odebrania towaru dopiero w kolejnym dniu roboczym. Mniejsza terminowość odbiorów występowała również w lipcu i sierpniu 2022 roku na co wpłynął głównie sezon letni, znacznie wzmożony ruch w tym czasie oraz zwiększona liczba wypadków i korków.

### Wskaźnik rotacji zapasów

Wskaźnik rotacji zapasów został przedstawiony od czerwca 2022 roku do kwietnia 2023 roku co wiązało się z decyzją globalną na temat zmniejszenia ilości towaru występującego na magazynie. Pokazuje on co ile dni w przeciągu miesiąca produkty średnio rotują (rys.9) Odnotowywanie tego wskaźnika w przedsiębiorstwie może być pomocne, ponieważ jego stale narastający poziom świadczy o braku rotacji i zaleganiu towarów na magazynie.



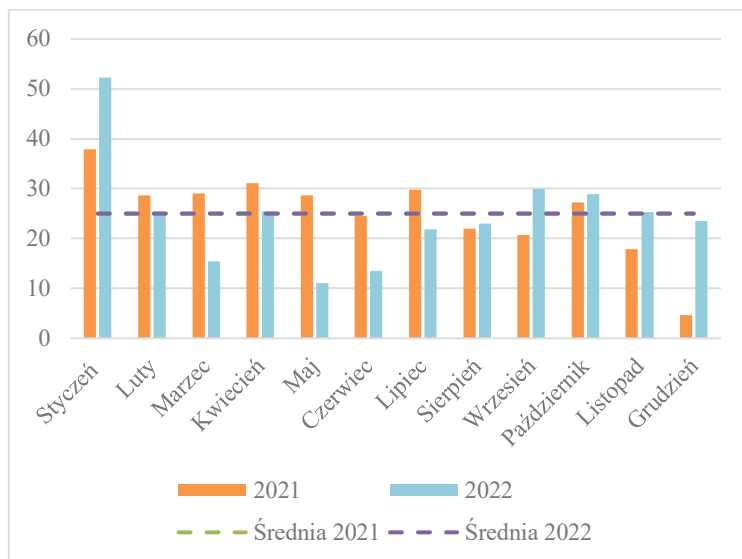


Rys. 9. Wskaźnik rotacji zapasów

Najniższą wartość tego czynnika odnotowano w październiku 2022 roku, co było spowodowane występowaniem COVID-19 w przedsiębiorstwie. Brak możliwości realizowania przesyłek, przyczynił się do braku ruchów na magazynie, a tym samym do wzrostu wskaźnika rotacji zapasów. Najniższą wartość tego czynnika odnotowano w lutym 2023 roku, ze względu na dobrą dostępność produktów i możliwość przyspieszania zamówień do klientów. W tym czasie występowała bardzo dobra płynność zasobów w przedsiębiorstwie, co wiązało się z wprowadzaniem towarów do magazynu i ich wysyłaniem w ciągu kilku dni. Średnia wartość wskaźnika rotacji zapasów w przeciągu miesiąca wynosi 14 dni, co świadczy o dobrej kondycji towarów i nie gromadzeniu ich w przedsiębiorstwie w zbyt długim okresie czasu.

### Wskaźnik średniego dziennego wydania towarów

Wskaźnik średniego dziennego wydania towarów został policzony dla każdego miesiąca roku 2021 oraz 2022 (rys.10). Czynnikiem ten jest szczególnie istotny podczas planowania pracy magazynu oraz planowania ilości możliwych przesyłek do wystania. Wskaźnik średniego dziennego wydania towarów w połączeniu z czasem załadunku i rozładunku pozwala również obliczyć średni czas potrzebny na przygotowanie i wysłanie jednej sztuki towaru. Wskaźnik średniego dziennego wydania został policzony dla ilości sztuk, a nie dla ilości kilogramów wydanych z magazynu w każdym dniu roboczym, ponieważ podczas etykietowania, a także przygotowywania przesyłki nie ma znaczenia czy jest to kanister, beczka czy paletopojemnik. Średnia ilość wydanych towarów w roku 2021 jest taka sama jak w roku 2022 i wynosi 25 sztuk na dzień. Ilość sztuk wydanych z magazynu nie jest jednoznaczna z ilością sprzedanych produktów, ponieważ wielkość sprzedanych zasobów uwzględnia również towary, które zostały wysłane do klienta bezpośrednio od producenta.



Rys. 10. Wskaźnik średniego dziennego wydania towarów

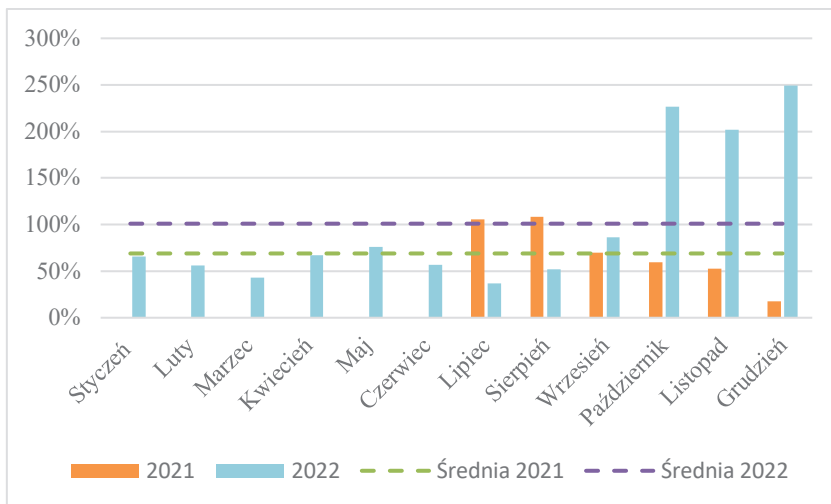
Nie wchodzi one na stan magazynowy placówki, dlatego też nie są zaliczane do ilości sztuk wydanych z magazynu. Najwięcej sztuk opuściło magazyn w styczniu 2022 roku, co wiązało się ze wzmożoną sprzedażą ze względu na brak możliwości realizacji zamówień w listopadzie i grudniu 2021 roku. Najmniej sztuk z przedsiębiorstwa wydano w maju 2022 roku i grudniu 2021 roku. Sytuacja w maju spowodowana była wysyłaniem dużych ilości przesyłek bezpośrednio do klienta od producenta, natomiast sytuacja w grudniu 2021 roku poparta była decyzją globalną dotyczącą zatrzymania sprzedaży.

### Wskaźnik spełnienia prognozy popytu

Wskaźnik spełnienia prognozy popytu jest szczególnie istotny w analizowanym przedsiębiorstwie, ponieważ ukazuje ilość sprzedanych towarów w stosunku do ilości zaprognozowanych produktów (rys.11).

W tym wypadku wskaźnik spełnienia prognozy popytu został policzony od lipca 2021 roku do grudnia 2022 roku. Było to spowodowane faktem, że w przedsiębiorstwie dopiero od lipca 2021 roku zaczęto tworzyć prognozy popytu. Przed tym czasem zakładano, że towar w określonej wielkości musi być dostępny na magazynie cały czas. Głównym celem przedsiębiorstwa jest aby wskaźnik ten był na poziomie 100%. Taka sytuacja ma miejsce kiedy ilości sprzedane są równe ilościom prognozowanym. Czynnikiem ten osiąga najniższą wartość w grudniu 2021 roku, spowodowała to konieczność zminimalizowania ilości stoków i redukcja sprzedaży. Prognozy na grudzień zostały stworzone przed oficjalną decyzją zarządu. W takim przypadku wszystkie niesprzedane produkty z prognozy zostały wliczone do wskaźnika spełnienia prognozy popytu. W 2022 roku czynnik osiągnął wartość powyżej 100% w trzech miesiącach, do czego przyczyniły się znaczne ilości kupowane od października do grudnia 2022 roku. Były to towary, które nie były prognozowane lub były prognozowane,

ale w mniejszych ilościach niż kupione. Jeżeli wartość wskaźnika spełnienia prognozy popytu jest wyższa od 100% można wywnioskować, że produkty zostały sprzedane nadprogramowo i sprzedaż jest większa od prognoz.

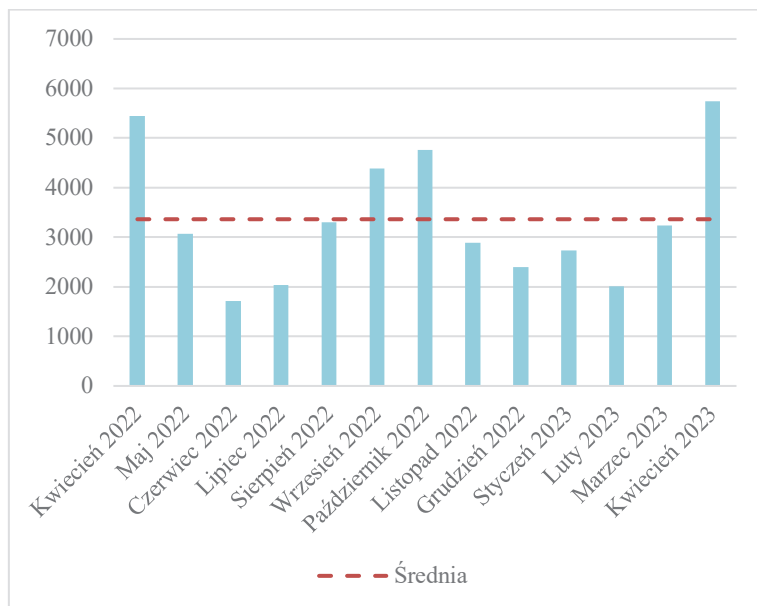


Rys. 11. Wskaźnik spełnienia prognozy popytu

### Wskaźnik średnich zapasów

Wskaźnik średnich zapasów został przedstawiony dla 13 miesięcy i obejmuje terminy od kwietnia 2022 roku do kwietnia 2023 roku. Czynniki ten został obliczony na podstawie ilości dni występujących w danym miesiącu oraz ilości kilogramów towarów na koniec każdego miesiąca. Wyniki powstałe podczas obliczania wskaźnika średnich zapasów zostały przedstawione na poniższym wykresie (rys.12).

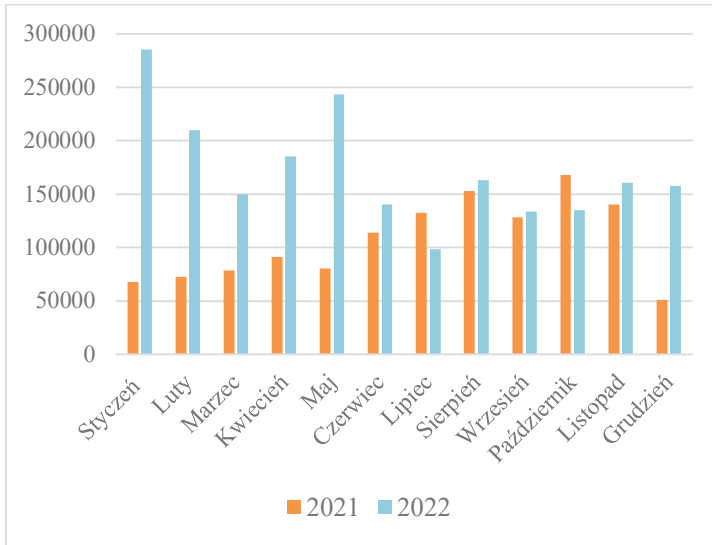
Najwyższą wartość czynnika ten osiągnął w kwietniu 2022 oraz w kwietniu 2023 roku. W kwietniu 2022 roku było to spowodowane występowaniem dużych zapasów ze względu na brak możliwości realizowania wysyłek do klientów którzy zostali objęci sankcjami, natomiast w kwietniu 2023 roku wiązało się to z decyzją globalną podczas której określono potrzebę gromadzenia znacznych ilości zapasów, ze względu na zmieniający się rynek i brak akceptacji ze strony konsumentów na długie terminy realizacji zamówień oraz zbyt długie czasy oczekiwania na towary. Duże ilości zapasów występują również w październiku 2022 roku, co było spowodowane występowaniem w przedsiębiorstwie COVID-19. Skutkowało to zatrzymaniem ruchów magazynowych i zmniejszeniem ilości wysyłek z firmy. Wskaźnik średnich zapasów najmniejszą wartość osiągnął w czerwcu 2022 roku, dzięki wprowadzeniu szeregu zmian prowadzących do obniżenia stoków magazynowych i ograniczenia ilości zapasów występujących w magazynie.



Rys. 12. Wskaźnik średnich zapasów

### Wskaźnik średniej sprzedaży przypadającej na jednego klienta

Wskaźnik średniej sprzedaży przypadającej na jednego klienta został przedstawiony dla każdego miesiąca roku 2021 oraz 2022. Wysoka jego wartość świadczy o dużej ilości sprzedanych towarów lub o małej ilości produktów wysłanych do małej liczby klientów. Wyniki uzyskane po obliczeniu wskaźnika średniej sprzedaży przypadającej na jednego klienta przedstawiono na rys.13. Wskaźnik średniej sprzedaży przypadającej na jednego klienta został obliczony na podstawie wartości sprzedaży oraz liczby klientów. Można zauważyć, że dużo większe wartości dla tego wskaźnika otrzymano w 2022 roku, co było spowodowane wzrostem cen oraz inflacją. Dodatkowo w 2021 roku przedsiębiorstwo obsługiwało także klientów wschodnich, więc wartość sprzedaży rozkładała się na większą liczbę konsumentów, co sprawiało, że poziom sprzedaży przypadający na jednego klienta był niższy. Najniższą wartość wskaźnik ten osiągnął w grudniu 2021 co kolejny raz było spowodowane decyzją zarządu o zablokowaniu sprzedaży. W 2022 roku sprzedanych zostało bardzo dużo sztuk towarów, co ukazała analiza sprzedaży w sztukach i kilogramach, jednak wysoka wartość średniej sprzedaży przypadającej na jednego klienta ukazuje fakt, że jednostkowi konsumenci musieli zamawiać duże ilości towarów.



Rys. 13. Wskaźnik średniej sprzedaży przypadającej na jednego klienta

## Podsumowanie

Do powyższej analizy wykorzystano 13 różnych czynników, które w znaczący sposób wpływają na przebieg dystrybucji produktów w badanej firmie. Obliczono także wskaźniki ukazujące poziom spełnienia prognozy, terminowość odbioru towarów przez przewoźnika oraz poziom obsługi klienta. Na podstawie przeprowadzonej analizy wyciągnięto następujące wnioski odnośnie jakości dystrybucji w omawianym przedsiębiorstwie:

- dystrybucja towarów i zarządzanie zapasami w przedsiębiorstwie odbywa się, na wysokim poziomie, co pokazuje poziom obsługi klienta, który średnio wynosi 79%.
- podstawowym mankamentem w analizowanym przedsiębiorstwie jest brak modelu prognozowania.
- prognozowanie popytu opiera się w głównej mierze na wiedzy handlowców, co jak same badania wskazują obarczone jest dużym błędem.
- sytuacja geopolityczna związana z wojną na Ukrainie w znaczącym stopniu wpłynęła na procesy związane z dystrybucją towarów. Zwiększyła ona również poziom zapasu utrzymywanego w magazynie oraz zredukowała zyski przedsiębiorstwa.
- ilość towarów dostępnych w magazynie oraz sprzedawanych sztuk powinna być analizowana pod względem ilości kilogramów. Takie dane są bardziej precyzyjne i dokładniej przedstawiają sytuację w jakiej znajduje się przedsiębiorstwo.
- decyzje globalne podejmowane w firmie dostosowywane są do sytuacji rynkowej, jednak znacząco różnią się one między sobą na przełomie dwóch lat, co generuje szereg problemów związanych z zarządzaniem zapasami i dystrybucją.
- analizowany popyt różni się na przełomie miesięcy, co świadczy o tym, że jest on dynamiczny oraz nie występuje sezonowość i trend.

- duża ilość wskaźników policzonych tylko dla roku 2022 i 2023 wskazuje na fakt, że przedsiębiorstwo ciągle doskonali swoje procesy i dba o to, aby usługi przez nich świadczone były na jak najwyższym poziomie.
- odnotowany spadający poziom obsługi klienta w październiku 2022 roku, który wynosił tylko 57% związany był z występowaniem w przedsiębiorstwie COVID-19, co wiązało się z opóźnieniami realizacji zamówień klientów.
- sankcje nałożone na przedsiębiorstwa wschodnie wiązały się ze spadkiem ilości zamówień w czerwcu i lipcu 2022 roku. Dodatkowo znacząca liczba polskich klientów, którzy kupowali produkty w analizowanym przedsiębiorstwie i sprzedawali je na rynki wschodnie utraciła swoich konsumentów, co wiązało się z posiadaniem dużych zapasów magazynowych we własnych firmach.

Reasumując, jako główną rekomendację do poprawy w analizowanym przedsiębiorstwie należy wskazać spełnienie prognozy popytu. Prognozy w niewielu miesiącach osiągają wartość 100%, co sprawia, że są one albo przeszacowane albo niedoszacowane. Obie te sytuacje są niepokojące dla przedsiębiorstwa i generują wiele problemów. Niedoszacowanie prognozy powoduje, że sprzedaż jest większa niż prognoza, co sprawia, że na magazynie nie występuje wystarczająca ilość towarów. Przeszacowanie popytu związane jest z posiadaniem większej ilości prognoz niż zamówień od klientów, co wiąże się z gromadzeniem na magazynie dużej ilości zapasów. Jedynym elementem, który nie zależy bezpośrednio od decyzji podjętych przez pracowników danej firmy jest wskaźnik terminowości odbiorów. W głównej mierze zależy on od przewoźników z którymi współpracuje analizowane przedsiębiorstwo, a także od czynników takich jak: czas potrzebny na odprawy celne, ilość wypadków i korków na drodze, a także opóźnienia spowodowane dłuższym rozładunkiem u wcześniejszego odbiorcy.

## Bibliografia

- Kaczorowska Z., Staniec I.: Klasyfikacja ABC/XYZ w zarządzaniu gospodarką materiałową w przedsiębiorstwie produkcyjnym, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej Nr 1228, Łódź, 2019.
- Krzyżaniak S., Cyplik P.: Zapasy i magazynowanie, Biblioteka logistyka, Poznań 2008.
- Twaróg J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne, Biblioteka Logistyka, Poznań, 2003.
- Śliżewska J., Zadrożna D.: Organizowanie i Monitorowanie dystrybucji, WSiP, 2014.
- Spyra Z.: Kanały dystrybucji kształtowanie relacji, CeDeWu – Wydawnictwa Fachowe, Warszawa 2008.
- Szymańska E., Korbiń J.: Ekonomika i Organizacja Logistyki, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa, 2017.
- Woźniak J.: Przedsiębiorczość i zarządzanie. Identyfikacja kanałów dystrybucji i otoczenia konkurencyjnego w branży papierniczo-biurowej na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa, Wydawnictwo SAN, Politechnika Rzeszowska, 2018.
- Zrobek J.: Marketing logistycznych w małych firmach w warunkach integracji europejskiej, Studia Prawno - Ekonomiczne, 2012.

Źródła internetowe:

<https://core.ac.uk/download/pdf/160237404.pdf>

<https://businessinsider.com.pl/gospodarka/przepisy/co-to-jest-fefo/038d31y>

*Adres do korespondencji: [Jakub.Sikora@urk.edu.pl](mailto:Jakub.Sikora@urk.edu.pl)*

ORCID: Jakub Sikora 0000-0002-6215-6065

ORCID: Anna Szelaḡ-Sikora 0000-0002-6017-4374

ORCID: Aneta Oleksy-Gębczyk 0000-0001-6185-5932

ORCID: Katarzyna Kowalska-Jarnot 0000-0003-2829-8841

# OCENA PROCESU TRANSPORTOWEGO NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO PRZEDSIĘBIORSTWA TRANSPORTOWO- -SPEDYCYJNEGO W PRZEMYSŁE SPOŻYWCZYM

Magdalena Dziechciowska<sup>1</sup>, Jakub Sikora<sup>1,4</sup>, Anna Szelağ-Sikora<sup>1,4</sup>, Aneta Oleksy-Gębczyk<sup>2</sup>, Katarzyna Kowalska-Jarnot<sup>3</sup>, Joanna Stuglik<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków

<sup>2</sup> Wydział Nauk Ekonomicznych, Akademia Nauk Stosowanych w Nowym Sączu, ul. Staszica 1, 33-300 Nowy Sącz

<sup>3</sup> Zakład Zarządzania i Rachunkowości, Wyższa Szkoła Ekonomii i Informatyki w Krakowie, ul. Św. Filipa 17, 31-150 Kraków

<sup>4</sup> Instytut Nauk Inżynierijno-Technicznych, Małopolska Uczelnia Państwowa im. Rotmistrza Witolda Pileckiego w Oświęcimiu, Maksymiliana Kolbego 8, 32-600 Oświęcim

## Wprowadzenie

Przemysł spożywczy jest jednym z najszybciej rozwijających się sektorów polskiej gospodarki. Do jego głównych zadań należy wytwarzanie produktów i półproduktów przeznaczonych do spożycia, a następnie ich transport do odpowiednich miejsc dystrybucji. Ma on znaczący wpływ w tworzeniu PKB, a także zapewnia szereg nowych miejsc pracy. W Polsce ponad 30 tys. przedsiębiorstw działa w branży spożywczej, zatrudniając ok. 2 mln osób.

Polskie produkty spożywcze są bardzo popularne na rynkach zagranicznych. Wzrost kosztów produkcji, rozpowszechnianie trendów prozdrowotnych, a także duża konkurencyjność, sprawia, że potrzebna jest jeszcze bardziej wykwalifikowana kadra pracowników. Coraz więcej konsumentów zwraca uwagę również na to, aby żywność była produkowana zgodnie z normami ochrony środowiska. Ważne dla nich jest, aby produkty były tworzone z mniejszym poborem energii i wody, a także w opakowaniach ulegających recydingowi.

W Polsce powstaje coraz więcej centrów dystrybucyjnych w branży spożywczej, które zajmują się transportem, magazynowaniem, realizacją zamówień, kompletacją, pakowaniem oraz wysyłką produktów codziennego użytku. Dużą rolę odgrywa tutaj ulokowanie naszego Państwa, które łączy wschód i zachód, a także ma bardzo dobry dostęp do krajów skandynawskich i południa Europy. Budowanie dużych i wyspecjalizowanych centrów dystrybucyjnych może wpłynąć na wiele czynników w procesach transportowych takich jak: sprawność i niezawodność transportowa czy terminowość, efektywność i elastyczność dostawy. Zastosowanie nowoczesnej technologii i automatyzacji pozytywnie wpływa na zoptymalizowanie czasu pracy, zmniejszenie możliwości popełnienia błędów, a także na bardziej kompleksowej obsłudze klienta.



Niniejsze opracowanie poświęcone jest analizie procesu transportowego z przemysłu spożywczego w jednym z centrów dystrybucyjnych. Zawiera ono charakterystykę przedsiębiorstwa, przedstawienie procesu transportowego, omówienie, obliczenie i analizę najważniejszych wskaźników transportowych, a także rekomendacje i sposoby poprawy tego procesu w danym przedsiębiorstwie

### **Charakterystyka procesu transportowego**

We współczesnym świecie można na różne sposoby interpretować słowo transport. Najogólniej mówiąc jest to zespół czynności zajmujący się przemieszczaniem osób i rzeczy, w tym dóbr materialnych i ładunków przy określonym sposobie i organizacji za pomocą odpowiednich środków przewozowych<sup>1</sup>. Rola transportu w logistyce nie ogranicza się tylko do funkcji autonomicznej, ale pełni również znaczącą rolę podczas: zaopatrzenia i dystrybucji towarów, transportu zwrotów, magazynowania zapasów czy obsługi klienta. Warto zwrócić uwagę, że jest on również czynnikiem wpływającym na wzrost PKB, a także zaspokaja potrzeby społeczeństwa takie jak: możliwość wzajemnej komunikacji czy dostęp do sfer życia gospodarczego.<sup>2</sup>

Proces transportowy natomiast to zbiór operacji będących między sobą w różnych układach i zmierzających do dostarczenia odbiorcy określonego produktu<sup>3</sup>. Składa się na niego szereg elementów wejścia i wyjścia. Do czynników wejściowych zalicza się: ludzi, wykorzystywany tabor, infrastrukturę transportową, a także koszty wynikające z użytkowania wszystkich tych elementów. Do czynników wyjściowych natomiast zalicza się: wykonane usługi transportowe i uzyskane z tego tytułu przychody.

Proces transportowy określony jest przez kilka głównych etapów i może się on nieznacznie różnić w zależności od tego jaki jest podmiot przewozu. Podstawowy schemat procesu transportowego ładunków składa się z takich elementów jak<sup>4</sup>:

- przygotowanie towaru do wysyłki,
- magazynowanie przejściowe,
- poszukiwanie i dobór odpowiedniego przewoźnika,
- zawarcie umowy przewozu na określonych warunkach i regulacja płatności lub należność jej uregulowania,
- załadowanie i zabezpieczenie ładunku,
- przewóz towaru,
- wyładowanie ładunku i ewentualne magazynowanie przejściowe, jeśli towar nie został bezpośrednio przywieziony do docelowego miejsca dostawy,
- odbiór towaru przez klienta,
- dalszy transport jeśli ładunek przebywał w magazynie przejściowym,
- rozliczenie transportu,
- ewentualne roszczenia takie jak: odszkodowania, kary, reklamacje.

---

<sup>1</sup> Kisperska-Moroń, D., Krzyżaniak, S.: Logistyka, Biblioteka Logistyka, Poznań, 2009.

<sup>2</sup> Wiśniewska, I., Puchacz, D., Krom, J.: Polski Rynek Transportu. Logistyka i Transport 2017.

<sup>3</sup> Kisperska-Moroń D., op. cit.

<sup>4</sup> Kalestyński, B.: Organizacja transportu, Skrypty Uczelniane Politechniki Świętokrzyskiej nr15, Kielce, 1974.

Proces transportowy zalicza się do rodzaju procesów usługowych dzięki czemu można zdefiniować jego podstawowe cechy. Należą do nich: charakter niematerialny, w związku z tym nie można określić jego wymiarów, wagi czy twardości, jednoczesność produkcji i konsumpcji, wynikająca z tego, że usługa transportowa musi być wykonywana w trakcie przebiegu procesu transportowego, zmienność parametrów jakościowych, które są powiązane z czynnikami zewnętrznymi i wykwalifikowanym personelem, a także brak możliwości utrzymywania usług transportowych na zapas, co świadczy o tym że należy zabezpieczyć dużą ilość zdolności przewozowej w przypadku nagłego wzrostu popytu<sup>5</sup>.

Aby proces transportowy przebiegał poprawnie, należy go w odpowiedni sposób zaplanować. W dzisiejszym świecie istnieje wiele programów komputerowych takich jak: Logixcentral, Route Planning, Scheduling system, Routemate, które tworzą i monitorują działanie tego procesu w przedsiębiorstwie.

Najważniejszą rzeczą, podczas planowania procesu transportowego jest dobór odpowiedniej technologii transportowej. Wybór tej technologii uzależniony jest od procesu przewozu, ale także procesów pomocniczych takich jak: załadunek, przeładunek i rozładunek. Można wyróżnić trzy podstawowe technologie transportowe:<sup>6</sup> zunifikowana, uniwersalna oraz specjalizowana.

Technologia zunifikowana polega na przemieszczaniu ładunków w znormalizowanych kontenerach lub innych zbiorczych jednostkach ładunkowych. Do przewozu w tej technologii wykorzystywany jest specjalny tabor, który musi być dopasowany zarówno pod względem formy zewnętrznej jak i masy występujących ładunków do parametrów jednostki ładunkowej.

Technologia uniwersalna wiąże się z wykorzystaniem prostych maszyn i urządzeń ładunkowych. Najczęściej służy do przewozu towarów drobnicowych i sztukowych, których załadunek i rozładunek odbywa się ręcznie. Stosowanie tej technologii wiąże się z dużą pracochłonnością i małą efektywnością, a także niską zdolnością przewozową środków transportu. Jest ona wykorzystywana rzadko i najczęściej przy transporcie lokalnym.

Technologia specjalizowana wykorzystywana jest przy przewozie towarów wymagających specjalnych warunków transportowych takich jak: żywność, towary szybko psujące się, leki czy zwierzęta. Jest ona również stosowana przy transporcie ładunków masowych. Technologia ta wymaga używania specjalnego taboru takiego jak: cysterny do przewozu materiałów płynnych, naczepy samowyładowcze, furgony izotermiczne i chłodnicze, ciągniki balastowe, przyczepy i naczepy niskopodłogowe, a także przygotowania odpowiedniej infrastruktury transportowej w miejscach załadunku i wyładunku - utwardzanie placów manewrowych i składowych oraz stosowanie urządzeń ułatwiających przepływ materiałów.

### **Kluczowe wskaźniki efektywności - KPI**

KPI (*Key Performance Indicators*) to wskaźniki efektywności, które pozwalają ocenić wszystkie procesy zachodzące w przedsiębiorstwie. Dzięki nim możliwa jest identyfikacja i weryfikacja postępów, a także wprowadzanie koniecznych zmian.

---

<sup>5</sup> Kisperska-Moroń, D., Krzyżaniak, S.: Logistyka, Biblioteka Logistyka, Poznań, 2009.

<sup>6</sup> Tamże.

Proces transportowy może wydawać się jednym z prostszych przebiegów w centrum dystrybucyjnym. Wiąże się on jednak z szeregiem czynników, które należy dokładnie i dogłębnie przeanalizować, aby przynosił on zamierzone korzyści i poprawiał efektywność łańcucha dostaw. Podczas obliczania wskaźników KPI te, które w istotny sposób wpływają na proces transportowy w przedsiębiorstwie to:

- współczynnik wypełnienia przestrzeni pojazdu,
- średnia liczba kilometrów do miejsca dostawy,
- koszty transportu jednego opakowania towaru,
- terminowość dostawy.

Współczynnik wypełnienia przestrzeni pojazdu powinien być zbliżony do 100%. Koszty transportu obliczane są na podstawie liczby przebytych kilometrów i ilości wysłanych samochodów. Aby w znaczący sposób zminimalizować koszty dąży się do tego, aby każdy pojazd był maksymalnie wypełniony.

Znając średnią liczbę kilometrów do miejsca dostawy, można w prosty sposób obliczyć czas potrzebny na realizację zamówienia, a tym samym sprawdzić efektywność pracy kierowców. Przy takiej analizie możliwa jest także kontrola czasu dostawy towarów w godzinach szczytowych i ewentualnie zmiana harmonogramu realizacji zamówienia.

Koszty transportu jednego opakowania pokazują właściwy sposób przebiegu procesu transportowego. Jeśli w danym okresie cena dostawy opakowania nieznacznie wzrośnie to konieczne jest przeanalizowanie procesu i zdefiniowanie przyczyn takiego stanu rzeczy. Bardzo często ma na to wpływ niewłaściwe planowanie charakteryzujące się transportowaniem niekompletnych palet czy źle ułożonymi harmonogramami.

Ostatnim czynnikiem mającym wpływ na obliczenie KPI jest terminowość dostawy. Wskaźnik ten jest niezmiernie ważny, ponieważ opóźnienia powodują szereg, wysokich kosztów zarówno materialnych jak i wizerunkowych. Brak punktualności dostaw to także główny powód utraconego popytu na dany towar.

Należy zwrócić uwagę, że podczas obliczania KPI w przedsiębiorstwie konieczne jest zastosowanie kilku warunków<sup>7</sup>:

- powinny one dotyczyć zagadnień ważnych dla danej jednostki organizacyjnej,
- powinny być dostosowane do sektora, w którym dane przedsiębiorstwo funkcjonuje,
- w celu weryfikacji tylko kluczowych procesów, liczba wskaźników powinna być ograniczona,
- analizowany wskaźnik musi mieć określoną normę, aby można go było porównać np. wynik z roku poprzedniego,
- konieczne jest, aby proces ciągle się doskonalił i rozwijał, dlatego każdy wskaźnik musi być podnoszony w kolejnych latach,
- powinny być obliczane tylko takie wskaźniki, których wyniki są zależne od pracowników,
- analizowane wskaźniki powinny skupiać się na koncentracji potrzeb klientów i ich satysfakcji,
- koszty przechowywania danych nie mogą być większe niż zalety stosowania wskaźników.

---

<sup>7</sup> Rydzewska-Włodarczyk, M., Sobieraj, M.: Pomiar efektywności procesów za pomocą kluczowych wskaźników efektywności. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego - Finanse, Rynki finansowe, Ubezpieczenia, Szczecin, 2015.

## **Cel i zakres badań**

Celem niniejszego opracowania jest analiza procesu transportowego w wybranym przedsiębiorstwie transportowo-spedycyjnym w przemyśle spożywczym. Aby zrealizować tak postawiony cel, obliczono następujące wskaźniki:

- niezawodność transportu,
- liczba uszkodzonych jednostek paletowych podczas transportu,
- awaryjność środków transportowych,
- liczba kilometrów przypadających na jeden środek transportu,
- koszty transportu na przewóz,
- koszty transportu na kilometr,
- koszty transportu jednej palety,
- koszty paliwa na kilometr,
- niezawodność dostawy,
- jakość dostawy,
- rytmiczność dostawy.

Wszystkie te wskaźniki zostały obliczone dla jednego z 16 centrów dystrybucyjnych, zlokalizowanych w Polsce, z dwóch przedziałów czasowych: z roku 2020 i 2021. Ostatnim etapem było porównanie wszystkich wyliczonych wskaźników, a także wskazanie rekomendacji i sposobów poprawy dla najgorzej wypadających parametrów.

## **Charakterystyka badanego przedsiębiorstwa**

Przedsiębiorstwo zostało założone w 1792 roku w Portugalii. Obecnie firma stacjonuje w 3 państwach: Portugalii, Polsce oraz Kolumbii. W Polsce swoją działalność rozpoczęła od 1995 roku. Aktualnie przedsiębiorstwo posiada ok. 3000 sklepów, zlokalizowanych w 1100 różnych miejscowościach i 16 centrów dystrybucyjnych, rozmieszczonych po całym Państwie. Dzięki takiej strategii, możliwe jest zapewnienie kompleksowej i terminowej dostawy do wszystkich miejsc.

Głównym celem przedsiębiorstwa jest dbałość o jakość i świeżość dostarczanych produktów, dlatego firma działa zgodnie z zasadą First Expired First Out (FXFO). Polega ona na wydawaniu w pierwszej kolejności produktów, których termin ważności upłyne najszybciej ([www.ptzp.org.pl](http://www.ptzp.org.pl)). Dzięki temu unika się zniszczenia towarów szybko psujących się, a przede wszystkim przeróżnych owoców i warzyw. Aby jednak ta zasada mogła działać dobrze i nie zostały pominięte, żadne produkty, w firmie bardzo dużą rolę pełni dział kontroli jakości, który sprawdza wszystkie przychodzące dostawy a następnie segreguje je i przekazuje informację do pracowników magazynu, którzy układają towar w odpowiednich miejscach.

Magazyn centrum dystrybucyjnego jest w pełni zautomatyzowany. Praca w nim odbywa się z wykorzystaniem wózków widłowych, a wyroby odkładane są na regały wysokiego składowania. Używany jest tutaj specjalny system „Voice”, który mówi pracownikom magazynu, z którego miejsca mają pozyskać dany towar do załadunku.

Należy zwrócić uwagę również na fakt, że magazyn centrum dystrybucyjnego dzieli się na kilka elementów. Główne z nich, które możemy wyróżnić to:

- strefa przyjęć, w której przyjmowane są odbiory własne i towary na magazyn,
- mroźnia, w której przechowywane są towary w temperaturze do -22°C,

- chłodnia, w której przechowywane są towary w temperaturze od 0° do 8°C
- strefa zwrotów, gdzie przyjmowane są puste palety, a także zużyta makulatura,
- strefa reklamacji, w której odbywa się kontrola zwracanych towarów i ocena ich jakości,
- strefa załadunku, w której odbywa się załadunek towarów do odpowiednich miejsc dystrybucji.

W badanym przedsiębiorstwie transportowo-spedycyjnym znaczącą rolę odgrywa dział planowania i organizacji dostaw. Zajmuje się on składaniem odpowiednich zamówień, przyjmowaniem towarów na magazyn, a także tworzeniem harmonogramów dostaw do podanych miejsc rozładunku. Z racji tego, że analizowane centrum dystrybucyjne pełni znaczącą rolę w przemyśle spożywczym, dużą uwagę należy zwrócić na to, aby towary dostarczone były do odpowiednich miejsc we właściwym czasie. Jest to możliwe dzięki odpowiedniej komunikacji pracowników, a także wykorzystaniu odpowiedniego taboru samochodowego. W przedsiębiorstwie używane jest 56 zestawów pojazdów 40 tonowych, składających się z ciągnika siodłowego wraz z naczepą.

Na terenie centrum dystrybucyjnego znajduje się myjnia wraz ze stacją paliw dla zestawów pojazdów. Jest to bardzo korzystne rozwiązanie, ponieważ pozwala na optymalizację i redukcję kosztów. Z racji tego, że zarówno myjnia jak i stacja paliw działają całą dobę możliwe jest ich wykorzystanie w każdym czasie. Wiąże się to z dużą elastycznością i wpływa na dostępność środków transportu cały czas. Warto zwrócić uwagę również na fakt, że na terenie obiektu mieści się także serwis i warsztat naprawczy, który na bieżąco usuwa wszystkie usterki, co dodatkowo pozytywnie wpływa na elastyczność i dostępność taboru.

W analizowanym centrum dystrybucyjnym, z racji tego, że konieczne jest dostarczenie towarów w odpowiednim czasie występuje tylko transport drogowy. Jego szczególną zaletą jest elastyczność, dyspozycyjność, a także bezpośrednie dostarczenie towaru do odbiorcy. Pomimo wielu zalet, transport samochodowy bardzo negatywnie wpływa na środowisko (Ficoń, 2009). Należy zwrócić uwagę na fakt, że gęstość sieci drogowych w Polsce ciągle wzrasta, co świadczy o powstawaniu nowych połączeń komunikacyjnych, a także rozbudowie istniejących dróg. Zwiększa się również długość powstających autostrad i dróg szybkiego ruchu, co pozytywnie wpływa na szybką dostawę i jej realizację w odpowiednim czasie.

Badane przedsiębiorstwo realizuje tylko przewozy krajowe. Świadczy o tym fakt, że wszystkie sklepy do których dostarczany jest towar znajdują się na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej. Duża liczba nadawców, od których firma kupuje produkty, umiejscowionych jest w różnych częściach Polski, co przyczynia się do tego, że wiele towarów odbierana jest po odpowiednich dostawach na sklepy. Taka konfiguracja sprzyja ciągłemu wykorzystaniu środków transportu, a także zwiększa optymalizację kosztów.

### **Charakterystyka wykorzystanych wskaźników**

Analiza procesu transportowego wymaga w dużej mierze sprawdzenia i porównania różnych wskaźników i mierników. Zadanie to wiąże się z wieloma trudnościami, ponieważ wszystkie dane muszą być precyzyjnie pozyskane i pokazane. Taka analiza jest jednak konieczna, aby dany proces dobrze funkcjonował w przedsiębiorstwie, a także przynosił z roku na rok większe korzyści.

Mierniki są to liczby opisujące określone zjawiska. Do ich głównych zadań należy to, aby w dokładny sposób przedstawiały zmiany jakie zachodzą w procesach logistycznych w danym czasie. Definiują one przepływ surowców, materiałów, półproduktów i produktów

gotowych w określonej ilości, jakości, miejscu i czasie. Są wyrażone w odpowiednich, bezwzględnych jednostkach miary, dlatego nie służą do oceny, a jedynie do celów informacyjnych.<sup>8</sup>

Wskaźniki są to liczby wyrażające wzajemny stosunek pewnych wielkości. Mają one jednostki względne, dlatego mogą służyć do oceny i porównania danych. Wskaźniki wykorzystywane są podczas sterowania, planowania i kontrolowania wielu procesów zachodzących w przedsiębiorstwie.<sup>9</sup>

Niezawodność transportu to wskaźnik określający jakość realizacji poszczególnej dostawy. Wpływa na niego przede wszystkim terminowość i precyzyjność dostarczanego towaru. W analizowanym przedsiębiorstwie niezawodność transportu jest bardzo powiązana z działaniem magazynu, ponieważ jeśli praca tam jest opóźniona to w znaczący sposób przyczynia się to również do wydłużenia czasu w dostawach. Aby uniknąć takich sytuacji w danym centrum dystrybucyjnym stosowana jest zasada Kaizen. Opiera się ona głównie na ciągłym doskonaleniu, a także wprowadzaniu małych zmian, ale z dużymi skutkami.<sup>10</sup> Dzięki tej regule w przedsiębiorstwie możliwe jest skrócenie czasu realizacji wszystkich procesów, poprawa jakości, redukcja kosztów, a także opracowanie odpowiednich sposobów nagradzania. W danym centrum dystrybucyjnym system premiowy bardzo mobilizuje magazynierów i w znaczący sposób wpływając na ich prace, dlatego jest on naliczany, np. za liczbę poprawnie skompletowanych i załadowanych palet, a także za terminowość danego załadunku (w przypadku kiedy magazyn ma na niego wpływ). Należy zwrócić uwagę, że niezawodność transportu często wiąże się z czynnikami losowymi i niezależnymi takimi jak: brak ludzi do pracy, warunki atmosferyczne, korki, czy awarie pojazdów. Niezawodność transportu obliczono na podstawie poniższego wzoru:

$$W_1 = \frac{\text{Liczba przewozów wykonanych terminowo w danym miesiącu}}{\text{Całkowita liczba przewozów w danym miesiącu}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Liczba uszkodzeń podczas transportu jest wskaźnikiem, który ukazuje nam ile palet zostało uszkodzonych podczas wszystkich dostaw w przeciągu całego roku. Głównym powodem tych zniszczeń jest złe zabezpieczenie ładunku, a także niepoprawne załadowanie i spiętrzenie palet. Zasady Kaizen, w których między innymi wyróżnia się premiowanie za odpowiednie skompletowanie, załadowanie i zabezpieczenie towaru, również bardzo dobrze wpływają na eliminację tego typu działań w danym centrum dystrybucyjnym. Należy zwrócić uwagę, że liczba uszkodzeń podczas transportu może być także zależna od innych czynników takich jak: przyjmowanie młodych kierowców, którzy nie mają jeszcze doświadczenia w zawodzie, stan dróg, warunki atmosferyczne czy chociażby konieczność nagłego i gwałtownego zahamowania. Liczba uszkodzeń podczas transportu została obliczona za pomocą wzoru:

$$W_2 = \frac{\text{Liczba uszkodzonych jednostek transportowych w danym miesiącu}}{\text{Całkowita liczba jednostek transportowych}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Wskaźnik awaryjności pojazdów świadczy o tym jaki procent pojazdów uległ awarii w danym miesiącu. Czynniki ten ma stosunkowo wysokie wartości w okresach zimowych, na

<sup>8</sup> Twaróg, J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne, Biblioteka logistyka, Poznań, 2003.

<sup>9</sup> Tamże.

<sup>10</sup> Maurer, R.: Filozofia Kaizena, Helion, 2013.

co ma szczególnie wpływ duża liczba zepsuć wind na naczepach, a także brak możliwości odpalenia agregatów chłodniczych i akumulatorów przy niskich temperaturach. Wskaźnik awaryjności jest zależny również od starości floty transportowej. Wszystkie pojazdy w danym centrum dystrybucyjnym są odpowiednio serwisowane, jednak duża liczba kilometrów którą pokonuje każdy pojazd w poszczególnym miesiącu sprawia, że w samochodach starszych roczników częściej dochodzi do zniszczenia podzespołów mechanicznych, a także ulegają one różnym usterkom. Wskaźnik awaryjności pojazdów można określić jako:

$$W_3 = \frac{\text{Liczba awarii w danym miesiącu}}{\text{Liczba pojazdów}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Liczba kilometrów przypadających na jeden środek transportu, jest wskaźnikiem który pomaga w wykorzystaniu całej floty równomiernie. Jest to korzystne rozwiązanie, ponieważ wszystkie pojazdy w przedsiębiorstwie posiadają leasing kilometrowy. Leasing jest umową łączącą w sobie elementy najmu jak i kredytu. Jego główną cechą jest nie tylko możliwość korzystania z pojazdu podczas trwania umowy leasingowej, ale także jego ostateczne nabycie po zakończeniu takiej umowy.<sup>11</sup> Leasing kilometrowy pozwala w znaczący sposób zminimalizować koszty w analizowanym centrum dystrybucyjnym, ponieważ duża liczba przejechanych kilometrów w danym miesiącu sprawia że, naliczana jest większa rata leasingu, ale mniejsza wartość wykupu, dzięki czemu szybciej można spłacić kapita. Wskaźnik liczby kilometrów przypadających na poszczególny środek transportu został obliczony jako:

$$W_4 = \frac{\text{Całkowita liczba kilometrów w danym miesiącu}}{\text{Liczba środków transportu}} \quad (4)$$

Koszty transportu to jeden z najważniejszych czynników w przedsiębiorstwach produkcyjno-przemysłowych. Należy zwrócić uwagę, że na koszty transportu składa się duża grupa pojedynczych nakładów finansowych takich jak: koszty paliwa, koszty ponoszone z tytułu dzierżawy pojazdów od przewoźników oraz koszty utrzymania i eksploatacji pojazdów. Do kosztów utrzymania i eksploatacji zalicza się: amortyzację, płyn oczyszczający spaliny - AdBlue, smary i oleje oraz opłaty za przejazd drogami głównymi, ekspresowymi, szybkiego ruchu, a także autostradami. Należy pamiętać, że koszty zatrudnienia pracowników, diety dla kierowców, a także ubezpieczenia pojazdów leżą po stronie przewoźników z którymi dane przedsiębiorstwo ma podpisane kontrakty.

Wskaźnik kosztów transportu na przewóz, obliczany jest jako stosunek kosztów transportu przez liczbę procesów przewozowych odbywających się w danym miesiącu. Proces przewozowy składa się z elementów związanych z eksploatacją pojazdów takich jak: załadunek, zabezpieczenie ładunku, przewóz, rozładunek i powrót pojazdu do bazy lub do kolejnego miejsca załadunku.<sup>12</sup> W poszczególnych miesiącach koszt transportu na przewóz został uśredniony, ponieważ każdy przejazd różni się pod względem liczby kilometrów. Dzieje się tak, ponieważ sklepy do których dostarczany jest towar mieszczą się w różnej odległości od siebie, a dane centrum dystrybucyjne obsługuje również sklepy w województwie świętokrzyskim.

<sup>11</sup> Trybała, P.: Leasing poradnik przedsiębiorcy. Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, 2004.

<sup>12</sup> Krupa, A.: Podstawy transportu. WSiP, Warszawa, 2017.

skim. Bardzo często występują także sytuacje, że po dostawie na poszczególne sklepy kierowca jedzie do kolejnego miejsca załadunku po towar, który następnie przywozi do bazy. Wskaźnik kosztów transportu na przewóz przedstawia się następująco:

$$W_5 = \frac{\text{Koszty transportu w danym miesiącu}}{\text{Całkowita liczba przewozów w danym miesiącu}} \quad (5)$$

Wskaźnik kosztów transportu na kilometr, przedstawiony jest jako stosunek kosztów transportu do liczby kilometrów pokonanych przez wszystkie środki transportu w poszczególnym miesiącu. Wskaźnik ten najlepiej ukazuje całkowity nakład finansowy danego przedsiębiorstwa przeznaczony na transport, ponieważ analizowane centrum dystrybucyjne stosuje system rozliczeń z przewoźnikami za pomocą ilości przebytych przez ich pojazdy kilometrów. Taki sposób kalkulacji jest spowodowany tym, że każdy przejazd różni się pod względem długości dystansu, ilości palet, a także wykorzystania ładowności środka transportu. Jest to także najbardziej sprawiedliwy sposób rozliczeń, ponieważ każdy przewoźnik dostaje tyle pieniędzy ile kilometrów w danym miesiącu jego pojazdy wykonają. Wskaźnik kosztów transportu na kilometr możemy obliczyć jako:

$$W_6 = \frac{\text{Koszty transportu w danym miesiącu}}{\text{Całkowita liczba kilometrów w danym miesiącu}} \quad (6)$$

Wskaźnik kosztów transportu jednej palety, ukazany jest jako stosunek kosztów transportu do ilości palet przewiezionych w danym miesiącu. Czynnikiem ten odgrywa zasadniczą rolę podczas transportu LTL. LTL to przewóz z wykorzystaniem tylko części pojemności samochodu.<sup>13</sup> Taki transport jest jednak trudny do zorganizowania, ponieważ podczas jego przebiegu należy zapewnić odpowiednie warunki dopasowane do różnych rodzajów ładunków, a także uwzględnić przeładunki i oczekiwanie na ładunki zwrotne. W analizowanym przedsiębiorstwie taki wskaźnik jest jednak rzadko stosowany, ponieważ każdy przewóz różni się pod względem masy ładunku, ilości przewiezionych palet, a także wykorzystanej pojemności ładunkowej. Aby móc obliczyć ten wskaźnik stosowany jest wzór:

$$W_7 = \frac{\text{Koszty transportu w danym miesiącu}}{\text{Całkowita liczba palet w danym miesiącu}} \quad (7)$$

Koszty paliwa na kilometr pozwalają pokazać cenę samego paliwa bez uwzględniania kosztów leasingu czy kosztów utrzymania i eksploatacji pojazdów. Zostały one policzone zgodnie z obowiązującymi cenami ON w poszczególnych miesiącach, a także z uwzględnieniem liczby spalanego paliwa ciągników siodłowych wraz z naczepami w danym miesiącu. Za ich pomocą możemy analizować jak bardzo ceny paliwa wpływają na koszty transportu, a także w przypadku dużych zmiennych i przekroczeń założonych kosztów, niwelować liczbę pokonywanych kilometrów czy ilość przewozów. Za pomocą tego wskaźnika możemy również bardzo szybko znaleźć dynamiczne różnice w spalaniu ciągników, a także przyczyny ich powstawania. Wskaźnik kosztów paliwa na kilometr przedstawiony został jako:

$$W_8 = \frac{\text{spalanie ciągników siodłowych wraz z naczepą-koszt litra paliwa}}{100} \quad (8)$$

<sup>13</sup> Pyza, D., Miętus, M.: Organizacja przewozu ładunków transportem drogowym z uwzględnieniem różnych technologii przewozowych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, 2017



Wskaźnik niezawodności dostawy świadczy o jakości dostarczonego towaru do klienta. Określa on poziom uszkodzeń i reklamacji towarów trafiających do odbiorcy. Główną cechą tego wskaźnika jest wielkość i częstotliwość dostaw reklamowanych przez klienta. Dzięki temu możemy odróżnić go od niezawodności transportu, która charakteryzuje się liczbą terminowych dostaw. Wskaźnik niezawodności dostawy przedstawia się następująco:

$$W_9 = \frac{\text{Wielkość i częstotliwość dostaw reklamowanych w danym miesiącu}}{\text{Całkowita wielkość dostawy w danym miesiącu}} \quad (9)$$

Wskaźnik jakości dostawy należy do czynników logistycznej obsługi transportowej. Określa on poziom zadowolenia i usatysfakcjonowania odbiorcy. Zasadniczą cechą tego wskaźnika jest wielkość dostawy akceptowalnej przez klienta. Na jakość dostawy duży wpływ ma właściwy załadunek, odpowiednie zabezpieczenie ładunku, sposób jazdy, a także właściwe warunki w jakich dany towar jest przewożony. Wskaźnik jakości dostawy można określić jako:

$$W_{10} = \frac{\text{Wielkość dostawy akceptowalnej przez klienta w danym miesiącu}}{\text{Całkowita wielkość dostawy w danym miesiącu}} \quad (10)$$

Wskaźnik rytmiczności dostaw towaru do analizowanego centrum dystrybucyjnego, to czynnik, który także zaliczany jest do jakości logistycznej obsługi transportowej. Świadczy on o regularności dostaw w badanym okresie czasu. Duży wpływ na ten wskaźnik ma rzeczywista liczba dni, w które podany magazyn pracuje. Należy zwrócić uwagę na fakt, że dniami wolnym są przede wszystkim święta takie jak: wszystkie niedziele niehandlowe, Boże Narodzenie, Wielkanoc czy Boże Ciało. Aby właściwie obliczyć ten wskaźnik użyto wzoru:

$$W_{11} = \frac{\text{Liczba dni w badanym okresie w danym miesiącu}}{\text{Ilość dni dostaw w danym miesiącu}} \quad (11)$$

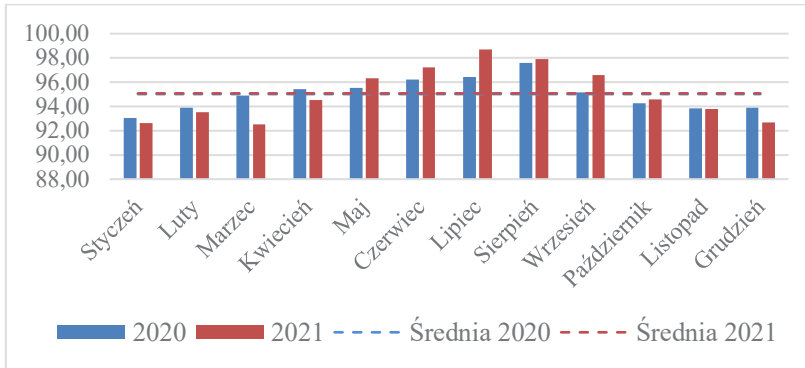
## Wyniki badań

### 1. Wskaźnik niezawodności transportu

Na rysunku 1 przedstawiony został wskaźnik niezawodności transportu z roku 2020 i 2021 z wyszczególnieniem każdego miesiąca. Liniami przerywanym pokazano średnią dla analizowanego czynnika, która w roku 2020 wynosiła 95,01% a w 2021 kształtowała się na poziomie 95,08%. Można zauważyć, że niezawodność transportu jest najwyższa w miesiącach letnich od maja do września, czego powodem jest mniejsza ilość awarii pojazdów, związanych chociażby z zamrażaniem paliwa czy problemami z akumulatorami w okresach zimowych. Znaczący wpływ na niezawodność transportu ma także brak opóźnień dostaw spowodowanych trudnymi warunkami atmosferycznymi na drogach występującymi w zimie.

Często nieterminowość dostaw łączy się z różnymi nieprzewidywalnymi i nagłymi sytuacjami takimi jak korki czy wypadki. W okresach letnich natężenie ruchu w dużych miastach może być mniejsze z racji wakacyjnych wyjazdów, jednak coraz bardziej wpływa to na ilość wypadków, które spowodowane są poruszaniem się po różnych terenach kierowców, którzy

nie znają danej okolicy czy danego miejsca. Badania pokazują, że największa liczba wypadków przypada na miesiące od lipca do września. Liczebność wypadków w poszczególnych miesiącach przedstawiona jest w tabeli 1:



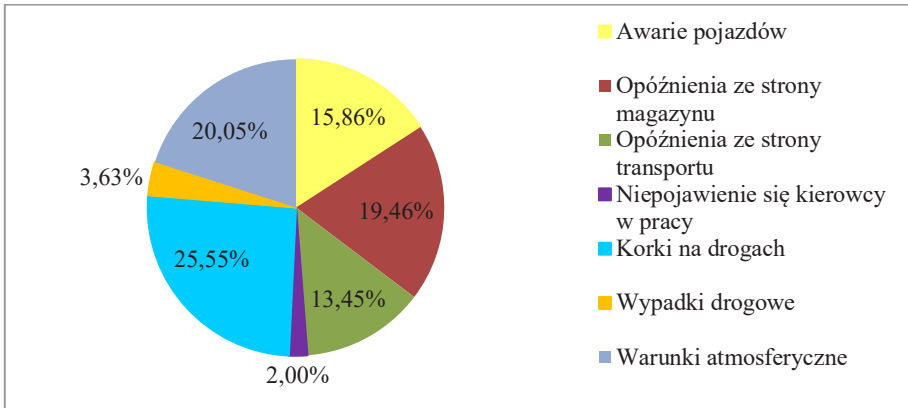
Rys. 1. Wskaźnik niezawodności transportu

Tabela 1. Liczba wypadków i ich ofiar w 2020 roku

Miesiące	Wypadki		Zabici		Ranni	
	Ogółem	%	Ogółem	%	Ogółem	%
Styczeń	2 005	8,5	191	7,7	2 253	8,5
Luty	1 842	7,8	200	8,0	2 085	7,9
Marzec	1 432	6,1	172	6,9	1 596	6,0
Kwiecień	1 144	4,9	155	6,2	1 260	4,8
Maj	1 686	7,2	163	6,5	1 915	7,2
Czerwiec	2 278	9,7	206	8,3	2 595	9,8
Lipiec	2 517	10,7	214	8,6	2 886	10,9
Sierpień	2 595	11,0	239	9,6	3 078	11,6
Wrzesień	2 557	10,9	215	8,6	2 845	10,8
Październik	2 115	9,0	291	11,7	2 291	8,7
Listopad	1 543	6,6	231	9,3	1 624	6,1
Grudzień	1 826	7,8	214	8,6	2 035	7,7
<b>OGÓŁEM</b>	<b>23 540</b>	<b>100,0</b>	<b>2 491</b>	<b>100,0</b>	<b>26 463</b>	<b>100,0</b>

Źródło: badania własne

W analizowanym przedsiębiorstwie stworzono model najczęstszych przyczyn nieterminowości dostaw. Służy on do sprawdzenia co i w jakim stopniu przyczynia się do niedostarczenia towaru na czas i w jaki sposób można taki czynnik wyeliminować (por. rysunek 2).

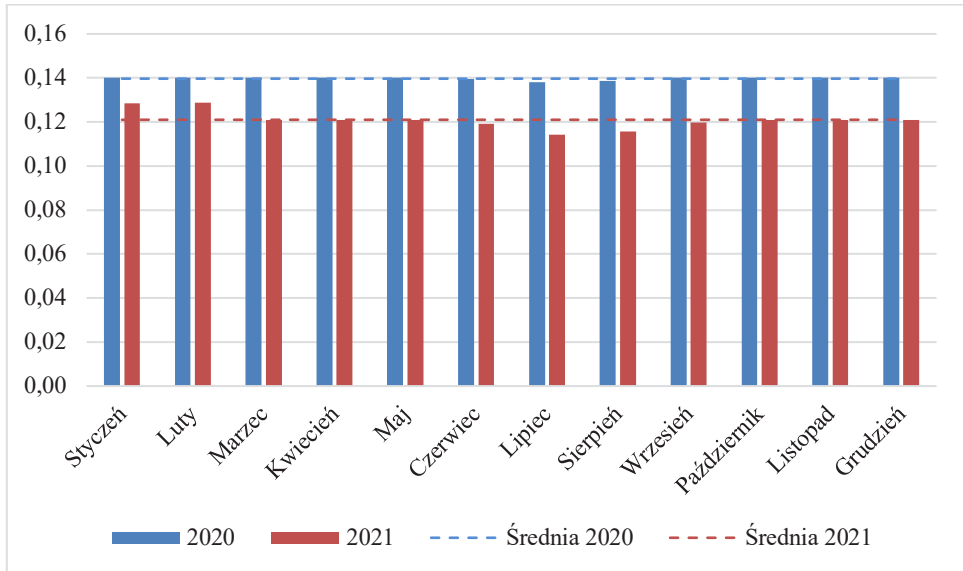


Rys. 2. Przyczyny nieterminowości dostaw

W analizowanym przedsiębiorstwie na nieterminowość dostaw najbardziej wpływają korki na drogach oraz warunki atmosferyczne. Wypadki drogowe oraz niepojawienie się kierowcy w pracy są czynnikami które w najmniejszym stopniu oddziałują na obliczany wskaźnik.

## 2. Wskaźnik uszkodzeń podczas transportu

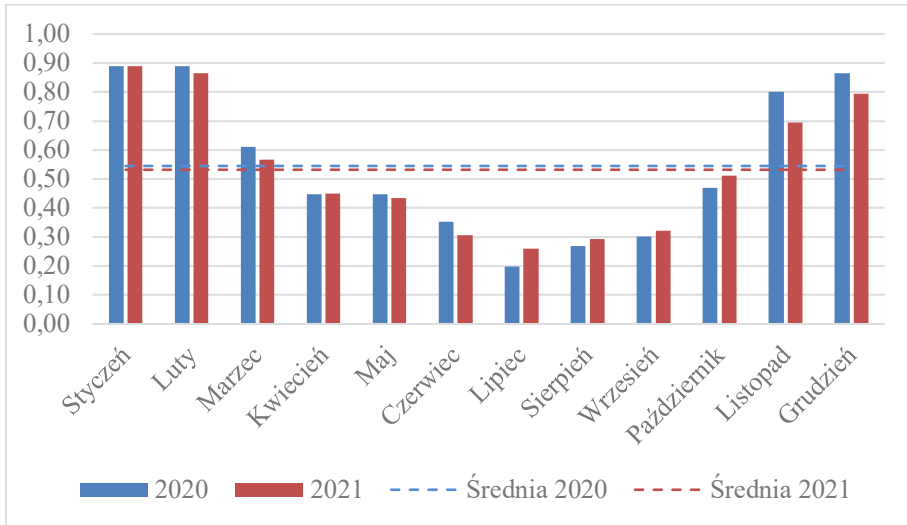
W roku 2020 wskaźnik uszkodzeń podczas transportu był cały rok na takim samym poziomie i wynosił 0,14%. W roku 2021 analizowane centrum dystrybucyjne zaczęło wprowadzać szereg zmian dotyczących dostaw. Jedne z nich zostały wdrożone, aby zminimalizować liczbę uszkodzeń podczas transportu i poprawić jakość dostarczanych towarów. Najmniejszą wartość wskaźnika odnotowano w lipcu, gdzie wynosił on 0,11%. Głównym powodem takiego spadku były wprowadzone zmiany, a także mniejsza liczba dostaw w danym okresie do sklepów. Znaczący wpływ na mniejszą ilość uszkodzonych palet miały także dobre warunki atmosferyczne w sezonie letnim oraz zespół czynności mający na celu przeszkolenie wszystkich pracowników magazynu z prawidłowego stretchowania każdej palety, a także właściwego załadunku towaru na naczepy samochodów i zabezpieczenie go przed możliwymi uszkodzeniami podczas nagłego i gwałtownego hamowania pojazdu. Najwyższą wartość wskaźnik ten osiągnął w lutym 2021 roku. Było to spowodowane dużą liczbą przyjmowania niedoświadczonych magazynierów, którzy stracili źródło dochodów z powodu zamykania zakładów pracy przez całkowity lockdown, który został wprowadzony w październiku 2020 roku z powodu pandemii. Średnia wartość uszkodzonych palet podczas transportu, która została osiągnięta w 2021 roku wynosiła 0,12% (por. rys. 3).



Rys. 3. Wskaźnik uszkodzeń podczas transportu

### 3. Wskaźnik awaryjności środków transportu

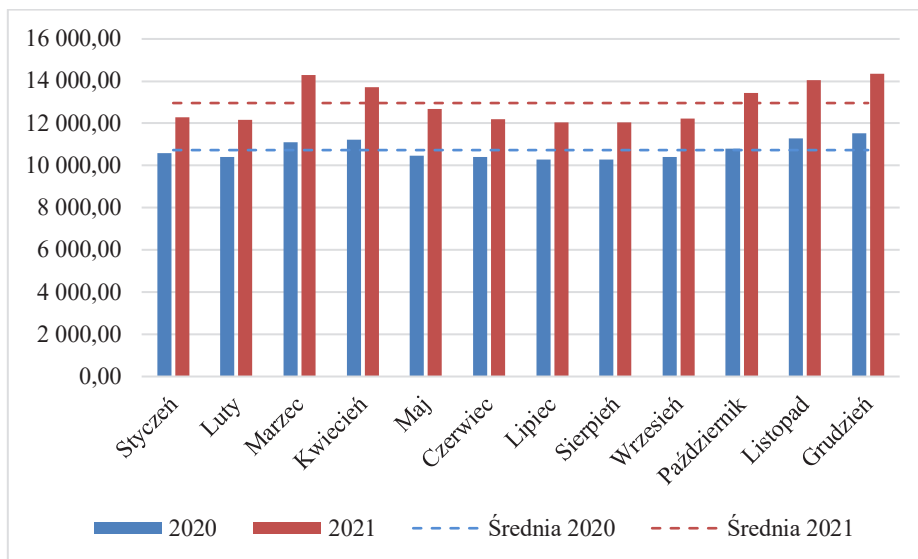
Wskaźnik awaryjności środków transportu najwyższe wartości, otrzymuje od listopada do lutego. Są one przekroczone najbardziej w styczniu i od średniej różnią się w roku 2020 o 0,35%, a w roku 2021 o 0,36%, co daje różnice około 19 awarii pojazdów więcej w styczniu niż przewiduje średnia liczba zepsutych samochodów. Głównym powodem tego jest niska temperatura przy której zdarza się zamarzanie paliwa w agregatach, a także problemy z odpaleniem akumulatorów. Aby temu zapobiec w centrum dystrybucyjnym w każdym miesiącu, kiedy występują temperatury poniżej 0°C, do oleju napędowego dolewany jest antyzel, który poprawia parametry paliwa. Dzięki niemu temperatura zamarzania oleju napędowego wynosi -50°C. W roku 2020 najniższą wartość awaryjności środków transportu odnotowano w lipcu i wynosiła ona 0,20%, co stanowiło 11 pojazdów. W tych samochodach doszło głównie do zniszczenia podsystemu rozkładania windy, a także ulegały zepsuciu agregaty i czujniki GPS. Wykorzystanie GPS w pojazdach pełni jednak kluczową rolę, ponieważ pomaga w znaczący sposób ograniczyć nieterminowość dostaw. Dzięki nim można kontrolować gdzie dany samochód się znajduje i za jaki czas będzie dostępny w centrum dystrybucyjnym. Jeśli zostanie zauważone, że jakiś kierowca ma duże opóźnienie bądź stoi w korku, na kolejną dostawę, którą miał dostarczyć możemy wysłać innego kierowcę i zamienić ich kursy, dlatego tak ważne jest aby wszystkie GPS działały w każdym pojeździe (por. rysunek 4).



Rys. 4. Wskaźnik awaryjności środków transportu

#### 4. Wskaźnik liczby kilometrów na środek transportu

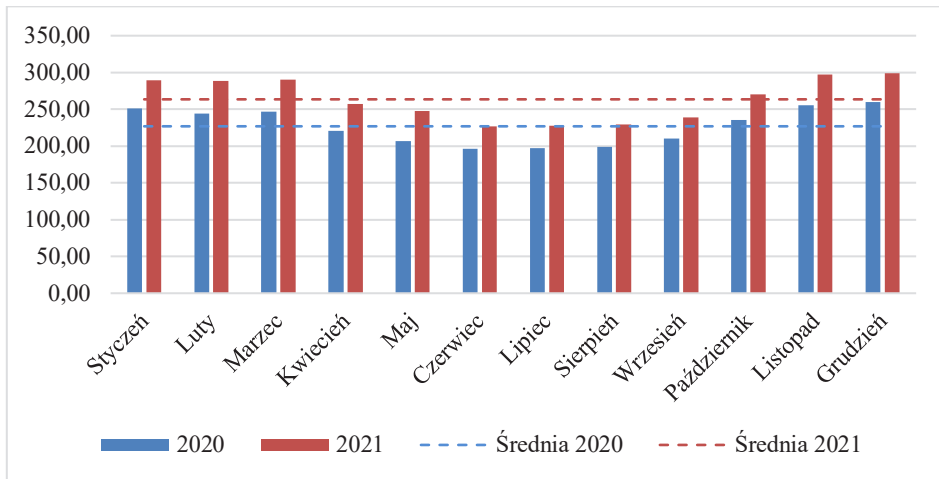
Analizując wskaźnik liczby kilometrów na środek transportu najwyższą wartość w roku 2020 jak i w roku 2021 osiągnięto w marcu, kwietniu, listopadzie i grudniu. W tych miesiącach znacznie wzrosła liczba dostaw, czego powodem był okres świąteczny. W roku 2021 w marcu i kwietniu wskaźnik ten był na bardzo podobnym poziomie, a nawet nieco wyższy w marcu, ponieważ Święta Wielkanocne wypadały w pierwszy weekend kwietnia, dlatego zaopatrzenie sklepów, związane z większą liczbą dostępnych towarów przed Świętami odbywało się pod koniec marca. Średnia miesięczna liczba kilometrów przypadająca na jeden środek transportu w roku 2020 wynosiła 10 731,53 km, co rocznie daje około 128 778,36 km. Jest to stosunkowo niewielka wartość roczna przebytych kilometrów jak na ciągnik siodłowy z naczepą, jednak należy tu uwzględnić, że wszystkie sklepy do których dostarczany jest towar znajdują się w niewielkiej odległości od analizowanego centrum dystrybucyjnego. Największy dystans jaki występuje między przedsiębiorstwem, a miejscem rozładunku wynosi 125 km. Najmniejszą wartość wskaźnika liczby kilometrów na środek transportu odnotowano w okresie od maja do września. Było to głównie spowodowane mniejszą ilością dostaw w tym czasie na sklepy, a także dużą liczbą osób wyjeżdżających na wakacje (por. rys. 5).



Rys. 5. Wskaźnik liczby kilometrów na środek transportu

### 5. Wskaźnik kosztów transportu na przewóz

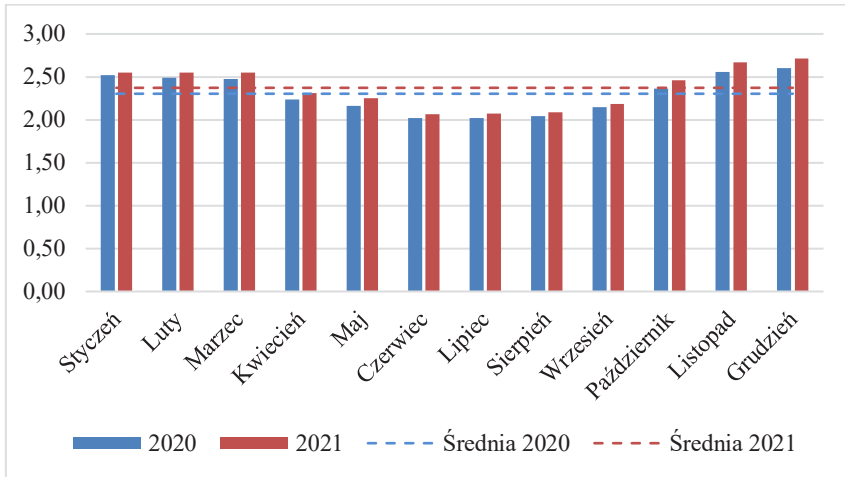
Wskaźnik kosztów transportu na przewóz osiąga wartość powyżej średniej w okresie od października do marca. Duża liczba świąt w tych miesiącach (Wszystkich Świętych, Święto Niepodległości, Mikołajki, Święta Bożego Narodzenia, Sylwester, Nowy Rok, Walentynki, Dzień kobiet) sprawiają, że znacznie zwiększa się ilość przewozów. Najmniejszą wartość wskaźnik ten osiągnął w czerwcu 2020 roku i wynosił 196,70 zł za przewóz. Było to spowodowane okresem letnim, brakiem świąt, a także wysokim wskaźnikiem przemieszczania ludzi, którzy wyjeżdżali na wakacje. Warto zwrócić uwagę, że wiele transportów realizowanych przez dane centrum dystrybucyjne odbywa się do różnych miejsc, ale z wykorzystaniem jednego listu przewozowego. Przebieg takiej trasy liczony jest w przedsiębiorstwie jako jeden przewóz. Ta zależność znacząco wpływa na obliczany wskaźnik, ponieważ w okresach świątecznych występuje zwiększona liczba odbiorów własnych, które mają za zadanie uzupełnić wszystkie brakujące towary w magazynach. Koszty transportu na przewóz w roku 2021 wzrosły średnio o 16% w porównaniu z rokiem poprzednim. Taka sytuacja jest spowodowana powstawaniem coraz większej liczby sklepów i miejsc do których dostarczane są artykuły. Dane centrum dystrybucyjne z powodu rozszerzania się pandemii koronawirusa, postanowiło rozpocząć sprzedaż, w której klient robi zakupy online za pomocą aplikacji Glovo i Uber Eats, po czym są one dostarczane pod wskazany przez niego adres. W 2021 powstały trzy magazyny, w których przetrzymywane są produkty sprzedawane online. Chociaż taka forma sprzedaży została wprowadzona dopiero w lipcu 2021 roku i początkowo nie cieszyła się dużą popularnością, to sytuacja zaczęła się zmieniać w listopadzie kiedy liczba zachorowań w Polsce zaczęła wzrastać (por. rys. 6).



Rys. 6. Wskaźnik kosztów transportu na przewóz

#### 6. Wskaźnik kosztów transportu na kilometr

Analiza wskaźnika kosztów transportu na kilometr pokazuje, że największe wartości tej zależności były generowane w okresie zimowym. Istotny wpływ na to miała duża liczba dni świątecznych i odbiorów własnych, które znacząco zwiększyły liczbę przebytych kilometrów. Podczas tych obliczeń dokładnie pokazano w którym miesiącu koszt jednego kilometra był największy. Koszty transportu w okresach zimowych są znacznie wyższe z powodu wzrostu poziomu spalania pojazdów, a także dużej liczby awarii. Najmniejszą wartość ten wskaźnik osiąga w czerwcu 2020 roku. Jest to spowodowane niskimi kosztami transportu, a także małą liczbą przebytych kilometrów w stosunku do pozostałych miesięcy (szczególnie tych w których występowały święta). Średnia wartość tego wskaźnika w roku 2020 kształtuje się na poziomie 2,30 zł/km, natomiast w roku 2021 ta wartość wynosi 2,37 zł/km. Liczba przebytych kilometrów odczytywana jest z systemu „Elcar”, który służy do monitorowania pojazdów, w tym również do sprawdzania pokonanej trasy. Dzięki temu można zauważyć, którą drogą jechał kierowca i uwzględnić dodatkowe kilometry, które mogły być generowane poprzez używanie objazdów i pomijanie korków podczas rozliczania kosztów transportu. Bardzo często zdarza się, że używane są dłuższe trasy w celu pominięcia dróg z ograniczeniami tonażowymi czy pominięcia szeregu różnych obiektów inżynierskich takich jak: mosty, wiadukty czy tunele z ograniczeniami wysokościowymi. Prędkość z jaką porusza się pojazd w niewielkim stopniu wpływa na analizowany wskaźnik (por. rys. 7).

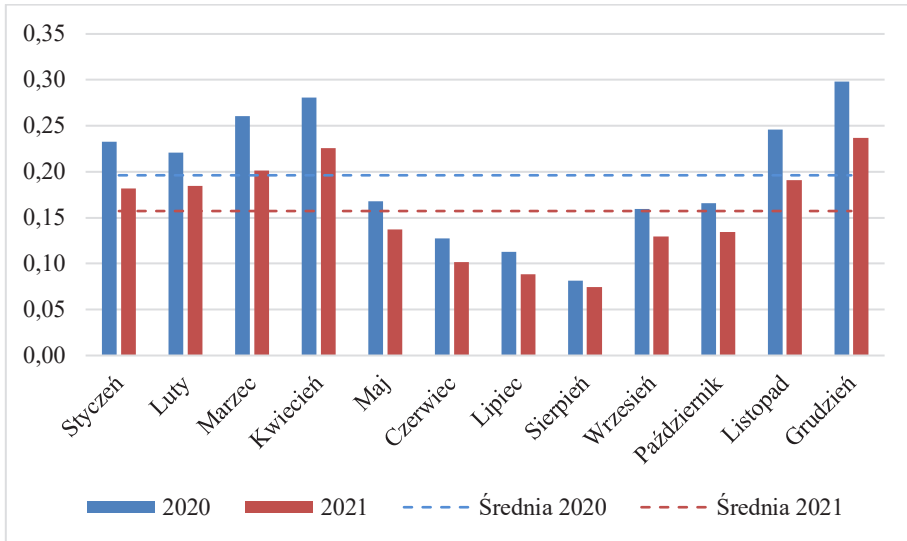


Rys. 7. Wskaźnik kosztów transportu na kilometr

### 7. Wskaźnik niezawodności dostawy

Wskaźnik niezawodności dostawy najniższe wartości uzyskuje od maja do sierpnia. W roku 2021 w znaczący sposób spadła liczba reklamowanych dostaw, pomimo tego, że liczba wszystkich zrealizowanych dostaw była większa o 11,5% w porównaniu z rokiem poprzednim. Do takiej sytuacji w istotnej mierze przyczyniła się duża liczba szkoleń prowadzonych dla magazynierów, związanych z właściwym załadunkiem oraz stretchowaniem towaru. Podczas instruktażu odbyły się również zajęcia na których nauczono pracowników podchodzić do klienta jak do siebie samego. Sprawilo to, że każdy magazynier z jeszcze większą starannością przykładał się do wysyłanych towarów, ponieważ wyobrażał sobie siebie jako odbiorcę skompletowanego ładunku. Wskaźnik niezawodności największą wartość osiągnął w grudniu 2020 roku i wyniósł 0,30%. Wzrost niezawodności dostaw w okresie zimowym jest spowodowany dużą liczbą dostaw, które występują w okresie świątecznym. Mniejsza niezawodność dostaw w okresie letnim związana była z lepszymi warunkami atmosferycznymi, a także mniejszą ilością dostaw, dzięki czemu na każde zamówienie magazyn mógł poświęcić więcej czasu i zrealizować go bardziej dokładnie i efektywnie. Szczególne znaczenie ma również dbałość o jakość wysyłanych produktów i sprawdzanie zawartości wysyłanej przesyłki (por. rys. 8).

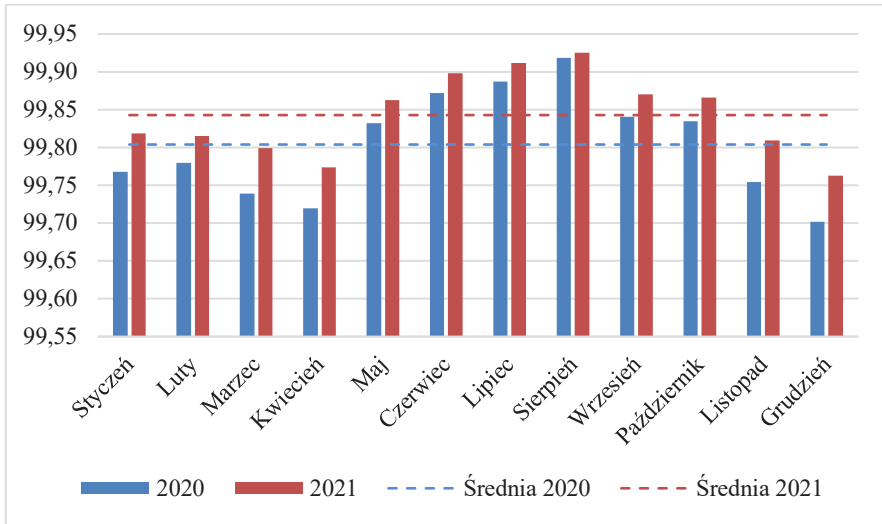




Rys. 8. Wskaźnik niezawodności dostawy

## 8. Wskaźnik jakości dostawy

Wskaźnik jakości dostawy jest bardzo powiązany ze wskaźnikiem niezawodności dostawy i mają na niego wpływają takie same czynniki. Świadczy on o ilości zamówień dostarczonych do klienta, które zostały zaakceptowane przez niego. W roku 2020 wskaźnik ten osiągnął wartość 99,8%, natomiast w roku 2021 wskaźnik ten wynosił 99,84%. Do poprawy jakości dostaw przyczynił się szereg szkoleń magazynierów, które zostały omówione podczas opisywania wskaźnika niezawodności dostawy. Najwyższe wyniki wskaźnik ten osiągnął od maja do sierpnia. Średnio w roku 2020 w tych miesiącach był na poziomie 99,87%, a w roku 2021 miał wartość 99,9%. Do poprawy jakości dostawy w miesiącach letnich w dużym stopniu przyczyniły się korzystne warunki atmosferyczne, które wpłynęły na płynną i bezpieczną jazdę kierowców. Zapewniły one również małą liczbę gwałtownych hamowań, które sprawiają przewrócenie się źle załadowanej dostawy, a następnie jej uszkodzenie. Najniższą wartość wskaźnik jakości dostawy osiągnął w kwietniu i grudniu. W roku 2020 wynosił on w przybliżeniu 99,71% a w roku 2021 około 99,77%. Główną przyczyną tego był okres świąteczny i zwiększona liczba dostaw, a także duża niedokładność ze strony pracowników magazynu, którzy źle zabezpieczali ładunek i nie przykładali zbyt dużej uwagi do jego załadunku na pojazd transportowy. Terminowość dostawy ma również istotne znaczenie podczas obliczania wskaźnika jakości. Każde zamówienie doręczone punktualnie podnosi poziom zadowolenia i satysfakcji klienta, a to fundamentalnie buduje opinie na temat jakości dostawy (por. rys. 9).



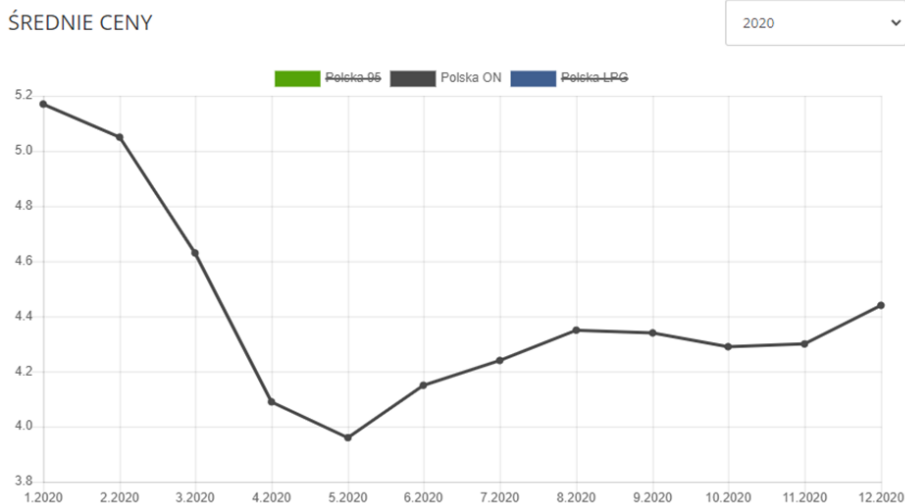
Rys. 9. Wskaźnik jakości dostawy

### 9. Wskaźnik kosztów paliwa na kilometr

Wskaźnik kosztów paliwa na kilometr (rys. 12) największą wartość osiągnął od października do grudnia 2021 roku. W okresie zimowym samochody osiągają wyższy poziom spalania paliwa czego powodem są:

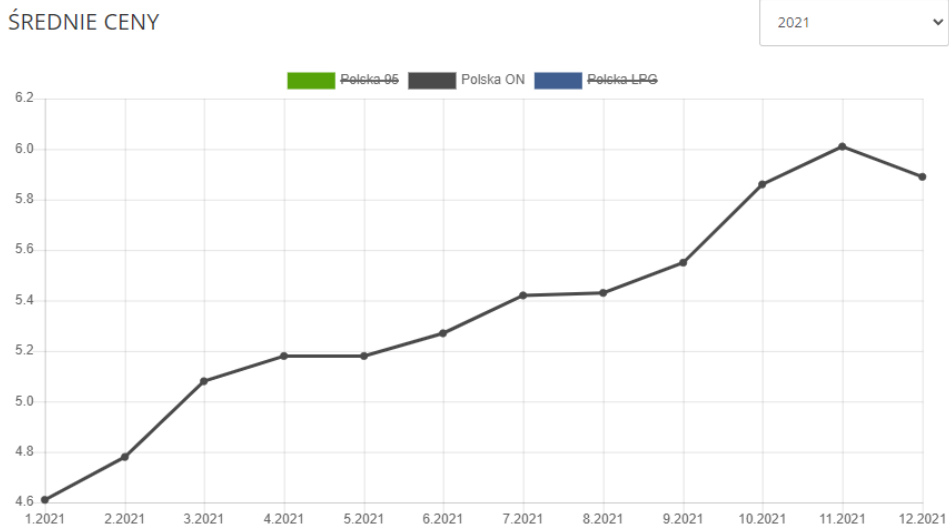
- niskie temperatury spadające poniżej 0°C, przez co gęstnieją oleje i smary, a więc silnik musi pokonać większe opory na które potrzebuje większą ilość energii,
- oblodzone drogi, które pokonywane są z mniejszą prędkością, a więc na niższych biegach,
- niskie ciśnienie w oponach, powodowane przez spadek temperatury.

Najniższą cenę paliwa na kilometr osiągnięto w maju 2020 i wynosiła ona 1,25 zł/km. Było to spowodowane lockdownem, który obowiązywał w Polsce z powodu pandemii koronawirusa. Wartość cen paliwa w roku 2021 wzrosły średnio o 0,32 zł co daje średni przyrost o 23% w stosunku do roku poprzedniego. Głównym powodem takiej sytuacji był wysoki wskaźnik inflacji, który w 2020 roku wynosił 3,4%, natomiast w roku 2021 jego wartość osiągnęła 5,1%. Do obliczenia wskaźnika kosztów paliwa na kilometr konieczne było uwzględnienie cen paliwa jakie występowały w roku 2020 i 2021 w poszczególnych miesiącach. Ceny te zostały przedstawione na rysunku 10 i 11:



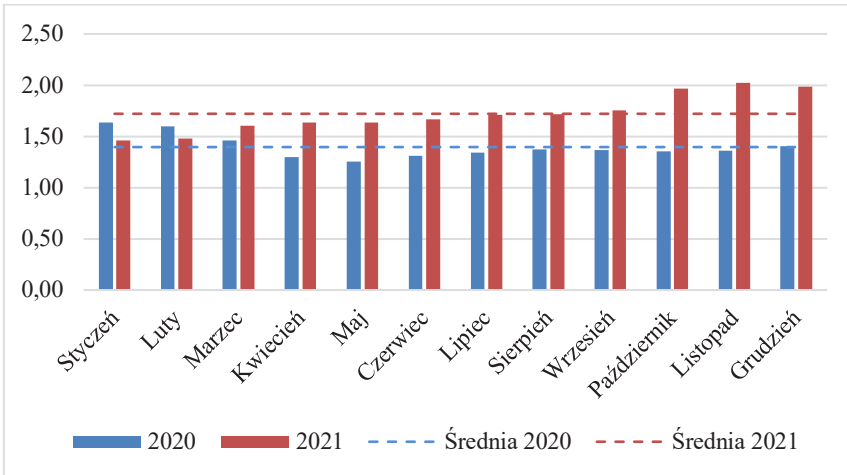
Rys. 10. Ceny paliwa w poszczególnych miesiącach w roku 2020

Źródło: <https://www.autocentrum.pl/paliwa/ceny-paliw/>



Rys. 11. Ceny paliwa w poszczególnych miesiącach w roku 2021

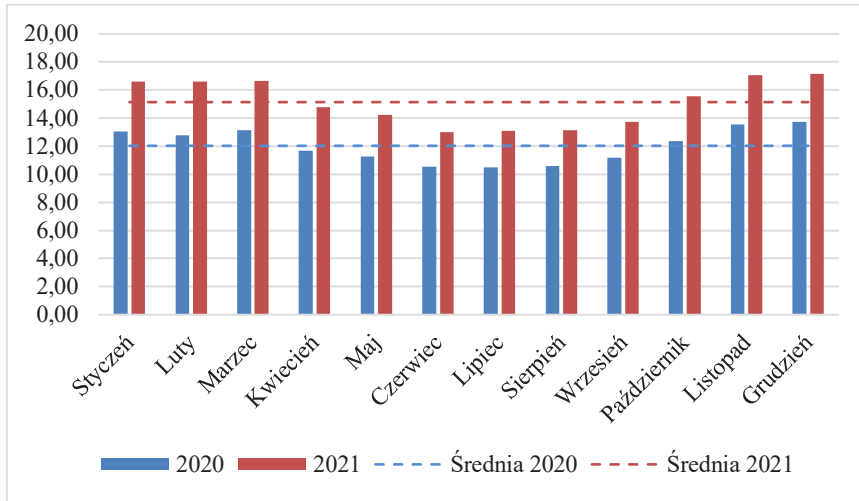
Źródło: <https://www.autocentrum.pl/paliwa/ceny-paliw/>



Rys. 12. Wskaźnik kosztów paliwa na km

#### 10. Wskaźnik kosztów transportu na liczbę palet

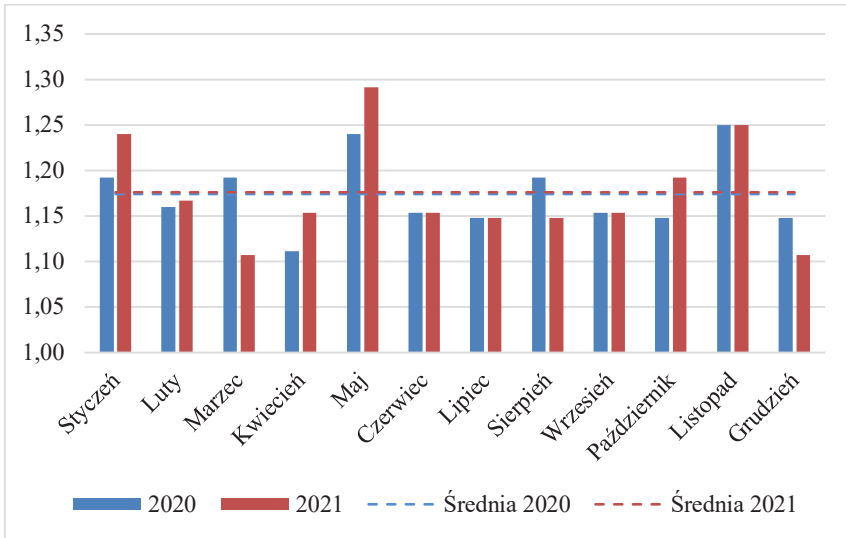
Wskaźnik kosztów transportu na liczbę palet największe wartości otrzymał w miesiącach zimowych. Było to spowodowane znacznym wzrostem cen paliwa, które zaczęły generować coraz większe koszty, szczególnie w roku 2021. Przy obliczaniu wskaźnika kosztów transportu na paletę istotny wpływ ma również poziom spalania środków transportowych, ponieważ im wyższe spalania tym wyższe koszty transportu. Im mniejsza wartość wskaźnika kosztów transportu na paletę tym większa optymalizacja kosztów przedsiębiorstwa. Najmniejszą wartość wskaźnik ten osiąga w lipcu 2020, która wynosi 10,49 zł/ paletę. Było to spowodowane dobrymi warunkami atmosferycznymi, a także mniejszą ilością odbiorów własnych. Wskaźnik kosztów transportu na liczbę palet nie uwzględnia jednak jazdy „na pusto” np. po odbiory towarów. W takim przypadku kierowca po realizacji zamówienia nie zabiera zwrotów ze sklepu tylko „na pusto” jedzie po odbiór towaru, który przywozi do bazy. Koszty transportu na paletę to tylko te koszty, które generowane są podczas przewozu palety wraz z ładunkiem. Średnia wartość wskaźnika kosztów transportu na paletę w roku 2020 wynosiła 12 zł/szt. W roku 2021 ta wartość była znacznie wyższa i osiągnęła wynik 15,14 zł/szt. (por. rys. 13).



Rys. 13. Wskaźnik kosztów transportu na liczbę palet

### 11. Wskaźnik rytmiczności dostawy

Wskaźnik rytmiczności dostawy pokazuje, że im wartość bliższa 1 tym dostawa jest bardziej rytmiczna. Duży wpływ na to ma liczba dni w których dostarczana jest dana dostawa na sklep. Najwyższą wartość wskaźnik rytmiczności dostawy posiadał w maju 2021, który wynosił 1,29, jest to jednak stosunkowo odległa liczba od 1, dlatego taka rytmiczność nie jest dobra. Na niskim poziomie kształtuje się również wskaźnik rytmiczności w listopadzie 2020 i 2021 roku, a także w maju 2020 roku. W listopadzie otrzymuje on wartość 1,25, a w maju 1,24. Najlepszą rytmiczność na przestrzeni tych dwóch lat osiągnięto w marcu oraz w grudniu 2021, gdzie wskaźnik uzyskał wartość 1,11. O idealnej rytmiczności dostawy można by było powiedzieć, kiedy liczba dni dostawy byłaby równa liczbie dni w danym miesiącu, co oznacza, że dostawy musiałyby odbywać się również w każdą sobotę i niedzielę. Średnia wartość wskaźnika rytmiczności dostawy na przestrzeni dwóch lat jest praktycznie identyczna, ponieważ w roku 2020 wynosiła 1,17 a w roku 2021 - 1,18. W obecnych czasach ciężko jest osiągnąć idealną rytmiczność dostaw, ponieważ od marca 2018 roku w Polsce występuje zakaz handlu w niedziele. W przeciągu całego roku w 2020 było tylko 7 niedziel handlowych, w które można było zrobić zakupy. Najczęściej zdarzały się one przed większymi świętami takimi jak Boże Narodzenie, Wielkanoc czy Boże Ciało. W roku 2021 liczba niedziel handlowych była taka sama jak w roku poprzednim, jednak zgodnie z ustawą w każdym roku liczba niedziel handlowych powinna ulegać zmniejszeniu (por. rys. 14).



Rys. 14. Wskaźnik rytmiczności dostawy

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy procesu transportowego stwierdzono:

1. Proces transportowy w danym centrum dystrybucyjnym przeprowadzony jest na wysokim poziomie, jedyną rzeczą, która powinna ulec poprawieniu, a także być bardziej i dokładniej kontrolowana to sposób załadunku towarów na pojazd oraz właściwe zabezpieczenie ładunku na palecie.
2. Głównym mankamentem w analizowanym centrum dystrybucyjnym jest mała liczba środków transportowych. Można to zauważyć po ilości kilometrów, które każdy z pojazdów pokonuje w trakcie jednego roku.
3. Analizowane przedsiębiorstwo jest w ciągłym rozwoju, czego przykładem jest wzrastająca liczba powstających sklepów.
4. Sytuacja pandemiczna, która została wprowadzona w Polsce w roku 2020 w niewielkim stopniu wpłynęła na funkcjonowanie centrum dystrybucyjnego, ponieważ towary były dostarczane na sklepy cały czas. Trudny czas otworzył również nowe perspektywy, dzięki czemu powstały sklepy online, które dostarczają dostawy bezpośrednio do klienta.
5. Koszty transportu najniższe są w miesiącach letnich, z racji mniejszej ilości dostaw, a także mniejszej awaryjności środków transportowych i korzystnych warunków atmosferycznych. Ograniczone ilości dostaw spowodowane są dużym przepływem ludności z powodu wakacji.
6. Najwyższe koszty transportu i najniższa wartość niezawodność dostawy występują w okresach zimowych i przedświątecznych. Główny wpływ mają na to niekorzystne warunki atmosferyczne i niedokładna praca magazynierów, związana z pośpiechem przy załadunku oraz brakiem odpowiedniego zabezpieczenia towarów.

7. Podczas analizy wszystkich wskaźników zauważono, że uzyskane wartości w roku 2021 były znacznie wyższe od roku poprzedniego. Świadczy to o ciągłym doskonaleniu przedsiębiorstwa i dążeniu do osiągnięcia jak najlepszych wyników.

## Bibliografia

- Kalestyński, B.: Organizacja transportu, Skrypty Uczelniane Politechniki Świętokrzyskiej nr15, Kielce, 1974.
- Kisperska-Moroń, D., Krzyżaniak, S.: Logistyka, Biblioteka Logistyka, Poznań, 2009
- Krupa, A.: Podstawy transportu. WSiP, Warszawa, 2017.
- Maurer, R.: Filozofia Kaizena, Helion, 2013.
- Pyza, D., Miętus, M.: Organizacja przewozu ładunków transportem drogowym z uwzględnieniem różnych technologii przewozowych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej 2017
- Rydzewska-Włodarczyk, M., Sobieraj, M.: Pomiar efektywności procesów za pomocą kluczowych wskaźników efektywności. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego - Finanse, Rynki finansowe, Ubezpieczenia, Szczecin, 2015.
- Trybała, P.: Leasing poradnik przedsiębiorcy. Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości 2004.
- Twaróg, J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne, Biblioteka logistyka, Poznań 2003.
- Wiśniewska, I., Puchacz, D., Krom, J.: Polski Rynek Transportu. Logistyka i Transport 2017.

*Adres do korespondencji: [Jakub.Sikora@urk.edu.pl](mailto:Jakub.Sikora@urk.edu.pl)*

ORCID: Jakub Sikora 0000-0002-6215-6065

ORCID: Anna Szeląg-Sikora 0000-0002-6017-4374

ORCID: Aneta Oleksy-Gębczyk 0000-0001-6185-5932

ORCID: Katarzyna Kowalska-Jarnot 0000-0003-2829-8841

# WPLYW MODYFIKACJI WYBRANYCH ELEMENTÓW INFRASTRUKTURY DROGOWEJ NA PRZEPUSTOWOŚĆ SKRZYŻOWAŃ

Paweł Kielbasa<sup>1</sup>, Mirosław Zagórda<sup>1</sup>, Kamil Zera<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Eksploatacji Maszyn Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

## Wprowadzenie

Zgodnie z wynikami pomiarów natężenia ruchu na drogach krajowych w Małopolsce opublikowanymi w 2021 roku przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad z udziałem w Krakowie stwierdzono jednoznacznie, że w ciągu ostatnich pięciu lat (2015 – 2020) nastąpił trzydziestoprocentowy wzrost ruchu. Tego rodzaju badania przeprowadzane są w wybranym okresie co pięć lat i obejmują pomiary średniego dobowego ruchu pojazdów poruszających się drogami krajowymi na terenie całego kraju. Ostatnie przeprowadzone obserwacje ze względów pandemicznych musiały zostać wydłużone i zakończone w 2021 roku. Ich wyniki pozwoliły na stwierdzenie, że średni dobowy ruch obejmujący wszystkie drogi krajowe mieszczące się w granicach administracyjnych województwa Małopolskiego uzyskał wartość 18 918 pojazdów. Liczba ta jest drugą najwyższą wielkością względem pozostałych województw i nie przewyższa jedynie województwa Śląskiego. Zauważono, że najwyższy wzrost ruchu nastąpił kolejno dla: odcinka pomiędzy węzłem Biechanów A4, a węzłem Kraków Przewóz S7 wynosząc 245 procent początkowej wartości, osiągając średni dobowy ruch rzędu 51 641 pojazdów, następnie odcinek autostrady A4 pomiędzy węzłami Kraków Wieliczka oraz Kraków Biechanów, gdzie natężenie ruchu osiągnęło dokładnie dwukrotność pierwotnej wielkości charakteryzując się 100 procentowym wzrostem i średnim dobowym ruchem wynoszącym 77 410 pojazdów. Największa liczba równa średnio 84 876 odnotowanych pojazdów na dobę została zmierzona dla odcinka pomiędzy węzłami A4 Kraków Południe oraz Kraków Łagiewniki, co wynosi 160 procent wielkości z 2015 roku. Bardzo częstym zjawiskiem występującym w południowej części obwodnicy Krakowa w szczególności w okolicach porannego i popołudniowego szczytu komunikacyjnego są zatory drogowe, zwłaszcza pomiędzy węzłami Kraków Południe oraz Kraków Bielany, gdzie średnia dobowa liczba pojazdów przekracza 80 tysięcy. W pozostałej części wspomnianej obwodnicy liczba ta nie osiąga niższej wartości niż 70 tysięcy pojazdów w ciągu doby. Za opisane wyżej zjawisko w pewnym stopniu odpowiedzialna jest tendencja wzrostowa liczby mieszkańców wybierających podkrakowskie miejscowości jako miejsce zamieszkania wspierając tym samym zjawisko szybkiej ich urbanizacji oraz przyczyniając się do wzmożonego ruchu na północnych oraz południowych wlotach miasta ze względu na dużą ilość osób



dojeżdżających do miejsc pracy czy nauki. Ciekawym przykładem jest DK7, czyli tzw. Zakopianka, gdzie średni ruch dobowy względem 2015 roku wzrósł o 29 procent, a liczba zmierzonych pojazdów na odcinku Kraków – Mogilany wynosi 57 473 pojazdy, natomiast do Głogoczowa trochę maleje i osiąga 52 059 pojazdów<sup>1</sup>. Dokładnie 10 lat temu, w roku 2013 przeprowadzona została piąta edycja KBR (Kompleksowych Badań Ruchu) Krakowskiego Obszaru Metropolitalnego zawierającego zarówno same miasto Kraków, jak i 33 gminy wchodzące w skład jego podmiejskiej strefy. Swoim zakresem badania objęły blisko 13 200 wywiadów z mieszkańcami stolicy województwa Małopolskiego oraz 2897 wywiadów na terenach gmin sąsiadujących w łącznej liczbie siedmiu tysięcy gospodarstw domowych. Analiza wyników pozwoliła zauważyć, że 57% spośród ankietowanych rodzin posiada minimum jeden samochód osobowy, czyli wzrost liczby o 14% względem poprzedniego badania przeprowadzonego w 2003 roku, natomiast pozostałe 43% domostw jest niezmotoryzowane. Wskaźnik motoryzacji w 2013 roku wzrósł o ok. 60% względem 2003 roku wynosząc 323 samochody osobowe na tysiąc mieszkańców. Blisko połowa odnotowanych pojazdów (43,1%) została wyprodukowana w latach 2000-20005. Obliczenia przeprowadzone na podstawie otrzymanych wyników wykazały, że średnia liczba podróży wykonywanych przez pojedynczego mieszkańca miasta Kraków w dniu roboczym osiąga wartość 2,02, co w globalnym zestawieniu daje wynik rzędu 1,5 miliona przejazdów codziennie od poniedziałku do piątku, czyli odnotowano spadek ruchliwości w ciągu 10 lat o 3,8%. Najwyższym udziałem w ciągu dnia pory rozpoczęcia podróży charakteryzuje się godzina siódma rano (14,5% całkowitego ruchu dobowego). Najczęściej spotykaną motywacją do korzystania z pojazdu były relacje dom oraz dom – praca, kolejno 19,8% oraz 18,1%, co w połączeniu z wynikiem odbywających się w granicach Krakowa 97,5% wszystkich spisanych podróży jasno wskazuje, że na przestrzeni kolejnych lat natężenie ruchu będzie miało tendencję wzrostową. Negatywną wiadomością jest fakt, że spośród wszystkich ujętych w badaniu środków transportu pomimo dominującego udziału na poziomie 36,3% wykazanego przez komunikację zbiorową, odnotowano spadek jego wartości względem 2003 roku o ok. 15%, pojazdy osobowe zajęły drugie miejsce pod względem liczby przejazdów z wynikiem 33,7%, czyli charakteryzują się ponad 24% wzrostem na przestrzeni 10 lat. Podróże pieszo wykazały 28,4% udział w całości<sup>2</sup>. Warunkiem przejezdności skrzyżowania jest możliwość pokonania przez pojazd danego skrzyżowania w dogodnych warunkach. Ważnym elementem przejezdności jest zapewnienie braku możliwości wystąpienia zakłóceń. Przyjmuje się, że wyznaczając przejezdność skrzyżowania pojazdy uczestniczące w ruchu określamy mianem pojazdu miarodajnego. Aby uznać skrzyżowanie za przejezdne muszą być spełnione pewne kryteria, do których należą<sup>3</sup>:

- a) odpowiednia szerokość pasów ruchu,
- b) dostosowanie krawędzi wysp i jezdni przystosowane do toru ruchu pojazdu miarodajnego

---

<sup>1</sup> <https://www.gov.pl/web/gddkia/generalny-pomiar-ruchu-20202021>

<sup>2</sup> Szarata, A.: Badania zachowań komunikacyjnych mieszkańców Krakowskiego Obszaru Metropolitalnego Zadanie 2 -Raport końcowy z badań ankietowych wraz z syntezą wyników i szczegółowymi wnioskami, Kraków, 2014.

<sup>3</sup> Bąk, R., Chodur, J., Gaca, S., Kieć, M., Ostrowski, K.: Wzorce i standardy WRD-31-1 Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych. Wymagania podstawowe, Ministerstwo Infrastruktury Departament Dróg Publicznych, Warszawa, 2020.

c) stosowanie odpowiednich znaków pionowych mających na celu rozdzielić jezdnie na poszczególne pasy.

Ważnym elementem przejezdności skrzyżowania są cechy pojazdu. Cechami pojazdu miarodajnego istotnymi dla przejezdności skrzyżowania są jego wymiary oraz promień skrętu, oraz rozstaw kół. Na podstawie tych danych dostosowywane są szczegółowe parametry skrzyżowania, w szczególności jazda po łuku. W trakcie projektowania skrzyżowań należy starać się zminimalizować liczbę punktów kolizji. Oprócz redukcji liczby takich miejsc należy też odpowiednio zaplanować funkcjonowanie ruchu w takich miejscach. INRIX Global Traffic Scorecard sprawdził natężenie ruchu w 1360 miastach na całym świecie. W rankingu ujęto miasta z 38 krajów świata. W zestawieniu uwzględniono także Polskę. Z raportu wynika, że najbardziej zakorkowanym miastem świata było Los Angeles. W Europie liderem jest Moskwa, a w Polsce - Kraków. Analizując średni czas spędzony w korkach w godzinach szczytu w skali roku to odnotowano : Tajlandia - 56 godz., Indonezja - 51 godz., Kolumbia - 49 godz., Wenezuela - 42 godz., Rosja - 41 godz., USA - 41 godz., Brazylia- 36 godz., RPA - 36 godz., Turcja - 32 godz., Wielka Brytania - 31 godz., Puerto Rico - 31 godz., Niemcy - 30 godz., Polska - 29 godz., Słowacja - 29 godz., Luksemburg - 28 godz., Kanada - 27 godz., Szwajcaria - 27 godz., Norwegia - 26 godz., Szwecja - 26 godz., Austria - 25 godz. Czynnikiem wpływającym na wybór optymalnego rozwiązania jest również lokalizacja skrzyżowania w sieci drogowo-ulicznej. Wsparcie projektowania zapewnić mogą odpowiednie instrumenty w postaci wytycznych opisujących proces projektowania a także wskazujących zakres określonych rozwiązań techniczno-organizacyjnych. Dotychczasowe analizy oraz badania w przytoczonej tematyce<sup>4567</sup> jednoznacznie wskazują, że problem przeciążenia skrzyżowań w miejskiej sieci drogowej wzrastał na przestrzeni ostatnich lat, nabierając tempa ze względu na coraz większą sumaryczną ilość pojazdów poruszających się w ruchu drogowym. Zjawisko to ma bezpośredni wpływ na jakość przemieszczania się oraz stopień wykorzystania sieci, który w przypadku wielu wąskich gardeł przekroczył już wartości krytyczne powodując zatory o długości coraz częściej przekraczającej kilometr.

## **Cel, zakres i metodyka badań**

Celem badań było określenie ilościowych zmian w przepustowości aktualnie istniejącego skrzyżowania z sygnalizacją świetlną w przypadku jego przebudowy na skrzyżowanie z ruchem okrężnym (rondo) bez sygnalizacji świetlnej. Do osiągnięcia celu została określona struktura dobowego oraz tygodniowego obciążenia ruchem wybranego skrzyżowania tj. ulic Kamieńskiego, Nowosądecka oraz Wielicka usytuowanych w południowej części miasta Krakowa. Ponadto wyznaczono stopień wykorzystania w/w skrzyżowania w odniesieniu do jego maksymalnej przepustowości. Następnie przeprowadzono symulację przepustowości

---

<sup>4</sup> Szymczak, M.: Logistyka miejska, Wydawnictwo AE w Poznaniu, Poznań, 2008.

<sup>5</sup> Macioszek, E.: Graniczny odstęp czasu jako jeden z parametrów procesu decyzyjnego w obsłudze pojazdów z wlotów rond, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej, 2009.

<sup>6</sup> Mądziel, M.: Potrzeby transportowe w odniesieniu do systemów komunikacji miejskiej, 2016.

<sup>7</sup> Kozłowski, R., Jabłoński, J., Błoch Ż.: Eliminowanie przyczyn wypadków i kolizji w obszarze infrastruktury transportowej logistyki miejskiej na przykładzie Łodzi, 2016.

skrzyżowania okrężnego w miejscu obecnie istniejącego przy założeniu, że natężenia ruchu pojazdów będzie takie same.

Zakres badań obejmował zliczenie liczby pojazdów, które przejeżdżają przez skrzyżowanie w każdym kierunku. Do zliczenia wykorzystano jednostki przeliczeniowe, czyli tzw. pojazdy umowne. W ramach pomiarów określono dokładne miejsce, w którym dany pojazd wjeżdża na skrzyżowanie oraz je opuszcza. Pomiary wykonano w ciągu jednogodzinowego interwału czasu a samo zliczanie przeprowadzono o tej samej godzinie w wybranych jednogodzinnych interwałach czasowych, które są złożone z sześciu dziesięciominutowych odcinków. Ponadto określono graniczny odstęp czasowy, pozwalający na wyznaczenie tzw. miarodajnego natężenia ruchu wszystkich zidentyfikowanych relacji.

Pomiary zostały przeprowadzone w dwóch dobranych punktach pomiarowych zlokalizowanych w granicach skrzyżowania ulic Nowosądecka, Wielicka oraz Kamińskiego, o schemacie przedstawionym na rysunku 1. Dobór punktów polegał na wizualnym określeniu możliwości bezpośredniego zliczenia całkowitej liczby pojazdów określonej relacji.



Rys. 1. Skrzyżowanie ulic Nowosądecka, Wielicka oraz Kamińskiego w Krakowie

Źródło: (mapy google)

Punkt pomiarowy A, którego widok rzeczywisty przedstawiono na rysunku 2 umożliwił obserwację ruchu czterech pasów ul. Henryka Kamińskiego w kierunku Wieliczki oraz skręt w prawo z ul. Henryka Kamińskiego i skręt w lewo z ul. Wielickiej w ulicę Nowosądecką. Relacje skrętne zawierają po jednym pasie ruchu. Dla punktu pomiarowego A pojedynczy cykl sygnalizacji świetlnej trwa 100 sekund, w ciągu których 45 sekund to efektywne światło zielone. W ciągu godziny sygnalizacja świetlna wykona 36 pełnych cykli. Graniczny odstęp czasowy, czyli maksymalny odstęp czasowy pomiędzy wjazdem pojazdów przez wybrane

wloty skrzyżowania<sup>8</sup>, przyjęty został w celach pomiarowych oraz obliczeniowych jako 10 minut, w związku z czym dla dwóch punktów pomiarowych sygnalizacja świetlna wykona 6 pełnych cykli w ciągu jednego pomiaru. Oznacza to, że przez wybrany przekrój ulicy Kamińskiego w kierunku Podgórze w ciągu pomiaru przejedzie 6 strumieni ruchu. Wspomniany termin oznacza grupę jednostek ruchu, które poruszają się w tym samym kierunku oraz zwrocie i przekraczają skrzyżowania między wybranym wlotem oraz wylotem skrzyżowania określonego przekrojem drogi. Punkt pomiarowy B umożliwił jednoczesną obserwację trzech pasów ruchu ulicy Wielickiej w relacji centrum – prosto, dwa pasy relacji skrajnej w lewo i jeden pas relacji skrajnej w prawo z ulicy Nowosądeckiej w ulicę Wielicką. Pełen cykl sygnalizacji świetlnej dla punktu pomiarowego B wynosił 120 sekund, wśród których 60 sekund to długość sygnału zielonego.



Rys. 2. Widok rzeczywisty punktu pomiarowego A, ul. Nowosądecka

Źródło:

Do przeprowadzenia pomiarów skorzystano z formularza pomiaru ruchu drogowego (tab. 1), na którym za pomocą pojedynczych pionowych kresek notowano ilość pojazdów wybranego strumienia ruchu przejeżdżających przez skrzyżowanie w badanym przekroju drogi danego punktu pomiarowego.

Wszystkie przejazdy opisane zostały kolejnymi cyframi kontrolnymi przypisanymi w odpowiednich rubrykach, a wyniki przedstawione w liczbie pojazdów umownych oraz rzeczywistych, których suma w ciągu jednego pomiaru jest wartością natężenia chwilowego ruchu pojazdów, a najwyższa wartość oznacza przepustowość skrzyżowania, czyli maksymalną liczbę jednostek, która przy zachowaniu odpowiednich założeń i warunków panujących na drodze może pokonać przekrój wybranego jej odcinka. Wielkość ta uzależniona jest w sposób bezpośredni od cech fizycznych oraz warunków zewnętrznych, a także zachowań zarówno pieszych, jak i kierujących pojazdami<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> Macioszek, E.: Graniczny odstęp czasu jako jeden z parametrów procesu decyzyjnego w obsłudze pojazdów z wlotów rond, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej, 2009.

<sup>9</sup> Gonddek, S., Ostrowski, K.: Metoda obliczania przepustowości dróg dwupasowych dwukierunkowych – stan obecny. Autobusy – Organizacja i zarządzanie, 2017.

Tabela 1. Formularz pomiarowy

POMIAR RUCHU DROGOWEGO		NR PUNKTU POMIAROWEGO				NUMER DROGI				STR. 1									
		NUMER POMIARU				DATA POMIARU													
		KIERUNEK <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>				NUMER FORMULARZA				KIERUNEK DO									
		IMIE I NAZWISKO OBSERWATORA																	
Godz. pomiaru	MOTO-CYKLE (kat. M)		SAMOCHODY OSOBOWE MIKROBUSY (do 24 miejsc z kierowcą) (kat. L)		LEKKE SAM. CIEZAROWE (DOSTAWCZE) (kat. N)		SAM. CIEZ. BEZ PRZYCZ. CIĄGNIKI SIOŁOWE BEZ NACZEP SAM. SPECJALNE (kat. O)		SAM. CIEZ. Z PRZYCZ. CIĄGNIKI SIOŁOWE Z NACZEPAMI (kat. P)		AUTO-BUSY (kat. Q)		CIĄGNI. ROLN. (kat. R)		SUMA (kat. S- R)		ROZWIĘZY (kat. W)		

## Wyniki badań

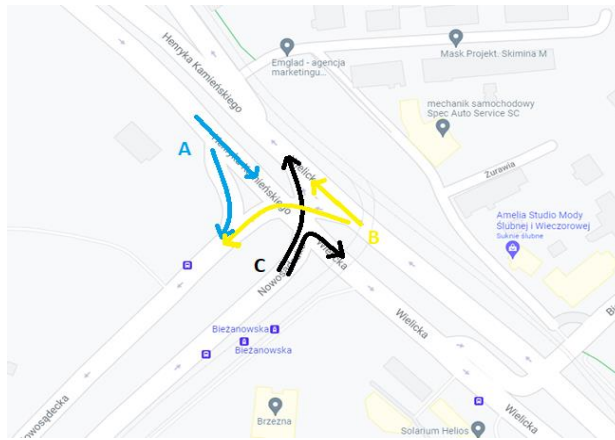
Zgodnie z przyjętą metodyką pomiary przeprowadzone zostały dla siedmiu dni tygodnia o tej samej porze pomiędzy godziną 17 a 18 z podziałem na sześć okresów pomiarowych. Podczas badań odnotowano częste zatory drogowe, czyli zatrzymanie się strumienia ruchu drogowego do zera z powodu zbyt wysokiego poziomu natężenia ruchu. Średnie dobowe natężenie ruchu wynosiło ok 4521 pojazdów na godzinę, co oznacza, że skrzyżowanie charakteryzuje się ruchem wymuszonym o swobodzie ruchu na poziomie E.

Na rysunku 3 przedstawiono strukturę tygodniową natężeń ruchu pojazdów badanego skrzyżowania. Najwyższa liczba wynosząca 5309 pojazdów na godzinę, czyli 16,8% tygodniowej sumy zmierzonych pojazdów odnotowano w piątek, następnie we wtorek - 4694 pojazdy, sobotę 4561 pojazdów, w niedzielę 4418 pojazdów, w poniedziałek 4409 pojazdów, natomiast w środę 4302 pojazdy oraz czwartek 3955 pojazdów. Zgodnie z powyższym można jednoznacznie stwierdzić, że natężenie ruchu wzrasta na początku i na końcu tygodnia. Należy zaznaczyć, że samochody osobowe (do 9 miejsc siedzących z kierowcą), mikrobusy, pickupy i samochody kempingowe, z przyczepą lub bez stanowiły 97% udziału ilościowego w natężeniu ruchu analizowanego skrzyżowania.

Dla celów obliczeniowych spośród punktów A i B wydzielone zostały relacje skątne obejmujące dwa pasy ruchu dla skrętu w lewo oraz jeden pas dla skrętu w prawo z ulicy Nowosądeckiej w ulicę Wielicką opisane jako punkt obliczeniowy C (rys. 4), którego cykl sygnalizacji świetlnej ze względu na swój charakter strumienia ruchu trwa 40 sekund, z czego 25 sekund to długość sygnału zielonego. Szerokość pojedynczego pasa ruchu została przyjęta jako 3 metry zgodnie z klasą (III) zbiorczą drogi powiatowej (Ministerstwo Infrastruktury, art. Rodzaje dróg w Polsce), pochylenie pasa jest zerowe, natomiast promień skrętu wewnętrzny wynosi 15 metrów, a zewnętrzny 25 metrów.



Rys. 3. Tygodniowa struktura dobowych natężeń ruchu drogowego



Rysunek 3. Schemat skrzyżowania przedstawiający przyjęte punkty obliczeniowe

Ze względu na przecięcie się strumieni ruchu dla relacji centrum – prosto oraz Wieliczka – prosto, a także Nowosądecka – w prawo z torami tramwajowymi przyjęto wskaźniki położenia pasa ruchu równy 1. W tabeli 2 przedstawiono procentowy udział pojazdów poszczególnych strumieni ruchu dla wszystkich badanych relacji w określonych punktach pomiarowych. Zgodnie z otrzymanymi wynikami punkty obliczeniowe A oraz B charakteryzują się ponad 90-cio procentowym udziałem strumieni ruchu jadących prosto.

Tabela 2. Podział procentowy udziału pojazdów ze względu na relację ruchu

Punkt	Procentowy udział pojazdów w relacji		
	W prost	Prawo	Lewo
A	94,7%	5,3%	-
B	93,3%	-	6,30%
C	-	49,0%	51,0%

W celach obliczeniowych istotnym jest również wyznaczenie procentowego udziału pojazdów ciężkich w całkowitej liczbie przejazdów, który udział dla punktu obliczeniowego A, wynosił 0,2%.

#### Przepustowość skrzyżowania w punkcie obliczeniowym A

Punkt obliczeniowy A charakteryzuje się najwyższą wartością średniego dobowego natężenia ruchu wynoszącego 2327 pojazdów na godzinę, w porównaniu do punktu B z wynikiem 1928 pojazdów na godzinę oraz punktu C – 266 pojazdów na godzinę. Zgodnie z metodą obliczeniową Orłowskiego z 2019 roku należy rozpocząć od wyznaczenia nasycenia natężenia ruchu, czyli maksymalnej możliwej do osiągnięcia liczby pojazdów, które opuszczą wybrany przekrój drogi w poszczególnej relacji. Opisać je można poniższym wzorem (1):

$$S_w = (S_o + 200 \cdot (w - 3,5) - 30 \cdot \delta i \cdot i) \cdot \frac{1}{1+uc} \quad (1)$$

gdzie:

- $S_o$  – wyjściowe natężenie nasycenia (P/h); 1900 w przypadku wystąpienia wyłącznie relacji bezkolizyjnych; 1700 w przypadku kolizyjnych relacji skrętnych
- $w$  – szerokość pasa ruchu
- $\delta i$  – wskaźnik kierunku pochylenia (1 – wznos, 0 – spadek)
- $i$  – średnie pochylenie pasa ruchu
- $uc$  – procentowy wskaźnik udziału pojazdów ciężkich w ruchu

Dla punktu obliczeniowego A przyjęto wyjściowe natężenie nasycenia równe 1900 (P/h) ze względu na występowanie wyłącznie relacji bezkolizyjnych. Po podstawieniu odpowiednich danych otrzymano nasycenie natężenia dla ruchu w relacji Wieliczka – prosto równe 2160 pojazdów na godzinę. Relacje skrętne wyliczono wg wzorów(2,3):

$$S_x = S_o + 80 \cdot (w - 3,5) - 30 \cdot \delta i \cdot i - 160 \cdot \delta k - 75 \cdot \delta t \quad (2)$$

$$S_r = S_x \cdot \frac{10^{-3} \cdot R + 1,025}{1 + \frac{2}{R}} \cdot \frac{1}{1+uc} \quad (3)$$

gdzie:

- $\delta k$  – wskaźnik położenia pasa ruchu (1 – przy chodniku, 0 – niesąsiadujący z chodnikiem)
- $\delta t$  – wskaźnik przejazdu przez torowisko tramwajowe
- $R$  – promień skrętu, (m)

Pozostałe oznaczenia zgodnie ze wzorem (1)

Zgodnie z powyższym otrzymano wartość natężenia nasycenia dla relacji skrętnej w prawo w punkcie obliczeniowym A równą 1030 pojazdów na godzinę. Otrzymane wartości dla dwóch relacji punktu obliczeniowego A posłużyły do obliczenia nasycenia natężenia dla wspólnego strumienia ruchu zgodnie ze wzorem (4):

$$S_w^j = \frac{1}{\frac{u_p}{s_p} + \frac{u_r}{s_r} + \frac{u_l}{s_l}} \quad (4)$$

gdzie:

- Sp, Sr, Sl – kolejno natężenia nasycenia dla relacji prosto, w prawo, w lewo analizowanego strumienia
- up, ur, ul – kolejno procentowy udział w ruchu dla relacji prosto, w prawo, w lewo analizowanego strumienia

Wspólny strumienia ruchu dla dwóch relacji wynosił 2042 pojazdów na godzinę. Maksymalną przepustowość danego punktu obliczeniowego definiowana jest również programem sygnalizacji świetlnej, którego najbardziej istotnym elementem jest długość efektywnego sygnału zielonego. Obliczono ją zgodnie ze wzorem (5) jako czas trwania sygnału zielonego pomniejszony o stratę czasu uwarunkowaną opóźnieniem w ruszaniu pojazdów oraz chwilowym sygnałem żółtym.

$$G_e = G + \dot{Z} - (tr + tz) \quad (5)$$

gdzie:

- G – długość sygnału światła zielonego, (s)
- $\dot{Z}$  – długość sygnału światła żółtego, (s)
- tr – strata czasu na początku sygnału zielonego, (s)
- tz – strata czasu na końcu sygnału żółtego, (s)

Przyjęto stratę czasu spowodowaną sygnałem żółtym w długości średniej równej 3 sekundy w fazie początkowej sygnału zielonego oraz końcowej światła żółtego równej 2 sekundy. Zgodnie z powyższym efektywny sygnał zielony dla punktu obliczeniowego A wynosi 42 sekundy. Dzięki wyznaczeniu opisanych poprzednio wartości można przystąpić do obliczenia wartości przepustowości zgodnie ze wzorem (6).

$$C = S * \frac{G_e}{T} \quad (6)$$

gdzie:

- C – przepustowość pasa ruchu, (P/h)
- S – nasycenie natężenia ruchu, (P/h)
- Ge – długość efektywnego światła zielonego, (s)
- T – długość cyklu, (s)

Podstawienie odpowiednich wielkości do wzoru (6) pozwoliło na wyznaczenie przepustowości punktu obliczeniowego A równej 858 pojazdów na godzinę. Wielkość ta oznacza, że w ciągu godziny 858 pojazdów jest maksymalną liczbą pojazdów, która przy zachowaniu idealnych warunków drogowych może opuścić skrzyżowanie.

#### Przepustowość skrzyżowania w punkcie obliczeniowym B

Punkt ten charakteryzował się nasyceniem natężenia ruchu równym 2160 pojazdów na godzinę dla relacji centrum – prosto oraz 1103 p/h dla relacji skrajnej w lewo. Wielkość wspólnego nasycenia natężenia ruchu wynosiła 2029 p/h. Obliczony efektywny czas trwania



sygnału zielonego równy 54 sekundy pozwolił na wyznaczenie końcowego wyniku przepustowości punktu obliczeniowego B równego 913 pojazdów na godzinę.

#### Przepustowość skrzyżowania w punkcie obliczeniowym C

W celu otrzymania wyników dla punktu obliczeniowego C wykorzystano wzory obliczeniowe identyczne jak dla punktów A oraz B. Otrzymano następujące wyniki: nasycenie natężenia ruchu dla skrętu w lewo wynosi 1149 p/h, natomiast dla skrętu w prawo 1103 p/h. Wartość wspólnego nasycenia natężenia ruchu dla wszystkich dwóch relacji skrętnych wynosiła 1070 pojazdów na godzinę. Pełen pojedynczy okres programu trwał 40 sekund, w tym 22 sekundy efektywnego czasu trwania sygnału zielonego. Obliczona przepustowość w punkcie obliczeniowym C wynosiła 588 pojazdów na godzinę. Otrzymane wyniki charakteryzują się podobną wielkością natężeń pasów ruchu dla punktu obliczeniowego A oraz B wynosząc 2160 pojazdów na godzinę w relacji prosto, natomiast od 1030 do 1103 pojazdów na godzinę w relacjach skrętnych oraz zbliżone do siebie wartości relacji skrętnych w lewo oraz prawo dla punktu obliczeniowego C (tab. 3).

Tabela 3. Natężenie nasycenia ze względu na relację poruszania w dwóch punktach pomiarowych

Punkt	Natężenie pasa ruchu			
	Prosto	W prawo	W lewo	Łącznie
A	2160	1030	-	3190
B	2160	-	1103	3263
C	-	1149	1004	2153

#### Stopień wykorzystania przepustowości skrzyżowania

Stwierdzono, że dwie z wymienionych wielkości natężenia strumieni ruchu znacznie przekraczają przepustowość skrzyżowania w odpowiadającym im przekrojom drogi punktów obliczeniowych A oraz B, jedynie dla punktu C wartość ta mieści się w granicach normatywnych. Wartości przepustowości poszczególnych punktów obliczeniowych zestawiano ze średnim natężeniem ruchu (tabela 4).

Tabela 4. Porównanie przepustowości skrzyżowania oraz średniego natężenia ruchu

Punkt	Przepustowość (P/h)	Średnie natężenie ruchu (P/h)
A	857	2327
B	913	1928
C	588	266

Wyniki przedstawione w tabeli 4 pozwalają wyznaczyć stopień wykorzystania przepustowości w wybranych punktach obliczeniowych opisany wzorem:

$$X = \frac{Q}{C} \quad (7)$$

gdzie:

- Q – natężenie ruchu, (P/h),
- C – przepustowość punktu, (P/h).

Stopień ten określa procentowo lub bezmianowo wykorzystanie wybranego wlotu skrzyżowania poprzez stosunek natężenia ruchu danego strumienia względem jego przepustowości (tab.5)

Tabela 5. Stopień wykorzystania przepustowości dla trzech punktów pomiarowych

Punkt obliczeniowy	Stopień wykorzystania przepustowości
A	2,72
B	2,11
C	0,45

Odnotowano, że punkty obliczeniowe A oraz B charakteryzują się ponad dwukrotnym wykorzystaniem dopuszczalnej granicznej przepustowości, natomiast punkt C obejmujący relacje skrajne wykorzystuje przepustowość zaledwie w połowie maksymalnej wielkości.

#### Obliczenia Symulacja przepustowości skrzyżowania o ruchu okrężnym

Najważniejszą wielkością służącą do przeprowadzenia symulacji ruchu na skrzyżowaniu okrężnym jest natężenie ruchu pojazdów. W tabeli 6 przedstawiono sumy pojazdów na poszczególnych wlotach (A, B oraz C) odpowiadających punktom obliczeniowym A, B oraz C z poprzedniego podrozdziału. Najwyższymi wartościami natężenia ruchu pojazdów charakteryzował się wlot A, natomiast najniższymi wlot C, którego natężenie ruchu nie przekraczało 350 pojazdów na godzinę niezależnie od dnia tygodnia.

Tabela 6. Sumy pojazdów na poszczególnych wlotach skrzyżowania

Dzień tygodnia	Natężenie obliczeniowe (p/h)		
	wlot A	wlot B	wlot C
Poniedziałek	2804	1337	268
Wtorek	2610	1747	337
Środa	2004	2017	281
Czwartek	1937	1798	220
Piątek	2601	2410	298
Sobota	2206	2123	232
Niedziela	2127	2064	227
Suma	16289	13496	1863

#### Natężenie potoku na jezdni

1. Relacja dla wlotu A (8):

$$N_a = N_b + N_c \left(\frac{p}{h}\right) \quad (8)$$

2. Relacja dla wlotu B (9):

$$N_b = N_a + N_c \left(\frac{p}{h}\right) \quad (9)$$

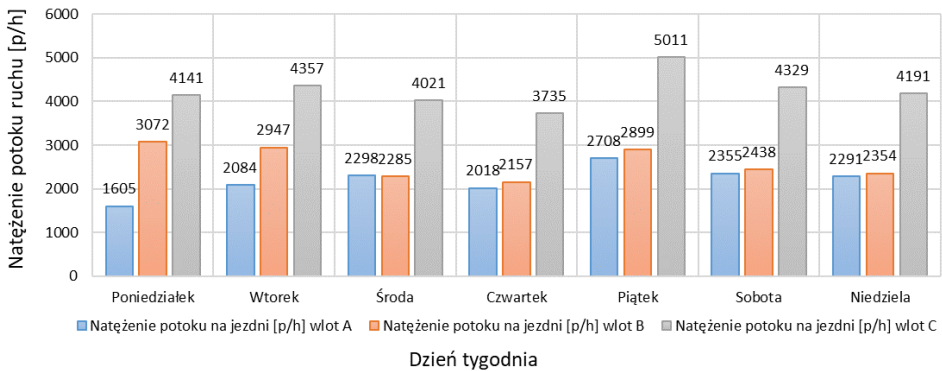
3. Relacja dla wlotu C (10):

$$N_c = N_a + N_b \left(\frac{p}{h}\right) \quad (10)$$

gdzie:

- $N_a$  – natężenie obliczeniowe wlotu a (p/h)
- $N_b$  – natężenie obliczeniowe wlotu b (p/h)
- $N_c$  – natężenie obliczeniowe wlotu c (p/h)

Otrzymane wartości natężeń potoków ruchu na jezdni przedstawiono na rysunku 4. Zaobserwowano wyraźną przewagę liczbową wlotu C, która osiągnęła maksymalną wielkość 5011 pojazdów na godzinę w piątek oraz zbliżone do siebie wartości potoków na wlotach A oraz B z maksymalną wartością 3072 pojazdów na godzinę w poniedziałek.



Rys. 4. Zestawienie wartości natężenia potoku ruchu na jezdni

Przepustowość wyjściowa wlotów ronda

Maksymalna liczba pojazdów mogąca wjechać z wybranego wlotu ronda na jego jezdnię w okresie badawczym trwającym jedną godzinę definiowana jest jako przepustowość wyjściowa ronda.

a) Przepustowość wyjściowa wlotów ronda (11):

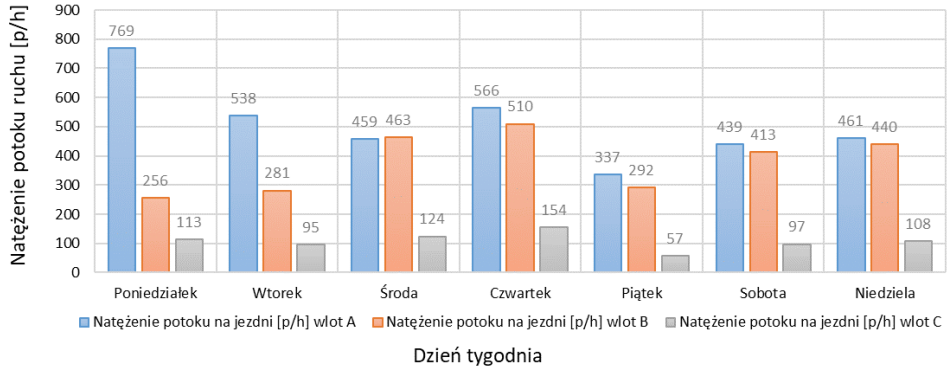
$$C_{owl} = \frac{Q_{nwl} \cdot \exp\left(-0,85 \cdot \frac{Q_{nwl} \cdot t_g}{3600}\right)}{1 - \exp\left(-0,5 \cdot \frac{Q_{nwl} \cdot t_f}{3600}\right)} \left[ \frac{E}{h} \right] \text{ dla } Q_{nwl} > 0 \text{ P/h} \quad (11)$$

gdzie:

- $Q_{nwl}$  – natężenie ruchu na jezdni ronda przy wlocie wl (p/h),
- $t_g$  – graniczny odstęp czasu (s),
- $t_f$  – odstęp czasu między pojazdami opuszczającymi kolejkę na wlocie (s).

Na podstawie instrukcji GDDKiA dobrano graniczny odstęp czasu równy 3,9 sekundy oraz odstęp czasu pomiędzy pojazdami opuszczającymi kolejkę na wlocie przy założeniu

wystąpienia dużej luki czasu w potoku na jezdnię ronda równą 2,9 sekundy. Wymienione wartości posłużyły do obliczenia wielkości poszczególnych przepustowości wyjściowych każdego z punktów obliczeniowych przedstawionych na rysunku 5.



Rys. 5. Zestawienie wyników przepustowości wyjściowej wlotów skrzyżowania

Zauważono, że przepustowość wyjściowa wlotu A przyjmuje największe wartości natężenia potoku ruchu z maksimum równym 769 pojazdów na godzinę odnotowanym dla poniedziałku, natomiast najniższymi wartościami charakteryzował się wlot C. W dniach od niedzieli do środy wartości dla wlotów A i B były zbliżone i były znacznie przewyższają wyższe niż w przypadku wlotu C.

#### Przepustowość możliwych wlotów ronda

Przepustowość możliwych wlotów ronda wyliczono po przyjęciu i obliczeniu wartości współczynnika korygującego (tabela 7) oraz współczynnika rodzajowego (tabela 8).

Tabela 7. Współczynniki korygujące

Dzień tygodnia	współczynnik korygujący dla 200 (Ps/h)		
	wlot A	wlot B	wlot C
Poniedziałek	0,93	0,87	0,87
Wtorek	0,91	0,88	0,86
Środa	0,90	0,91	0,87
Czwartek	0,91	0,91	0,87
Piątek	0,87	0,87	0,86
Sobota	0,90	0,90	0,86
Niedziela	0,90	0,91	0,87

Tabela 8. Współczynniki rodzajowe

Dzień tygodnia	Współczynnik rodzajowy		
	wlot A	wlot B	wlot C
Poniedziałek	0,98	0,99	0,95
Wtorek	0,98	0,97	0,97
Środa	0,99	0,99	0,95
Czwartek	0,99	0,99	0,92
Piątek	0,99	0,98	0,95
Sobota	0,99	1,00	0,94
Niedziela	0,99	0,99	0,93

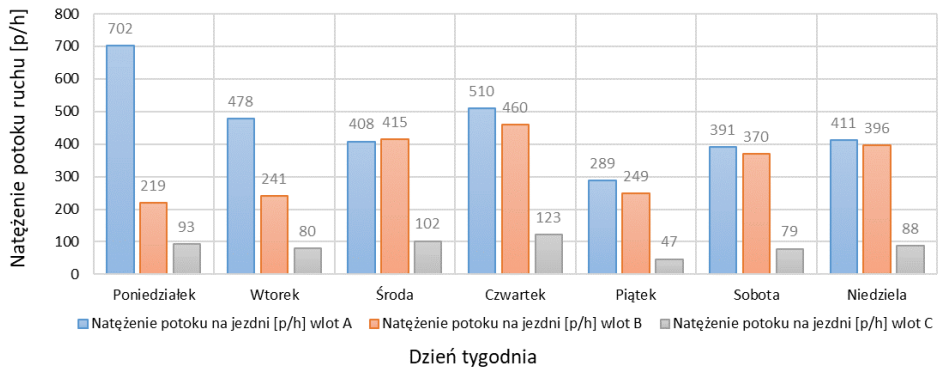
Następnie wyliczono przepustowość możliwą wlotu ronda (12):

$$C_{mwl} = C_{owl} \cdot f_p \cdot f_c \left(\frac{p}{h}\right) \quad (12)$$

gdzie:

- $C_{mwl}$  – przepustowość możliwa wlotu ronda,
- $C_{owl}$  – przepustowość wyjściowa wlotu ronda (p/h),
- $f_p$  – współczynnik korygujący dla blokowania pojazdów przez pieszych,
- $f_c$  – współczynnik uwzględniający strukturę rodzajową.

Odnotowano, że wartości przepustowości możliwych wlotów ronda są zbliżone do wielkości wyjściowych przepustowości wlotów (rys. 6). Proporcja wykazuje najwyższą przepustowość dla wlotu A, który charakteryzuje się wyższą płynnością ruchu w badanym przekroju drogi. Najniższą wartość wynoszącą 47 pojazdów na godzinę odnotowano dla wlotu C.



Rys. 6. Zestawienie wyników przepustowości możliwej wlotów skrzyżowania

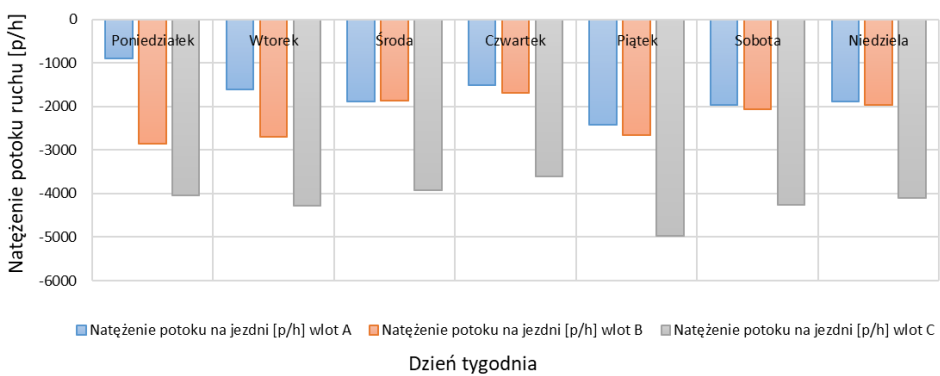
Wielkością pozwalającą na określenie całkowitej liczby pojazdów, o które można zwiększyć natężenie ruchu pojazdów nie powodując konieczności powiększenia straty czasu spędzonej w kolejce oczekiwania przed wjazdem na skrzyżowanie jest rezerwa przepustowości możliwej wlotu ronda opisana wzorem (13).

$$\Delta C_{mwl} = C_{mwl} - Q_{wl} \left( \frac{p}{h} \right) \quad (13)$$

gdzie:

- $C_{mwl}$  – przepustowość możliwa wlotu (p/h)
- $Q_{wl}$  – obliczeniowe natężenie ruchu na wlocie (p/h)

Wartości otrzymane przy wykorzystaniu równania 13 przedstawiono na rysunku 7. Wartości ujemne świadczą o niewystarczającej przepustowości skrzyżowania względem natężenia ruchu danego strumienia na wlocie.



Rys. 7. Zestawienie rezerwy przepustowości możliwej wlotów skrzyżowania

Charakter otrzymanych wielkości związany jest ze zbyt nadmiernym obciążeniem ruchem skrzyżowania okrężnego, osiągając nawet 4964 pojazdy na godzinę powyżej dopuszczalnej przepustowości w punkcie obliczeniowym C w piątek. Żadna z wymienionych wartości, nie spełnia wymogów przepustowości.

#### Miarodajna długość kolejki na wlocie ronda oraz długość kolejki

Każdy z wlotów charakteryzuje się zróżnicowanymi warunkami pod względem przepustowości możliwej oraz jej rezerwy (tabela 8 oraz 9). Najlepszymi warunkami charakteryzował się wlot A osiągając najwyższe wartości przepustowości, natomiast najgorzej wypadł wlot C posiadając znikome wartości przepustowości. Zaobserwowano, że poziom swobody ruchu w relacjach centrum – prosto oraz Wieliczka – prosto były wyższe niż w relacjach skrętnych Nowosądecka – w lewo oraz Nowosądecka – w prawo. Miarodajną długość kolejki oblicza się kolejno za pomocą równań 14, 15 oraz 16.

$$K_A^m = \frac{C_{mwl}}{4} \cdot t_a \cdot \left[ \left( \frac{Q_{wl}}{C_{mwl}} - 1 \right) + \sqrt{\left( \frac{Q_{wl}}{C_{mwl}} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot Q_{wl}}{C_{mwl} \cdot C_{mwl} \cdot 150 \cdot t_a}} \right] \quad (14)$$

gdzie:

$C_{mwl}$  – przepustowość możliwa wlotu (p/h)

$Q_{wl}$  – obliczeniowe natężenie wlotu (p/h)

$t_a$  – okres analizy (h)

$$L_k = K_{wl}^m \cdot l_p \quad (m) \quad (15)$$

$$L_p = l_l + u_c \cdot (l_c - l_l) \quad (m) \quad (16)$$

gdzie:

$u_c$  – udział pojazdów ciężkich w natężeniu analizowanej relacji podporządkowanej

$l_c, l_l$  – średnia długość w kolejce pojazdu lekkiego i ciężkiego (można przyjmować

$l_l = 6,2$  (m))

$l_c = 13$  (m))

W tabelach 8, 9 oraz 10 przedstawiono zestawienie wyników dla poszczególnych wlotów skrzyżowania. Otrzymane wartości przepustowości oraz ujemne wartości rezerwy przepustowości wskazują na długie kolejki oczekiwania do wjazdu na skrzyżowanie, w związku z czym każdy z wlotów charakteryzuje się czwartym, czyli najgorszym poziomem swobody ruchu.

Tabela 9. Charakterystyka wlotu A

Wlot A	$C_{mwl} \left[ \frac{p}{h} \right]$	$\Delta C_{mwl} \left[ \frac{p}{h} \right]$	$d_{wl} \left[ \frac{s}{p} \right]$	PSR	$K_{wl}^m [p]$	$L_k [m]$
Poniedziałek	702	-903	>50	4	228	1439
Wtorek	478	-1606	>50	4	403	2553
Środa	408	-1890	>50	4	474	2968
Czwartek	510	-1508	>50	4	379	2370
Piątek	289	-2419	>50	4	606	3803
Sobota	391	-1964	>50	4	493	3086
Niedziela	411	-1880	>50	4	472	2947

Tabela 10. Charakterystyka wlotu B

Wlot B	$C_{mwl} \left[ \frac{p}{h} \right]$	$\Delta C_{mwl} \left[ \frac{p}{h} \right]$	$d_{wl} \left[ \frac{s}{p} \right]$	PSR	$K_{wl}^m [p]$	$L_k [m]$
Poniedziałek	219	-2853	>50	4	715	4483
Wtorek	241	-2706	>50	4	678	4295
Środa	415	-1870	>50	4	469	2942
Czwartek	460	-1697	>50	4	426	2660
Piątek	249	-2650	>50	4	664	4177
Sobota	370	-2068	>50	4	519	3230
Niedziela	396	-1958	>50	4	491	3072

Tabela 11. Charakterystyka wlotu C

Wlot C	$C_{mwl} \left[ \frac{p}{h} \right]$	$\Delta C_{mwl} \left[ \frac{p}{h} \right]$	$d_{wl} \left[ \frac{s}{p} \right]$	PSR	$K_{wl}^m [p]$	$L_k [m]$
Poniedziałek	93	-4048	>50	4	1014	6567
Wtorek	80	-4277	>50	4	1071	6790
Środa	102	-3919	>50	4	981	6345
Czwartek	123	-3612	>50	4	905	6000
Piątek	47	-4964	>50	4	1243	8073
Sobota	79	-4250	>50	4	1064	6972
Niedziela	88	-4103	>50	4	1027	6770

### Porównanie aktualnych wyników z symulacją

W tabeli 12 przedstawiono średnie wartości przepustowości dla symulacyjnych wlotów ronda A, B oraz C oraz średnie natężenie ruchu pojazdów odnotowane w warunkach rzeczywistych.

Tabela 12. Zestawienie przepustowości ronda ze średnim natężeniem ruchu

Punkt	Przepustowość (P/h)	Średnie natężenie ruchu (P/h)
A	510	2327
B	379	1928
C	107	266

Przepustowości wyjściowe trzech doświadczalnie przyjętych wlotów ronda przy założeniu średniego natężenia ruchu pozwoliły na obliczenie stopnia wykorzystania przepustowości każdego z nich (tab. 13).



Tabela 13. Stopień wykorzystania przepustowości ronda

Wlot ronda	Stopień wykorzystania przepustowości
A	4,56
B	5,09
C	2,49

W tabeli 14 przedstawiono charakterystykę porównawczą dwóch rodzajów skrzyżowań z uwzględnieniem stopnia wykorzystania przepustowości każdego z punktów obliczeniowych istniejącego skrzyżowania odpowiadających symulacyjnym wlotom ronda przy założeniu tych samych wartości natężenia ruchu na każdej ze zmierzonych relacji. Pogorszenie przepustowości zostało odnotowane kolejno 1,68 dla punktu A, 2,41 dla punktu B oraz aż 5,5 krotności początkowej wartości dla punktu C.

Tabela 14. Stopień wykorzystania przepustowości dwóch rodzajów skrzyżowań

Punkt pomiarowy	Stopień wykorzystania przepustowości skrzyżowania	Stopień wykorzystania przepustowości ronda	Pogorszenie
A	2,72	4,56	1,68
B	2,11	5,09	2,41
C	0,45	2,49	5,50

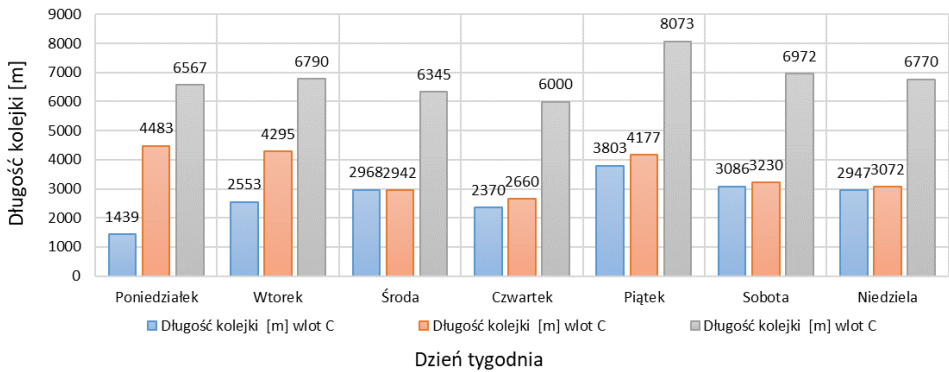
### Analiza wyników

Przedstawione w tabeli 15 wyniki otrzymane na podstawie bezpośrednich pomiarów natężenia ruchu na skrzyżowaniu trzech dróg wielojezdniowych oraz przeprowadzonej symulacji ruchu na skrzyżowaniu o ruchu okrężnym wykazują znaczne pogorszenie stopnia wykorzystania przepustowości w przypadku przebudowy istniejącej infrastruktury drogowej. Pogorszenie to wynosiło kolejno: dla punktu A o 347 pojazdów na godzinę, dla punktu B o 534 pojazdy na godzinę oraz dla punktu C o 266 pojazdów na godzinę.

Tabela 15. Zestawienie przepustowości dwóch rodzajów rond względem średniego natężenia ruchu

Punkt	Przepustowość skrzyżowania (P/h)	Przepustowość ronda (P/h)	Średnie natężenie ruchu (P/h)
A	857	510	2327
B	913	379	1928
C	588	107	266

Kolejka pojazdów przyjmowała maksymalną długość 8073 metrów (rys. 8) dla wlotu C po uwzględnieniu istnienia dwóch pasów ruchu na wlocie.



Rys. 8. Długość kolejki oczekiwania na poszczególnych wlotach wyrażona w metrach

## Podsumowanie

Przebudowa istniejącego skrzyżowania przyczyniłaby się do znacznego pogorszenia jego aktualnej przepustowości. Wiązałoby się to ze znacznym wzrostem czasu oczekiwania na przejazd przez skrzyżowanie oraz wydłużeniem samej kolejki oczekiwania na wjazd do absurdalnych wartości przyjmujących średnią długość 4359 metrów dla trzech wlotów. Pomimo zmierzonego średniego natężenia ruchu w punkcie obliczeniowym A oraz B przekraczającego przepustowość ponad dwukrotnie, ciągłość ruchu strumieni poszczególnych relacji zwłaszcza w kierunku prosto jest zachowana ze względu na charakter oraz usytuowanie skrzyżowania. Dla punktu obliczeniowego C w przypadku istniejącego skrzyżowania przepustowość osiąga wartość wystarczającą do całkowicie bezproblemowego poruszania się pojazdów w relacjach skrzyżunkowych. Przepustowość w punkcie A po zmianie rodzaju skrzyżowania maleje o 347, w punkcie B o 534 oraz w punkcie C o 481 pojazdów na godzinę. Przy średnich natężeniach ruchu wynikających z bezpośrednich pomiarów na poziomach kolejno 2327, 1928 oraz 266 pojazdów na godzinę żaden z punktów nie spełni wymagań minimalnej przepustowości. W związku z tym zmiana rodzaju skrzyżowania odniosłaby negatywny skutek na zachowanie płynności strumieni ruchu zwłaszcza relacji ulic Kamińskiego oraz Wielicka. Przeprowadzona symulacja ruchu wykazała również ujemną rezerwę przepustowości w każdym z analizowanych przypadków, co oznacza nadwyżkę natężenia ruchu względem przepustowości skrzyżowania, co z kolei przełożyłoby się na wzrost opóźnień startu pojazdów spowodowanego naturalnym zachowaniem kierowców oraz większą liczbą pojazdów oczekujących w kolejce.

## Bibliografia

- Bąk, R., Chodur, J., Gaca, S., Kieć, M., Ostrowski, K.: Wzorce i standardy WRD-31-1 Wytczne projektowania skrzyżowań drogowych. Wymagania podstawowe, Ministerstwo Infrastruktury Departament Dróg Publicznych, Warszawa, 2020.
- Gondek, S., Ostrowski, K.: Metoda obliczania przepustowości dróg dwupasowych dwukierunkowych – stan obecny. Autobusy – Organizacja i zarządzanie, 2017.
- Kozłowski, R., Jabłoński, J., Błoch, Ż.: Eliminowanie przyczyn wypadków i kolizji w obszarze infrastruktury transportowej logistyki miejskiej na przykładzie Łodzi, 2016.
- Macioszek, E.: Graniczny odstęp czasu jako jeden z parametrów procesu decyzyjnego w obsłudze pojazdów z wlotów rond, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej, 2009.
- Macioszek, E.: Graniczny odstęp czasu jako jeden z parametrów procesu decyzyjnego w obsłudze pojazdów z wlotów rond, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej, 2009.
- Mądziel M.: Potrzeby transportowe w odniesieniu do systemów komunikacji miejskiej, 2016.
- Szarata A.: Badania zachowani komunikacyjnych mieszkańców Krakowskiego Obszaru Metropolitarne Zadanie 2 - Raport końcowy z badań ankietowych wraz z syntezą wyników i szczegółowymi wnioskami, Kraków, 2014.
- Szymczak, M.: Logistyka miejska, Wydawnictwo AE w Poznaniu, Poznań. 2008.  
<https://www.gov.pl/web/gddkia/generalny-pomiar-ruchu-20202021>.

Adres do korespondencji: *pawel.kielbasa@urk.edu.pl*

ORCID: Paweł Kielbasa 0000-0003-0249-8626,  
ORCID: Mirosław Zagórda 0000-0002-4514-1048

# LOGISTYKA USŁUG DLA GOSPODARSTW ROLNYCH Z TERENU POWIATU LEŻAJSKIEGO

Zbigniew Kowalczyk<sup>1</sup>, Dariusz Kwaśniewski<sup>1</sup>, Athanasios Patropoulos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie,

<sup>2</sup> Special Vocational Junior and High School of Messolonghi, Cyprus Street 86, Messolonghi

## Wprowadzenie

Usługa jest dowolnym działaniem, jakie jedna strona może zaoferować innej, a działanie to może być (ale nie musi) związane z produktem fizycznym. Zaliczane do trzeciego sektora gospodarki usługi, obejmują wszelkie czynności świadczone na rzecz jednostek gospodarczych prowadzących działalność o charakterze produkcyjnym, nie tworząc bezpośrednio dóbr materialnych, tzn. usługi dla celów produkcji. Poza tym usługi dotyczą wszelkich czynności świadczonych na rzecz jednostek gospodarki narodowej oraz na rzecz ludności przeznaczonych dla celów konsumpcji indywidualnej, zbiorowej i ogólnospołecznej<sup>1</sup>. Usługi są kluczowe dla rozwoju innowacyjności, wytwarzania dóbr, a także dla zapewnienia konkurencyjności państwa w skali globalnej<sup>2,3</sup>.

W Polsce rolnictwo stanowi dominującą siłą napędową rozwoju obszarów wiejskich, przyczyniając się do kształtowania bezpieczeństwa żywnościowego i środowiskowego oraz stabilności społeczno-gospodarczej w Polsce<sup>4</sup>. Żeby jednak taką rolę odgrywało, niezbędne jest zapewnienie właściwej infrastruktury i otoczenia rynkowego, w tym rynku usług dla rolnictwa. Część obowiązków w tej materii spada na gminy działające na obszarach wiejskich – są one odpowiedzialne za zapewnienie dostępu do podstawowych usług publicznych (edu-

---

<sup>1</sup> Kowalczyk Z., Malaga-Toboła U., Kwaśniewski D., Grotkiewicz K., Tabor S.: Logistyczne aspekty wybranych usług komunalnych. Transport i logistyka w dobie inżynierii mechanicznej. Monografia pod redakcją prof. dr hab. Macieja Kubonia. Kraków, 2020.

<sup>2</sup> Wilk I., Bieńko D.: Znaczenie sektora usług w polsce i na świecie. Організаційний комітет, 24, 2023.

<sup>3</sup> Kłosowski F.: Podstawy geografii usług. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Wrocław, 2021.

<sup>4</sup> Zolotnytska Y.: Rola rodzinnych gospodarstw rolnych w rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich w Polsce: stan i perspektywy. Kwartalnik Nauk o Przedsiębiorstwie, 58(1), 43-58, 2021.

kacja, pomoc społeczna, usługi komunalne, transport), a do ich zadań należy również utrzymanie, modernizacja i rozwój infrastruktury komunalnej i dróg lokalnych<sup>5</sup>. Organizacja innych usług jest realizowana poprzez różnego rodzaju podmioty funkcjonujące w terenach wiejskich. Wg Kołodziejczak<sup>6</sup> w rolnictwie wykorzystywane są trzy główne grupy usług: usługi weterynaryjne (związane z produkcją zwierzęcą); usługi rolnicze (związane z produkcją roślinną) i usługi finansowe odnoszące się do całego spektrum działalności gospodarstwa.

Gospodarstwa rolne w celu prowadzenia produkcji korzystają jednak z szerszego spektrum usług do których można zaliczyć m. in.:

- usługi sprzedaży środków produkcji,
- usługi mechanizacyjne,
- usługi naprawy sprzętu rolniczego,
- usługi remontowe obiektów budowlanych,
- usługi weterynaryjne,
- usługi finansowe,
- usługi doradztwa,
- usługi komunalne itp.

Jednym z najpowszechniejszych rodzajów usług dla gospodarstw rolniczych są usługi handlowe, a więc sprzedaży środków produkcji ale również płodów rolnych wyprodukowanych w gospodarstwie. Zwłaszcza do organizacji zbytu płodów na rynku polskim można mieć dużo zastrzeżeń. Prawidłowe funkcjonowanie rynków zbytu odgrywa kluczową rolę w zapewnianiu stabilności i wzrostu sektora rolniczego, umożliwiając rolnikom skoncentrowanie się na produkcji wysokiej jakości produktów, podczas gdy profesjonalści ds. handlu powinni zająć się aspektami związanymi z ich dystrybucją. Łańcuch dostaw w rolnictwie można zdefiniować jako „współdziałający w różnych obszarach funkcjonalnych producenci rolni, firmy pośredniczące (handlowe), przedsiębiorstwa przetwórcze, produkcyjne, usługowe oraz ich klienci, między którymi przepływają strumienie produktów rolno-żywnościowych, informacji i środków finansowych”<sup>7</sup>. Jednym z rodzajów łańcuchów dostaw, które zasługują na szczególną uwagę, są krótkie łańcuchy dostaw, odgrywające istotną rolę w sektorze rolno-spożywczym. To właśnie w tym sektorze szybkie dotarcie produktu do ostatecznego klienta dzięki krótkiemu łańcuchowi jest często kwestią najważniejszą. Z jednej strony bowiem zapewnia zaspokojenie potrzeb i oczekiwań klientów w odniesieniu do określonych produktów, z drugiej natomiast umożliwia osiąganie wymiernych korzyści przez producentów i dostawców tych produktów<sup>7</sup>. Łańcuchy logistyczne muszą być bardzo elastyczne, dostosowując się do wyzwań rynków krajowych i zagranicznych, sprawnie zarządzane i cieszyć się zaufaniem podmiotów korzystających<sup>8</sup>.

---

<sup>5</sup> Misiąg J., Misiąg W., Palimąka K., Rodzinka J., Skica T.: *Rozwój obszarów wiejskich oraz rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie, 2020.

<sup>6</sup> Kołodziejczak M.: *Use of agricultural services in European Union regions-a typological analysis*. *Annals of The Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists*, 22(1), 159-169, 2020.

<sup>7</sup> Matwiejczuk R., Thuczak A.: *Wpływ koncepcji logistyki na rozwój krótkich łańcuchów dostaw w sektorze rolno-spożywczym*. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, 2020.

<sup>8</sup> Klepacki B., Perkowska A.: *Organizacja żywnościowych łańcuchów dostaw przy produkcji rozproszonej na przykładzie sektora warzyw w Polsce*. *Roczniki naukowe stowarzyszenia ekonomistów rolnictwa i agrobiznesu*, 22(1), 149-158, 2020.

Aby sprostać zmieniającym się warunkom gospodarowania, w rolnictwie zachodzi bowiem konieczność wykorzystywania w gospodarstwach rolnych najnowszych osiągnięć technicznych, technologicznych i organizacyjnych. Procesy modernizacji gospodarstw rolnych, w tym zakup i remont maszyn i urządzeń, wiążą się jednak z koniecznością zaangażowania znacznych środków finansowych, których rolnicy często nie mają. Pewnym rozwiązaniem tego problemu jest korzystanie z usług mechanizacyjnych. Usługi mechanizacyjne odgrywają kluczową rolę w rolnictwie, umożliwiając rolnikom korzystanie z nowoczesnego sprzętu i maszyn rolniczych bez konieczności ich zakupu, co w sytuacji bardzo rozdrobnionego polskiego rolnictwa jest wyjątkowo ważne. Umożliwiają one wprowadzanie postępu technicznego do gospodarstw, oszczędność czasu i zwiększenie produkcji rolnej. Najpowszechniejszymi usługami mechanizacyjnymi w Polsce są usługi związane ze zbiorem plodów rolnych, siewem nasion, zbiorem słomy. Usługi mechanizacyjne na wsi są często świadczone przez wyspecjalizowane przedsiębiorstwa zajmujące się mechanizacją rolnictwa, które posiadają nowoczesny, specjalistyczny sprzęt rolniczy. Oprócz tego, często także lokalni rolnicy świadczą usługi mechanizacyjne na potrzeby innych gospodarstw w okolicy. Są to zazwyczaj osoby, które posiadają odpowiednią wiedzę i umiejętności obsługi maszyn rolniczych oraz dysponują własnym sprzętem. Zdarza się, że usługi takie są świadczone w formie bezgotówkowej, na zasadzie wzajemności, a więc usługa za usługę.

Z mechanizacją produkcji wiążą się również usługi naprawcze sprzętu rolniczego. Umożliwiają one utrzymanie parku maszynowego w dobrej kondycji, co przekłada się na efektywność produkcji, minimalizację przestojów oraz przedłużenie żywotności maszyn rolniczych. Dzięki tym usługom rolnicy mogą skoncentrować się na produkcji, mając pewność, że ich sprzęt jest w odpowiednim stanie do pracy. Przeglądy i naprawy sprzętu maszynowego są często wykonywane przez autoryzowane serwisy powiązane z firmami zajmującymi się sprzedażą maszyn rolniczych. W terenach wiejskich występują też lokalne specjalistyczne warsztaty mechaniczne, które specjalizują się w naprawie maszyn rolniczych. Mogą to być małe lokalne firmy lub większe przedsiębiorstwa. Poza tym usługami naprawczymi maszyn i narzędzi rolniczych zajmują się często rolnicy posiadający odpowiednie zaplecze warsztatowe oraz firmy, które świadczą różnego rodzaju usługi mechanizacyjne.

Nie mniej istotne od usług naprawczych są usługi remontowe obiektów budowlanych, które są niezwykle ważne zarówno dla rolnictwa, jak i dla społeczności wiejskich. Wiele gospodarstw rolnych posiada budynki, takie jak obory, magazyny, stajnie czy domy mieszkalne, które wymagają regularnych prac konserwacyjnych, naprawczych lub modernizacyjnych. Usługi remontowe obiektów budowlanych o charakterze rolniczym wykonywane są głównie przez lokalne firmy budowlane zajmujące się ogólnie pracami budowlanymi.

W przypadku prowadzenia produkcji zwierzęcej, olbrzymie znaczenie mają usługi weterynaryjne, które są niezbędne zarówno dla zdrowia i dobrostanu zwierząt gospodarskich, a także dla produkcji bezpiecznej żywności. Weterynarze pomagają w profilaktyce, diagnostyce, leczeniu chorób zwierząt, co ma istotne znaczenie dla produkcji żywności i zdrowia publicznego. Dzięki regularnym wizytom weterynaryjnym oraz właściwej opiece nad zwierzętami, rolnicy mogą utrzymać swoje stada w dobrej kondycji, co przekłada się na efektywność produkcji oraz bezpieczeństwo żywności dla konsumentów.

Usługi finansowe odgrywają kluczową rolę w rozwoju rolnictwa, umożliwiając rolnikom dostęp do kapitału, zarządzanie budżetem, zabezpieczenie przed ryzykiem finansowym i rozwijanie swojego biznesu. Rolnicy podejmują decyzje finansowe (w tym wybory inwesty-

cyjne) i jak każde inne podmioty funkcjonujące w gospodarce, korzystają z usług finansowych<sup>9</sup>. Instrumenty finansowania działalności rolniczej bieżącej i inwestycji są stosunkowo mało zróżnicowane. Wg Daniłowskiej<sup>10</sup>, najczęściej wykorzystywane to kredyty, oprócz nich wykorzystuje się leasing, a w przedsiębiorstwach w formie spółek udziały lub akcje. Rolnicy często potrzebują kapitału na zakup nowego sprzętu, nieruchomości, nasion czy nawozów. Banki, kasy spółdzielcze oraz instytucje kredytowe oferują różnego rodzaju kredyty i pożyczki rolnicze. Właściciele gospodarstw rolnych otwierają rachunki bankowe do zarządzania płatnościami, zarówno przychodami, jak i wydatkami. Korzystają również z usług bankowych, takich jak przekazy pieniężne czy usługi płatnicze online. Nie mniej istotne są usługi ubezpieczeniowe gospodarstw przed różnym ryzykiem, takim jak klęski żywiołowe, choroby zwierząt, awarie maszyn czy utraty plonów. Firmy ubezpieczeniowe oferują polisy ubezpieczeniowe dla rolników. Rolnicy czasami korzystają również z usług leasingu sprzętu rolniczego, co pozwala im korzystać z potrzebnych maszyn bez konieczności ich zakupu na własność, a więc angażowania znacznych środków finansowych.

Doradztwo rolnicze obejmuje szeroki zakres usług, począwszy od porad dotyczących wyboru odpowiednich nasion, nawozów i pestycydów, po planowanie upraw, techniki siewu i sadzenia, nawadniania oraz optymalizację plonów. Doradcy rolniczy pomagają rolnikom w podejmowaniu decyzji opartych na najnowszych badaniach naukowych i trendach rynkowych. Doradztwo, jako usługa, ma pomóc prowadzącemu gospodarstwo rolne w rozwiązaniu problemów ograniczających jego działalność i zmniejszających efektywność, których nie może on rozwiązać za pomocą swoich dotychczasowych wiadomości, umiejętności, przyzwyczajęń i postaw<sup>11</sup>. Działania „Transfer wiedzy” oraz „Usługi doradcze” nastawione są na szkolenia i doradztwo w zakresie rolnictwa i leśnictwa. Rolnicy mogą otrzymać dofinansowanie na kursy i szkolenia zawodowe, działanie informacyjne oraz zewnętrzne usługi doradcze.

Również usługi komunalne są fundamentem dla zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich, zapewniając mieszkańcom i rolnikom infrastrukturę oraz dostęp do niezbędnych mediów, co przyczynia się do poprawy jakości życia i efektywności produkcji rolniczej. Produkcja rolnicza wiąże się z powstawaniem znacznej ilości odpadów, o różnej formie (stałej, płynnej) oraz różnym stopniu szkodliwości, które muszą być odpowiednio przetwarzane. Usługi komunalne obejmują zbiórkę i utylizację odpadów, w tym odpadów organicznych czy niebezpiecznych. Dostęp do stabilnego źródła energii elektrycznej jest kluczowy dla działania nowoczesnych gospodarstw rolnych. Energię wykorzystuje się do zasilania maszyn rolniczych, systemów nawadniających, oświetlenia oraz napędu innych urządzeń. Podobnie jest jeśli chodzi o dostęp do wody, która jest niezbędna do prowadzenia produkcji rolniczej. Bardzo istotne są również usługi pożarnicze. Na obszarach wiejskich zagrożenie pożarami może być większe, dlatego istnienie zabezpieczeń przeciwpożarowych oraz odpowiednio wyposażonych służb ratowniczych jest kluczowe. Usługi komunalne są często świadczone przez samorządy lokalne, firmy komunalne oraz inne instytucje publiczne. Ich dostępność i jakość

---

<sup>9</sup> Rosa A., Pawłowska A.: Preferencje rolników w zakresie korzystania z produktów bankowych. *Roczniki naukowe stowarzyszenia ekonomistów rolnictwa i agrobiznesu*, 25(1), 221-234, 2023.

<sup>10</sup> Daniłowska A.: Kredytowe wsparcie rolnictwa w okresie transformacji systemowej w Polsce. Wydawnictwo SGGW, 2021.

<sup>11</sup> Jasiński J. i in.: Ewolucja systemu doradztwa i wsparcia badawczego rolnictwa. Ciągłość i zmiana. Sto lat rozwoju polskiej wsi, 2, 1125-1159, 2019.

mają istotny wpływ na jakość życia rolników oraz na efektywność ich działalności gospodarczej.

W rolnictwie korzystanie z usług może stymulować wzrost wydajności produkcji i pod pewnymi warunkami może się przyczyniać do zrównoważonego rozwoju rolnictwa<sup>12</sup>. Niestety wśród problemów polskiego rolnictwa wskazuje się na ograniczony dostęp do niektórych rodzajów usług, w tym usług społecznych (edukacja, zdrowie), usług doradczych i szkoleń umiejętności<sup>13</sup>. Miejscowości wiejskie o zmniejszającej się populacji w miarę upływu czasu stają się mniej atrakcyjne jako miejsca lokalizacji usług podstawowych i usług publicznych (edukacja, zdrowie, administracja, infrastruktura społeczna i techniczna), co prowadzi do ich ograniczenia lub całkowitego zaniku<sup>14</sup>. Intensywność korzystania z usług poprzez rolników jest bardzo zróżnicowana i zależy od kierunku produkcji, lokalizacji, ceny usług ale i powierzchni gospodarstwa. Badania Kołodziejczaka<sup>15</sup> wykazują, że koszt korzystania z usług rolniczych na 1 ha UR był najniższy w gospodarstwach zaliczonych do typów o najniższej średniej powierzchni UR, wyższy w gospodarstwach zaliczonych do typów o wysokiej powierzchni UR. Zgodnie z nową teorią ekonomii, popyt na dobra i usługi kształtują zarówno czynniki cenowe, jak i pozacenowe<sup>16</sup>. Jakość powoli przestaje być wyróżnikiem towarów na współczesnym rynku, ale staje się niezbędnym elementem procesu konkurencji. Utrzymanie konkurencyjnej pozycji na rynku usług w logistyce wymaga zatem stałego dążenia do poprawy jakości obsługi klienta oraz innych procesów i elementów składających się na postrzeganą przez klienta wartość usługi<sup>17</sup>. Rozwój usług w sektorze rolno-ogrodniczym jako czynnik stymulujący wzrost efektywności produkcyjnej powinien w przyszłości przełożyć się na rozwój ekonomiczny nie tylko gospodarstw indywidualnych, lecz także całej gospodarki rolnej w Polsce<sup>18</sup>.

Pomimo dość powszechnego przekonania, że mierzenie jakości usług jest trudne lub wręcz niemożliwe, istnieją jednak metody, które pozwalają na skuteczny pomiar jakości usług oraz sfery niematerialnej usług (Dziadkowiec, 2006). W niniejszej pracy podjęto próbę oceny jakości usług logistycznych dla gospodarstw rolniczych na terenie powiatu leżajskiego.

---

<sup>12</sup> Kołodziejczak M.: Zmieniająca się natura usług. Studium usług produkcyjnych w rolnictwie krajów Unii Europejskiej (The changing nature of service: a case study of production services in agriculture in EU member countries). Poznań: Poznań University of Life Sciences, 2019.

<sup>13</sup> Soliwoda M., Kurdyś-Kujawska A.: Procesy adaptacyjne gospodarstw rolnych w czasach niepewności i ich determinanty, 717, Warszawa, 2022.

<sup>14</sup> Heffner K., Gibas, P.: Pozarolnicza działalność gospodarcza na obszarach wiejskich. Książka abstraktów, 8. Ciągłość i zmiana. Sto lat rozwoju polskiej wsi. T. 2, Warszawa, Instytut Rozwoju Wsi i Rolnictwa Polskiej Akademii Nauk, 1255 s., ISBN 978-83-7383-998-42019, 2019.

<sup>15</sup> Kołodziejczak M.: Use of agricultural services in European Union regions—a typological analysis. *Annals of The Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists*, 22(1), 159-169, 2020.

<sup>16</sup> Sobczak W., Olewnicki D.: Rozwój usług dla rolnictwa i ogrodnictwa w Polsce. *ANNALS OF AGRICULTURAL eCONOmICS AND RURAL deveLOpmeNT*, 73, 2013.

<sup>17</sup> Frańs J.: Wybrane instrumenty pomiaru jakości usług logistycznych. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego*, 803(6), 2014.

<sup>18</sup> Kołodziejczak M.: Znaczenie usług w rolnictwie polskim i niemieckim, „Zeszyty Naukowe SGGW, Problemy Rolnictwa Światowego” t. 10, z. 2, s. 41-48, 2011.



## Cel i zakres pracy

Celem pracy jest analiza rynku wybranych usług świadczonych na rzecz gospodarstw rolnych zlokalizowanych na terenie powiatu leżajskiego

Zakresem pracy objęto rynek konsumenta jak również rynek usługodawcy.

Szczegółową analizą objęto rynek usług:

- sprzedaży sprzętu rolniczego,
- naprawy sprzętu rolniczego,
- sprzedaży środków produkcji roślinnej,
- sprzedaży pasz,
- weterynaryjnych,
- sprzedaży paliw stałych (węgla kamiennego).

Badaniami objęto 60 gospodarstw rolnych położonych na terenie powiatu leżajskiego.

## Metodyka pracy

Badania przeprowadzono w 2022 roku i polegały one na rejestrze wybranych zdarzeń gospodarczych, co umożliwiło ustalenie m. in. ilości, zakresu, jakości oraz terminów korzystania z wybranych usług niezbędnych do prowadzenia produkcji rolniczej. Wybór gospodarstw rolniczych do badań był losowy, przy czym pomijano gospodarstwa, w których produkcja rolnicza nie stanowiła podstawowego źródła dochodów właściciela.

Pomimo trudności w określeniu parametrów charakteryzujących daną usługę, do oceny jakości usług wybrano metodę, która pozwala ocenić poziom odczuwanej satysfakcji klienta ora wskazać przez niego wprost, co jest, a co nie jest akceptowalne w danej usłudze.

Do oceny usługodawców zastosowano m. in. metodę CSI – *Customer Satisfaction Index*, która pozwala na mierzenie oraz analizę poziomu zadowolenia klienta z jego punktu widzenia i oczekiwań w stosunku do cech dla niego istotnych. Metoda ta daje możliwości uzyskania odpowiedzi w istotnych obszarach świadczonej usługi:

- jakie są oczekiwania klienta względem usługi,
- które oczekiwania odgrywają najistotniejszą rolę w odczuciu klienta,
- w jakim stopniu usługa spełnia oczekiwanie jej odbiorcy,
- które elementy usługi należy rozwijać i odwrotnie.

Metoda CSI podobnie jak Servqual opiera się na badaniach ankietowych. Pozwala zmierzyć satysfakcję klienta w zakresie ważności oraz spełnienia różnych wymagań, w tym aspektów dotyczących samej organizacji (Frąś, 2014). Wskaźnik CSI wylicza się ze wzoru:

$$CSI = \sum_{i=1}^N Wi \cdot Ci$$

gdzie:

- CSI – wynik zadowolenia klienta,
- i – kolejny numer badanego wymagania,
- N – liczba wymagań określona w analizie,
- Wi – współczynnik znaczenia wagi i-tego wymagania,
- Ci – ocena zadowolenia klienta z i-tego wymagania.

Wskaźnik CSI może być wyrażony w procentach (najczęściej stosowany) w celu maksymalnego uzyskania wyniku. W tym przypadku można posłużyć się kryteriami, które w sposób znacznie łatwiejszy w stosunku do klasycznej metody dają się zinterpretować.

Kryteria oceny wskaźnika CSI: wskaźnik 0%–40% – bardzo nisko – klient skrajnie niezadowolony, wskaźnik 40%–60% – nisko – klient niezadowolony, wskaźnik 60%–75% – średnio – pewne problemy w zadowoleniu klienta, wskaźnik 75%–90% – dobrze – nieliczne problemy w zadowoleniu klienta, wskaźnik 90%–100% – bardzo dobrze – klient zadowolony. Wartość osiągniętego indeksu CSI dla danej usługi logistycznej można także porównać z konkurencją (Fraś, 2014).

## Wyniki badań

W tabeli 1 przedstawiono ogólną charakterystykę rejonu badań, a więc powiatu Leżajskiego. Powiat leżajski leży w północno-wschodniej części województwa podkarpackiego, a pod względem geograficznym znajduje się w obrębie Doliny Dolnego Sanu, Płaskowyżu Kolbuszowskiego, Płaskowyżu Tarnogrodzkiego i Równiny Sandomierskiej. Powiat zamieszkuje około 70 tys. ludzi.

Swoim obszarem powiat obejmuje:

- miasto Leżajsk,
- miasto i gminę Nowa Sarzyna,
- gminę Grodzisko Dolne,
- gminę Kuryłówka,
- gminę Leżajsk,

Ponad 58% powierzchni powiatu zajmują użytki rolne. Liczba gospodarstw na terenie powiatu to 8762 ale ich średnia powierzchnia to zaledwie 3,87 ha, a więc prawie trzykrotnie mniej niż średnia w całej Polsce. Na terenie powiatu dominuje typowa rolnicza produkcja roślinna oraz zwierzęca, natomiast w znacznie mniejszym stopniu właściciele gospodarstw zajmują się produkcją owoców i warzyw. Powierzchnia sadów, to zaledwie 190 hektarów.

Tabela 1. Charakterystyka powiatu leżajskiego

Wyszczególnienie	Liczba
Powierzchnia ogółem (ha)	58 301
Użytki rolne (ha)	33 899
Grunty orne (ha)	24 560
Sady (ha)	190
Użytki zielone (ha)	9 149
Liczba gospodarstw (szt.)	8 762
Średnia powierzchnia gospodarstwa (ha)	3,87

W tabeli 2 przedstawiono liczbę firm w zakresie wybranych rodzajów usług świadczonych na rzecz gospodarstw rolnych z terenu powiatu leżajskiego. Generalnie, biorąc pod uwagę liczbę gospodarstw rolniczych oraz rolniczy charakter powiatu, liczba firm świadczących usługi dla gospodarstwa rolnych nie jest duża. Oczywiście dominują usługi handlowe

związane z zaopatrzeniem gospodarstw w niezbędne środki produkcji rolniczej. Sprzedaż nawozów, środków ochrony roślin, nasion, pasz oferuje aż 28 sklepów. Dużo jest również punktów sprzedaży opału (głównie węgla, koksu) – bo aż 21, przy czym należy zaznaczyć, że klientami nabywającymi paliwa stałe do ogrzewania budynków są nie tylko rolnicy ale i inni mieszkańcy powiatu, stąd duża podaż i liczba firm świadczących usługi sprzedaży i transportu opału. Stosunkowo niewiele, bo zaledwie trzy, jest firm oferujących usługi sprzedaży sprzętu rolniczego. Sprzęt maszynowy jest środkiem produkcji nabywanym relatywnie rzadziej niż środki obrotowe, zatem to przede wszystkim tłumaczy niewielką podaż tego typu usług.

Tabela 2. Firmy świadczące usługi na rzecz gospodarstw rolnych na terenie powiatu

Wyszczególnienie	Liczba (szt.)
Sprzedaż sprzętu rolniczego	3
Naprawa sprzętu rolniczego	5
Sprzedaż nawozów, nasion, środków ochrony roślin, pasz	28
Usługi weterynaryjne	9
Sprzedaż opału (węgiel kamienny)	21

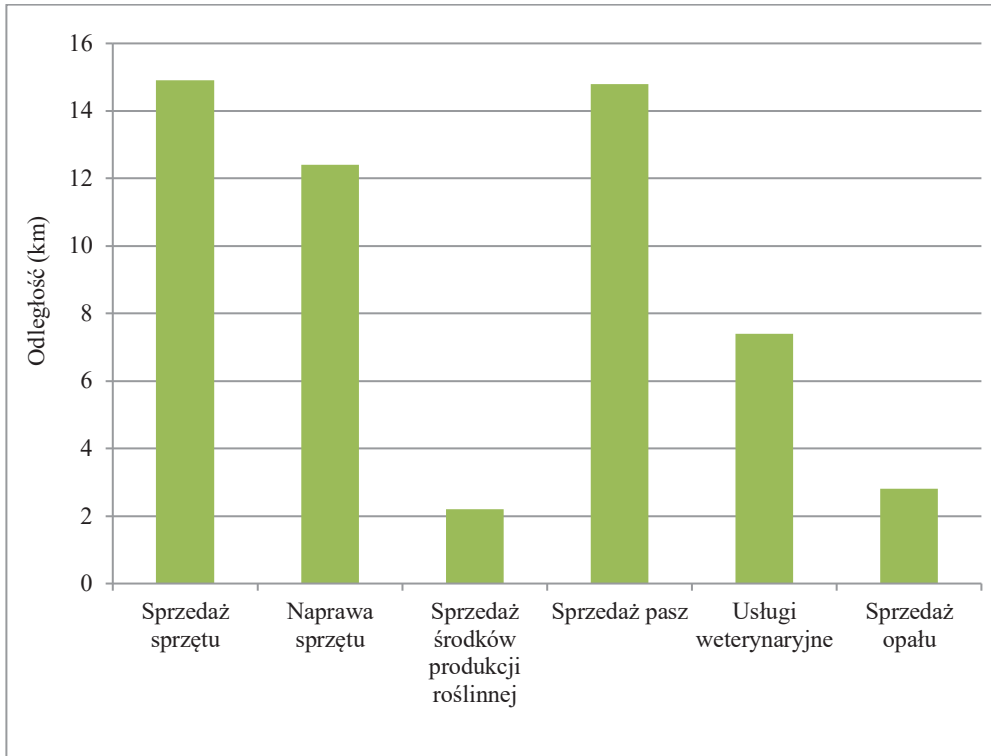
Objęte badaniami gospodarstwa były nieco większe od średniej powierzchni gospodarstw w powiecie, a ich powierzchnia wynosiła 5,28 hektara. Być może przyczyną rozbieżności były zasady doboru gospodarstw do badań. Wybór gospodarstw rolniczych był wprawdzie losowy ale pomijano gospodarstwa, w których produkcja rolnicza nie stanowiła podstawowego źródła dochodów właściciela. Największe spośród badanych gospodarstw miało powierzchnię 10,45 ha, a najmniejsze zaledwie 2,68 ha. Średnio, ponad 77% powierzchni użytków rolnych stanowiły grunty orne, a jedynie 8,1% sady. Ponad 17% powierzchni użytków rolnych zajmowały średnio użytki zielone, a więc łąki i pastwiska, co z pewnością związane było z występującymi w gospodarstwach zwierzętami inwentarskimi, których obsada wynosiła średnio 9 sztuk dużych na hektar użytków rolnych.

Tabela 3. Charakterystyka badanych gospodarstw

Wyszczególnienie	Pow. gosp. (ha)	Pow. UR (ha)	Pow. GO (ha)	Pow. UZ (ha)	Pow. sadów (ha)	Obsada inwentarza (SD/ha UR)
<b>średnio</b>	<b>5,28</b>	<b>5,04</b>	<b>3,92</b>	<b>0,86</b>	<b>0,41</b>	<b>0,9</b>
minimum	2,68	2,15	1,07	0,00	0,00	0,0
maksimum	10,45	10,28	10,12	2,72	1,86	1,9

Na rysunku 1 przedstawiono średnią odległość poszczególnych rodzajów firm usługowych od klientów korzystających z usług, a więc gospodarstw rolniczych. Analizując w/w rysunek można zauważyć, że najdalej od klientów, bo średnio około 15 km, zlokalizowane są firmy świadczące usługi sprzedaży sprzętu rolniczego oraz pasz. W przypadku sprzedaży maszyn rolniczych, jak już wcześniej wspomniano, nie jest to usługa nabywana rutynowo ale stosunkowo rzadziej niż inne usługi zakupu, stąd niewielka liczba firm usługowych, a co za

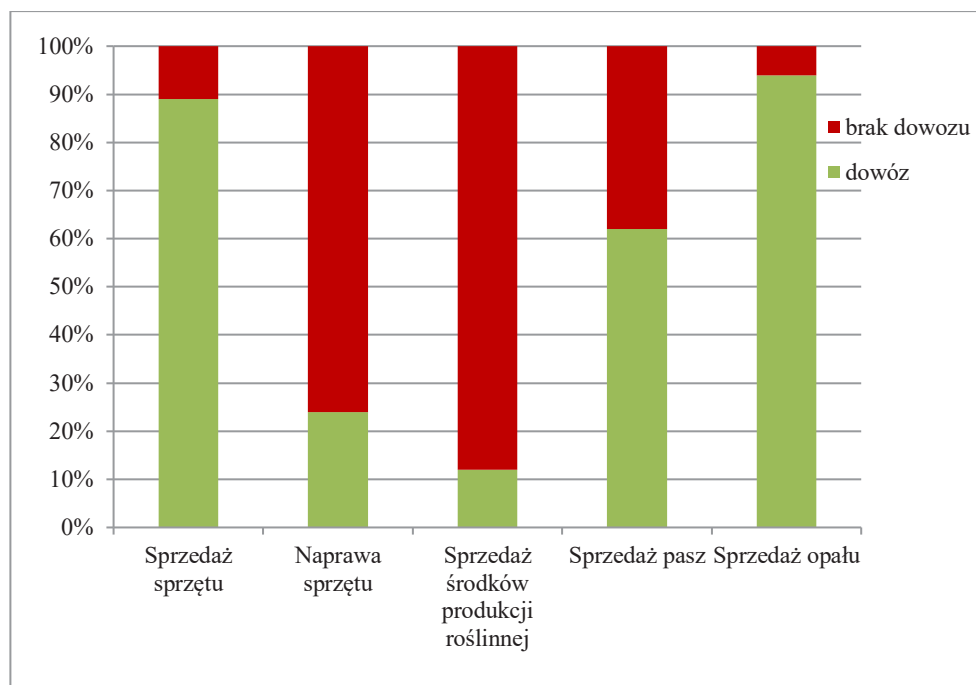
tym idzie znaczna odległość od klienta. Najbliżej, bo w odległości średnio około 2 km, zlokalizowane są punkty sprzedaży środków produkcji obrotowych, a więc nawozów, nasion, pestycydów, co z uwagi na częstotliwość zakupu tego typu towarów wydaje się być zjawiskiem pozytywnym. Odległość między gospodarstwem a firmami świadczącymi usługi odgrywa ważną rolę z wielu powodów. Krótsza odległość do firm świadczących usługi oznacza zazwyczaj większą dostępność i wygodę dla rolników. Gospodarstwa znajdujące się blisko tych firm mogą łatwiej korzystać z ich usług, co pozwala na szybsze reakcje na potrzeby gospodarstwa, np. w przypadku awarii maszyn rolniczych. Krótsza odległość oznacza niższe koszty transportu dla zarówno rolników, jak i firm świadczących usługi. Odpada konieczność pokonywania długich tras, co może przyczynić się do obniżenia kosztów usług dla rolników. Mniejsza odległość wpływa również na czas realizacji usług. Usługi mogą szybciej dotrzeć do gospodarstw rolnych, co jest kluczowe, zwłaszcza w przypadku usług, które wymagają szybkiego działania, takich jak usługi weterynaryjne, naprawcze czy ochrona roślin. Poza tym bliskość podmiotu świadczącego usług przyczynia się do zrównoważonego rozwoju, zmniejszając emisję gazów cieplarnianych związanych z transportem. Bliskość między firmami a gospodarstwami może prowadzić do silniejszych relacji biznesowych. Firma, która jest często obecna i dostępna w lokalnej społeczności, może budować zaufanie i lojalność klientów. Jednak warto zauważyć, że nie zawsze najważniejsza jest krótka odległość fizyczna. Dla niektórych specjalistycznych usług rolniczych, takich jak nowoczesne technologie monitorowania upraw czy doradztwo w zakresie zarządzania gospodarstwem, rolnicy mogą korzystać z usług firm, które oferują je zdalnie lub online, niezależnie od geograficznej odległości.



Rys. 1. Odległość firm usługowych od gospodarstwa

Zakres badań obejmował również analizę dostaw kupowanych usług do gospodarstw, co przedstawia rysunek 2. Ostateczny wybór między własnym transportem a skorzystaniem z transportu świadczonego przez firmę zależy od indywidualnych potrzeb, kosztów, terminów i preferencji rolnika. Często rolnicy dokonują analizy kosztów, terminów oraz jakości usług, zanim zdecydują, czy lepszym rozwiązaniem jest własny transport, czy korzystanie z usług firm zewnętrznych. Własny transport może być tańszy dla rolnika, szczególnie jeśli posiada własne środki transportu. Z kolei w przypadku, gdy usługodawca zapewnia transport, może on być nieodpłatny lub po preferencyjnych cenach, co może być korzystne dla rolnika. Sposób dostawy może wpływać na szybkość i terminowość usługi. Własny transport może pozwolić na szybsze dostarczenie produktów, a rolnik nie jest uzależniony od usługodawcy oraz ma większą niezależność i kontrolę nad dostawą i bezpieczeństwem transportowanych produktów. Firmy transportowe często mają zaplanowane trasy, co może wpływać na ustalone terminy dostaw. Z rysunku 2 wynika, że szczególnie firmy zajmujące się sprzedażą opału oferują możliwość transportu, niestety zazwyczaj odpłatnego. Poszerzenie oferty usługowej o transport opału podyktowane jest przede wszystkim zróżnicowanym rodzajem klientów: o ile rolnicy najczęściej dysponują odpowiednimi środkami transportowymi, to właściciele domów jednorodzinnych nie posiadających gospodarstwa rolnego już raczej nie. Spośród objętych badaniami usługodawców, najmniejszą grupę (niespełna 12%) oferującą

transport przedmiotu usługi stanowią sprzedawcy środków produkcji roślinnej, a więc nasion, pestycydów. Taki stan rzeczy wynika głównie ze stosunkowo niewielkiej masy w/w środków produkcji, co sprawia, że rolnicy dowożą zakupiony towar samodzielnie, czasami nawet z wykorzystaniem samochodów osobowych. W przypadku usługi naprawy sprzętu rolniczego rozpatrywano możliwość transportu zepsutej maszyny do warsztatu naprawczego i z powrotem.



Rys. 2. Sposób dostawy

W tabeli 4 zaprezentowano strukturę częstotliwości korzystania z usług w ciągu roku. Częstotliwość i sezonowość korzystania z usług zależy od potrzeb rolnika i specyfiki jego gospodarstwa, a więc konkretnych sezonowych wymagań, które różnią się w zależności od rodzaju prowadzonej produkcji i lokalizacji gospodarstwa. Z tabeli 4 wynika, że najbardziej kosztowne zakupy, a więc zakupy sprzętu rolniczego prowadzone były tuż przed rozpoczęciem prac wiosennych. Może to świadczyć o mądrej polityce finansowej rolników, którzy nie „zamrażają” posiadanych środków finansowych w zakup maszyn w okresie gdy nie byłyby one wykorzystywane, a więc np. przed zimą. Analogiczna sytuacja występuje w przypadku zakupu środków produkcji roślinnej. Dodatkowo, zakup większej ilości środków produkcji, niejako na zapas, wymusza konieczność organizowania powierzchni magazynowej, co dodatkowo podwyższa koszty produkcji. Nieco inaczej przedstawia się termin zakupu opału do gospodarstw, który z kolei kupowany jest najczęściej w okresie letnim, a więc wtedy

gdy teoretycznie nie jest potrzebny. Takie postępowanie podyktowane jest również względami ekonomicznymi, a mianowicie w okresie letnim opał jest zazwyczaj najtańszy. Jedyne w przypadku zakupu pasz nie odnotowano tendencji zakupowych i sezonowości, którą można w jakiś sposób wytłumaczyć.

Tabela 4. Okres korzystania z usług (%)

Miesiące	Sprzedaż sprzętu	Naprawa sprzętu	Sprzedaż środków produkcji roślinnej	Sprzedaż pasz	Usługi weterynaryjne	Sprzedaż opału
I	7	5	4	11	9	5
II	17	11	7	9	11	3
III	21	8	21	10	6	2
IV	14	7	18	9	10	1
V	11	9	12	10	8	4
VI	5	10	9	7	7	11
VII	3	12	7	5	10	21
VIII	4	7	5	6	8	17
IX	7	9	8	8	6	18
X	2	8	3	7	7	10
XI	3	12	4	9	10	5
XII	6	2	2	9	8	3
	100	100	100	100	100	100

Objętych badaniami rolników zapytano także o czynniki, które biorą pod uwagę decydując się o wyborze firmy usługowej. Ostateczny wybór firmy usługowej zależy od specyfiki potrzeb, budżetu oraz czynników indywidualnych, które są najważniejsze dla konkretnego rolnika. Rolnicy starają się znaleźć równowagę między tymi czynnikami, aby wybrać usługodawcę, który sprostą ich oczekiwaniom i pomoże w osiągnięciu ich celów.

W tabeli 10 wyszczególniono 10 czynników rozpatrywanych przez rolników. Analizując w/w tabelę można zauważyć, że najistotniejszym czynnikiem decydującym o wyborze usługodawcy w przypadku 4 z 6 wybranych do badań usług jest cena. Jedyne w przypadku usług weterynaryjnych rolnicy bardziej stawiają na fachowość usługi, a w przypadku zakupu opału – na jego jakość. Zdecydowanie najmniej istotną kwestią z punktu widzenia usługobiorców jest kontakt z usługodawcą oraz empatia usługodawcy. Pierwszą z kwestii można wytłumaczyć relatywnie niewielkimi odległościami oraz specyfiką wiejskiego terenu, a więc niezbyt dużą gęstością zaludnienia, co sprawia, że wyszukiwanie firm usługowych, nawiązywanie i kontynuacja współpracy nie jest trudna.

Coraz więcej współczesnych rolników zwraca również uwagę na to, czy firma usługowa posiada odpowiednio ubezpieczenia oraz oferuje gwarancje na świadczone usługi. Innym coraz częściej brany pod uwagę aspekt przez rolników – usługobiorców są również praktyki ekologiczne i zrównoważony rozwój. Firmy świadczące usługi, które dbają o środowisko naturalne, mogą być preferowane.

Tabela 5. Czynniki decydujące o wyborze firmy usługowej

Wyszczególnienie	Sprzedaż sprzętu	Naprawa sprzętu	Sprzedaż środków produkcji roślinnej	Sprzedaż pasz	Usługi weterynaryjne	Sprzedaż opału
Terminowość	10	20	5	5	30	5
Cena	35	30	30	30	15	30
Dostępność	5	10	15	5	10	10
Fachowość	10	30	5	5	35	-
Zwłoka płatności	10	-	5	10	-	5
Raty	10	-	-	-	-	-
Jakość materiałów	-	-	15	20	-	35
Kontakt	5	5	5	5	5	5
Empatia	5	5	5	5	5	5
Asortyment	10	-	15	15	-	5
Razem	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

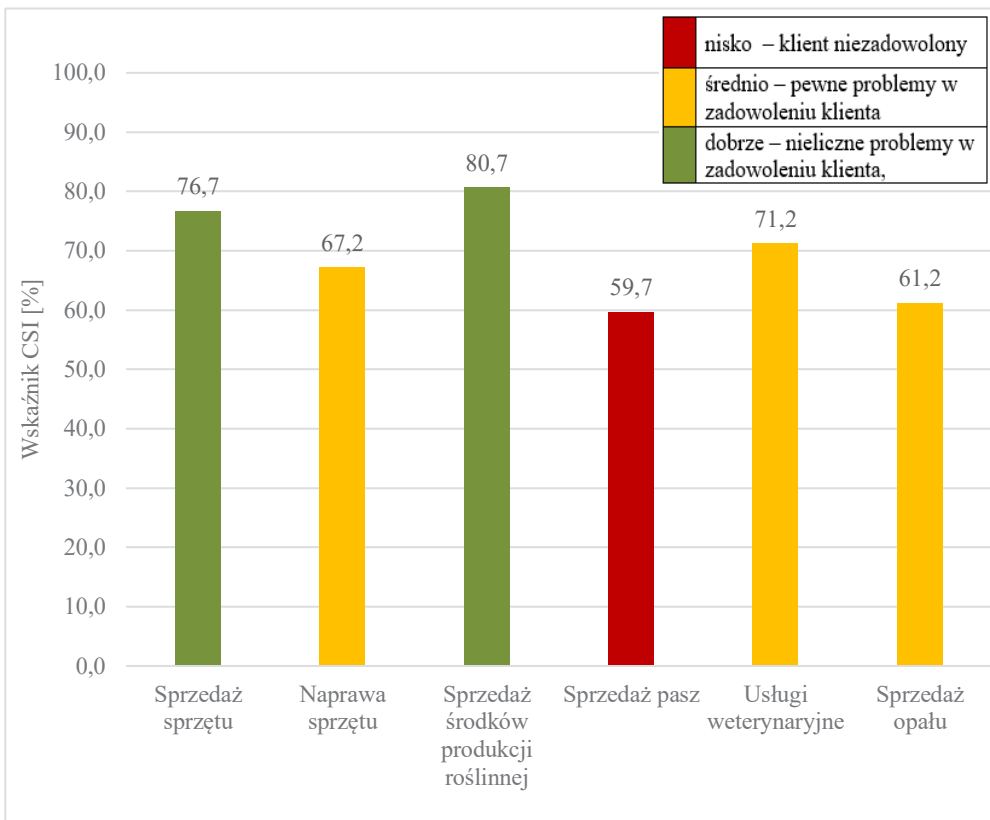
Ocena usług przez rolników jest ważnym procesem, który pomaga im w dokonywaniu racjonalnych decyzji dotyczących wyboru firm i usługodawców. Rolnicy stosują różne kryteria i metody oceny usług, a ich opinie są często oparte na doświadczeniach własnych, rekomendacjach innych rolników oraz opinii lokalnej społeczności. Oczywiście ocena usług przez rolników jest procesem indywidualnym i może różnić się w zależności od konkretnych potrzeb, oczekiwań i doświadczeń. W tabeli 6 przedstawiono ocenę usługodawców w skali 0-3. Jak widać, rozbieżność ocen jest znaczna, a najwyższą średnią ocenę – 2,4, uzyskali usługodawcy zajmujący się sprzedażą środków produkcji roślinnej, a niewiele niższą – 2,3 – sprzedawcy sprzętu rolniczego. Najniższą średnią ocenę – 1,8, otrzymali usługodawcy specjalizujący się w sprzedaży pasz. Na ogół rolnicy nie przyznawali usługodawcom oceny 0, a jedynym wyjątkiem był jeden z dystrybutorów opału. Generalnie, można stwierdzić, że rolnicy dosyć pozytywnie oceniają jakość usług, z których korzystają, aczkolwiek z pewnością możliwe są działania mające na celu podwyższenie ich poziomu, o czym świadczyć może znaczna rozbieżność ocen.

Tabela 6. Ocena usług

Wyszczególnienie	Sprzedaż sprzętu	Naprawa sprzętu	Sprzedaż środków produkcji roślinnej	Sprzedaż pasz	Usługi weterynaryjne	Sprzedaż opału
Średnio	<b>2,3</b>	<b>2,0</b>	<b>2,4</b>	<b>1,8</b>	<b>2,1</b>	<b>1,9</b>
Minimum	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0
Maksimum	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0



Customer Satisfaction Index (CSI), czyli wskaźnik satysfakcji klienta, to miara, która pomaga firmom zrozumieć, jak zadowoleni są ich klienci z oferowanych produktów lub usług. Jest to ważne narzędzie do oceny satysfakcji klientów, ich lojalności i ogólnej jakości obsługi klienta. Na podstawie wyników analizy, firma może podjąć działania w celu poprawy obsługi klienta, jakości usług, aby zwiększyć satysfakcję klientów oraz zbudować pozytywny wizerunek marki. Odpowiednie reagowanie na opinie klientów pozwala firmom dostosować się do ich potrzeb, co przyczynia się do budowy trwałych relacji z klientami. Na rysunku 3 przedstawiono wyniki analizy Customer Satisfaction Index. Jak widać, spośród sześciu objętych zakresem badań usług, najwyższym indeksem CSI, oznaczającym nieliczne problemy z zadowoleniem klienta, charakteryzują się dwa rodzaje usług, a mianowicie sprzedaż środków produkcji roślinnej oraz sprzedaż sprzętu rolniczego.



Rys. 3. Customer Satisfaction Index (CSI)

W grupie środkowej, a więc z pewnymi problemami w zadowoleniu klienta znajdują się usługi weterynaryjne, usługi związane z naprawą sprzętu oraz usługi sprzedaży opału. W ostatniej grupie, charakteryzującej się niezadowoleniem klienta znajdują się usługodawcy sprzedający pasze. Zarówno wyniki przedstawione w tabeli 6, jak i na rysunku 3 wskazują

na obszary usług, które wymagają poprawy. W sytuacji gospodarki rynkowej oraz konkurencji, poprawa jakości świadczonych usług powinna następować samoistnie i być niejako wymuszana przez mechanizmy rynkowe. Zdarza się jednak, że niektóre obszary bardzo specjalistycznych usług są zmonopolizowane lub też występująca konkurencja jest bardzo niewielka, co niewątpliwie utrudnia ich reorganizację i poprawę.

## Podsumowanie i wnioski

Współczesne rolnictwo odgrywa kluczową rolę w gospodarkach na całym świecie, zapewniając nie tylko żywność dla ludności, ale także surowce dla przemysłu i inne istotne zasoby. Jednakże, dzisiejsi rolnicy napotykać na szereg wyzwań, takich jak zmiany klimatyczne, zmniejszające się zasoby wodne, rosnąca konkurencja, oraz rosnące oczekiwania konsumentów wobec jakości żywności. W odpowiedzi na te wyzwania, sektor usług dla rolnictwa powinien odgrywać istotną rolę, oferując rozwiązania, które wspierają rolników w zrównoważonym gospodarowaniu oraz zwiększaniu wydajności produkcji. Sektor usług zmienia się i rozwija pod wpływem wielu czynników. Kluczowe znaczenie mają zmiany w podejściu przedsiębiorstw do zarządzania zaopatrzeniem, produkcją i dystrybucją. Odkąd gospodarki przeszły na orientację marketingową od „rynku sprzedawcy” do „rynku nabywcy”, liczy się nie tylko sam produkt, jego jakość i cena, ale również sposób dostawy i obsługa logistyczna. Dotyczy to dóbr przemysłowych jak i konsumpcyjnych. Nie bez znaczenia są również inne usługi skierowane do gospodarstw rolniczych, bez których produkcja rolnicza jest niemożliwa. Przeprowadzone badania na terenie powiatu leżajskiego umożliwiły ocenę rynku wybranych usług.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz ich analizy stwierdzono, że:

1. Spośród objętych badaniami firm usługowych, najbliższej gospodarstw (odpowiednio: 2,2 km i 2,8 km), zlokalizowane są firmy zajmujące się sprzedażą środków produkcji roślinnej oraz sprzedażą opału, co wynika ze stosunkowo dużej ich liczebności. W najdalszej odległości znajdują się firmy sprzedające sprzęt rolniczy (14,9 km) oraz pasze (14,8 km).
2. Zdecydowana większość firm zajmujących się sprzedażą: sprzętu rolniczego (89%), pasz (62%) oraz opału (94%) zapewnia transport towaru do gospodarstwa. W przypadku sprzedaży środków produkcji roślinnej oraz naprawy sprzętu rolniczego, transport, ew. naprawę na terenie gospodarstwa oferuje zaledwie, odpowiednio: 12% i 24% firm.
3. Usługobiorcy, generalnie dobrze oceniają lokalny rynek usług. Najlepiej oceniane przez usługobiorców są firmy świadczące usługi sprzedaży środków produkcji roślinnej (średnia ocena: 2,4), natomiast najniżej (średnia ocena: 1,8) – firmy zajmujące się sprzedażą pasz. *Customer Satisfaction Index* (CSI) zawiera się w granicach od 59,7% w przypadku sprzedaży pasz do 80,7% - dla usług sprzedaży środków produkcji roślinnej.
4. Czynnikiem decydującym przy wyborze danej firmy jest cena, którą w przypadku poszczególnych usług kieruje się 63% usługobiorców i jest to cecha najważniejsza w odniesieniu do 4 z 6 objętych badaniami usług. Jedynie w przypadku usług weterynaryjnych rolnicy bardziej stawiają na fachowość usługi, a w przypadku zakupu opału – na jego jakość.
5. Zaprezentowana analiza usług wskazuje na mocne i słabe strony rynku usług dla gospodarstw rolniczych na terenie powiatu leżajskiego i może być przydatna w celu poprawy

obsługi klientów, dostosowania się do potrzeb rolników, budowy trwałych relacji z klientami, a w rezultacie przyczynić się do poprawy warunków prowadzenia działalności rolniczej na terenie powiatu leżajskiego.

## Bibliografia

- Daniłowska, A.: Kredytowe wsparcie rolnictwa w okresie transformacji systemowej w Polsce. Wydawnictwo SGGW, 2021.
- Dziadkowiec, J.: Wybrane metody badania i oceny jakości usług. Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie, nr 717, Kraków, 2006.
- Fraś, J.: Wybrane instrumenty pomiaru jakości usług logistycznych. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 803(6), 2014.
- Heffner, K., Gibas, P.: Pozarolnicza działalność gospodarcza na obszarach wiejskich. Książka abstraktów, 8. Ciągłość i zmiana. Sto lat rozwoju polskiej wsi. T. 2, Warszawa, Instytut Rozwoju Wsi i Rolnictwa Polskiej Akademii Nauk, 1255 s., ISBN 978-83-7383-998-4/2019, 2019.
- Jasiński, J. i in.: Ewolucja systemu doradztwa i wsparcia badawczego rolnictwa. Ciągłość i zmiana. Sto lat rozwoju polskiej wsi, 2, 1125-1159, 2019.
- Klepacki, B., Perkowska, A.: Organizacja żywnościowych łańcuchów dostaw przy produkcji rozproszonej na przykładzie sektora warzyw w Polsce. Roczniki naukowe stowarzyszenia ekonomistów rolnictwa i agrobiznesu, 22(1), 149-158, 2020.
- Kłosowski, F.: Podstawy geografii usług. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Wrocław, 2021.
- Kołodziejczak, M.: Znaczenie usług w rolnictwie polskim i niemieckim, „Zeszyty Naukowe SGGW, Problemy Rolnictwa Światowego” t. 10, z. 2, s. 41-48, 2011.
- Kołodziejczak, M.: Use of agricultural services in European Union regions-a typological analysis. Annals of The Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists, 22(1), 159-169, 2020.
- Kołodziejczak, M.: Zmieniająca się natura usług. Studium usług produkcyjnych w rolnictwie krajów Unii Europejskiej (The changing nature of service: a case study of production services in agriculture in EU member countries). Poznań: Poznań University of Life Sciences, 2019.
- Kowalczyk, Z., Malaga-Toboła, U., Kwaśniewski, D., Grotkiewicz, K., Tabor, S.: Logistyczne aspekty wybranych usług komunalnych.. Transport i logistyka w dobie inżynierii mechanicznej. Monografia pod redakcją prof. dr hab. Macieja Kubonia. Kraków, 2020.
- Matwieczuk, R., Tłuczak, A.: Wpływ koncepcji logistyki na rozwój krótkich łańcuchów dostaw w sektorze rolno-spożywczym. Gospodarka Materiałowa i Logistyka, 2020.
- Misiąg, J., Misiąg, W., Palimąka, K., Rodzinka, J., Skica, T.: Rozwój obszarów wiejskich oraz rolnictwa ekologicznego w Polsce. Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie, 2020.
- Rosa, A., Pawłowska, A.: Preferencje rolników w zakresie korzystania z produktów bankowych. Roczniki naukowe stowarzyszenia ekonomistów rolnictwa i agrobiznesu, 25(1), 221-234, 2023.

- Sobczak, W., Olewnicki, D.: Rozwój usług dla rolnictwa i ogrodnictwa w Polsce. ANNALS OF AGRICULTURAL eCONOmICS ANd RURAL deveLOpmeNT, 73, 2013.
- Soliwoda, M., Kurdyś-Kujawska, A.: Procesy adaptacyjne gospodarstw rolnych w czasach niepewności i ich determinanty, 717, Warszawa, 2022.
- Wilk, I., Bieńko, D.: Znaczenie sektora usług w polsce i na świecie. Організаційний комітет, 24, 2023.
- Zolotnytska, Y.: Rola rodzinnych gospodarstw rolnych w rozwoju rolnictwai obszarów wiejskich w Polsce: stan i perspektywy. Kwartalnik Nauk o Przedsiębiorstwie, 58(1), 43-58, 2021.

*Adres do korespondencji: [zbigniew.kowalczyk@urk.edu.pl](mailto:zbigniew.kowalczyk@urk.edu.pl)*

ORCID: Zbigniew Kowalczyk 0000-0001-8001-2092

ORCID: Dariusz Kwaśniewski 0000-0002-1873-1456



# OPTIMALIZACJA PRODUKCJI POPRZEZ REKONSTRUKCJĘ STANOWISK PRACY – STUDIUM PRZYPADKU W WYBRANYM PRZEDSIĘBIORSTWIE

Grzegorz Kurek<sup>1</sup>, Aleksandra Lis<sup>2</sup>, Karolina Furyk-Grabowska<sup>2</sup>, Elżbieta Olech<sup>2</sup>,  
Olivia Kłosowska<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dyplomant w Katedrze Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej,  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

<sup>2</sup> Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy  
im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

<sup>3</sup> Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja  
w Krakowie

## Wprowadzenie

Nieustannie biegnący czas przynosi nowe rozwiązania technologiczne, produkty, urządzenia, metody zarządzania. Każda nowa dekada wprowadza zmiany w metodach produkcji, dlatego ludzie idąc z duchem czasu szukają nowych rozwiązań w wielu dziedzinach. Jednym ze sposobów wprowadzania zmian w metodach udoskonalania produkcji i zarządzania jest optymalizacja. „Optymalizacja (łac. *optimus* – najlepszy) oznacza poszukiwanie najlepszego rozwiązania (względem ustalonego kryterium) ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych. Praktycznym celem optymalizacji jest doprowadzenie decydenta do podjęcia optymalnej decyzji, tzn. najlepszej z punktu widzenia przyjętego w danych warunkach kryterium, zwanego funkcją celu lub funkcją kryterium. Najczęściej stosowanymi, syntetycznymi kryteriami optymalizacji w inżynierii produkcji są: minimalizacja kosztów realizacji projektu (produktu), przy zadanym ograniczeniu czasu jego wykonania, minimalizacja czasu realizacji projektu (zadania), w danych warunkach”.<sup>1</sup>

Rozwój technologiczny i produkcyjny wpływa również na sposoby zarządzania i prowadzenia przedsiębiorstwa. Szczególny nacisk w aspekcie zarządzania kładzie się na efektywność prowadzonej produkcji. Opracowano wiele metod ustalania strategii i technologii. Ważniejszym jednak aspektem w kontekście procesów wytwórczych są metody zarządzania samą produkcją. Z powodu postępu technologicznego, polityki handlowej i wzorców konsumpcji społeczeństwa, konkurencja między firmami znacznie wzrosła, wymagając praktyk zapewniających stałe polepszenie wskaźników produkcyjnych i jakości produktów. W tym kontekście stosowanie narzędzi Toyota Production System, znanych również jako Lean Manufacturing, odgrywa fundamentalną rolę w eliminowaniu marnotrawstwa i ciągłym doskonaleniu

---

<sup>1</sup> Gawlik, J., Plichta, J., Świc, A.: Procesy produkcyjne, PWE, Warszawa, s. 295, 2013,

poziomów produkcji przemysłowej.<sup>2</sup> Metoda Lean Manufacturing, „(...) polegająca na nieustannym eliminowaniu marnotrawstwa – czasu, materiału, siły roboczej, energii rozumianej jako wszelkie czynności, procesy czy inwestycje niedodające wartości do produktu z punktu widzenia klienta”<sup>3</sup> jest skupiona na standaryzacji pracy.<sup>4</sup>

Strategię tą najczęściej porównuje się z standardowym, klasycznym podejściem do prowadzenia przedsiębiorstwa i procesów produkcyjnych. Nowoczesny kierownik musi nastawić produkcję na optymalizację zysku, minimalizację strat i standaryzację produkcji. Każde podjęte działanie powinno minimalizować koszty i czas produkcji, efektywnie gospodarować czasem pracy i możliwościami produkcyjnymi poszczególnych stanowisk. W porównaniu do klasycznej koncepcji zarządzania, w której prym wiodł „przymus i posłuszeństwo”, wykonywanie produkcji pod plan zarządu, to koncepcja Lean Manufacturing ukierunkowuje procesy produkcyjne na współpracę i wspólne realizowanie zamierzonych celów. Optymalizacja oznacza poszukiwanie najlepszych dostępnych rozwiązań w usprawnianiu procesów – wszelkich możliwych, zatem będą to procesy produkcyjne, logistyczne, komunikacyjne, marketingowe, zarządzania, transferu danych w przedsiębiorstwie. Jedną z metod szukania najlepszych rozwiązań to wspomniana wcześniej koncepcja Lean Manufacturing. „Usprawnienia produkcyjne zgodnie z filozofią Lean wymagają zastosowania właściwie wszystkich dostępnych narzędzi, technik, metod czy koncepcji, które są znane w naukach ekonomicznych. Istota problemu polega na właściwym przebiegu procesu zmian, tzn. ich odpowiedniej integracji, wyznaczaniu odpowiedniego przebiegu itp.”<sup>5</sup>

Głównym założeniem optymalizacji jest postawienie celu – co chcemy usprawnić i w jakim zamiarze, jak możemy ten cel osiągnąć i jakie musimy zastosować środki, aby doprowadzić proces do końca. Liczne badania, podobnie jak praktyka organizacyjna, wykazują skuteczność zastosowania Lean Management w optymalizacji. Uzyskane wyniki umożliwiły stworzenie standaryzowanej rutyny pracy, uzyskanej poprzez zrównoważenie działań między operatorami i eliminowanie czynności, które nie dodawały wartości produktowi<sup>6</sup>.

Właściwie przeprowadzony proces optymalizacji powinien się opierać na analizie danych historycznych i prowadzeniu badań, aby znaleźć optymalne, najlepsze rozwiązanie. Bardzo pomocne w eksperymencie jest stosowanie rozwiązań informatycznych i budowanie modeli symulacyjnych oraz programowych. W podejściu modelowym „Organizacja jest traktowana jako zbiór procesów, które przenikają się wzajemnie, są powtarzalne i jasno zdefiniowane. Podejście takie ma na celu zwiększenie konkurencyjności organizacji w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu, dzięki zmniejszeniu kosztów, podniesieniu jakości usług oraz

---

<sup>2</sup> Santos, D., Santos, B., Santos, C.: Implementation of a standard work routine using Lean Manufacturing tools: A case Study Implantação de uma rotina padrão de trabalho utilizando as ferramentas da Manufatura Enxuta: Estudo de Caso. *Gestão & Produção*. 28. 2021. <https://doi.org/10.1590/0104-530X4823-20>.

<sup>3</sup> Jagodziński, J., Ostrowski, D.: Optymalizacja wybranego procesu produkcyjnego w oparciu o zasadę ciągłego doskonalenia na przykładzie przedsiębiorstwa X, Wrocław, Wyższa Szkoła Bankowa, 202, 2016.

<sup>4</sup> Knosala, R.: Inżynieria Zarządzania. Cyfryzacja Produkcji, Warszawa, PWE, 2017.

<sup>5</sup> Borkowski, S., Ulewicz, R.: Zarządzanie produkcją – systemy produkcyjne, Oficyna Wydawnicza „Humanitas”, Sosnowiec Feld, William M. Lean manufacturing: tools, techniques, and how to use them. CRC Press, 2009.

<sup>6</sup> Sabah, A., Al-Kindi, L., Al-Baldawi, Z.: Adopting Value Stream Mapping as a Lean Tool to Improve Production Performance. *Engineering and Technology Journal*, 41.6: 1-14, 2023.

usprawnieniu jej działania poprzez jasne określenie etapów realizacji procesu, możliwość jego monitorowania i eliminację potencjalnych „wąskich gardeł”. Podejście procesowe wspomaga efektywniejsze realizowanie celów przyjmowanych przez organizację.<sup>7</sup> Budowanie modeli bazuje głównie na wizualizacji graficznej w celach ich optymalizacji i archiwizacji, niezbędna jest także wiedza o strukturze badanej jednostki – np. stanowiska pracy, które będzie poddane modernizacji, oraz znajomość narzędzi, dzięki którym można tworzyć modele procesowe. „Głównym celem tworzenia modeli procesów (fr. *modele* – wzór) jest więc dążenie do uzyskania informacji ilościowych – takich, które mogą ułatwić zarządzającemu podejmowanie najkorzystniejszych decyzji z punktu widzenia określonego kryterium lub kryteriów. Są one pomocne również podczas symulacji procesów”<sup>8</sup>

Jak podaje Bitkowska, narzędzia wspomagające proces modelowania można podzielić następująco:

- narzędzia do tworzenia diagramów, które służą głównie do wizualizacji i mapowania procesów (to np. Microsoft Visio, Flowchart / Micrografix),
- narzędzia CASE, które służą do modelowania procesów i integracji z rozwiązaniami informatycznymi, np. Designer/2000 (Oracle), Select Enterprise (Select Software),
- narzędzia projektowania i doskonalenia procesów, które pozwalają na zaawansowane analizy i symulacje, takie jak: ARIS Toolset, Igrafix, Adonis oraz narzędzia do modelowania procesów w ramach ERP.<sup>9</sup>

Tworzenie modeli i grafów w celach procesów produkcyjnych posiada jedną, zasadniczą zaletę – są czytelne dla wszystkich. To narzędzie wykorzystywane w wielu dziedzinach, przede wszystkim związanych z ekonomią. Teoria grafów pozwala na przedstawienie systemów w przystępnej formie wizualnej, która umożliwi analizę.<sup>10</sup> Jednakże projektowanie modeli wymaga od projektującego dużych umiejętności, bowiem sprawne i skuteczne modelowanie wymaga wiedzy, doświadczenia i inwencji twórczej oraz indywidualnego podejścia do każdego zadania. W praktyce, większość zagadnień sieciowych nadających się do optymalizacji to problemy wymagające indywidualnego podejścia, stąd ważne jest, aby biegle poruszać się po podstawowych metodach i rozumieć dogłębnie zasady ich działania, aby w razie potrzeby umieć je dostosować, zbudować właściwy model i doprowadzić przedsięwzięcie do wyznaczonego celu.<sup>11</sup>

Zasadniczym czynnikiem w optymalizacji produkcji jest zatem znajomość własnego przedsiębiorstwa, umiejętność zobrazowania problemu, stworzenie modelu przeprowadzenia procesu optymalizacji i sprawne wprowadzenie go w rzeczywistość wykorzystując dostępne środki. Wszystkie te zabiegi mają określony cel – sprostać potrzebom współczesnego klienta. Wszystkie formy organizacji przedsiębiorstw za główny priorytet stawiają satysfakcję klienta

---

<sup>7</sup> Żytniewski, M., Zadora, P.: Modelowanie procesów biznesowych z użyciem notacji BPMN, Katowice, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, s.197, 2013.

<sup>8</sup> Pająk, E., Klimkiewicz, M., Kosieradzka, A.: Zarządzanie produkcją i usługami, Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, s. 293, 2014.

<sup>9</sup> Bitkowska, A.: Zarządzanie procesami biznesowymi w przedsiębiorstwie. Warszawa, VIZJA PRESS&IT, 2009.

<sup>10</sup> Zajdel, M., Filipowicz, B.: Dobór metod optymalizacji dla sieci transportowych. Automatyka/Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, 12, 999-1010, 2008.

<sup>11</sup> Zajdel, M., Filipowicz, B.: Dobór metod optymalizacji dla sieci transportowych. *Automatyka*, T.12, Z.3, Kraków, Wydawnictwo AGH, Kraków, 2008.



docelowego. Zbieranie informacji w zakresie potrzeb klienta oraz definiowanie ich na potrzeby działalności gospodarczej jest jednym z ważniejszych etapów prac nad przygotowaniem nowego wyrobu (bądź usługi) przez przedsiębiorstwo.<sup>12</sup>

### **Charakterystyka przedsiębiorstwa**

Miejscem przeprowadzonych badań i analiz jest jedno ze stanowisk pracy w przedsiębiorstwie, które od ponad trzydziestu pięciu lat wdraża i rozwija rozwiązania technologiczne z zakresu wentylacji i ochrony przeciwpożarowej. Obecnie firma posiada bardzo szeroki asortyment fabrykatów i systemów, a obszar sprzedaży i marketingu sięga na arenę międzynarodową – produkty trafiają nawet do Australii i na Alaskę. Główny asortyment stanowi:

- produkcja urządzeń i systemów wentylacji pożarowej,
- produkcja i uruchamianie systemów naciśnieniowej ochrony przed zadymieniem dróg ewakuacyjnych na wypadek pożaru (Safety Way),
- produkcja i uruchamianie systemów oddymiania klatek schodowych – grawitacyjnego i wspomaganego mechanicznie (ZODIC),
- dostarczanie systemów regulacji i dystrybucji powietrza w budynkach (wentylacji bytowej),
- zapewnianie regulacji przepływu powietrza w laboratoriach i pomieszczeniach czystych (SMAYLAB),
- systemy wentylacji strumieniowej garaży (Safety Car Park),
- urządzenia zakańczające instalacje wentylacyjne i akcesoria wentylacyjne.

Do najbardziej powszechnych produktów należą klapy przeciwpożarowe odcinające, np. KWP-P, wielopłaszczyznowe klapy odcinające typu WKP-P, regulatory zmiennego i stałego przepływu powietrza, np. RVP-P, czerpnie i wyrzutnie powietrza ściennie oraz dachowe, np. WPDB, kanały wentylacyjne, kratki, anemostaty i bardzo popularne nawiewniki wirowe typu NS8 i NS9 oraz główny element niniejszej pracy – skrzynki rozprężne.

Skrzynki rozprężne są łącznikami pomiędzy kanałem nawiewnym a elementem wykończeniowym, chociaż same również mogą stanowić segment końcowy kanału powietrznego. Podczas produkcji mogą być izolowane wewnątrz matą izolacyjną K-FLEX, jednak również często tego zabezpieczenia nie posiadają. Standardowo składają się z korpusu głównego i oddzielnie nitowanych boków, po montażu mają kształt prostopadłościanu z dodatkowymi, okrągłymi otworami, do których przyłączane są króćce – elementy montażowe do okrągłych kanałów nawiewnych. Często jedna ze ścian korpusu jest zastępowana deflektorem sitowym bądź innym elementem wykończeniowym. W ich wnętrzu mogą znajdować się owalne przepustnice odcinające przepływ powietrza. Produkowane w przedsiębiorstwie skrzynki są zazwyczaj wykonane z blachy ocynkowanej i stanowią część zespołu wentylacyjnego, więc ich rodzaje i sposób wykonania zależne są od innych komponentów.

Przez lata skrzynki produkowane były na stanowiskach opartych na budowie gniazdowej, w skład których wchodziły trzy stoły pracownicze – jeden do montażu korpusu z półproduktów, drugi do cięcia i wyklejania matą izolacyjną K-FLEX oraz ostatni do montażu końcowego przepustnic, konsol sterujących przepustnicami bądź deflektorów sitowych. Poza

---

<sup>12</sup> Patalas-Maliszewska, J.: *Managing manufacturing knowledge in Europe in the era of Industry 4.0*. Routledge, 2022.

głównymi stołami do obszaru gniazda należały skrzynie z deflektorami sitowymi w różnych rozmiarach, miejsce przechowawcze mat izolacyjnych i ich szablonów wymiarowych oraz półki z komponentami montażowymi typu: nity stalowe, podkładki, śruby, nakrętki itp. Poniższy schemat przedstawia układ gniazda:

- 1) Stół montażu korpusów.
- 2) Stół cięcia i wyklejania matą izolacyjną.
- 3) Stół montażu końcowego.
- 4) Miejsce przechowawcze mat K-FLEX.
- 5) Skrzynie z deflektorami.
- 6) Półki z komponentami.



Rys. 1. Schemat gniazd produkcyjnych

Układ ten jednak przysparzał wielu strat w produkcji, głównie czasowych. Złożone na pierwszym stanowisku korpusy były składowane na paletach i przekazywane na kolejne stanowiska z opóźnieniem, w zależności od trybu pracy – przy montażu skrzynek izolowanych skład ilościowy pracowników wynosił 3 osoby, zatem skrzynki wędrowały do drugiego stanowiska na paletach, następnie do trzeciego. Przy wariancie skrzynek nieizolowanych czas pracy się skracał, a liczba pracowników wynosiła 2 osoby, skrzynki ze stanowiska pierwszego trafiały bezpośrednio na trzecie. Odległość pomiędzy stołami pracowniczymi a półkami z komponentami montażowymi była znacząca, więc czas pracy dodatkowo się wydłużał. Brakowało również dostępu do narzędzi, po które pracownicy musieli wędrować na inne stanowiska pracy. Nie było zatem właściwego przepływu produkcji, więc w styczniu 2023 roku zespół złożony z pracowników nadzoru produkcji oraz Działu Inżynierii Produkcji szukał rozwiązania tego problemu.

Stosując rozwiązania zgodne z ideą Lean Management<sup>13</sup> zaproponowano rekonstrukcję stanowisk montażowych skrzynek rozprężnych w celu optymalizacji przepływu produkcji

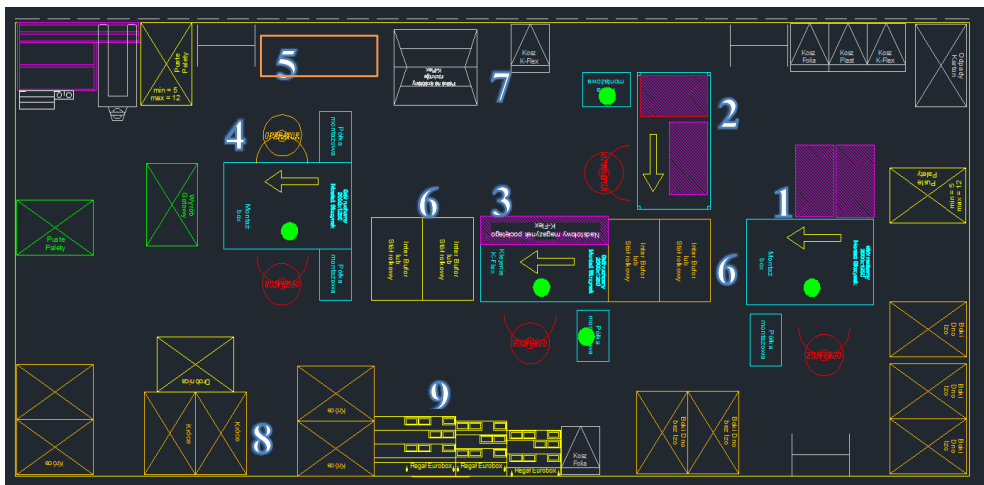
<sup>13</sup> Feld, William M. Lean manufacturing: tools, techniques, and how to use them. CRC press, 2000

oraz minimalizacji strat czasowych oraz zwiększenia wydajności. Proponowana rekonstrukcja wyglądała następująco:

- stoły ze stanowiska pierwszego oraz trzeciego ustawiono centralnie, dodatkowo dostawiono trzeci stół do wyklejania matą izolacyjną, zaś pomiędzy nimi zamontowano rolotoki. Zmieniło to charakter stanowiska z gniazda w linię,
- stół do cięcia maty izolacyjnej ustawiono wzdłuż pierwszego rolotoku, dodatkowo utworzono półkę nad drugim stołem montażowym do przechowywania wcześniej pociętych pod wymiar mat izolacyjnych,
- dostawiono pionowe regały narzędziowe,
- półki z komponentami rozbudowano i przeniesiono na drugą stronę,
- skrzynie z deflektorami przeniesiono we wspólną strefę.

Dzięki temu zabiegowi uzyskano płynność produkcji oraz urosła liczba możliwych wariantów składów pracowniczych. Obecny układ linii przedstawia poniższy schemat:

- 1) Stół montażu korpusów.
- 2) Stół cięcia maty K-FLEX.
- 3) Stół wyklejania matą izolacyjną.
- 4) Stół montażu końcowego.
- 5) Regały narzędziowe.
- 6) Rolotoki
- 7) Miejsce przechowawcze mat izolacyjnych.
- 8) Skrzynie z deflektorami.
- 9) Półki z komponentami.



Rys. 2. Schemat linii

## Analiza efektywności funkcjonowania gospodarki magazynowej

W celu analizy efektywności opisanej zmiany zebrane zostały dane, które obejmują pomiary czasu pracy w zależności od wielkości zamówień na dany dzień, faktycznej ilości wyprodukowanych skrzynek rozprężnych w podanych ramach czasowych. Są to pomiary podzielone na dwie kategorie – czasy pracy i faktyczna liczba wyprodukowanych skrzynek na gnieździe produkcyjnym od października 2022 roku do końca stycznia 2023 roku oraz podobnie wykonane pomiary w okresie od lutego do maja 2023 roku, gdy stanowiskiem była już linia produkcyjna. Dane te zostały zestawione tabelarycznie w celu porównania wydajności na poszczególnych wariantach stanowisk produkcyjnych. Czasy pracy zostały podane w roboczogodzinach, a ich wymiary obejmują cały proces produkcyjny – począwszy od działu technologii produkcji, czyli tworzenia rysunków do maszyn CNC, poprzez wybijanie na maszynach, procesy transportowe oraz składanie na gnieździe bądź linii. Danych obejmujących sam montaż nie udało się pozyskać. Została również zastosowana analiza migawkowa strat czasowych wynikających z wykonywania czynności nieprzynoszących korzyści i błędnego montażu oraz zysków w czasie wynikających z usprawnienia transportu skrzynek podczas produkcji oraz wykonywanych czynności pomocniczych. Obliczony też został wskaźnik efektywności OEE (ang. *Overall Equipment Effectiveness*, po polsku Całkowita Efektywność Wyposażenia) liczony w procentach oraz wskaźnik produktywności procesu produkcyjnego. Faktyczny wzrost wydajności został przedstawiony na wykresie trendu.

Ponadto zostały zestawione schematy blokowe obrazujące tryby pracy – dwu i trzy osobowe – w gnieździe produkcyjnym oraz powstałe nowe warianty pracy po rekonstrukcji stanowiska w linię produkcyjną. Schematy poddano analizie i porównaniu. Końcową część przeprowadzonych badań stanowi interpretacja sondażu przeprowadzonego wśród pracowników zajmujących różne stanowiska w całym procesie produkcyjnym skrzynek w celu uzyskania ich opinii na temat modernizacji i wynikających z jej faktu zmian w procesach produkcyjnych.

Do obliczeń wykorzystane następujące wzory:

- Wzór na wydajność produkcji

$$Z = \frac{N}{0,7 \cdot t} \quad (1)$$

gdzie:

- Z – wydajność produkcji (szt/h),
- N – wielkość zamówienia (szt),
- t – czas realizacji zamówienia (h).

- Wzór na obliczenie produktywności (dostępności) procesu produkcyjnego:

$$P = \frac{T_p}{T_d} * 100\% \quad (2)$$

gdzie:

- P – produktywność procesu,
- $T_p$  – ilość godzin przepracowanych,
- $T_d$  – ilość dostępnych godzin.

– Wzór na wskaźnik efektywności OEE

$$OEE = P * Z * Q * 100\% \quad (3)$$

gdzie:

- OEE – efektywność,
- P – Dostępność,
- Z – Wydajność,
- Q – Jakość.

W poniższych tabelach ukazano wyniki badań wydajności produkcyjnej (1).

Tabela 1. Wydajność gniazda produkcyjnego

Gniazdo produkcyjne							
Data realizacji	Ilość skrzynek (szt)	Czas realizacji (h)	Wydajność Z	Data realizacji	Ilość skrzynek (szt)	Czas realizacji (h)	Wydajność Z
03.10.2022	144	156	1,32	01.12.2022	127	160	1,13
04.10.2022	42	156	0,38	02.12.2022	43	160	0,38
05.10.2022	50	156	0,45	05.12.2022	69	168	0,59
07.10.2022	38	135	0,40	06.12.2022	213	164	1,86
10.10.2022	12	164	0,10	07.12.2022	119	160,5	1,06
11.10.2022	71	168,5	0,60	08.12.2022	89	167,5	0,76
13.10.2022	113	160	1,01	09.12.2022	54	129,5	0,60
14.10.2022	136	156	1,25	10.12.2022	63	70	1,29
15.10.2022	41	57	1,03	12.12.2022	92	167	0,79
17.10.2022	108	164	0,94	13.12.2022	109	179,5	0,87
18.10.2022	53	180	0,42	14.12.2022	12	164	0,10
19.10.2022	73	176	0,59	15.12.2022	126	164	1,10
20.10.2022	58	172	0,48	19.12.2022	46	141	0,47
21.10.2022	152	176	1,23	20.12.2022	36	139	0,37
22.10.2022	41	71	0,82	21.12.2022	174	152	1,64
24.10.2022	189	176	1,53	22.12.2022	130	131,5	1,41
26.10.2022	140	161	1,24	23.12.2022	93	87,5	1,52
27.10.2022	131	160	1,17	27.12.2022	129	120	1,54
28.10.2022	181	166	1,56	28.12.2022	72	117,5	0,88
31.10.2022	51	104	0,70	29.12.2022	78	130,5	0,85
02.11.2022	124	168,5	1,05	30.12.2022	33	119,5	0,39
03.11.2022	138	185	1,07	02.01.2023	67	169,5	0,56
04.11.2022	62	183	0,48	03.01.2023	86	168	0,73

Gniazdo produkcyjne							
Data realizacji	Ilość skrzynek (szt)	Czas realizacji (h)	Wydajność Z	Data realizacji	Ilość skrzynek (szt)	Czas realizacji (h)	Wydajność Z
07.11.2022	155	174	1,27	04.01.2023	97	160,5	0,86
08.11.2022	49	173,5	0,40	05.01.2023	108	144	1,07
09.11.2022	125	184	0,97	09.01.2023	33	128	0,37
10.11.2022	84	160	0,75	10.01.2023	46	160	0,41
14.11.2022	80	168,5	0,68	11.01.2023	57	160	0,51
15.11.2022	102	176	0,83	12.01.2023	37	159,5	0,33
16.11.2022	136	184	1,06	13.01.2023	92	144	0,91
17.11.2022	166	176,5	1,34	16.01.2023	75	135	0,79
18.11.2022	226	160	2,02	17.01.2023	134	152	1,26
21.11.2022	64	166,5	0,55	18.01.2023	60	152	0,56
22.11.2022	16	175,5	0,13	19.01.2023	83	168	0,71
23.11.2022	25	176	0,20	20.01.2023	61	160	0,54
24.11.2022	57	176	0,46	23.01.2023	39	167,5	0,33
25.11.2022	146	159,5	1,31	25.01.2023	59	167	0,50
28.11.2022	134	176	1,09	26.01.2023	83	168	0,71
29.11.2022	41	175,5	0,33	27.01.2023	94	161	0,83
30.11.2022	225	176	1,83	30.01.2023	139	144,5	1,37
Łączny wynik Wydajności Z = 68,03 (szt/h) = 66% ogółu produkcyjnego							

Tabela 2. Wydajność linii produkcyjnej

Linia produkcyjna							
Data realizacji	Ilość skrzynek (szt)	Czas realizacji (h)	Wydajność Z	Data realizacji	Ilość skrzynek (szt)	Czas realizacji (h)	Wydajność Z
01.02.2023	37	160	0,33	30.03.2023	98	130,5	1,07
02.02.2023	104	152	0,98	31.03.2023	165	120	1,96
03.02.2023	140	127,5	1,57	03.04.2023	148	136	1,55
06.02.2023	110	144	1,09	04.04.2023	159	152	1,49
07.02.2023	113	143,5	1,12	05.04.2023	106	152	1,00
08.02.2023	61	144	0,61	06.04.2023	88	158,5	0,79
09.02.2023	122	135,5	1,29	07.04.2023	44	88	0,71
10.02.2023	104	136	1,09	11.04.2023	107	160	0,96
13.02.2023	168	136	1,76	12.04.2023	117	144	1,16
14.02.2023	129	136	1,36	13.04.2023	105	144	1,04

Linia produkcyjna							
Data realizacji	Ilość skrzynek (szt)	Czas realizacji (h)	Wydajność Z	Data realizacji	Ilość skrzynek (szt)	Czas realizacji (h)	Wydajność Z
15.02.2023	132	144	1,31	14.04.2023	86	96	1,28
16.02.2023	44	152	0,41	17.04.2023	172	152	1,62
17.02.2023	68	128	0,76	18.04.2023	201	152	1,89
20.02.2023	183	144	1,82	19.04.2023	187	152	1,76
21.02.2023	134	144	1,33	20.04.2023	69	136	0,72
22.02.2023	98	144	0,97	21.04.2023	182	136	1,91
23.02.2023	257	136	2,70	24.04.2023	233	128	2,60
24.02.2023	253	136	2,66	25.04.2023	194	152,5	1,82
27.02.2023	263	152	2,47	26.04.2023	209	152	1,96
28.02.2023	135	143	1,35	27.04.2023	284	160	2,54
01.03.2023	85	144,5	0,84	28.04.2023	287	143,5	2,86
02.03.2023	93	153,5	0,87	04.05.2023	143	127,5	1,60
03.03.2023	127	144	1,26	05.05.2023	16	132,5	0,17
06.03.2023	108	127,5	1,21	08.05.2023	101	157	0,92
07.03.2023	68	127,5	0,76	09.05.2023	180	146	1,76
08.03.2023	78	104	1,07	10.05.2023	87	164	0,76
09.03.2023	110	112	1,40	11.05.2023	115	164	1,00
10.03.2023	226	120	2,69	12.05.2023	136	153,5	1,27
13.03.2023	132	136	1,39	15.05.2023	234	160	2,09
14.03.2023	94	128	1,05	16.05.2023	254	164	2,21
15.03.2023	82	136	0,86	17.05.2023	32	156	0,29
16.03.2023	99	136	1,04	18.05.2023	132	161,5	1,17
17.03.2023	111	120	1,32	19.05.2023	221	169	1,87
20.03.2023	74	120	0,88	20.05.2023	36	76	0,68
21.03.2023	60	128	0,67	22.05.2023	239	152	2,25
22.03.2023	64	128	0,71	23.05.2023	160	163,5	1,40
23.03.2023	16	120	0,19	24.05.2023	95	164,5	0,83
24.03.2023	73	136	0,77	25.05.2023	97	156,5	0,89
27.03.2023	42	144	0,42	26.05.2023	73	150	0,70
28.03.2023	129	143,5	1,28	29.05.2023	82	152	0,77
29.03.2023	116	144	1,15				
Łączny wynik Wydajności Z = 104,12 (szt/h) = 92% ogółu produkcyjnego							

Z przedstawionych danych wynika, że po rekonstrukcji gniazda w linię produkcyjną wydajność produkcyjna na przestrzeni zaledwie czterech miesięcy znacząco wzrosła z poziomu produkcyjnego wynoszącego 66% do 92%, czyli o 39%. Są to bardzo obiecujące liczby. Kolejnym etapem badań jest porównanie produktywności procesu produkcyjnego (2). Wyniki badań wyglądają następująco:

- Czas normatywny produkcji w godzinach na okres czterech miesięcy: 12800h.
- Czas pracy gniazda: 12449,5 h.
- Czas pracy linii: 11404,5 h.
- Produktywność gniazda: 97%.
- Produktywność linii: 89%.

Po rekonstrukcji stanowisk pracy produktywność pracownicza nieco spadła, jest to spowodowane brakiem konieczności marnowania czasu na czynności pomocnicze. Następnym etapem badań jest obliczenie wskaźnika OEE (3).

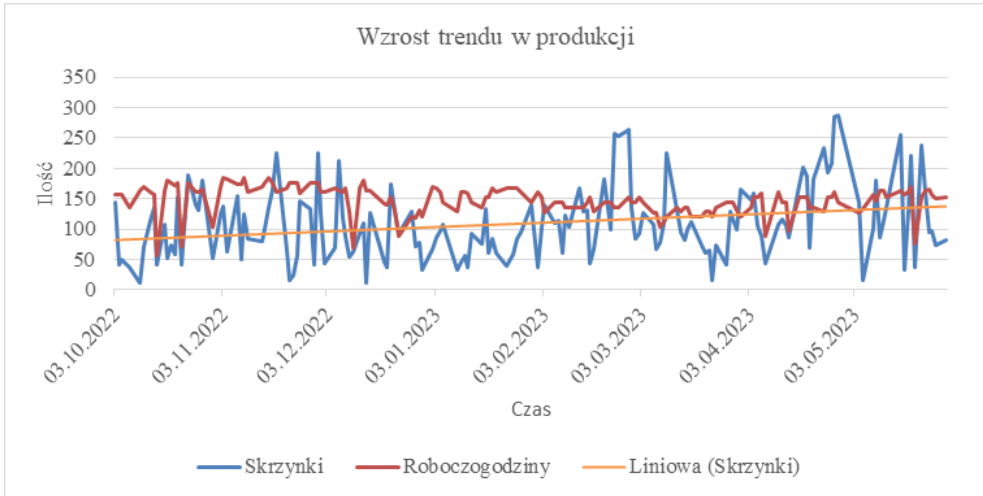
Tabela 3. Wskaźnik OEE

	Gniazdo	Linia
Dostępność	97%	89%
Wydajność	66%	92%
Jakość	97%	99%
Wskaźnik OEE	62,10 %	81,06 %

Powyższa tabela również wskazuje na wzrost wydajności i efektywności produkcyjnej po rekonstrukcji gniazda w linię – efektywność wzrosła o 30%. Przedsięwzięcie modernizacji było zatem dobrym krokiem w kierunku optymalizacji przepływu produkcji.

Poniższy wykres przedstawia wzrost trendu i ilości wyprodukowanych skrzynek oraz spadek w roboczogodzinach, widoczny szczególnie po styczniu 2023 roku, czyli po rekonstrukcji w linię. Wykres ten jest graficznym odzwierciedleniem wcześniej przedstawionych danych. Trend został zaznaczony żółtą linią.





Rys. 3. Wykres trendu produkcji

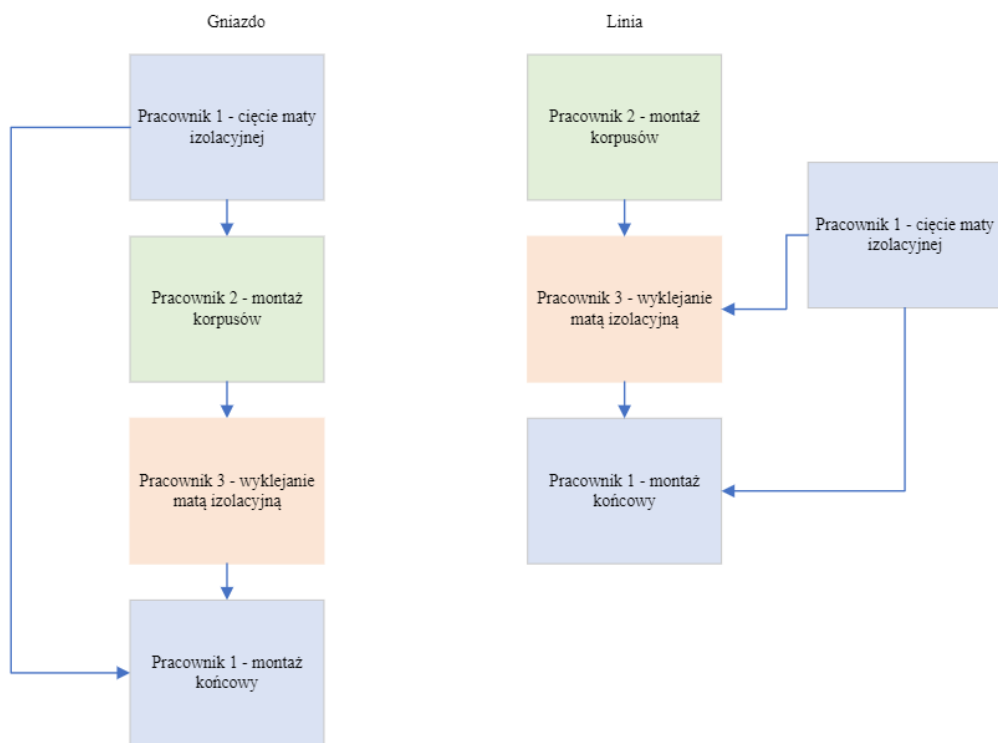
Następnym punktem badań była analiza migawkowa czasów pracy zarówno na gnieździe, jak i na linii produkcyjnej. Wyniki zestawiono w poniższej tabeli.

Tabela 4. Analiza migawkowa czasów

	Gniazdo	Linia
Czas czynności głównych	79,55%	77%
Czas strat	17,18%	8,25%
Czas na transporty	2,04%	8%
Czas czynności pomocniczych	1,23%	6,75%

Analizując powyższe dane można zauważyć szczególnie dwie zależności – po rekonstrukcji w linię czas czynności przynoszących straty spadł o 51% w stosunku do gniazda, co pozwoliło zwiększyć czasy na bezpieczny transport o 74,5%.

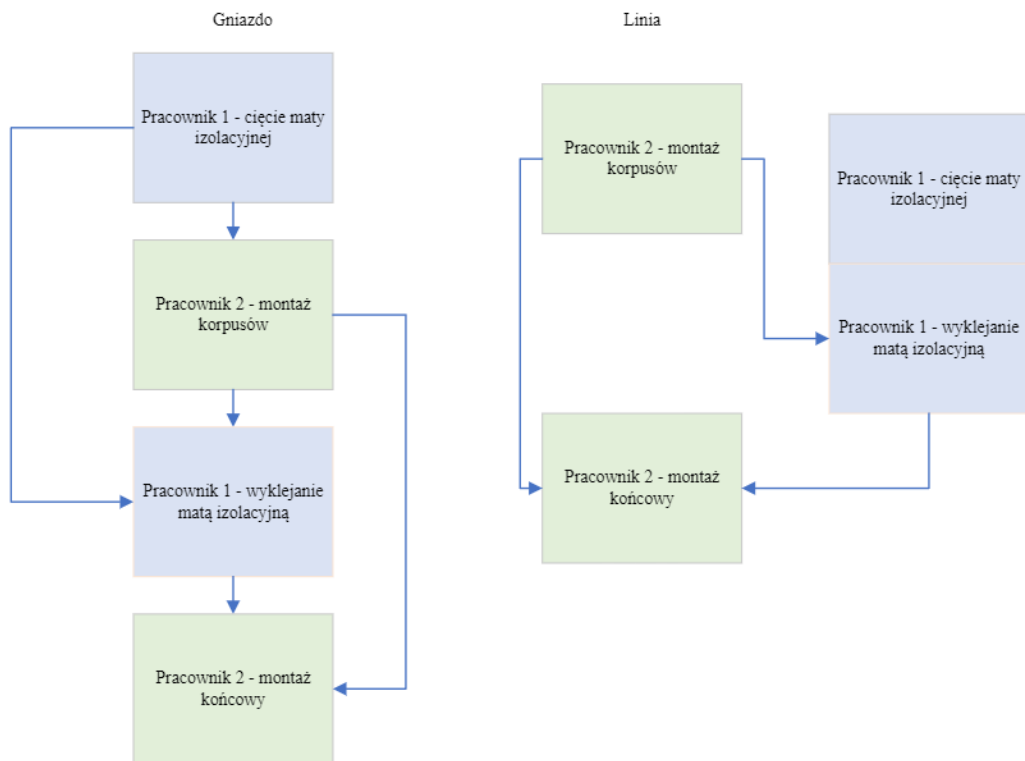
Poniższy schematy przedstawiają zmiany w trybie pracy i wynikające z nich korzyści. Według pomiarów wymiar wędrowki jednej skrzynki podczas produkcji na gnieździe wynosił 21 m, zaś po rekonstrukcji w linię odległość ta zmniejszyła się do 9 m. Najpierw analiza trybu pracy dla 3 osób.



Rys. 4. Schemat pracy dla 3 osób

Dzięki rekonstrukcji w linię pierwszy pracownik po wykonaniu pierwszej części swych obowiązków łatwiej dociera na ostatnie stanowisko. Dzięki zamontowaniu półki nad drugim stołem w wygodniejszy sposób może również przekazać pocięte wg szablonów maty izolacyjne pracownikowi drugiemu. Zaznaczyć trzeba, że droga skrzynek w pierwszym układzie odbywała się na zasadzie gromadzenia na paletach, zaś po utworzeniu linii każda skrzynka w łatwy sposób wędruje do poszczególnych pracowników.

Poniższe schematy ukazują zmiany w dwuosobowym trybie pracy, który występuje w sytuacjach, gdy liczba zleceń jest mała lub gdy produkowane skrzynki są nieizolowane. Wdrożenie zmian na stanowisku odmieniło również tryb pracy dla dwóch osób. Pracownicy nie muszą teraz zamieniać się miejscami w zależności od wykonywanych czynności. Przemieszcza się tylko jeden pracownik wykonujący montaż, zaś osoba odpowiedzialna za cięcie oraz wyklejanie maty izolacyjną K-FLEX wykonuje swoje obowiązki na jednym stanowisku.



Rys. 5. Schemat pracy dla 2 osób

Ostatni etap badań na słusznością przedsięwzięcia jakim była rekonstrukcja gniazda w linię jest analiza sondażu przeprowadzonego pomiędzy pracownikami. 30% ankietowanych to pracownicy pracujący ponad 5 lat, 20% w okresie od 2 do 5 lat, zaś połowa to świeży pracownicy z etatem nie przekraczającym roku. Wszyscy zgadzają się ze stwierdzeniem, iż rekonstrukcja była dobrym pomysłem oraz że różnorodność w wariantach skrzynek ma znaczny wpływ na czas i wydajność produkcji. 90% ankietowanych dobrze ocenia pracę i wydajność na linii skrzynek poza jedną osobą, która pracę na linii odczuwa raczej źle. 100% przepytanych określiło, iż w związku ze zmianami nie przybyło im nowych obowiązków, jednak aż 70% ankietowanych zaznaczyło znaczny wzrost w ilości przybyłych zleceń po modernizacji. Według 60% pracowników ilość usprawnień po rekonstrukcji wzrosła, jednak pozostali nie są do końca zadowoleni. Wskazują tutaj, że trzeba doświetlić stanowisko izolowania matą K-FLEX oraz zmodernizować obecne pionowe regały narzędziowe mające obecnie charakter otwartej na szafki zamykane kluczem, ponieważ zdarzają się kradzieże narzędzi dokonywane przez członków innych brygad. Aż 70% ankietowanych zaznacza również potrzebę zakupu urządzeń technologicznych typu suwnice w celu usprawnienia pracy oraz iż w niektórych przypadkach liczba pracowników na linii jest zdecydowanie za mała i ogólna liczba członków brygady montującej skrzynki rozprężne powinna być większa niż

3 osoby. Tylko 40% uczestników badania twierdzi, że przestrzeni roboczej jest za mało i istnieje potrzeba zwiększenia obszaru produkcji skrzynek, pozostali są zgodni w stwierdzeniu, że obszar linii jest w zupełności wystarczający. Połowa ankietowanych widzi również potrzebę w zmianach w zakresie logistyki wewnętrznej i zewnętrznej – dotyczy to głównie transportu korpusów skrzynek z prasy krawędziowej na teren linii produkcyjnej. W ogólnym rozrachunku pracownicy pozytywnie oceniają rekonstrukcję stanowiska i przebudowę w linii, oczekują jednak kilku drobnych usprawnień technologicznych, które ułatwią im pracę.

## Podsumowanie

Gniazdo produkcyjne skrzynek rozprężnych nie spełniało wymogów produkcyjnych przedsiębiorstwa, zatem badane przedsiębiorstwo kierując się założeniami koncepcji Lean Management postanowiło zminimalizować straty w czasie oraz cyklu produkcyjnym. Po przeprowadzeniu analizy na stanowisku gniazda produkcyjnego skrzynek rozprężnych inżynierowie określili poziom strat wynikający z ułożenia poszczególnych elementów stanowiska. Odległość podróży jednego produktu podczas całego procesu wynosił 21 m, a wydajność produkcyjna gniazda plasowała się na poziomie 66%. Dodatkowymi stratami w procesie produkcyjnym były straty w czasie wynikające z położenia i odległości pomiędzy stanowiskami produkcyjnymi a narzędziami, półproduktami oraz regałami z komponentami pomocniczymi, np. nitami oraz brak płynnego przepływu produktu, jak wykazano powyżej na schemacie w charakterystyce stanowisk pracy. Skrzynki podczas szeregu działań produkcyjnych były przekazywane na poszczególne stanowiska na paletach. Niezbędne zatem były zmiany. Szereg badań wykazał słuszności przebudowy gniazda w linię produkcyjną. Rekonstrukcja stanowiska pozwoliła uzyskać płynność przepływu produkcyjnego – obecnie jedna skrzynka wędruje wzdłuż jednej linii, a odległość jaką pokonuje wynosi zaledwie 9 m, jest to zatem aż o 12 m krótszy dystans niż na gnieździe. Dobrym rozwiązaniem okazało się wprowadzenie rototoków, dzięki którym skrócił się także czas przekazu jednej skrzynki w ciągu procesu.

Rekonstrukcja pozwoliła też na konkretniejsze zmiany na obszarze produkcyjnym – wprowadzono regały narzędziowe oraz przeniesiono półki z komponentami wzdłuż linii. Wszystkie te zabiegi pozwoliły osiągnąć wydajność produkcyjną na poziomie 92%, czyli nastąpił wzrost o 39%. Rekonstrukcja stanowiska dała pożądaną efekt i uzyskała wyniki na powszechnym poziomie wydajności produkcyjnych, które według koncepcji Lean Management zawsze przekraczają 90%. W połączeniu ze wzrostem jakości oraz produktywności pracowników i maszyn wynik ten przełożył się również na wzrost efektywności produkcyjnej mierzonej wskaźnikiem OEE – z pułapu 62,1% do 81,06%, czyli aż o 30%. Śmiało można zatem stwierdzić, iż przedsięwzięcie, jakim była rekonstrukcja gniazda w linię produkcyjną, jest jak najbardziej słuszne i przyczyniło się do wzrostu wydajności i efektywności produkcyjnej na obszarze produkcyjnym skrzynek rozprężnych, co ładnie obrazuje wykres trendu umieszczony w wynikach badań.

Oprócz wzrostu efektywności produkcyjnej zmiany na stanowisku objęły również ułatwienia w trybach pracy w składach dwu i trzyosobowych. Dzięki zmianom pracownicy nie tracą czasu na zbędne przemieszczanie się na różne stanowiska oraz wędrowki po narzędzia czy półprodukty, zyskali natomiast czas na szczegółowe omówienie planu zadań na każdą

zmianę produkcyjną, czas na bezpieczne transporty oraz czas na pomniejsze zadania pomocnicze, co wykazano w wynikach badań. Po analizie przeprowadzonego wśród nich sondażu jasno wynika, iż pozytywnie oceniają rekonstrukcję stanowiska i pomimo zmian nie wpłynęło to na zakres ich obowiązków.

Należy zauważyć, że zwiększyła się liczba zleceń, jednak obecny układ pozwala na zrealizowanie wszystkich zadań w terminie. Pomimo wzrostu usprawnień brakuje jednak pracownikom kilku kluczowych narzędzi technologicznych typu suwnice do sprawniejszego operowania skrzynkami większego kalibru. Jest to jednak zadanie do rozwiązania w przyszłości, gdyż okres modernizacji jeszcze się nie zakończył. Wraz z rozwojem technologii zostaną również wprowadzone kolejne zmiany na linii produkcyjnej, np. zakup robotów przemysłowych. Jeśli Dział Inżynierii Produkcji nie poprzestanie na obecnych działaniach, istnieje szansa na jeszcze większy wzrost efektywności produkcyjnej linii. Wiąże się to jednak z kosztami, a oprócz linii produkcyjnej skrzynek rozprężnych modernizacji wymagają inne działy i brygady w przedsiębiorstwie. Można zatem przypuszczać, iż kolejne zmiany na linii produkcyjnej skrzynek nastąpią dopiero za kilka lat.

Podsumowując, powyższe badania wskazują, że rekonstrukcja gniazda w linię była słusznym przedsięwzięciem i przyczyniła się do znacznego wzrostu wydajności i efektywności produkcyjnej. Wprowadzone zmiany przyniosły pozytywny rezultat i spotkały się z entuzjastycznym przyjęciem ze strony pracowników. Zmiany pozwalają również na wprowadzenie pracowników pomocniczych w sytuacjach kryzysowych, gdyż przestrzeń robocza pozwala na wygodę w działaniu. Jednocześnie proponowana analiza pokazuje wielowymiarowość optymalizacji i jej wpływ na różne aspekty działania stanowiska pracy, stąd istotne jest przeprowadzenie różnego rodzaju analiz jednocześnie, a także przebadanie ludzi pracujących w zmienianym środowisku pracy. Takie kompleksowe podejście pozwala nie tylko ocenić ekonomiczną i produkcyjną efektywność zmiany, ale także dostrzec ewentualne dalsze obszary rozwojowe oraz nowe możliwości.

## Bibliografia

- Bitkowska, A.: Zarządzanie procesami biznesowymi w przedsiębiorstwie. Warszawa, VIZJA PRESS&IT, 2009.
- Borkowski, S., Ulewicz, R.: Zarządzanie produkcją – systemy produkcyjne, Oficyna Wydawnicza „Humanitas”, Sosnowiec Feld, William M. Lean manufacturing: tools, techniques, and how to use them. CRC press, 2000, 2009.
- Gawlik, J., Plichta, J., Świc, A.: Procesy produkcyjne, PWE, Warszawa, s. 295, 2013.
- Jagodziński, J. Ostrowski, D.: Optymalizacja wybranego procesu produkcyjnego w oparciu o zasadę ciągłego doskonalenia na przykładzie przedsiębiorstwa X, Wrocław, Wyższa Szkoła Bankowa, s. 202, 2016.
- Knosala, R.: Inżynieria Zarządzania Cyfryzacja Produkcji, Warszawa, PWE, 2017.
- Leksic, Ia; Stefanic, Na; Veza, Ib. The impact of using different lean manufacturing tools on waste reduction. *Advances in Production Engineering & Management*, 2020.
- Pająk, E., Klimkiewicz, M., Kosieradzka, A.: Zarządzanie produkcją i usługami, Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne s. 293, 2014.
- Sabah, Ayat; Al-Kindi, Luma AH; Al-Baldawi, Zainab. Adopting Value Stream Mapping as a Lean Tool to Improve Production Performance. *Engineering and Technology Journal*, 41.6: 1-14, 2023.

- Santos, Diego Michael Cornelius dos; Santos, Bruna Karine dos; Santos, César Gabriel dos.: Implementation of a standard work routine using Lean Manufacturing tools: A case Study. *Gestão & Produção*, 2021.
- Zajdel, M., Filipowicz, B.: Dobór metod optymalizacji dla sieci transportowych. *Automatyka*, T.12, Z.3, Kraków, Wydawnictwo AGH, 2008.
- Żytniewski, M., Zadora, P.: Modelowanie procesów biznesowych z użyciem notacji BPMN, Katowice, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, s.197, 2013.

*Adres do korespondencji: [aleksandra.lis@urk.edu.pl](mailto:aleksandra.lis@urk.edu.pl)*

ORCID: Lis Aleksandra 0000-0001-7787-8514

ORCID: Furyk-Grabowska Karolina 0000-0001-7509-1814

ORCID: Olech Elżbieta 0000-0003-4405-701X

ORCID: Kłosowska Olivia 0009-0006-2552-7126

,



# ERGONOMICZNA OCENA OBCIĄŻENIA PSYCHOFIZYCZNEGO KIEROWCY SAMOCHODU OSOBOWEGO W CZASIE JAZDY MIEJSKIEJ

Anna Miernik, Paweł Kielbasa, Paweł Pysz, Dariusz Baran, Anna Grela

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

## Wprowadzenie

Stopień koncentracji kierowcy jest istotnym elementem dla prawidłowego funkcjonowania procesu podczas jazdy samochodem. Analiza stopnia obciążenia psychicznego jak i fizycznego pozwalają ocenić wpływ zmęczenia kierowcy na jazdę samochodem w warunkach miejskich, co umożliwiła późniejszą optymalizację procesu. Jednym z często stosowanych podziałów pracy, która zajmuje około 66% dorosłego życia jest podział na pracę umysłową oraz mięśniową<sup>1</sup>. Dziedziną zajmującą się pracą mięśniową jest fizjologia pracy mająca na celu określenie metod realizowania zadań oraz uwarunkowań ich wykonywania. Natomiast wysiłek psychiczny powiązany z wykonywaniem czynności oraz towarzysząca temu monotonia są składowymi wielkościami obciążenia psychicznego<sup>2</sup>.

Zaangażowanie systemu nerwowego człowieka jest istotne przy obciążeniu psychicznym człowieka, na którego wielkość wpływają wszystkie etapy pracy. Badania obciążenia psychicznego powinny być prowadzone w czasie występowania takich elementów jak: monotonia, monotypia, dokładne czynności motoryczne oraz potrzeba podejmowania trudnych i częstych decyzji. Można wyróżnić trzy etapy określania wysiłku psychicznego:

- 1) procesy na wyjściu – nazywane pozyskiwaniem informacji, polegające na odbieraniu sygnałów zawierających wszelkie informacje;
- 2) procesy centralne, czyli podejmowanie decyzji, polegające na podejmowaniu odpowiednich decyzji poprzez przetwarzanie zebranych informacji;
- 3) procesy na wyjściu – wykonywanie czynności, polegające na realizacji podjętych wcześniej decyzji<sup>3</sup>.

---

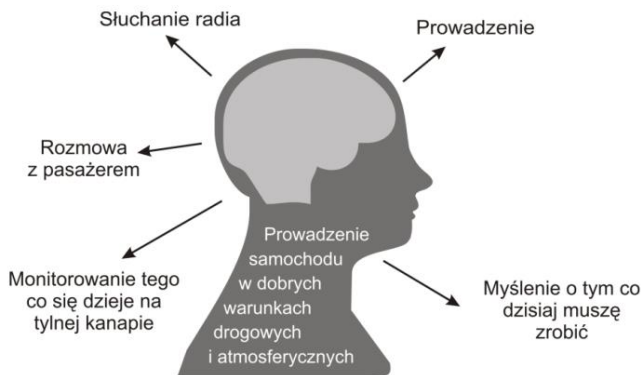
<sup>1</sup> Kielbasa, P., Juliszewski, T., Kądzioła D.: Wpływ rodzaju czynności umysłowej związanej z pracą informatyka na zmęczenie psychiczne i stopień obciążenia fizjologicznego pracą, TTS Technika Transportu Szynowego, s. 772–778, 2015.

<sup>2</sup> Koradecka D.: Bezpieczeństwo pracy i ergonomia. Centralny Instytut Ochrony Pracy. Warszawa 1997.

<sup>3</sup> Bogatowska A., Malinowski A.: Ergonomia dla każdego, Wyd. Sorus, Poznań, 2007.



Prowadzenie pojazdu jest niezwykle złożoną czynnością, angażującą w znacznym stopniu zasoby poznawcze kierowcy, niekiedy w pewnych sytuacjach, przekraczającą je. Istnieje wiele teorii oraz modeli opisujących zachowanie kierowców będące wynikiem oddziaływania wielu czynników. Wyróżnia się wiele czynników potencjalnie rozpraszających uwagę kierowcy i odwracających ją od czynności związanych z prowadzeniem pojazdu (rys. 1). Wśród nich wyróżnić można wszystkie elementy znajdujące się na zewnątrz pojazdu, takie jak inni użytkownicy drogi, budynki, roślinność czy uliczne reklamy oraz urządzenia pokładowe nie związane bezpośrednio z czynnościami związanymi z prowadzeniem pojazdu, np. nawigacja samochodowa - należące do czynników potencjalnie rozpraszających uwagę kierowcy<sup>4</sup>.



Rys. 1. Obciążenie poznawcze kierowcy

Źródło: (Łazowska i in., 2014<sup>4</sup>)

Jedną z najprostszych klasyfikacji metod badania aktywności mózgu jest podział na metody inwazyjne, częściowo inwazyjne i nieinwazyjne, przy czym najczęściej wykorzystywaną metodą w obecnie prowadzonych badaniach aktywności mózgu jest metoda nieinwazyjna – elektroencefalografia (EEG). Wśród metod nieinwazyjnych jest to metoda stosunkowo tania i nieskomplikowana pod względem technicznym, dzięki czemu jej stosowanie w urządzeniach powszechnego użytku jest coraz popularniejsze. W trakcie badania do akwizycji sygnału EEG wykorzystywane są elektrody naklejane na skórę głowy za pomocą żelu oraz nakładane na głowę czepki, kaski lub opaski z suchymi elektrodami. Następnie sygnał przekazywany jest do elektroencefalografu, gdzie jest wzmacniany i w postaci cyfrowej przekazywany do komputera<sup>5</sup>. Wyróżnia się wiele cech charakterystycznych sygnałów mierzonych za pomocą EEG, które można wykorzystywać w interfejsach mózg–komputer

<sup>4</sup> Łazowska E., Niezgodna M., Kruszewski M.: Obciążenie poznawcze kierowców, Wydawnictwo Transport samochodowy, 2014.

<sup>5</sup> Górńska M., Olszewski M.: Interfejs mózg–komputer w zadaniu sterowania robotem mobilnym, *Pomiary Automatyka Robotyka*, R. 19, Nr 3, s. 15–24, 2015.

urządzeń technicznych. Przy projektowaniu takiego systemu, należy brać pod uwagę przeszkody i problemy, z jakimi można się zetknąć, aby stworzyć funkcjonalny system<sup>6</sup>. Należy do nich szumy i odchylenia, bardzo rozbudowane wektory cech, informacje o czasie komunikacji i jej niestacjonarność<sup>7</sup>. Należy pamiętać, że elektryczny sygnał mózgowy jest sygnałem indywidualnym dla każdej osoby oraz ulega znacznym zmianom w zależności od czynników działających na daną osobę w danej chwili. W analizie tych sygnałów brane są pod uwagę dwa parametry amplituda i częstotliwość. Klasyfikacja ze względu na częstotliwość wyróżnia pasma związane z określonymi stanami lub bodźcami, których granic i funkcji, nie można precyzyjnie określić, ponieważ są silnie skorelowane z cechami osobniczymi, a wciąż wiele aspektów działania mózgu jest nieznanych. Wyróżnia się następujące specyficzne fale EEG:

- gamma (powyżej 40 Hz) - towarzyszą działaniu i funkcjom motorycznym;
- beta (od 12 Hz do ok. 28 Hz) – występują w czasie koncentracji oraz obrazują zaangażowanie kory mózgowej w aktywność poznawczą. Pojawiają się w płatach czołowych, a ich aktywność narasta w stanie senności i w pierwszym stadium snu;
- alfa (od 8 Hz do 13 Hz) - są związane ze stanem relaksu i obniżonym poziomem aktywności poznawczej. Najsilniej są one odbierane z okolic potylicy. Pojawienie się fal alfa związane jest z zasypianiem, dlatego podkreśla się ich związek ze spadkiem koncentracji u kierowców;
- mu (od ok. 8 Hz do 12 Hz);
- theta (od 4 Hz do 7 Hz)- ich aktywność jest związana ze stanami hipnotycznymi oraz lekkim senem, a także z pierwszym i drugim stadium snu NREM. Odmienny rodzaj fal theta jest związany z uwagą i procesami pamięciowymi. Fale te obserwuje się głównie w przyśrodkowej przedniej części mózgu;
- delta (od ok. 0,5 Hz do 3 Hz) – obserwowane głównie w trzecim stadium snu NREM<sup>89</sup>.

## **Cel, zakres i metodyka badań**

Celem badań była ocena stopnia wielkości reakcji aktywności mózgu kierowcy samochodu osobowego w ruchu miejskim, który w czasie realizacji jazdy dokonywał zmian parametrów eksploatacyjnych pojazdu (czynności nastawcze) oraz był zmuszony do korekty poprawności działania pojazdu (czynności regulacyjno-korekcyjne).

Zakres pracy obejmował sporządzenie charakterystyk obciążenia psychicznego kierowcy prowadzącego samochód w ruchu miejskim o zróżnicowanym poziomie swobody ruchu i infrastrukturze drogowej. Obciążenie psychiczne zostało wyznaczone na podstawie prądów

---

<sup>6</sup> Cegielska, A., Olszewski M.: Nieinwazyjny interfejs mózg–komputer dla zastosowań technicznych. *Pomiary Automatyka Robotyka*, R. 19, 3, s.5–14, 2015.

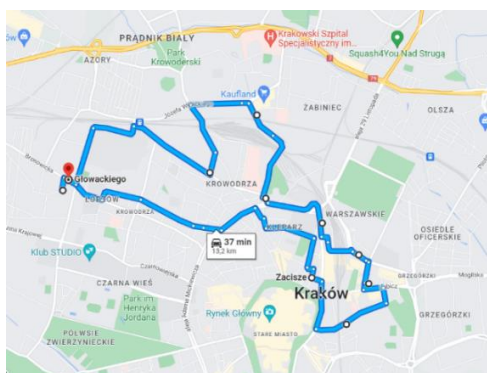
<sup>7</sup> Lotte F., Congedo M., Lécuyer A., Lamarche F., Arnaldi B.: A review of classification algorithms for EEG-based Brain- Computer Interfaces. *Journal of Neural Engineering*, Vol. 4, No. 2, 2007.

<sup>8</sup> Kołodziej M.: Przetwarzanie, analiza i klasyfikacja sygnału EEG na użytek interfejsu mózg–komputer. Praca doktorska, Politechnika Warszawska, 2011.

<sup>9</sup> Gast H., Schindler K., Rummel C., Herrmann U.S., Roth C., Hess C.W., Mathis J.: EEG correlation and power during maintenance of wakefulness est after sleep-deprivation. *Clin. Neurophysio.* 122: 2025–2031, 2011.

czynnościowych mózgu kierowcy w czasie realizacji określonych zadań. W badaniach wykorzystano opaskę EEG Muse InteraXon 2. Przeprowadzona analiza porównawcza pozwoliła wyodrębnić relacje między konkretnym miejscem, odcinkiem drogi miejskiej a stopniem obciążenia fizjologicznego.

Badania były prowadzone na kierowcy, który prowadził samochód po wyznaczonym wcześniej odcinku drogi w godzinach porannych. Wyznaczona trasa ma łączną długość 13 kilometrów (rys. 2). Wykorzystana trasa składała się z takich elementów jak: przejazd prosto ulicą Kazimierza Wielkiego, skręt w lewo na aleje Trzech Wieszców, prawoskręt w ulicę Długą, skręt w prawo dalej pozostając na ulicy Długiej, zakręt w lewo na ulicę Szlak, prawoskręt w ulicę Warszawską a następnie lewoskręt na ulicę Kurniki i prawoskręt w ulicę Zacisze. Na tym etapie po zatrzymaniu się na znaku STOP następuje zakręt w lewo w ulicę Stanisława Worcella, prawoskręt na ulicę Pawią i przecięcie skrzyżowania z trakcją tramwajową. Następnym etapem jest lewoskręt w ulicę Mikołaja Kopernika, dłuższy odcinek jazdy prosto przez drogę jednokierunkową oraz skręt w lewo na ulicę Botaniczną, następnie ponowny skręt w lewo z przecięciem trakcji tramwajowej na ulicy Lubicz. Prawoskręt w ulicę Rakowicką i lewoskręt na obwodnicy Wita Stwosza wybierając pas prowadzący do ronda i drugi zjazd na rondzie w ulicę świętego Rafała Kalinowskiego. Kontynuacja trasy przez tunel a następnie prawoskręt przecinający trakcję tramwajową w prawo, przejazd ślimakiem i dołączenie do ruchu na alei Trzech Wieszców. Dwa prawoskręty prowadzące kolejno przez zjazd dla autobusów i w ulicę Prądnicką. Na końcowym etapie tej ulicy mają miejsce remonty które dotyczą również kolejnego elementu - skrętu w lewo na ulicę Bratysławską. Zakręt w lewo na ulicę Łokietka, przejazd przez tory kolejowe, zakręt w prawo w ulicę Obożną a następnie kolejny w ulicę Wrocławską. Dłuższa jazda prosto przerwana zakrętem w lewo w ulicę Tytusa Czyżewskiego która następnie przechodzi w Bartosza Głowackiego która natomiast dojeżdża do skrzyżowania z ulicą Bronowicką. Na tym etapie następuje poszukiwanie miejsca parkingowego i najbliższą okolicę tego skrzyżowania jest zakończeniem wykonanej trasy. Przebyta w ten sposób droga wymagała na rozlicznych etapach zróżnicowanego stopnia reakcji na sytuacje na drodze oraz manewry pozwalające na ocenę pracy mózgu w zmieniającym się, wymagającym środowisku drogowym.



Rys. 2. Przebieg trasy

Źródło: <https://maps.app.goo.gl/KD8Zs5NEveAIK48s7>

W badaniu wykorzystano opaskę EEG Muse Interaxon 2 (rys. 3), która mierzyła aktywność fal mózgowych dzięki czterem rodzajom informacji zwrotnych, dodatkowo w tym zawierają się informacje zwrotne w rzeczywistym czasie obejmujące takie elementy jak aktywności mózgu, częstotliwość uderzeń serca, parametry oddechu oraz wykonywanych ruchów ciała. Urządzenie umożliwia rejestrowanie zmian 5 pasm aktywności mózgu: alfa, beta, gamma, delta i theta. Opaska współpracuje z aplikacją mobilną łącząc się z urządzeniem przez Bluetooth. Urządzenie to zostało powiązane z aplikacją Mind Monitor (rys. 4), która pozwalała archiwizować sygnały z opaski.



Rys. 3. Opaska EEG Muse Interaxon 2

Źródło: <https://choosemuse.com/muse-2/>



Rys. 4. Interfejs programu Mind Monitor

Źródło: Mind monitor

Na opasce umieszczone jest 7 czujników EEG, 2 z nich znajdują się na czole, 2 za uszami i 3 czujniki to czujniki referencyjne. Ponadto opaska Muse 2 zawiera PPG i pulsometryczne czujniki serca i oddechu, które zlokalizowane są po prawej stronie czoła. Czujniki opierające się na żyroskopie i akcelerometrze umieszczone są za uszami. Opaskę zakłada się na środek czoła i poza uszami a następnie należy dostosować odpowiednio jej długość, tak aby przylegała do czoła oraz boków głowy. Po poprawnym nałożeniu i uruchomieniu urządzenia, następuje połączenie się poprzez Bluetooth z aplikacją Mind Monitor na telefonie. Aplikacja kontroluje, czy opaska została założona poprawnie oraz czy sygnał jest wystarczająco mocny. Kolejnym etapem jest włączenie nagrywania w aplikacji. Wyniki później zapisywane są na telefonie oraz konwertowane do formatu arkusza obliczeniowego.

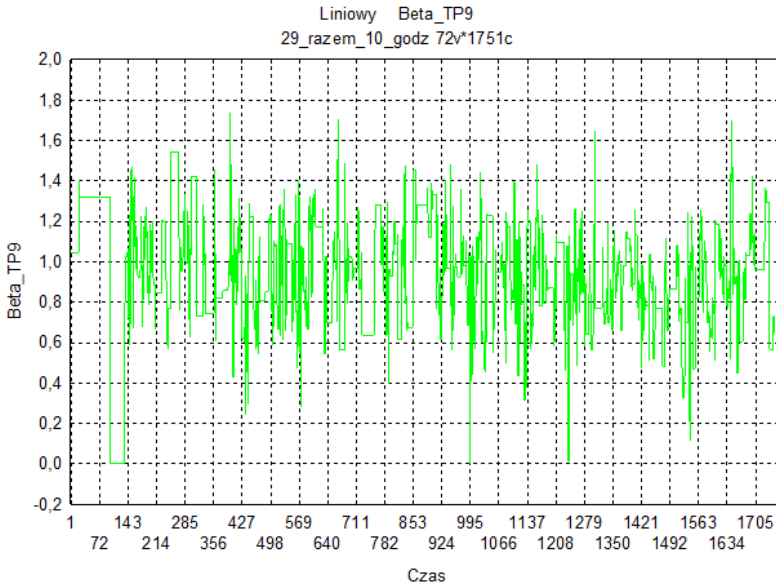
## Wyniki badań

W trakcie wykonywania pomiaru wykonywane były różne manewry które zostały zestawione w tabeli 1.

Tabela 1. Opis wykonywanych czynności podczas pomiaru

Czas	Wykonywana czynność
10:11	wyjazd z parkingu, nawracanie,
10:12	oczekiwanie na możliwość włączenia się do ruchu, lewoskręt, jazda prosto,
10:13	jazda prosto,
10:14	oczekiwanie na czerwonym świetle,
10:15	lewoskręt, oczekiwanie na światłach,
10:16	ustąpienie pierwszeństwa i jazda prosto, zmiana pasa,
10:17	oczekiwanie na światłach, prawoskręt,
10:18	jazda prosto, ustąpienie pieszemu i prawoskręt, ustąpienie grupie pieszych i lewoskręt,
10:19	jazda prosto, zatrzymanie się, przejazd przez próg zwalniający,
10:20	dojechanie powoli do skrzyżowania i prawoskręt, puszczenie skutera przodem,
10:21	zwalnianie związane z pieszymi na pasach, dwukrotnie, zwolnienie spowodowane wzmocnionym ruchem samochodowym i pieszych na odcinku trasy,
10:22	liczne zatrzymywanie się i ruszanie, puszczenie pieszych, prawoskręt, lewoskręt po znaku stop, prawoskręt, przepuszczenie pieszego na drodze, bezproblemowe włączenie się do ruchu z podporządkowanej drogi i przecięcie torowiska,
10:23	kontynuacja jazdy i zmiana pasu na lewy,
10:25	lewoskręt przy dużym ruchu ale bez komplikacji, wyminięcie autobusu przeciwnym pasem,
10:26	kontynuacja jazdy i lewoskręt,
10:27	oczekiwanie na dołączenie się do ruchu i lewoskręt przecinający torowisko, zatrzymanie się przy przystanku,
10:28	przepuszczenie wsiadających do autobusu, prawoskręt,
10:29	przepuszczenie pieszych oraz lewoskręt przez 4 pasy,
10:30	przepuszczenie pieszych, przejechanie przez rondo i jazda tunelem,
10:31	prawoskręt na skrzyżowaniu bezkolizyjnym, zmiana pasa,
10:32	włączenie się do ruchu z podporządkowanej drogi po znaku stop, oczekiwanie na czerwonym świetle,
10:33	sprawnie zajęcie prawego pasa z włączeniem się do kolumny pojazdów oraz prawoskręt,
10:34	powolna jazda poprzez pas połączony z przystankiem dla autobusów, przepuszczenie pieszych na pasach, prawoskręt,
10:35	przejazd pasem awaryjnym w związku z remontami drogowymi,
10:36	lewoskręt, wymijanie robot drogowych, lewoskręt,
10:37	przejazd przez przejazd kolejowy, przejazd przez dwa progi zwalniające,
10:38	oczekiwanie na włączenie się do ruchu i prawoskręt,
10:39	jazda prosto, oczekiwanie na światłach, lewoskręt,
10:40	zwolnienie spowodowane szukaniem miejsca postojowego,
10:41	parkowanie.

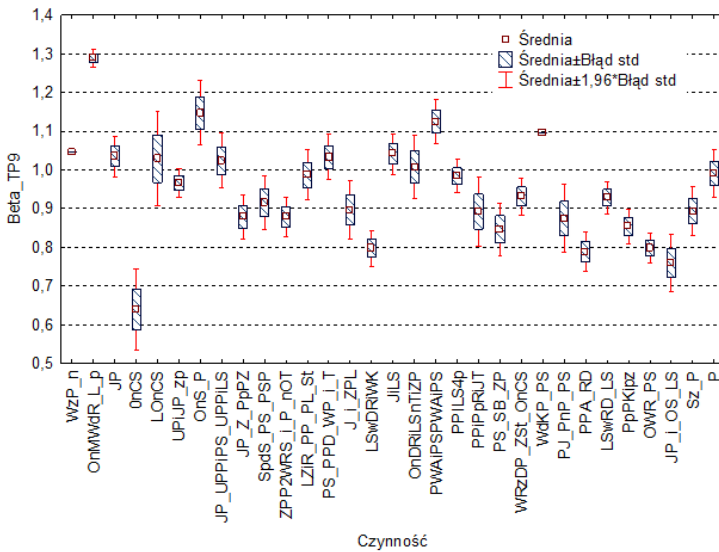
Na rysunku 5 przedstawiono charakterystykę przebiegu aktywności mózgu beta TP9. Wartości widoczne na rysunku zawierają się w przedziałach pomiędzy 0,0 do 1,7. Na początku wykres zachowuje wartość stałą w kilku punktach o wartości 1,05, 1,32 oraz 0,0. Największe różnice oscylują w zakresie od 0,02 do 1,64 w czasie od 1250 do 1300. Najwyższa wartość obciążenia z wartością 1,7 odpowiada czynność zwolnienia spowodowanego wzmożonym ruchem samochodowym i pieszych na odcinku trasy.



Rys. 5. Charakterystyka aktywności mózgu mierzona czujnikiem beta TP9

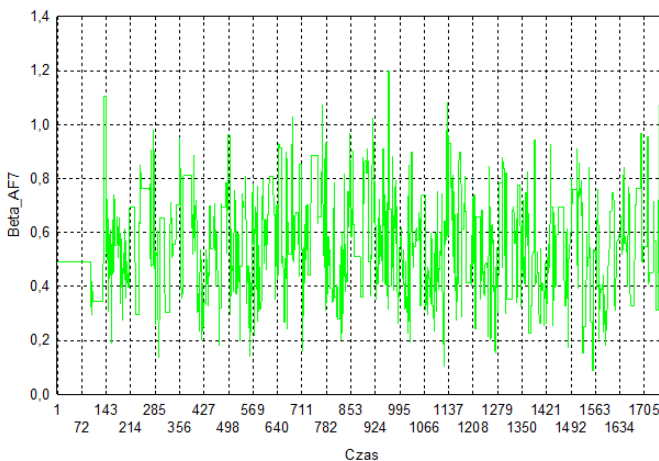
Na rysunku 6 przedstawiono charakterystykę statystyczną wartości aktywności mózgu mierzone czujnikiem beta TP9 dla wyodrębnionych czynności realizowanych przez kierowcę w czasie przejazdu przez odcinek pomiarowy. Czynność druga czyli oczekiwanie na możliwość włączenia się do ruchu, lewoskręt i jazda prosto, charakteryzuje się najwyższą średnią aktywności mózgu która wynosi 1,29 i zakres zmienności równy 0,03. Najmniejszą średnią aktywności mózgu 0,63 ma czynność oczekiwania na czerwonym świetle a zakres zmienności wynosi 0,22. Czynnością z najwyższym wynikiem zakresu to lewoskręt i oczekiwanie na światłach o wartości 0,24, natomiast najmniejszy ma czynność pierwsza wyjazd z parkingu i nawracanie oraz czynność sprawnego zajęcia prawego pasa z włączeniem się do kolumny pojazdów oraz prawoskręt z wynikiem 0,02.

Przeprowadzona identyfikacja grup jednorodnych dla wyodrębnionych czynności pozwoliła określić 4 różne grupy poziomów obciążenia psychicznego dla czujnika beta TP9. Średnie aktywności mózgu dla poszczególnych czynności mieszczą się w przedziale pomiędzy 0,64 dla czynności oczekiwania na światłach do 1,29 dla czynności oczekiwanie na możliwość włączenia się do ruchu i lewoskręt. Dwie czynności znajdują się we wszystkich 4 grupach i są to wyjazd z parkingu, nawracanie oraz sprawne zajęcie prawego pasa z włączeniem się do kolumny pojazdów i prawoskręt, Najliczniejszą grupą jest grupa druga w której znajdują się 27 czynności.



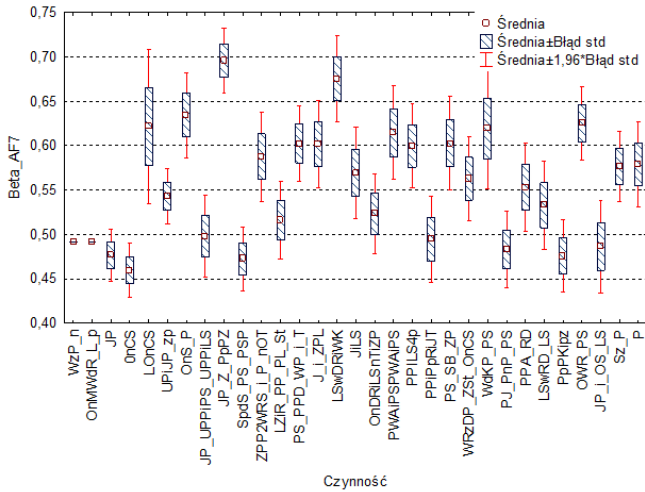
Rys. 6. Charakterystyka aktywności mózgu mierzona czujnikiem beta TP9

Charakterystyka przebiegu aktywności mózgu beta AF7 przedstawiona na rysunku 7. W zakresie czasu od 1 do 100 zachowana jest wartość stała 0,5. Zaobserwowano, że w całym interwale czasowym aktywności mózgu wartości zawierają się w przedziale pomiędzy 0,1 do 1,2. Największe różnice oscylują w zakresie od 0,1 do 1,18 w czasie od 1120 do 1335. Natomiast najmniejszą różnicę występują na początku wykresu od 0,3 do 0,5. Obciążenie z wartością 1,2 zostało osiągnięte przez czynność oczekiwanie na włączenie się do ruchu, lewoskręt przecinający torowisko, zatrzymanie się przy przystanku.



Rys. 7. Charakterystyka aktywności mózgu mierzona czujnikiem beta AF7

Rysunek 8 przedstawia charakterystykę statystyczną wartości aktywności mózgu mierzone czujnikiem beta AF7. Pierwsza i druga czynność czyli wyjazd z parkingu, nawracanie oraz oczekiwanie na możliwość włączenia się do ruchu, lewoskręt i jazda prosto, charakteryzują się najmniejszą wartością zakresu zmienności o wartości 0,01 i średnimi aktywnościami mózgową na poziomie 0,49. Największą średnią aktywności ma czynność jazda prosto, zatrzymanie się, przejazd przez próg zwalniający, która wynosiła 0,7 a zakres zmienności wynosił 0,06.

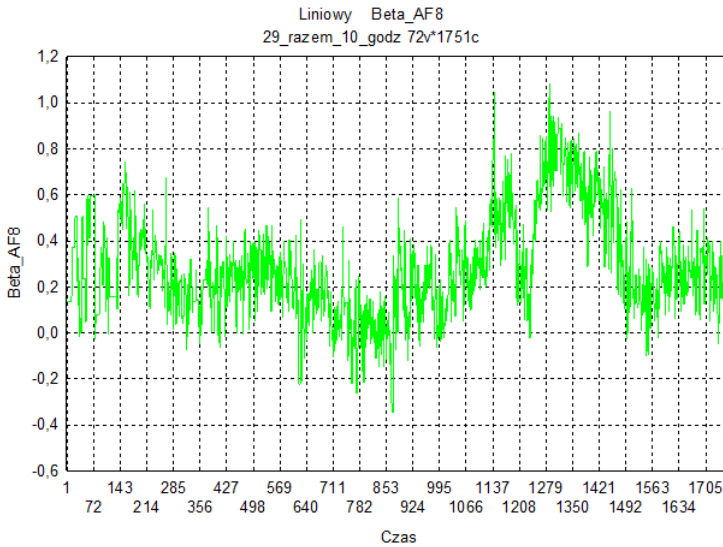


Rys. 8. Charakterystyka aktywności mózgu mierzona czujnikiem beta AF7 kierowcy dla wyodrębnionych w czasie jazdy czynności

Przeprowadzona analiza grup jednorodnych wyodrębniła 3 różne poziomy obciążenia psychicznego. Zakres średnich w tym przypadku mieści się w przedziale od 0,46 do 0,7. Najliczniejszą grupą jest grupa pierwsza w której znajdują się 29 czynności. Czynności które znajdują się tylko w grupie pierwszej to oczekiwanie na czerwonym świetle oraz jazda prosto, w ostatniej znajdują się tylko jazda prosto, zatrzymanie się, przejazd przez próg zwalniający z najwyższą wartością średniej.

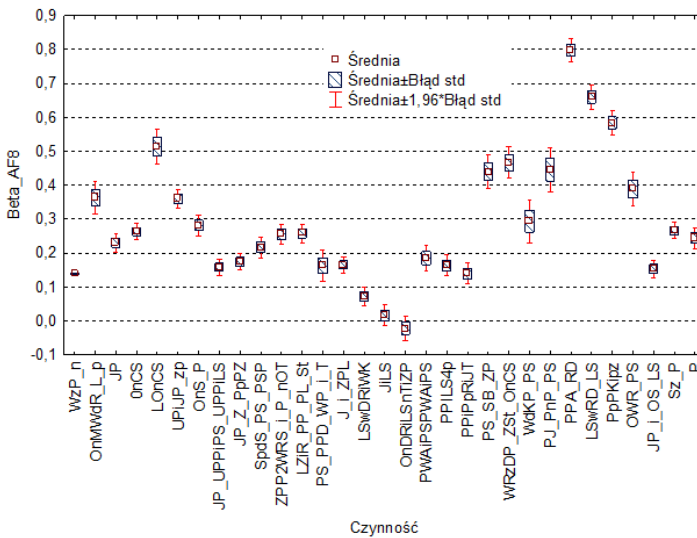
Poniżej zobrazowano charakterystykę przebiegu aktywności mózgu beta AF8 (rysunek 9). Zarejestrowane wartości w całym interwale czasowym zawierają się pomiędzy -0,35 do 1,1. Analizując dane przedstawione na w/w rysunku można zaobserwować że największe odchylenia występują w przedziale czasu pomiaru od 1137 do 1250 oraz w czasie od 1279 do 1450 gdzie krzywa osiąga najwyższe wyniki. Czynnościami w przypadku której zaobserwowano maksymalne wyniki sygnału było zajęcie prawego pasa z włączeniem się do kolumny pojazdów oraz prawoskręt, którego wartość wynosiła 1,1 pkt. mierzonego sygnału.





Rys. 9. Charakterystyka aktywności mózgu mierzona czujnikiem beta AF8

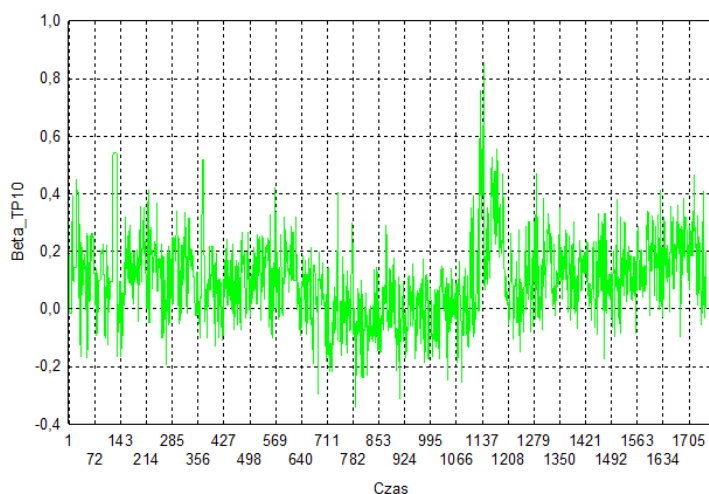
Na rysunku 10 przedstawiono charakterystykę statystyczną wartości aktywności mózgu dla czujnika beta AF8. Pierwsza czynność czyli wyjazd z parkingu, nawracanie miała najniższy zakres zmienności wynoszący 0,02. Najwyższą średnią wynoszącą 0,8 pkt. odnotowano dla czynności przejazdu pasem awaryjnym w związku z remontami drogowymi.



Rys. 10. Charakterystyka aktywności mózgu mierzona czujnikiem beta AF8 kierowcy dla wyodrębnionych w czasie jazdy czynności

W przypadku czujnika beta AF8 wyróżnionych zostało 11 różnych grup poziomów obciążenia psychicznego. Zakresy średnich w tym przypadku występują mieściły się w przedziale od  $-0,02$  do  $0,8$ . Najliczniejszą grupą była grupa czwarta. W tej analizie żadna czynność nie występowała równocześnie we wszystkich grupach.

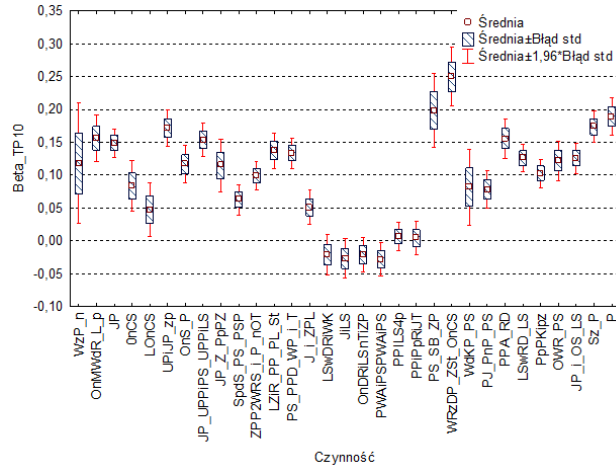
Na rysunku 11 przedstawiono charakterystykę przebiegu aktywności mózgu beta TP10. Wartości na zamieszczonym wykresie oscylują w przedziale od  $-0,35$  do  $0,85$ . Analizując te dane można zauważyć, że największe zróżnicowanie występowało w czasie od 1100 do 1208, wówczas osiągnęte były najwyższe wartości sygnału. W przedziale czasu 1137 obciążenie wynosiło  $0,85$ , co wynikało z czynności przepuszczenia pieszych, przejechania przez rondo i jazda tunelem. Najmniejsza wartość czyli  $-0,35$  występowała dla czynności kontynuacji jazdy i zmiany pasa na lewy.



Rys. 11. Charakterystyka aktywności mózgu mierzona czujnikiem beta TP10

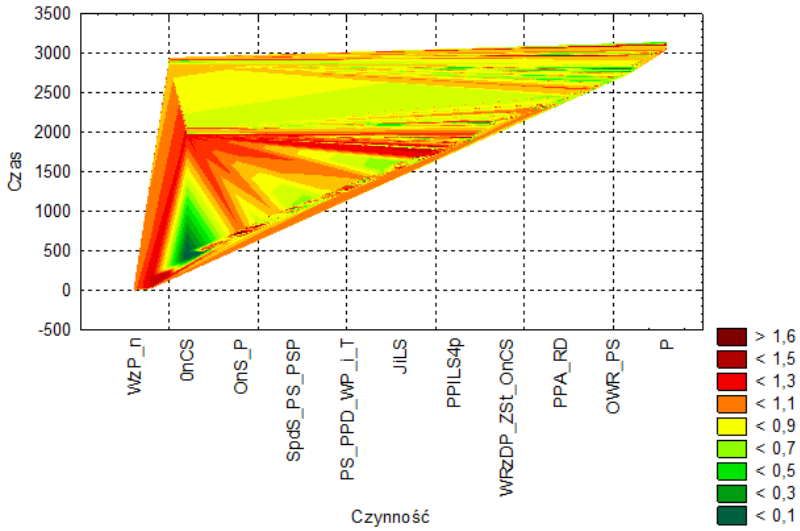
Na kolejnym rysunku 12 zilustrowano dane statystyczne odnotowane na czujniku beta TP10, czynność pierwsza czyli wyjazd z parkingu, nawracanie odznacza się największą wartością zakresu zmienności  $0,18$  oraz ma średnią aktywności która wynosi  $0,12$ . Największą średnią aktywności mózgu charakteryzowała się czynność włączania się do ruchu z podporządkowanej drogi po znaku stop, oczekiwanie na czerwonym świetle  $0,25$ .

Przeprowadzona identyfikacja grup jednorodnych dla wyodrębnionych czynności pozwoliła określić 7 różnych grup poziomów obciążenia psychicznego. Liczba zidentyfikowanych czynności występujących we wszystkich grupach równocześnie wynosi 5. Najmniejszą średnią miała czynność przepuszczenie osób wsiadających do autobusu, a największą włączenie się do ruchu z podporządkowanej drogi po znaku stop, oczekiwanie na czerwonym świetle.



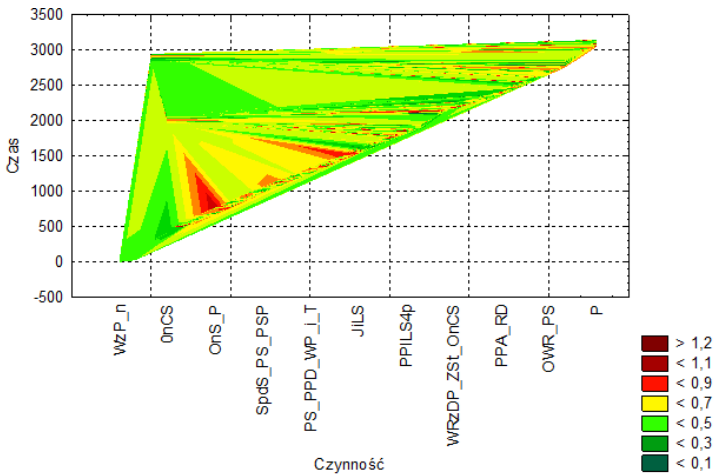
Rys. 12. Charakterystyka aktywności mózgu mierzona czujnikiem beta TP10 kierowcy dla wyodrębnionych w czasie jazdy czynności

Wielkość obciążenia psychicznego kierowcy przedstawiono na rysunku 13, która przyjmowała wartości w przedziale od 0,1 do 1,6. Najniższe i najwyższe wyniki obserwowane były w interwale pomiarowym między 0 a 2000 jednostek czasu obejmującym czynności “wyjazd z parkingu, nawracanie”, “przepuszczenie pieszych oraz lewoskręt przez 4 pasy”. Najniższy wynik widoczny był dla czynności “oczekiwanie na czerwonym świetle” w zakresie 250 a 750 jednostek czasowych.



Rys. 13. Wpływ czasu trwania pomiaru i rodzaju czynność na wielkość obciążenia psychicznego kierowcy mierzona czujnikiem beta TP9

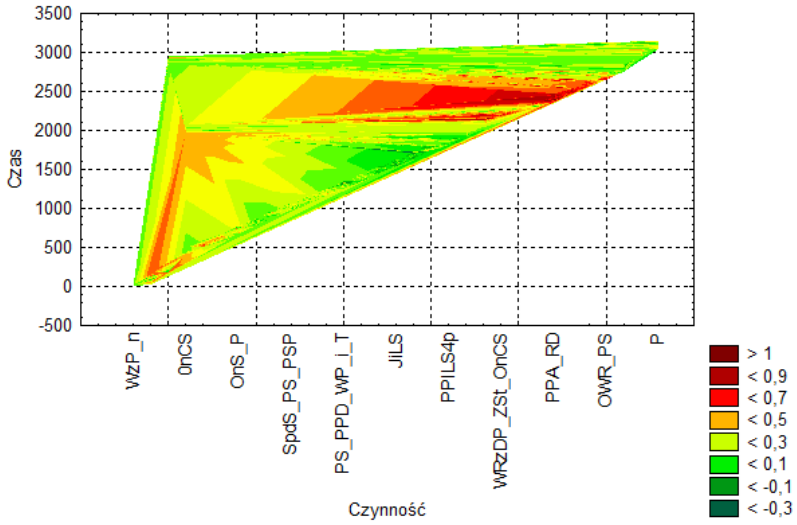
Wartości sygnału z czujnika Beta\_AF7 przedstawiony na rysunku 14 opisuje obciążenie psychiczne w relacji z interwałem pomiarowym oraz wyszczególnionymi w czasie trwania pomiaru czynnościami, Wartość odnotowanego sygnału mieściła się w zakresie od 0,1 do 1,2 jednakże najczęściej wyniki przyjmują wartości między  $<0,3$  a  $<0,7$ . Wyjątków jest kilka, ale przyjmującym najwyższe wartości okazała się czynność “oczekiwanie na czerwonym świetle” w przedziale między 600 a 1000 jednostek czasowych.



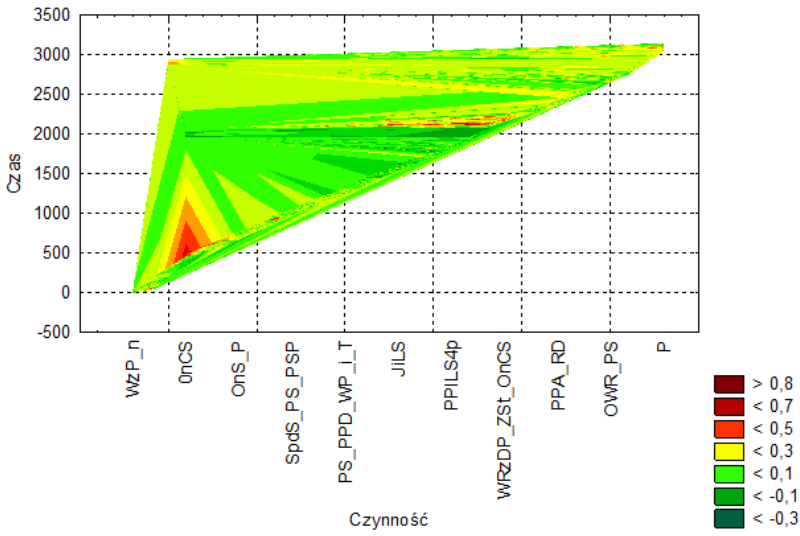
Rys. 14. Wpływ czasu trwania pomiaru i rodzaju czynności na wielkość obciążenia psychicznego kierowcy mierzona czujnikiem beta AF7

Obciążenie psychiczne kierowcy przedstawione na rysunku 15 zawiera się w przedziale między  $<-0,3$  a  $>1$  i najczęściej przyjmuje wartości mniejsze niż 0,3. Natomiast dla czynności opisananej kodem PPA\_RD wynik początkowo przyjmuje najwyższą wartość w jednostce czasu 2400 by stopniowo maleć.

Na rysunku 16 można zauważyć zdecydowaną przewagę wyników wskazujących na niskie obciążenie psychiczne związane z danymi czynnościami. Wysokie wartości sygnału odnotowano w kilku momentach dla kilku czynności, jednakże w żadnym wypadku nie miały stabilnego charakteru.



Rys. 15. Wpływ czasu trwania pomiaru i rodzaju czynność na wielkość obciążenia psychicznego kierowcy mierzona czujnikiem beta AF8



Rys. 16. Wpływ czasu trwania pomiaru i rodzaju czynność na wielkość obciążenia psychicznego kierowcy mierzona czujnikiem beta TP10

## Podsumowanie

Analizując proces pracy kierowcy w czasie pokonywania odcinka testowego wyodrębniono ponad trzydzieści jeden różnych operacji, których realizacja wymaga innych predyspozycji psychofizycznych kierowcy. Stwierdzono, że zakres zmienności aktywności mózgu kierowcy w paśmie częstotliwości beta niejednokrotnie przekraczał 100% wartości średniej w odniesieniu do całego pomiaru. Znacznie mniejszą zmiennością charakteryzowała się aktywność mózgu w obrębie wyszczególnionych czynności. Zaobserwowano wzrost aktywności mózgu o ok 15% w przypadku czynności jednorodnych, które były powtarzane w miarę pokonywania kolejnych etapów odcinka pomiarowego, co mogło być wynikiem zmęczenia kierowcy. Czynnościami przy których odnotowano najwyższą aktywność mózgu to włączanie się do ruchu z drogi podporządkowanej, proces wyprzedzania oraz szukanie miejsca parkingowego i parkowanie. Należy jednak zaznaczyć, że w przypadku parkowania nakładają się dwa elementy tj.: trudność samej czynności parkowania oraz zmęczenie kierowcy, który tą czynność wykonywał jeden raz po pokonaniu odcinka testowego. Biorąc pod uwagę całość przeprowadzonego doświadczenia można wygenerować wytyczne dla przyszłych modyfikacji drogi oraz systemów wspomagających jazdę w przypadku których kluczowym z punktu widzenia drogi będą bezkolizyjne możliwości włączania się do ruchu a w przypadku samochodu będzie system automatycznego parkowania.

## Bibliografia

- Bogatowska, A., Malinowski, A.: Ergonomia dla każdego, Wyd. Sorus, Poznań, 2007.
- Cegielska, A., Olszewski, M.: Nieinwazyjny interfejs mózg–komputer dla zastosowań technicznych. *Pomiary Automatyka*.
- Gast, H., Schindler, K., Rummel, C., Herrmann, U.S., Roth, C., Hess, C.W., Mathis, J.: EEG correlation and power during maintenance of wakefulness est after sleep-deprivation. *Clin. Neurophysio.* 122: 2025–2031, 2011.
- Górska, M., Olszewski, M.: Interfejs mózg–komputer w zadaniu sterowania robotem mobilnym, *Pomiary Automatyka Robotyka*, R. 19, Nr 3, s. 15–24, 2015.
- 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*, 772–778, 2015.
- Kołodziej, M.: Przetwarzanie, analiza i klasyfikacja sygnału EEG na użytek interfejsu mózg–komputer. Praca doktorska, Politechnika Warszawska, 2011
- Koradecka D.: Bezpieczeństwo pracy i ergonomia. Centralny Instytut Ochrony Pracy. Warszawa 1997.

Lotte, F., Congedo, M., Lécuyer, A., Lamarche, F., Arnaldi, B.: A review of classification algorithms for EEG-based Brain- Computer Interfaces. *Journal of Neural Engineering*, Vol. 4, No. 2, DOI: 10.1088/1741-2560/4/2/R01, 2007.

Łazowska, E., Niezgoda, M., Kruszewski, M.: *Obciążenie poznawcze kierowców*, Wydawnictwo Transport samochodowy, 2014.

*Adres do korespondencji: [pawel.kielbasa@urk.edu.pl](mailto:pawel.kielbasa@urk.edu.pl)*

ORCID: Anna Miernik 0000-0003-0394-9185

ORCID: Paweł Kielbasa 0000-0003-0249-8626

ORCID: Paweł Pysz 0000-0001-7083-1078

ORCID: Dariusz Baran 0000-0001-7548-3180

# WYZNACZANIE OPTYMALNYCH LOKALIZACJI MAGAZYNÓW Z UŻYCIEM SYMULACJI W PROGRAMIE ANYLOGISTIX®

Krzysztof Molenda<sup>1</sup>, Paulina Matoga<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, ul. Balicka 116B, 30-169 Kraków

<sup>2</sup> Dyploantka w Katedrze Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, ul. Balicka 116B, 30-169 Kraków

## Wprowadzenie

Podjęcie decyzji z zakresu wyboru lokalizacji magazynów w sieci logistycznej oparte jest na wielokryterialnej i wieloaspektowej ocenie, a wśród najczęściej stosowanych kryteriów można wymienić: koszty i zasoby pracy oraz kwalifikacje pracowników, koszty transportu, magazynowania, istniejącą infrastrukturę gospodarczą, dostępność transportową i odległość od klientów, poziom rozwoju gospodarczego i lokalne podatki, cechy terenu (ukształtowanie, dostępność miejsca, uzbrojenie terenu i koszty gruntów) czy warunki klimatyczne, w tym: ryzyko zdarzeń losowych, jak np. powódzie. Według Turczaka i Zwiecha<sup>1</sup> za Brzeziński<sup>2</sup> do wzrostu efektywności realizowanego przedsięwzięcia inwestycyjnego przyczynia się bezpośrednio ograniczenie kosztów ponoszonych na transport, co sugeruje wybranie lokalizacji o najniższych ogólnych kosztach transportu ponoszonych w związku z zaopatrzeniem oraz dystrybucją. Te zaś, jako czynniki mierzalne, pozwalają na zastosowanie formalnych metod matematycznych do optymalizacji podejmowanej decyzji.

W pracy, dla przyjętych założeń i przykładowych danych, przedstawiono krok po kroku, etapy budowania matematycznego modelu systemu logistycznego lokalizacji magazynów oraz łańcuchów dostaw, przeprowadzenia symulacji komputerowych dla różnych scenariuszy oraz określenie rozwiązań optymalnych przyjmując różne kryteria decyzyjne, ze szczególnym uwzględnieniem minimalizacji kosztów transportu.

---

<sup>1</sup> Turczak, A., Zwiech, P.: Optymalizacja lokalizacji dla nowopowstałego obiektu. Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, 36 T.1, ss. 447-461, 2014.

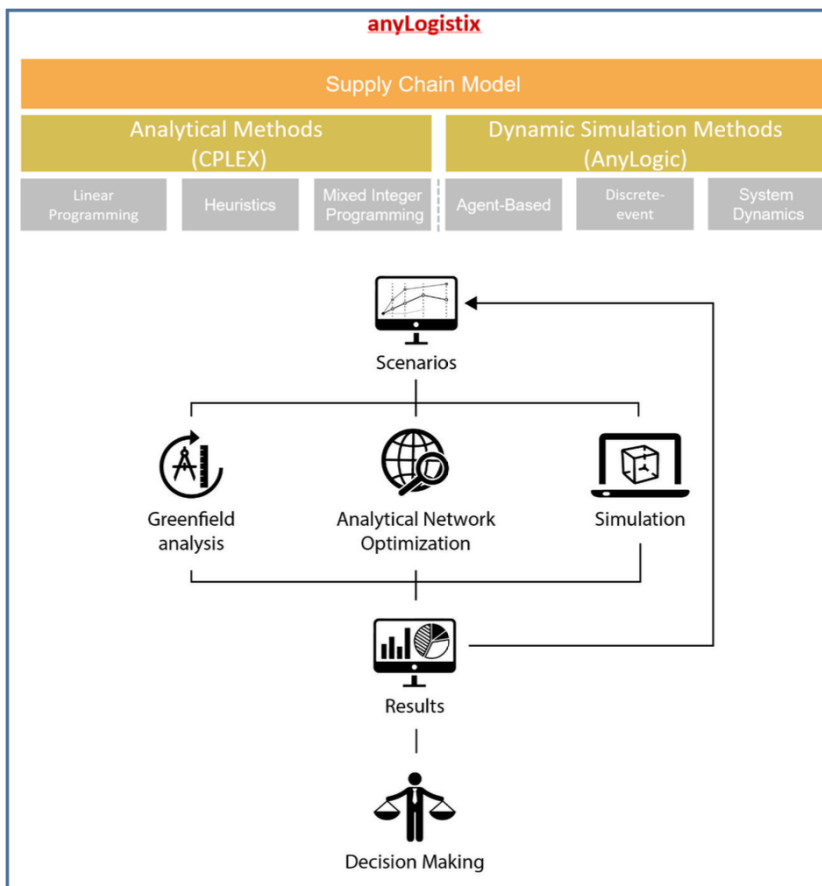
<sup>2</sup> Brzeziński, M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Warszawa, Dom Wydawniczy Bellona, ISBN: 83-1110457-3, 2006.



## Program anyLogistix®

Program anyLogistix® został stworzony przez firmę AnyLogic we współpracy z IBM, światowym liderem w branży informatycznej, oferującym rozwiązanie analityczne – optymalizator IBM ILOG CPLEX®, pozwalający na wyszukiwanie optymalnej lokalizacji dla obiektów. Jest połączeniem optymalizacji analitycznej i symulacji dynamicznej w celu zapewnienia wsparcia podejmowania decyzji w łańcuchu dostaw (rys. 1). Dzięki ciągłemu rozwojowi, oprogramowanie stało się intuicyjnym i łatwo dostępnym narzędziem, przewyższającym techniki analizy z użyciem arkuszy kalkulacyjnych.

Jako główne funkcje spełniane przez program należy wymienić analizę Greenfield (GFA), scenariusze symulacyjne co-jeśli, analizę ryzyka, optymalizację transportu i stanu zapasów, a wszystkie wyniki przedstawione za pomocą czytelnych oraz elastycznych statystyk i wizualizacji.



Rys. 1. Metody analityczne i symulacyjne w anyLogistix

Źródło: Ivanov D. 2021. *Supply Chain Simulation and Optimization with anyLogistix*

Najogólniej aplikacja ta jest narzędziem wspomagającym analitykę łańcucha dostaw, która pomaga gromadzić, oceniać i wyciągać wartościowe informacje z wielkich wolumenów danych dotyczących procesów zaopatrzenia, przetwarzania i dystrybucji towarów. Pozwala ona również na identyfikację zagrożeń i ich przewidywanie, zwraca uwagę na możliwość usprawnienia obecnych procesów lub na istniejące problemy. anyLogistix® używa analityki predykcyjnej tworzącej prognozy wyników na podstawie danych historycznych i terażniejszych oraz analizy nakazowej, pozwalającej zrozumieć mechanizmy postępowania kryjące się za wynikami (podpowiada działania) i potencjalne skutki podejmowanych działań.

## Metodyka

Planowanie optymalnych lokalizacji magazynów należy rozpocząć od zamodelowania łańcucha dostaw. Do tego zadania wykorzystywana jest analiza środka ciężkości, nazywana w anyLogistix® analizą *Greenfield* (GFA). Dzięki wysokiemu poziomowi abstrakcji, do jej wykonania potrzeba stosunkowo niewielkiej ilości danych – informacji o produktach, lokalizacjach klientów i ich zapotrzebowaniach oraz bezpośrednich odległościach między klientami a centrami dystrybucji.

Lokalizacja dla magazynu wyznaczana jest przy założeniu minimalizacji kosztów transportu odbieranego i wysyłanego. Podstawowa analiza środka ciężkości przedstawia optymalne rozwiązanie matematyczne, a więc nie uwzględnia sieci dróg, lokalizacji miast czy charakterystyki geograficznej obszarów. Następnie pozyskane wyniki można wykorzystać podczas kolejnych etapów optymalizacji łańcucha dostaw, w celu wybrania lokalizacji bardziej realistycznych z uwzględnieniem większej ilości kryteriów lub z tych, zasugerowanych jeszcze przed dokonaniem analizy *Greenfield*. Wykorzystuje się do tego celu narzędzia optymalizacji sieci (ang. *Network Optimization*, NO)

## Analiza Greenfield

Analiza GFA zakłada reprezentowanie informacji w formie grafu, a dokładnie w formie siatki płaskiej, w której lokalizacje reprezentowane są przez pary liczb określających współrzędne. Niech współrzędne reprezentujące lokalizacje klientów oznaczane będą jako  $(x; y)$ . Współrzędne  $(p_x; p_y)$  są zmiennymi decyzyjnymi i wyznaczają lokalizacje nowego magazynu. Podczas przeprowadzania analizy środka ciężkości należy przyjąć kilka założeń:

- liniową proporcjonalność kosztów transportu do odległości między planowanym obiektem a klientami i popytu na produkty, czyli wielkości tego transportu. Od współrzędnych przyszłego magazynu będą zależę odległości, a więc i całkowite koszty transportu.
- koszty transportu z potencjalnego magazynu  $(p_x; p_y)$  do lokalizacji  $i$ -tego klienta  $(x_i; y_i)$  są większe lub równe odległości oraz popytowi.
- łączna suma kosztów transportu jest proporcjonalna do odległości i wolumenu przewozów (tj. zapotrzebowania).

Przyjmując, że odległość między planowanym obiektem a klientem wynosi  $d((p_x; p_y); (x_i; y_i))$ , możemy zapisać funkcję celu:

$$Z(p_x; p_y) = \sum_{i=1}^N d((p_x; p_y); (x_i; y_i)) \cdot D(x_i; y_i) \xrightarrow{\text{optymalizacja}} \min$$

Całkowite koszty  $Z(p_x; p_y)$  dążą do wartości minimalnej, którą osiągamy poprzez zmianę współrzędnych  $(p_x; p_y)$ .

Model opisany powyżej przedstawia ogólną metodę wyznaczania idealnej lokalizacji w oparciu o środek ciężkości (ang. *center of gravity method*). Identyfikacja optymalnej lokalizacji polega na znalezieniu punktu, w którym suma odległości od wszystkich dostawców punktu zaopatrzenia, ważona wielkością przepływu produktów między każdym dostawcą a potencjalnym magazynem, jest minimalna.

Zmienne decyzyjne są nieograniczone, dziedziną funkcji  $Z$  jest nieograniczona, oraz funkcja ta jest ciągła i różniczkowalna w swojej dziedzinie. Można zatem, do optymalizacji, posłużyć się rachunkiem różniczkowym. Należy sprawdzić warunek konieczny przyrównując pierwsze pochodne cząstkowe funkcji do zera i wyznaczyć punkty stacjonarne, a następnie zweryfikować je za pomocą warunku wystarczającego – korzystając z macierzy Hessego. Obliczenia prowadzą do wyznaczenia punktu  $(p_x; p_y)$  minimalizującego funkcję  $Z$ .

$$\frac{dZ}{dp_x} = \frac{Np_x}{d((p_x; p_y); (x_i; y_i))} - \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{d((p_x; p_y); (x_i; y_i))}$$

$$\frac{dZ}{dp_y} = \frac{Np_y}{d((p_x; p_y); (x_i; y_i))} - \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{d((p_x; p_y); (x_i; y_i))}$$

Przyjmując, że  $d((p_x; p_y); (x_i; y_i))$  jest metryką euklidesową, tzn.:

$$d((p_x; p_y); (x_i; y_i)) = \sqrt{(p_x - x_i)^2 + (p_y - y_i)^2}$$

rozwiązaniem analitycznym jest

$$p_x = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{D(x_i; y_i) \cdot x_i}{\sqrt{(p_x - x_i)^2 + (p_y - y_i)^2}}}{\sum_{i=1}^N \frac{D(x_i; y_i)}{\sqrt{(p_x - x_i)^2 + (p_y - y_i)^2}}}$$

$$p_y = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{D(x_i; y_i) \cdot y_i}{\sqrt{(p_x - x_i)^2 + (p_y - y_i)^2}}}{\sum_{i=1}^N \frac{D(x_i; y_i)}{\sqrt{(p_x - x_i)^2 + (p_y - y_i)^2}}}$$

Opisana powyżej metoda pozwala na określenie lokalizacji jednego magazynu. Program anyLogistix® umożliwia wyznaczenie wielu lokalizacji oraz liczbę potrzebnych magazynów, w zależności od narzuconej przez użytkownika maksymalnej odległości do klienta.

### Optymalizacja sieci

Optymalizacja sieci (ang. *Network Optimization*, NO) jest ilościowym modelem zarządzania łańcuchem dostaw (ang. *Supply Chain Management*, SCM), który pozwala na łatwe porównanie możliwych kombinacji połączeń w sieci, wspierając procesy decyzyjne kadry zarządzającej. Wśród nowych danych wprowadzanych do modelu należy wymienić:

- koszty stałe obiektu,
- koszty otwarcia/zamknięcia obiektu,
- koszty utrzymania zapasów,
- emisje CO<sub>2</sub>.

Model ten jest swego rodzaju rozszerzeniem lub kolejnym etapem analizy GFA, gdyż posiadając alternatywne lokalizacje magazynów (np. wyznaczone w poprzednim kroku) oraz dane wejściowe, można porównać wiele alternatywnych projektów sieci, wybierając ten o najlepszej wydajności dla analizowanego łańcucha dostaw. Dzięki uzyskanym wynikom można również porównać opłacalność wdrożenia każdego z potencjalnych projektów.

Funkcja celu optymalizacji sieci wygląda następująco:

$$Z = \sum_{s \in S} f_s \cdot y_s + \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} C_{sm} \cdot x_{sm} \quad (1)$$

gdzie:

- $S$  – zestaw alternatywnych s lokalizacji dla obiektu,
- $M$  – zestaw obsługiwanych m rynków/klientów,
- $T = S \times M$ , – zbiór zawierający możliwe połączenia między magazynem a klientem, przy czym krotka  $(s, m) \in T$  interpretowana jest jako połączenie transportowe,
- $f_s$  – roczne koszty funkcjonowania/otwarcia magazynu,
- $C_{sm}$  – roczny koszt wykorzystania danego połączenia transportowego,
- $y_s$  – zmienne binarne reprezentujące podejmowane decyzje w sprawie otwarcia obiektu magazynowego, przyjmuje wartość: 1 lub 0.
- $x_{sm}$  – zmienne binarne kodujące decyzje o użyciu połączeń transportowych T, przyjmuje wartość: 1 lub 0.

W przedstawionym równaniu (1) należy dążyć do minimalizacji sumy kosztów rocznych, dokonuje się tego operując wartościami zmiennych decyzyjnych:  $y_s$  i  $x_{sm}$ .

Przy założeniu, że każdy rynek obsługiwany jest przez jeden obiekt, należy przestrzegać ograniczenia (2), w przeciwnym przypadku co najmniej jeden klient zostaje nieobsłużony.

$$\sum_{s \in S} x_{sm} = 1, \forall m \in M \quad (2)$$

Połączenie rynku  $m \in M$  z dwoma lub więcej magazynami przyczynia się do zwiększenia kosztów, a więc powinno dążyć się do określenia jednego obiektu obsługującego danych klientów.

W celu uniknięcia błędów optymalizacji sieci w postaci planowania połączeń wychodzących z zamkniętego obiektu  $s$ , wprowadzone są następujące ograniczenia:

$$x_{sm} \leq y_s, \forall s \in S, \forall m \in M \quad (3)$$

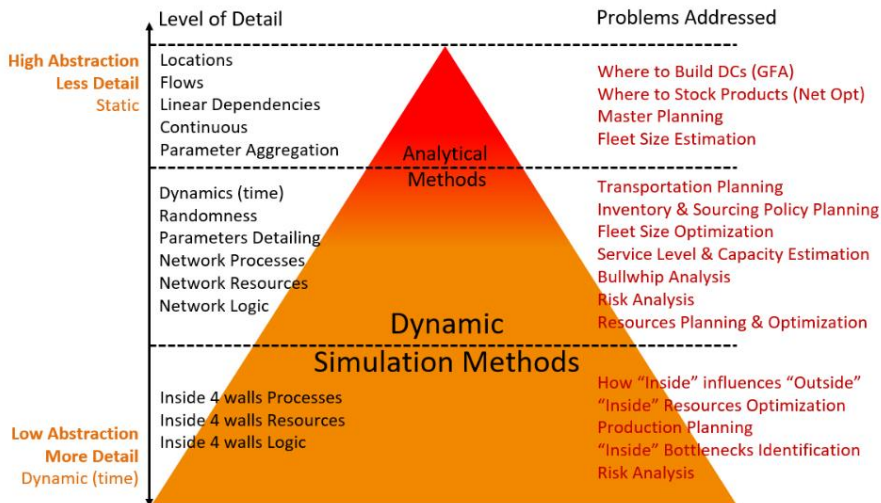
$$y_s \in \{0; 1\}, \forall s \in S, x_{sm} \in \{0; 1\} \forall (s, m) \in T \quad (4)$$

Ivanov<sup>3</sup> w podręczniku do programu anyLogistix® formułuje problem optymalizacji w następujący sposób: „Niezbędne jest zminimalizowanie całkowitych kosztów instalacji budynków i połączeń transportowych podlegających równaniu ( $Z \Rightarrow$  funkcja celu) (1) tak, aby każdy rynek był obsługiwany przez dokładnie jeden obiekt (2). Jeśli korzystamy z obiektu do zaopatrywania rynku, to ten obiekt musi być otwarty (3). Każdy dostępny obiekt jest otwarty lub zamknięty, a każde dostępne połączenie transportowe jest używane lub nie (4)”.

Zbiór powyższych wyrażań matematycznych jest modelem połączenie transportowe jest używane lub nie (4)”. Zbiór powyższych wyrażań matematycznych jest modelem optymalizacji sieci, a jego rozwiązanie to wybór wartości dla zmiennych decyzyjnych  $x$  i  $y$ , przy czym, aby rozwiązanie było osiągalne, wszystkie ograniczenia muszą być spełnione.

### Symulacja

Podczas optymalizacji sieci trudno jest uwzględnić niektóre czynniki, szczególnie te zależne od czasu. Wraz z wzrostem ich ilości i szczegółowości budowanego łańcucha dostaw, autorzy programu anyLogistix® sugerują użycie symulacji, jako trzeciego etapu analizy (rys. 1). Daje ona możliwość obserwacji skutków zastosowania różnych zasad kontroli zapasów i zaopatrzenia, a także transportu i polityki produkcyjnej.



Rys. 1. Piramida problemów z projektowaniem i analizą łańcucha dostaw

Źródło: Ivanov (2021). *Supply Chain Simulation and Optimization with anyLogistix*

<sup>3</sup> Ivanov D.: *Supply Chain Simulation and Optimization with anyLogistix*. 5th, updated edition, Berlin School of Economics and Law, 2021. <https://www.anylogistix.com/resources/books/alx-text-book/>, dostęp: 2023-01-03.

Ivanov<sup>3</sup> definiuje symulację jako „naśladowanie zachowania jednego systemu za pomocą drugiego”. Zmiana danych wejściowych symulacji pozwala na zrozumienie dynamiki przepływów produktów w projektowanym łańcuchu dostaw. Do jej przeprowadzenia konieczne są nowe dane, tj.:

- polityka zaopatrzenia,
- polityka kontroli zapasów,
- polityka wysyłki,
- polityka produkcji i listy materiałowe.

Wsparcie strategiczne osiągane dzięki zastosowaniu symulacji w łańcuchu dostaw ułatwia podejmowanie decyzji z zakresu ustalania poziomu zapasów czy planowania transportu i dostaw. Dzięki wsparciu operacyjnemu możliwe jest wykrywanie trendów, kontrola procesu i rozwoju w nadchodzących okresach oraz wspomaganie w podejmowaniu optymalnych decyzji w nieoczekiwanych sytuacjach, jak wahania popytu czy awarie.

Najlepsze efekty można osiągnąć łącząc wyniki opisanych eksperymentów i porównując *kluczowe wskaźniki efektywności* (ang. *key performance indicators*, KPI) otrzymane w różnych scenariuszach. W tym celu można użyć analizy wariacyjnej w programie anyLogistix®, pozwalającej na przeprowadzenie analizy wrażliwości z wieloma iteracjami, a otrzymane wyniki wskażą, czy zmiany kluczowych parametrów wejściowych mają wpływ na koszty i oszczędności.

W zależności od celu przeprowadzanego modelowania, można wyróżnić trzy sposoby łączenia optymalizacji i symulacji:

- punkt wyjścia: optymalizacja, rozszerzona metoda analizy: symulacja;
- punkt wyjścia: symulacja, rozszerzona metoda analizy: optymalizacja;
- hybrydowe techniki optymalizacji i symulacji.

Podczas gdy optymalizacja poszukuje najlepszego rozwiązania dla łańcucha dostaw lub problemu operacyjnego, a jej model składa się z funkcji celu, ograniczeń, zmiennych decyzyjnych i danych wejściowych, to posiada wadę w postaci trudności opracowania szczegółowych modeli obarczonych niepewnością. Modele optymalizacyjne mają najczęściej charakter deterministyczny i statyczny. W rzeczywistości większość problemów dotyczących łańcucha dostaw ma charakter dynamiczny, a więc trudno ograniczyć je do modelu optymalizacyjnego. Symulacja pozwala na imitowanie dynamicznych zachowań systemu, a więc na eksperymentowanie poprzez zmiany jego parametrów i badanie otrzymywanych wyników, zamiast otrzymywania rozwiązania analitycznego. Działa ona na zasadzie „co się stanie jeśli..?”, a więc kwestie dotyczące skrajności, kompletności i spójności wyników pozostają otwarte.

## Projekt

Do zademonstrowania procesów modelowania, optymalizacji i symulacji opisanych w części metodycznej przyjęto poszukiwanie lokalizacji i określenie optymalnej liczby magazynów dla fikcyjnego problemu dystrybucji telefonów komórkowych. Jako lokalizacje klientów przyjęto miasta w Polsce o populacji powyżej 50 000 w roku 2021, według Główn-

nego Urzędu Statystycznego (83 miasta), pozyskując z publikowanych informacji dane geolokalizacyjne<sup>4</sup>. Dane dotyczące zapotrzebowania wygenerowano z rozkładem jednostajnym, przyjmując minimalną i maksymalną wielkość zamówienia na 50 i 300 sztuk odpowiednio. Przyjęto, że zamówienia będą realizowane cyklicznie, z okresem 7 dni.

Program anyLogistix® pozwala na bezpośrednie edytowanie danych, jednakże wygodniejszą opcją zasilenia modelu danymi jest ich import z baz danych SQL lub z arkusza kalkulacyjnego. W tym ostatnim przypadku aplikacja dostarcza szablon pliku Excela, składający się z 12 tabel (rys. 3) oraz szczegółową instrukcją ich wypełnienia.

Table Name	Sheet Name
Scenario settings	<a href="#">Scenario settings</a>
Customers	<a href="#">Customers</a>
Demand	<a href="#">Demand</a>
Locations	<a href="#">Locations</a>
Periods	<a href="#">Periods</a>
Products	<a href="#">Products</a>
Experiments	<a href="#">Experiments</a>
Experiment Statistics Settings	<a href="#">Experiment Statistics Settings</a>
Experiment Dashboards	<a href="#">Experiment Dashboards</a>
Project Units	<a href="#">Project Units</a>
Project Unit Conversions	<a href="#">Project Unit Conversions</a>
Icons	<a href="#">Icons</a>

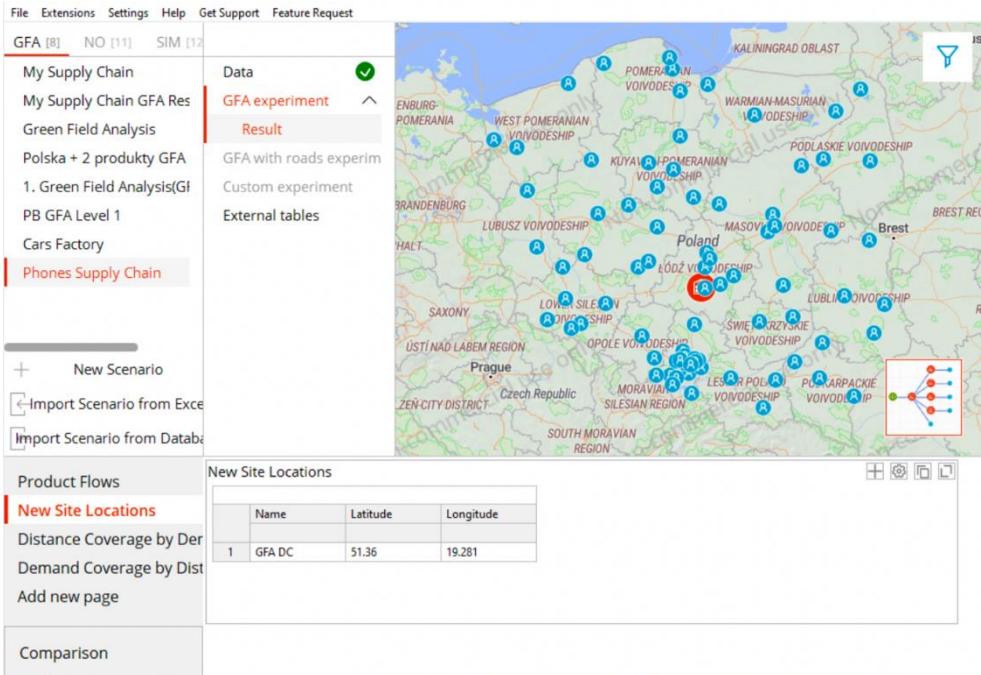
Rys. 3. Agenda pliku MS Excel zawierającego dane do projektu

*Źródło: program anyLogistix®*

Po pomyślnym zaimportowaniu danych i uzupełnieniu brakujących informacji (m.in. jednostek miar, rodzaju i czasu trwania eksperymentu, korekty lokalizacji obiektów), można przejść do analizy GFA.

Wykonywanie analizy jest czynnością iteracyjną. W pierwszym kroku poszukujemy lokalizacji dla jednego magazynu (rys. 4).

<sup>4</sup> „Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2021 r. „Główny Urząd Statystyczny, data publikacji: 22.07.2021 r. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ludnosc/ludnosc/powierzchnia-i-ludnosc-w-przekroju-terytorialnym-w-2021-roku,7,18.html>\_ data dostępu: 23.05.2022 r.

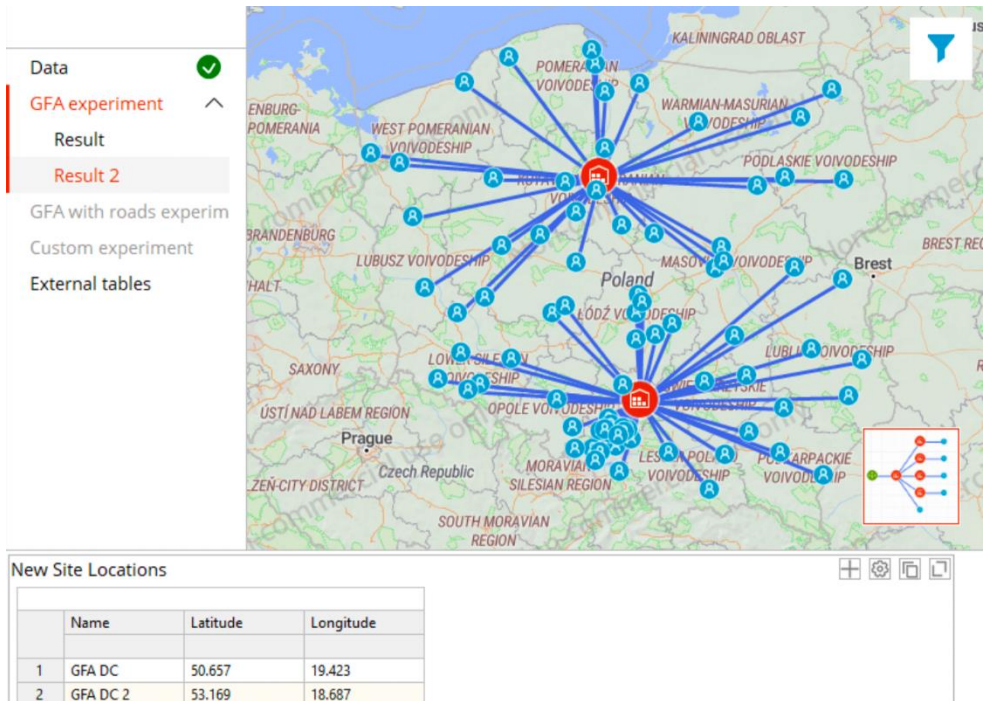


Rys. 4. Wyniki przeprowadzonej analizy GFA

Źródło: Opracowanie własne

W kolejnym kroku zmieniamy konfigurację eksperymentu tak, aby program poszukiwał optymalnej liczby magazynów, przy założeniu dodatkowej maksymalnej odległości transportowej wynoszącej 300 km (rys. 5). W tym przypadku wskazał on dwie lokalizacje.



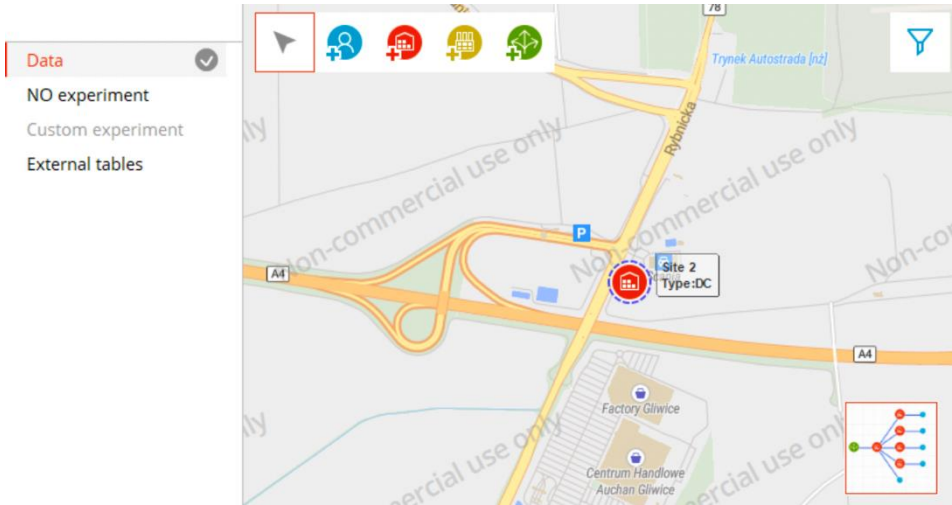


Rysunek 5. Podział obsługi klientów dla dwóch magazynów

Źródło: Opracowanie własne

Eksperyment GFA nie uwzględnia rzeczywistych dróg i populacji miast – uzyskany wynik jest tylko przybliżeniem i punktem startowym dla właściwej optymalizacji sieciowej.

W kolejnym kroku, dla scenariusza optymalizacji sieciowej (NO) należy urealnić lokalizacje magazynów (również zaproponować alternatywne) – powinny się one znajdować w miejscach z łatwym dostępem do autostrad i niedaleko miast. W projekcie do wygenerowanych lokalizacji dodano 4 alternatywne – trzy dla regionu południowego i jedną dla północnego (rys. 6, tab. 1).



Rys. 6. Alternatywna dla GFA DC lokalizacja magazynu w Gliwicach, w pobliżu autostrady A4.

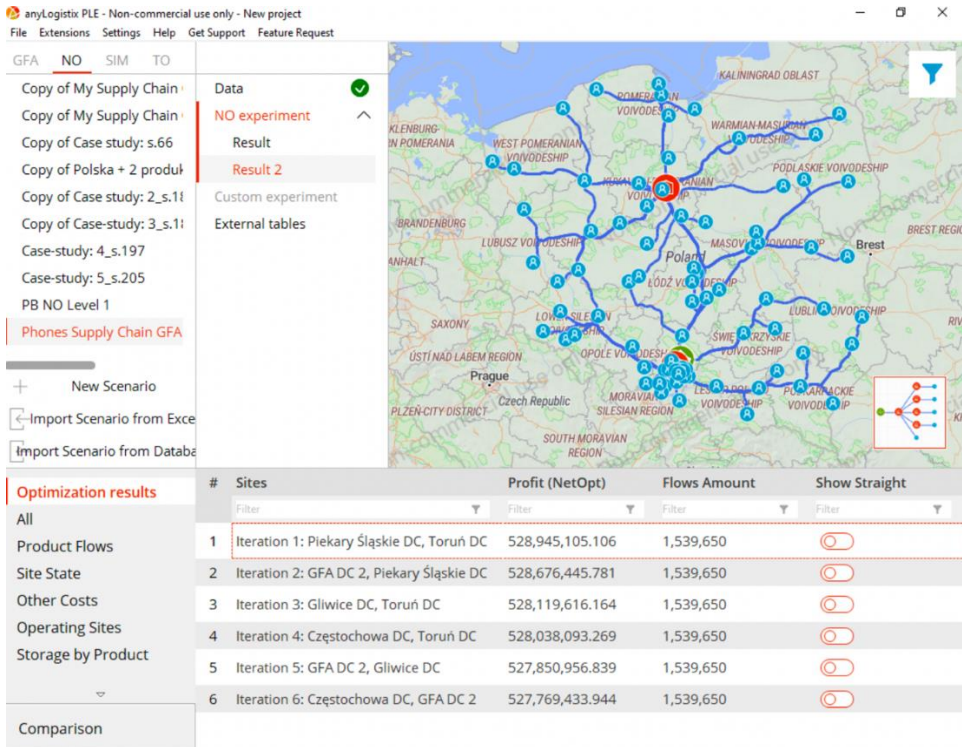
Źródło: opracowanie własne

Tabela 1. Alternatywne lokalizacje dla magazynów wyznaczonych w GFA

Nazwa miasta	Nazwa magazynu (w programie)	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Koszt otwarcia magazynu [USD]
-	GFA DC	50.657	19.423	-
Częstochowa	Częstochowa DC	50.790791	19.031014	3 885 710
Piekary Śląskie	Piekary Śląskie DC	50.367569	18.948731	3 774 690
Gliwice	Gliwice DC	50.260330	18.656962	3 774 690
Zalesie/Chełmża	GFA DC 2	53.169	18.687	3 841 302
Toruń	Toruń DC	53.038452	18.719026	3 774 690

Źródło: Opracowanie własne

Eksperyment NO wymaga określenia dostawcy dla magazynów. W projekcie przyjęto jego lokalizację w okolicach lotniska Katowice-Pyrzowice. Po uzupełnieniu danych dla modelu o podział regionalny (które miasta będą zaopatrywały się w których magazynach), o przepływy produktów między dostawcą a magazynami i między magazynami a odbiorcami oraz określając zasady kalkulacji kosztów, można przystąpić do wstępnej optymalizacji (rys. 7).



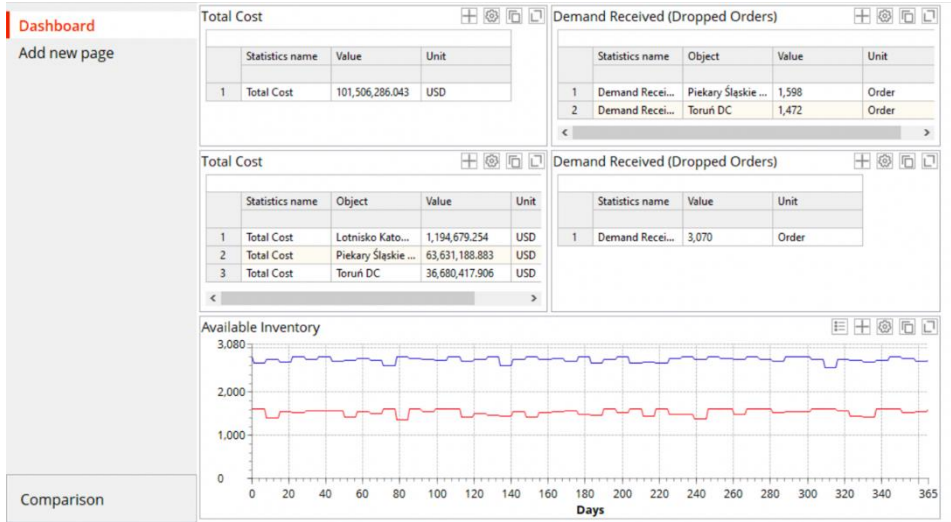
Rys. 7. Wynik eksperymentu NO

Źródło: opracowanie własne

Kolejne kroki polegają na urealnianiu wartości parametrów modelu oraz wprowadzaniu nowych, np. kosztu przetwarzania wysyłek w magazynach, a następnie ponawianiu poszukiwania najlepszych lokalizacji.

Wynikiem eksperymentu NO jest najlepsza konfiguracja łańcucha dostaw dla projektu, uwzględniająca sugerowane lokalizacje magazynów i rzeczywiste drogi, koszty transportu, koszty przetwarzania i koszty otwarcia magazynów. Posłuży on do dalszych modyfikacji w eksperymencie *Simulation* (SIM), który nie jest już analityczną metodą optymalizacji łańcucha dostaw i służy między innymi do skonfigurowania polityk magazynowych, wyeliminowania możliwości utraty zamówień i realizacji scenariuszy „co jeśli”.

Eksperyment symulacyjny (SIM) wymaga dostępu do danych z optymalizacji sieciowej. Dodatkowo należy zdefiniować politykę zaopatrzenia oraz politykę magazynową. W projekcie przyjęto, że klienci będą zaopatrywać się z najbliższego magazynu, zaś magazyny będą stosować zasady polityki „min-max” zapasów (możliwość składania zamówień na produkt, gdy poziom zapasów spada poniżej ustalonego progu uzupełniania). Efekty symulacji prezentowane są w formie samodzielnie definiowanych tabel i wykresów na dashboardzie (rys. 8).



Rys. 8. Wyniki symulacji po zdefiniowaniu polityk magazynowych

Źródło: opracowanie własne

Kolejne iteracje eksperymentów symulacyjnych dla modyfikowanych parametrów modelu, pozwalają na ustalenie ilości i przyczyn zamówień niezrealizowanych oraz modyfikację polityki zamówień oczekujących (ang. *backorder policy*), korekty zapasu początkowego i progów minimalnego i maksymalnego tak, aby zminimalizować koszty całkowite. Iteracje te można zaplanować korzystając z eksperymentu *Variation* poprzez definiowanie i automatyczne uruchamianie wielu scenariuszy warunkowych (rys. 9).

Iteration	Description	Demand Placed (Dropped)	Total Cost
		mean	mean
1	Iteration 38 min: 4,900, max: 9,400	0	330,412,712.129
2	Iteration 11 min: 5,000, max: 9,000	0	331,668,837.132
3	Iteration 40 min: 5,100, max: 9,400	0	332,556,906.138
4	Iteration 36 min: 4,700, max: 9,400	0	332,938,433.419
5	Iteration 46 min: 5,000, max: 9,500	0	333,066,749.482

Rys. 9. Najlepsze wyniki symulacji przy zmiennych wielkościach zapasów w eksperymencie Variation

Źródło: opracowanie własne

Program anyLogistix® przewiduje możliwość wykonania eksperymentu *Variation* dla więcej niż jednego magazynu, przy określeniu ich pojemności oddzielnie, jednakże złożoność obliczeniowa tak zdefiniowanego problemu jest na tyle duża, że przekracza możliwości wykonania obliczeń na standardowym notebooku.

Podsumowując – realizacja projektu składała się z 3 etapów.

Przeprowadzona analiza *Greenfield* pozwoliła na określenie potencjalnych lokalizacji optymalnych dla wprowadzonych danych, przy założeniu minimalizacji kosztów transportu. Decydent może wybrać, czy eksperyment ma wyznaczać lokalizacje zależnie od maksymalnej odległości do klientów, czy też ze względu na narzuconą liczbę centrów dystrybucyjnych, które może zaplanować. W projekcie skorzystano z pierwszej opcji, określając maksymalną odległość do klientów jako 300 km. W efekcie program zaproponował 2 magazyny umieszczone między Częstochową a Dąbrową Górniczą oraz niedaleko Torunia.

Aby doprecyzować wybrane lokalizacje, kierując się narzuconymi wymaganiami, na podstawie poprzedniego eksperymentu wykonano analizę *Network Optimization*. Do danych wejściowych dodano miejsca pokrewne, utworzono odpowiednie grupy i zdefiniowano dostawcę. Określono koszty produkcji i sprzedaży produktu, otwarcia magazynów w poszczególnych lokalizacjach oraz procesu magazynowania. Spośród narzuconych lokalizacji, program wybrał dwie charakteryzujące się największym zyskiem: w Piekarach Śląskich i Toruniu. Zostały one wykorzystane do przeprowadzenia symulacji i eksperymentu *Variation*.

Ostatnim etapem projektu było określenie zapasu maksymalnego i minimalnego, w zależności od wybranej polityki oraz obserwacja statystyk dotyczących działalności centrów logistycznych w wyznaczonym okresie. W celu zoptymalizowania parametrów polityki magazynowej wykonano eksperyment *Variation*, który w sposób automatyczny pozwolił na dobranie wartości odpowiadających narzuconym założeniom. Dla minimalnego ponoszonego kosztu całkowitego oraz braku zamówień niewykonanych, zapas maksymalny i minimalny wyniosły odpowiednio: 9 400 szt. i 4 900 szt., zaś zapas początkowy 9 000 szt., a koszt całkowity działalności centrów dystrybucyjnych obliczony został na 330 412 712 USD.

## Podsumowanie

Zastosowanie programu anyLogistix® do wyznaczenia optymalnych lokalizacji magazynów oraz zoptymalizowania łańcucha dostaw znacząco ułatwia procesy decyzyjne. Posiadanie danych wejściowych w arkuszach programu Excel lub jako bazy danych SQL przyspiesza korzystanie z oprogramowania. Dzięki zastosowaniu symulacji możliwe jest przewidywanie zachowania się łańcucha dostaw w narzuconych okresach. Rozszerzona wersja programu anyLogistix® posiada funkcje wyznaczania optymalnych lokalizacji magazynów z uwzględnieniem rzeczywistych dróg i zagłębi przemysłowych, optymalizacji produkcji, szacowania wielkości zapasów bezpieczeństwa czy analizy ryzyka, w przypadku wystąpienia zdarzeń niepożądanych. W przeprowadzonym projekcie program nie wybrał lokalizacji niespełniających narzuconych kryteriów, co dowodzi jego skuteczności.

Program anyLogistix® jest zaawansowanym narzędziem analityki logistycznej. Jego wykorzystanie wymaga od użytkownika warsztatu związanego ze sprawnym posługiwaniem się arkuszami kalkulacyjnymi oraz bazami danych. Interfejs użytkownika aplikacji jest jednak czytelny i ergonomiczny. Formularze służące do wprowadzania danych i parametrów modelu oraz generowane raporty są czytelne i intuicyjne. Oczywiście, dla poprawnego posługiwania się programem konieczna jest znajomość metodyki modelowania, symulacji, optymalizacji

i obliczeń w nim wykorzystanych. Aplikacja stawia wysokie wymagania dotyczące sprzętu komputerowego na którym będzie uruchamiana, ze względu na dużą złożoność obliczeniową wykorzystanych w niej algorytmów. Możliwe jest jej wykorzystanie w dydaktyce do realizacji prostych projektów o podobnej strukturze do przedstawionego w pracy, w ramach zajęć związanych z modelowaniem i optymalizowaniem procesów decyzyjnych w logistyce i transporcie.

## Bibliografia

- Matoga, P.: Wyznaczanie optymalnych lokalizacji magazynów z użyciem symulacji w programie anyLogistix. Praca inżynierska na kierunku Transport i Logistyka. Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Kraków, 2023.
- Turczak, A., Zwiech, P.: Optymalizacja lokalizacji dla nowopowstałego obiektu. *Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania*, 36 T.1, ss. 447-461, 2014.
- Brzeziński, M.: *Logistyka w przedsiębiorstwie*. Warszawa, Dom Wydawniczy Bellona, ISBN: 83-1110457-3, 2006.
- Ivanov, D.: *Supply Chain Simulation and Optimization with anyLogistix*. 5th, updated edition, Berlin School of Economics and Law. <https://www.anylogistix.com/resources/books/alx-textbook/>, dostęp: 2023-01-03, 2021.

*Adres do korespondencji e-mail: [krzysztof.molenda@urk.edu.pl](mailto:krzysztof.molenda@urk.edu.pl)*

ORCID: Krzysztof Molenda 0000-0002-1019-7519



# DIAGNOSTYKA POKŁADOWA W TRANSPORCIE I LOGISTYCE

Norbert Pedryc<sup>1</sup>, Grzegorz Basista<sup>1</sup>, Michał Hajos<sup>1</sup> Grzegorz Dzieniszewski<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

<sup>2</sup> Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemysłu

<sup>3</sup> Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska

## Wprowadzenie

Pierwszy silnik gazowy zbudowany został przez Francuza Etienne Lenior i datowane jest to wydarzenie na rok 1860. Francuski uczoney Beau de Rochas opracował pierwszą teoretyczną zasadę działania silnika spalinowego. W 1875 roku Siegfried Marcus na tej podstawie zbudował pierwszy pojazd z silnikiem benzynowym. Gottlieb Daimler w 1884 roku przedstawił swoją pojazd, a rok później powstała pierwsza wytwórnia pojazdów napędzanych silnikami benzynowymi, którą założył Karol Benz. Wydarzenia te uznaje się za początek rozwoju przemysłu motoryzacyjnego.

Początkowo dynamikę rozwoju determinował sport samochodowy. Rozwój motoryzacji w następnych latach można podzielić na różne etapy w zależności od kryteriów. Myśląc o postępie w konstrukcjach można zaznaczyć znaczne zatrzymanie rozwoju z powodu Pierwszej Wojny Światowej. Zalety samochodów zostały zauważone w czasie jej trwania. Okres międzywojenny należy uznać za czas rozpowszechnienia motoryzacji i gruntowanie jej pozycji na świecie. Znaczenie transportu udowodniła druga wojna światowa. Natomiast po wojnie nastąpił dynamiczny wielokierunkowy rozwój motoryzacji.

Powojenny postęp technologiczny znalazł swoje odbicie w konstrukcji samochodów. Produkowane pojazdy są już na liniach produkcyjnych (produkcja masowa), którą jako pierwszy wprowadził Ford w 1908 roku produkując model T w Piquette Plant w Detroit.

Zmiana wymagań klientów, a także coraz bardziej restrykcyjne przepisy dotyczące ochrony środowiska wymuszają na producentach poszukiwanie i wdrażanie nowszych rozwiązań technologicznych. Normy EURO dotyczące emisji spalin wymusiły automatyzację pracy silnika. Następstwem wprowadzenia mechatronicznych systemów sterowania silnikiem jest oprogramowanie konieczne do sterowania oraz napisanie algorytmów, które będą wykrywały zwiększony poziom emisji spalin, kontrolując stan silnika (algorytm diagnostyczny). Współczesne pojazdy przeszły długą drogę i aktualnie wiele procesów pracy jest nadzorowanych przez sterowniki a nawet komputery, które również analizują poprawność pracy całego pojazdu. Sterowniki te wymieniają informacje między sobą wykorzystując magistrale informatyczne.



Przyszłość też wygląda bardzo obiecująco, ponieważ prawnie w ciągu dekady mają zostać dopuszczone do ruchu na drogach publicznych pojazdy autonomiczne. Aktualnie są one testowane nie tylko na obszarach zamkniętych (tory testowe lub magazyny) ale również na drogach publicznych – przykładem może być autonomiczny przewóz osób w USA.

## Diagnostyka OBD

Wspomniany wcześniej rozwój wiąże się z przesyłem danych oraz ze wspomnianym nadzorem. Aktualnie transmisja danych w pojazdach odbywa się z wykorzystaniem prawie wszystkich dostępnych technik i technologii. Możliwe jest to dzięki rozwojowi sterowania i diagnostyki, która zapoczątkowana została w USA w latach 70-tych ubiegłego wieku i wprowadzona jako obowiązkowy standard w roku 1988. Początkowo system ten pełnił rolę nadzoru nad prawidłowym działaniem silnika, w celu ochrony środowiska. W Europie system OBD (*On-Board Diagnosis*) został parę lat później i do roku 2001 (2002r. Polska) był stosowany jedynie jako podstawowy system diagnostyki silnika (niektóre marki dawały większy dostęp)<sup>1</sup>. Pełna diagnostyka pojazdu możliwa była wyłącznie z poziomu gniazd serwisowych.

Gniazdo diagnostyczne zgodne z normą SAE J1962 jest 16 stykowe i występuje od początku diagnostyki OBD<sup>2,3</sup>. Obecnie w Europie pojazdy wyposażone są w rozszerzony interfejs diagnostyczny, oznaczony jako EOBD (*European On-Board Diagnosis*). Standardy i normy opisują również komunikację pomiędzy komputerem pokładowym a jednostką diagnostyczną i są nimi<sup>4,5</sup>:

1. ISO9141-2 (K-line),
2. SAE J1850 VPW (J1850),
3. ISO14230 (KWP2000),
4. SAE J1850 PWM.

Dodatkowo na stykach nr 6 i 14 gniazda diagnostycznego możemy znaleźć zakończenia szyny CAN:

- ISO 15765-4 (Low-speed CAN),
- ISO 15765-4 (High-speed CAN).

Obecnie gniazdo serwisowe możemy znaleźć jeszcze w samochodach ciężarowych, autobusach oraz w pojazdach rolniczych. W samochodach osobowych całą diagnostykę możemy wykonać za pomocą gniazd OBD II i EOBD<sup>6</sup>.

---

<sup>1</sup> Rokosch, U.: Układy oczyszczania spalin i pokładowe systemy diagnostyczne samochodów OBD, WKiŁ, Warszawa, 2007.

<sup>2</sup> TEXA OBD Log, logger OBD

<sup>3</sup> Tester diagnostyczny CDIF/2 firmy Axes System.

<sup>4</sup> Frei, M.: Samochodowe magistrale danych w praktyce warsztatowej. WKiŁ, ISBN 978-83-206-1787-0, Warszawa, 2010.

<sup>5</sup> Sitek, K., Syta, S.: Badania stanowiskowe i diagnostyka. WKiŁ, Warszawa, 2011.

<sup>6</sup> White, C., Randall, M.: Kody usterek. WKiŁ, Warszawa, 2008.

## Magistrale informacyjne a pojazdy

Znaczny wzrost liczby elementów elektronicznych montowanych w pojeździe, takich jak sterowniki, czujniki, wyłączniki i inne elementy sterujące oraz wykonawcze spowodowały konieczność wprowadzenia innych sposobów przesyłania sygnałów między nimi. W ten sposób długie i liczne wiązki przewodowe zamieniono na sieci przesyłu danych. Zaczęto stosować magistrale informacyjne wzorowane na tych stosowanych w sieciach komputerowych i przemysłowych.

„Magistrala danych jest definiowana jako fizyczne połączenie dwóch lub więcej urządzeń zawierających układy mikroprocesorowe służące do rozdziału i transmisji danych<sup>7</sup>. Wymagany jest odpowiedni format przesyłanych danych i sposób transmisji”.

Spowodowało to wiele korzyści, m.in.<sup>8</sup>:

- zmniejszenie liczby niezbędnych przewodów,
- zwiększenie niezawodności (mniejsza ilość złączy),
- obniżenie masy pojazdu,
- szybszą komunikację,
- większą odporność na zakłócenia.

Zastosowanie magistrali pozwoliło sprostać wciąż rosnącym wymaganiom dotyczącym większego bezpieczeństwa, lepszego komfortu, ekonomiki jazdy, a także wymagań prawnych.

Sieć wymiany danych jest rozumiana jako system, w którym grupa elementów, za pomocą medium transmisyjnego wymienia między sobą informacje. Elementy oznacza się jako węzły, a połączenia między nimi jako linie. Węzły i ich połączenia tworzą schemat sieci.

**Topologia sieci** – to struktura węzłów i ich połączeń<sup>9</sup>. W graficzny sposób przedstawia połączenia poszczególnych węzłów, lecz nie pokazuje szczegółów. Każdy węzeł musi mieć połączenie z innym węzłem, aby mógł uczestniczyć w procesie komunikacji. Wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje topologii (rys.1):

- Topologia liniowa (rys.1a)
- Topologia gwiazdista (rys.1b)
- Topologia pierścieniowa (rys.1c)

W stosunku do topologii formułuje się różne wymagania, które wynikają z przeznaczenia sieci komunikacyjnych oraz określają najistotniejsze właściwości całej sieci (Informator Bosch, 2007).

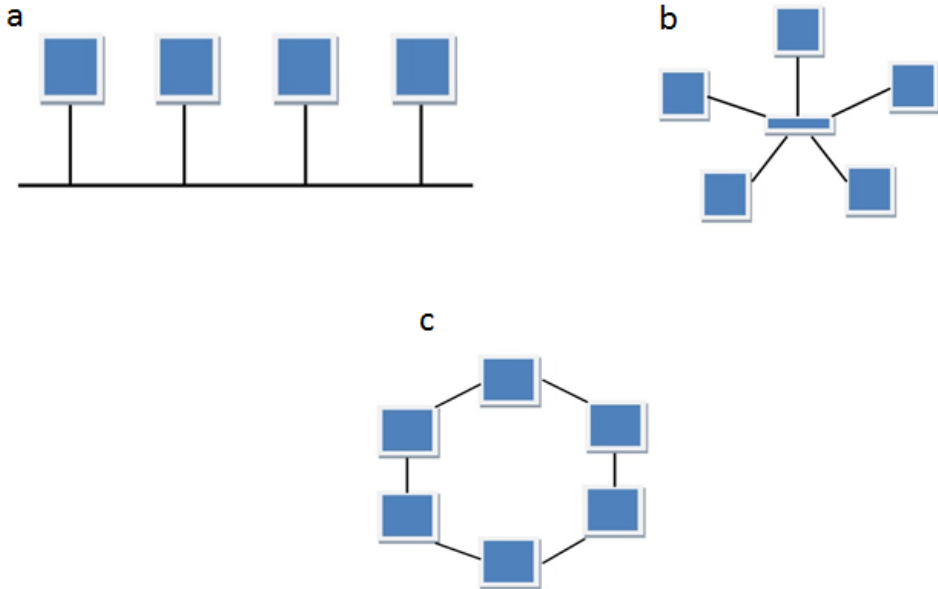
**Topologia liniowa** - nazywana jest również szeregową. Głównym elementem tej topologii jest pojedyncza szyna danych. Do magistrali są dołączone wszystkie węzły, za pomocą krótkich przyłączy. Taka struktura umożliwi łatwe dołączanie dodatkowych elementów. Jeżeli uszkodzeniu ulegnie urządzenie w sieci lub przewód łączący – transmisja danych zakończona jest w całej sieci lub całkowicie przestaje działać

---

<sup>7</sup> Zimmerman, W., Schmidgall, R.: Magistrale danych w pojazdach. WKŁ, ISBN 978-83-206-1698-9, Warszawa, 2008.

<sup>8</sup> Herner, A., Riehl, H.: Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych. WKŁ, ISBN 978-206-1824-2, Warszawa, 2011.

<sup>9</sup> Rychter, T.: Budowa pojazdów samochodowych. WSiP, Warszawa, 1999.



Rys. 1. Topologie sieci, a - liniowa, b – gwiazdzista, c - pierścieniowa

Źródło: (Opracowanie własne)

**Topologia gwiazdzista** - występuje w niej jeden centralny węzeł sieci. Węzłem sieci może być urządzenie zarządzające (ruter) pełniące również rolę tłumaczenia transmisji (gateway) pozostałe węzły są do niego dołączone za pomocą oddzielnych linii. Sieć może być rozszerzana, jeśli dysponuje wolnymi zasobami (przewody, połączenia oraz wolnymi adresami). Wymiana danych odbywa się za pomocą oddzielnych linii a każda informacja przechodzi przez węzeł centralny. Jeżeli jeden z węzłów przestaje działać poprawnie lub uszkodzeniu ulegnie linia prowadząca do węzła centralnego, pozostała część sieci nadal działa. Jeżeli nastąpi uszkodzenie węzła centralnego, to cała sieć przestaje działać.

**Topologia pierścieniowa** - w tej strukturze każdy węzeł jest połączony z dwoma sąsiednimi węzłami. Tworzy przez to zamknięty pierścień. Wyróżnia się pierścienie pojedyncze i podwójne. W pierścieniu pojedynczym komunikacja odbywa się tylko w jednym kierunku (jednokierunkowo). W pierścieniu podwójnym komunikacja odbywa się w obu kierunkach. Komunikaty, po odebraniu od poprzedniego węzła, są sprawdzane i jeżeli nie są przeznaczone dla węzła, który je odebrał, są przesyłane dalej. Jeżeli w pojedynczym pierścieniu węzeł przestanie działać, to transmisja zostanie przerwana i sieć przestaje działać. W pierścieniu podwójnym, w przypadku awarii jednego węzła wszystkie dane są nadal transmitowane w przeciwnym kierunku. Kierunek przesyłania danych jest uzależniony od obciążenia sieci.

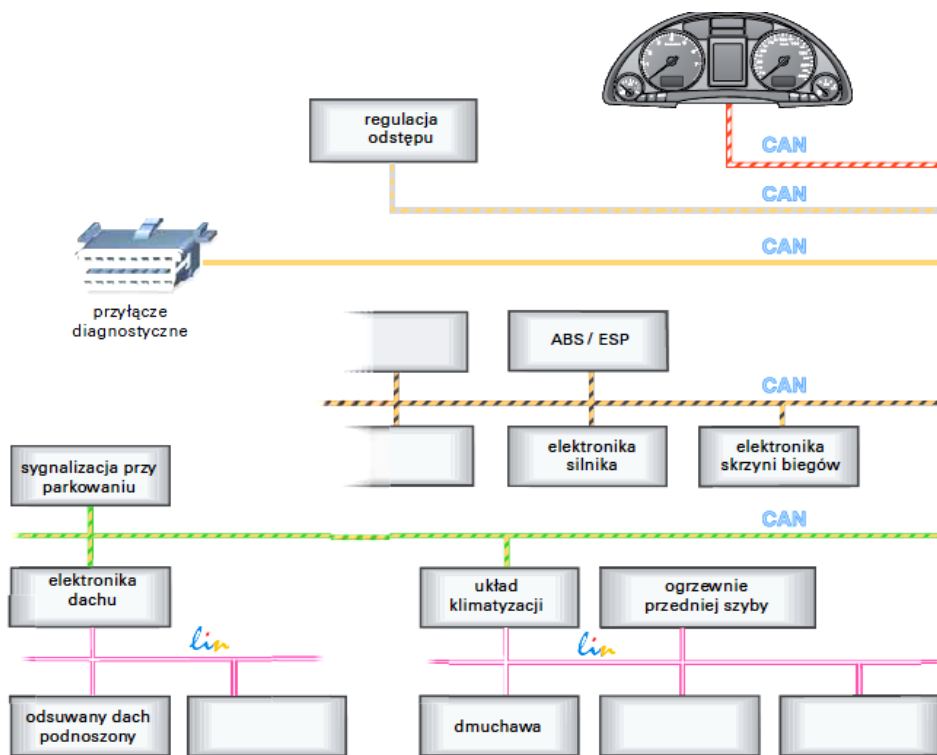
Na podstawie wymienionych topologii powstały pojazdowe sieci wymiany danych. Jako jedna z pierwszy zastosowana w pojazdach została magistrala LIN.

Magistrala LIN (*Local Interconnect Network*) jest to lokalna sieć oferująca korzystniejszą kosztowo alternatywę dla magistrali *Low Speed CAN*, przeznaczona do prostych zastosowań

o szybkości transmisji do 20 kbit/s. Została zaprojektowana w celu uproszczenia połączeń układów elektronicznych działających w bloku podzespołów. Aktualnie jest stosowana jako dopełnienie sieci CAN, zastępując pewne fragmenty, które pobierały lub wysyłały informacje nie biorąc udziału w ich przetwarzaniu. Wymiana danych w magistrali LIN następuje każdorazowo przez komputer sterujący magistralą CAN.

Na rys.2 przedstawiono przykłady zastosowań sieci LIN w pojeździe:

- sterowanie napędem dachu podnoszonego,
- klimatyzacja (sterowanie dmuchawy powietrza, ogrzewanie przedniej szyby),
- czujnik deszczu i świateł,
- sterowanie silnikami elektrycznego ustawienia siedzenia.



Rys. 2. Przykłady zastosowań sieci LIN

Źródło: (Zeszyt do samodzielnego kształcenia nr 286)

**Magistrala CAN (Controller Area Network)** jest obecnie najczęściej stosowana w pojazdach siecią do transmisji danych. Standard CAN został opracowany w firmie Bosch wraz

Intelem oraz firmą Philips w 1986r. W 1991 roku wprowadzono Magistralę CAN jako pierwszą magistralę w samochodach produkowanych seryjnie<sup>10</sup>.

Umożliwia ona komunikację między wieloma sterownikami celem wymiany danych sterujących, pomiarowych i regulacyjnych w czasie rzeczywistym.

Norma ISO rozróżnia dwa standardy i różni je prędkość przesyłania danych oraz (ISO 11898, ISO 11519). Natomiast dla potrzeb przemysłu motoryzacyjnego rozróżnia się cztery rodzaje sieci<sup>11</sup>:

- **CAN-A** - szybkość przesyłu do 10 kbit/s (światła, kierunkowskazy),
- **CAN-B** - szybkość przesyłu do 125 kbit/s (klimatyzacja, układ komfortu jazdy),
- **CAN-C** - szybkość przesyłu do 1Mb/s (sterowanie silnika, układy ABS, ESP),
- **CAN-D** - szybkość przesyłu do 5Mb/s (multimedia) zwany również jako FD i stosowany zamiast magistrali światłowodowej (grupa VW).

Tabela 1. Systemy transmisji danych w pojazdach samochodowych

Klasa	Szybkość transmisji	Rodzaj magistrali
<b>Diagnostyka</b>	<10 kb/s	Linia K
<b>A</b>	<25 kb/s	LIN
<b>B</b>	25..124 kb/s	Powolny CAN (Low-Speed CAN)
<b>C</b>	125...1000 kb/s	Szybki CAN ( High-Speed CAN)
<b>C+</b>	1 Mb/s	TTCAN
<b>D</b>	>1 Mb/s	FlexRay, TTP
<b>Rozrywka i informacja</b>	>10 Mb/s	MOST

Źródło: (Frei M. Samochodowe magistrale danych w praktyce warsztatowej).

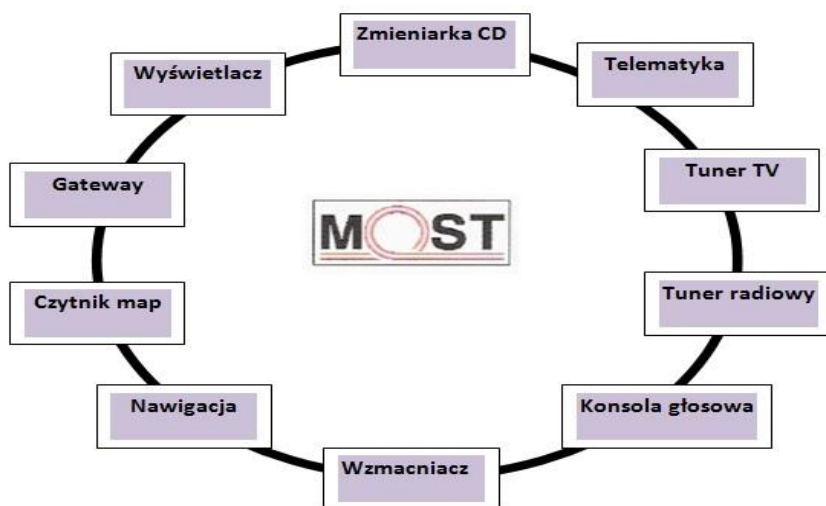
**Magistrala MOST** (*Media Oriented Systems Transport*) została zaprojektowana do zastosowań multimedialnych (*infotainment bus*) wymagających szerszych pasm przenoszenia danych (odtwarzacz CD, telefon pokładowy, system nawigacyjny, TV). Transmisja danych odbywa się za pomocą fali świetlnej, co znacznie zwiększa szybkość przesyłu danych oraz zapewnia dużą odporność na zakłócenia<sup>12</sup>.

Magistrala MOST może łączyć inteligentne czujniki, elementy wykonawcze oraz urządzenia sterujące lub funkcje z zakresu multimediiów (rys.3):

<sup>10</sup> Zeszyt do samodzielnego kształcenia nr 286. Nowe systemy magistral danych LIN, MOST, Bluetooth. Audi AG Inglostadt, 2002.

<sup>11</sup> Trzeciak, K.: Diagnostyka samochodów osobowych. WKiŁ, Warszawa, 2008.

<sup>12</sup> Sieci wymiany danych w pojazdach samochodowych. Informator techniczny BOSCH, 2008.



Rys. 3. Pierścień magistrali MOST

Źródło: (Opracowanie własne)

- odtwarzacz/zmieniarkę płyt CD,
- telefon z urządzeniem głośnomówiącym,
- wzmacniacz audio,
- odtwarzacze TV i DVD,
- czytnik map,
- nawigacja,
- konsola głosowa.

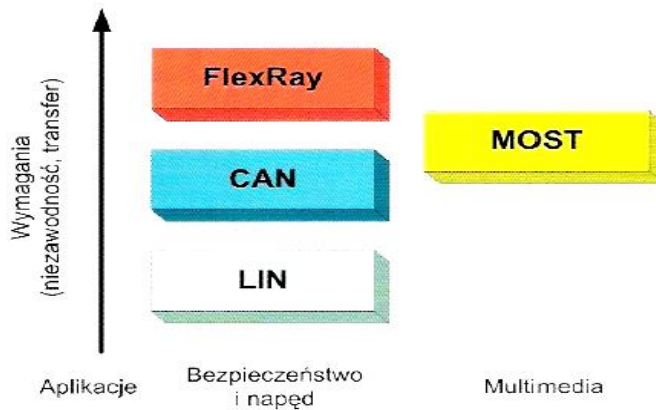
**FlexRay** to jedno z najnowszych rozwiązań w sieciach transmisji danych. Magistrala ta powstała do obsługi elektromechanicznego układu hamulcowego EMB oraz do obsługi ESP. Sieć ta została opracowana Flex-Ray-Konsorcjum, w którego skład wchodzi takie firmy jak: BMW, Daimler, Motorola, Philips. W późniejszych okresach dołączyły również General Motors, Ford, Volkswagen, Bosch i Fiat.

Wymagania jakie stawiano nowej magistrali to m.in.<sup>13</sup>:

- duża liczba przenoszonych danych,
- szybkość transmisji w czasie rzeczywistym,
- wysokie bezpieczeństwo transmisji,
- elastyczna topologia (gwiazdista, liniowa, pierścieniowa, mieszana).

<sup>13</sup> Informator BOSCH. Sieci wymiany danych w pojazdach samochodowych. WKŁ, ISBN 978-83-206-1695-8, Warszawa, 2007.

FlexRay pracuje ze stałymi szczelinami czasowymi (*SLOT*), przyporządkowanymi przesyłanym informacjom, które powtarzają się w regularnych cyklach. Zapewnia to bezkolizyjne, priorytetowe przekazywanie informacji w przewidywalnych oknach czasowych. To rozwiązanie jest najbardziej rozwiniętym systemem magistrali cyfrowej. Aktualnie sterowniki pracujące w/w magistrali wyposażone są w procesory czterordzeniowe.



Rys. 4. FlexRay na tle innych standardów

Źródło (Widerski, 2010)

Rozwój systemów oraz komunikacji radiowej spowodował wprowadzenie w pojazdach również sieci bezprzewodowych<sup>14</sup>:

- sieć Bluetooth,
- sieć WiFi
- sieć GSM (LTE, 5G w testach 6G)

Sieci te zapewniają bezprzewodową komunikację użytkowników z zasobami Internetu oraz umożliwiają transmisję wewnętrzną (np. telefon - zestaw głośnomówiący). Ważniejszym jednak zadaniem jest komunikacja pojazdu z infrastrukturą, która umożliwia funkcjonowanie telematyki oraz integrację pojazdu z otoczeniem. Aktualnie jesteśmy w kolejnym okresie dynamicznego rozwoju motoryzacji. Zostały opracowane i wdrożone inteligentne systemy wsparcia kierowców oraz systemy pracujące autonomicznie (Volvo Vera). Patrząc w nieodległą przyszłość, możemy stwierdzić, iż realne staje się wprowadzenie w 2030 roku autonomicznych samochodów poruszających się po drogach. Największe trudnienia, które pojawiają się przed koncernami produkującymi pojazdy są autonomiczne systemy hamulcowe oraz rozpoznawania i wykrywania nietypowych zagrożeń. Największy jednak nacisk kładziony od lat jest na zwiększenie precyzyjności i skuteczności działania układów hamulcowych. Jako pierwszy został wprowadzony system ABS (Anti-lock Braking System wersji 2) w 1978 i sukcesywnie jest on rozwijany wraz wprowadzaniem systemów nadrzędnych oraz współpracujących równolegle.

<sup>14</sup> Widerski, T.: Samochodowe sieci informatyczne. Poradnik serwisowy-kompedimu praktycznej wiedzy warsztatowej nr 5. Instalator Polski, 2005.

Określenie nazw oraz skrótów nie jest już takie proste ponieważ różni producenci nazywają podobnie lub wręcz identycznie działające systemy w odmienny sposób np.<sup>15</sup>:

- ESP (*Electronic Stability Program*) – w innych markach podobnie działający nazywany jest przykładowo *Electronic Stability Control (ESC)*, *Dynamic Stability Control (DSC)* lub *Vehicle Stability Assist (VSA)*
- ACC (*Adaptive Cruise Control*) nazywany również *Speedtronic* lub *Distronic Plus*
- BAS (*Brake Assist System*) nazywany również BA (*Brake Assist*) lub MBA (*Mechanical Brake Assistant*)

Dynamiczny rozwój oraz różnorodność nazewnictwa oraz sposobów działania systemów poprawiających skuteczność układów hamulcowych powoduje, iż w dalszej części przybliżymy nieco te systemy.

System ESP stosowany w samochodach jest odpowiedzialny za stabilizację toru ruchu. Podstawą działania jest określenie zakładanego toru ruchu pojazdu, który nadany zostaje przez układ kierowniczy. Kierowca wykonując manewr skrętu przekręca koło kierownicy co odczytywane jest przez czujnik skrętu kierownicy określając kierunek oraz kąt skrętu. Ta informacja przetwarzana jest przez moduł elektroniczny w celu wyznaczenia sił mogących panować w określonych punktach pojazdu. System wyposażony również został w dodatkowe czujniki niezbędne do określenia rzeczywistych sił panujących a ich ilość rozmieszczenie i konfiguracja zależy od producenta danego pojazdu. Czujnikami brany pod uwagę są<sup>16</sup>:

- czujnik skrętu kierownicy,
- czujnik prędkości pojazdu,
- czujnik przyspieszeń,
- czujnik prędkości obrotowej wokół osi pionowej,
- czujnik wychylenia nadwozia,
- czujnik ciśnienia płynu hamulcowego,
- momentu obrotowy przenoszony na koła,
- czujnik skrzyni biegów.

Na rys 5 przedstawiono wsparcie wykonania manewru przez system ESP poprzez wprowadzenie dodatkowej siły wspomagającej układ kierowniczy w czasie wykonywania gwałtownego skrętu pojazdu w lewo. Układ elektronicznej stabilizacji toru jazdy po przeanalizowaniu sygnału z czujników wysyła informację (za pośrednictwem magistrali CAN lub FlexRay) do sterownika ABS o konieczności zmniejszenia prędkości obrotowej tylnego lewego koła. Rozkład sił i momentów przesuwają wektor kierunku jazdy w lewo, umożliwiając szybsze uzyskanie zamierzonego kierunku jazdy. Natomiast po wykonaniu gwałtownej zmiany pasa ruchu może pojawić się nadsterowność pojazdu. Pojazd bez ESP narażony byłby na utratę sterowalności lub poprzez ingerencję kierowcy wykonać dryf boczny. Wprowadzenie przez system kontroli trakcji chwilowej ingerencji w układ hamulcowy – przyhamowanie przedniego lewego koła spowoduje wytworzenie momentu obrotowego wokół osi pionowej pojazdu przeciwnie do siły powodującej nadsterowność<sup>17</sup>.

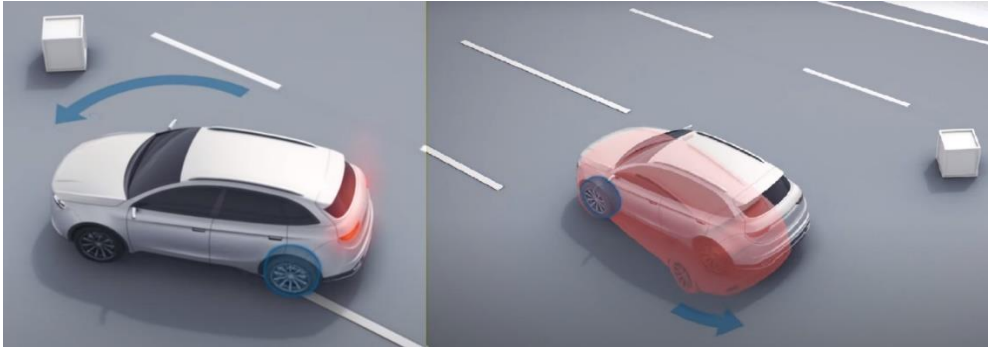
---

<sup>15</sup> Oprogramowanie AUTODATA.

<sup>16</sup> Czujniki w pojazdach samochodowych. WKiŁ, Warszawa, 2009.

<sup>17</sup> Herner, A., Hans-Jurgen, R.: Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych. WKiŁ, Warszawa, 2012.





Rys. 5. Stabilizacja oraz korekta toru jazdy przez system ESP.

*Źródło: (Opracowanie własne na podstawie materiałów szkoleniowych Bosch Mobility)*

### **Elektroniczne systemy hamulcowe samochodów ciężarowych i autobusów**

Współczesne samochody ciężarowe i autobusy również posiadają zamontowane systemy elektroniczne, których podstawowym zadaniem jest podnieść bezpieczeństwo i komfort jazdy kierowcy. Obecnie jednym z takich podstawowych systemów montowanych w ciężarówkach, autobusach i przyczepach jest układ EBS (Elektronik Brake System – Elektroniczny układ hamulcowy). Sygnały informacyjne przekazywane pomiędzy poszczególnymi sterownikami a modulatorami wykonawczymi realizowany jest przez szynę CAN z protokołem SAE J1939 (zastąpiła ona starsze protokoły SAE 1708 i 1587).

Należy zwrócić uwagę, że jest to nazewnictwo ogólne systemu. Niektórzy producenci oferują system pod różnymi nazwami handlowymi, mogą też różnić się poszczególnymi rozwiązaniami technicznymi. W pojazdach MAN system ten jest oferowany pod nazwą Brake-Matic. Mercedes Benz montuje go pod nazwą Active Break Assist zintegrowany z radarami. Systemy EBS bez odmiennych nazw handlowych są instalowane w modelach samochodów ciężarowych i autobusów: Scania, Volvo, Iveco czy Renault.

System hamulcowy samochodów ciężarowych różni się znacząco od tego, który jest instalowany w samochodach osobowych. Układy te są pneumatyczno-hydrauliczne lub pneumatyczne. Energią wykorzystywaną do napędu mechanizmów roboczych (siłowniki hamulcowe, zawieszenie samochodu, zmiana przełożeń w skrzyni biegów itp.) jest sprężone powietrze wytworzone przez kompresor zasilany bezpośrednio przez silnik pojazdu.

Ze względu na duże obciążenie pojazdów ciężarowych wynikających z ich masy własnej oraz przewożonego ładunku tradycyjne hamulce cierne montowane na kołach szybko uległyby przegrzaniu dlatego stosuje się dodatkowe zwalniacze takie jak retarder i/ lub system dławienia spalin. Należy zwrócić uwagę, że samochody ciężarowe ze względu na swoje przeznaczenie ciągną jeszcze naczepę lub przyczepę. Zasadniczą kwestią pozostaje optymalny rozkład sił hamujących w systemie samochód-przyczepa. Nieodpowiednie momenty hamujące w zestawie mogą doprowadzić (najczęściej doprowadzają) do utraty stabilności toru jazdy podczas hamowania i bardzo szybkiego zużycia elementów roboczych hamulca (tarcze i klocki hamulcowe).

Dawniej wszystko zależało od umiejętności kierowcy i podejmowanych przez niego decyzji, dziś wszystkie parametry i urządzenia są kontrolowane przez elektroniczny układ EBS.

Bieżąca analiza parametrów zmniejsza ryzyko błędów kierowcy, które w mogą doprowadzić do wypadku, bardzo groźnych w skutkach w przypadku autobusów pełnych pasażerów lub wielotonowych ciężarówek.

Elektroniczny układ hamulcowy to zintegrowany system aktywnego spowalniania i zatrzymywania pojazdu lub zastawu drogowego (samochód-przyczepa). System ten jest uruchamiany i sterowany przez kierowcę jedynie poprzez naciśnięcie pedału hamulca.

Elektroniczny układ hamulcowy EBS zapewnia krótszy czas reakcji układu po wciśnięciu pedału hamulca. Przekłada się to bezpośrednio na bezpieczeństwo dzięki znacznemu skróceniu drogi hamowania.

Podstawowe cechy układu EBS<sup>18</sup>:

- układ hamulca postojowego – uruchamiany mechanicznie ze sterowaniem pneumatycznym
- układ hamulca głównego – elektronicznie regulowany układ hamulcowy z jednoobwodowym napięciem pokładowym i z dwuobwodowym zabezpieczającym systemem pneumatycznym (back-up)
- Skrócenie histerezy reakcji sprężonego powietrza w konsekwencji skrócenie drogi hamowania,
- Napięcie pokładowe 24 [V]
- Zapas ciśnienia 12,5 [bar] dla pojazdów ciągnionych 8,5 [bar]
- Pneumatyczny dwuprzewodowy układ hamulcowy z konwencjonalnym modułem sterowania przyczepy
- Gniazdo 7-pinowe (wg ISO 7638) jako połączenia zestawu drogowego (samochód-przyczepa)
- Sterownik EBS z transmisją danych CAN z protokołem SAE 1939
- CAN-ogólny: transfer danych ze sterownika EBS do innych systemów elektronicznych w pojeździe
- CAN-przyczepa: transfer danych ze sterownika EBS do modulatora TEBS przyczepy/naczepy
- CAN-hamulec: transfer danych ze sterownika EBS do modułów regulacji ciśnienia samochodu
- Jednokanałowe i dwukanałowe elektroniczne moduły regulacji ciśnienia oraz moduł sterowania przyczepy ze zintegrowaną elektroniką
- Automatyczna regulacja hamowania zależna od obciążenia (ALB) zintegrowana z elektroniczno-pneumatycznym układem hamulcowym (EPS) zaimplementowana w systemach ABS i ESC
- Optymalny rozdział momentów hamowania pomiędzy pojazdem ciągnącym a pojazdem ciągniętym poprzez regulację sił na sprzęgu TBA,
- Monitoring zużycia okładzin hamulcowych (pomiędzy przednią i tylną osią oraz pomiędzy poszczególnymi kołami),
- Zapobieganie nierównomiernemu zużyciu klocków hamulcowych między osiami BVS

---

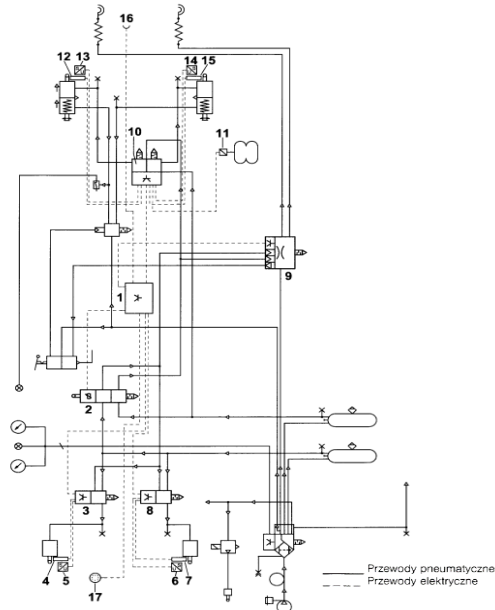
<sup>18</sup> MAN Truck & Bus Company. Elektroniczny układ hamulcowy (EBS) – opis układu TGX, Monachium, 2016.

## Zasada działania systemu EBS

System EBS zostaje uruchomiony po uruchomieniu pojazdu i zluźnieniu pedału hamulca postojowego (hamulec ręczny). System EBS diagnozuje układ i jeśli nie wykryje błędów zasila wówczas z elektrycznego układu pojazdu poszczególne elementy systemu EBS. Schemat Elektronicznego układu hamulcowego przedstawia rysunek 6<sup>19</sup>.

### Elektro-pneumatyczny system hamulcowy EPB

Pierwszeństwo informacyjne w układach hamulcowych EBS przypisane zostało sygnałom elektrycznym a w dalszej kolejności sygnałom ciśnienia pneumatycznego.

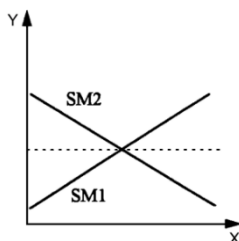


Rys. 6. Schemat układu EBS. 1- Sterownik EBS, 2- Zawór hamulca głównego ze zintegrowanym elektronicznym nadajnikiem wartości hamowania i dwuobwodowym powietrznym układem zabezpieczającym, 3- Moduł regulacji ciśnienia osi przedniej – koło prawe, 4- Czujnik ABS osi przedniej – koło prawe, 5- Czujnik okładziny hamulcowej osi przedniej – koło prawe, 6- Czujnik okładziny hamulcowej osi przedniej – koło lewe, 7- Czujnik ABS osi przedniej – koło lewe, 8- Moduł regulacji ciśnienia osi przedniej – koło lewe, 9- Moduł sterowania przyczepy/nacze, 10- Moduł regulacji osi napędzającej, 11- Czujnik ciśnienia ALB, 12- Czujnik ABS osi tylnej – koło prawe, 13- Czujnik okładziny hamulcowej osi tylnej – koło prawe, 14- Czujnik okładziny hamulcowej osi tylnej – koło lewe, 15- Czujnik ABS osi tylnej – koło lewe, 16- Gniazdo 7-pinowe ISO 7638, 17- Gniazdo diagnostyczne

Źródło: (Knorr-Bremse AG. 2015)

<sup>19</sup> Knorr-Bremse AG. EBS 2.x - Electronic Braking System for Trucks, Munchen, 2015.

Po naciśnięciu zaworu hamulca głównego (2) umieszczony w nim zintegrowany nadajnik sygnału hamowania przesyła sygnał elektryczny do sterownika EBS (1) rys. 7. Sygnały z potencjometrów nadajnika oznaczone są SM1 i SM2<sup>20</sup>. Wartość sygnału SM1 wzrasta a wartość sygnału SM2 maleje po wciśnięciu pedału. Sygnały są przetwarzane w sterowniku EBS tak, by możliwe było obliczenie prawidłowego ciśnienia hamowania.



Rys. 7. Charakterystyka nadajnika sygnału hamowania. Y– napięcie [V], X- głębokość wciśniętego zaworu hamulcowego [mm]

Źródło: (Scania CV AB. 2018)

Zawór hamulca głównego uruchamia także powietrzny ciśnieniowy sygnał sterujący, który niezależnie od sygnału elektrycznego dochodzi do modułów sterujących (3,8,9,10) i zostaje wstrzymany przez cewkę wejściową (sygnał ten nie może zostać zrealizowany – zasada pierwszeństwa). W tym samym czasie, zgodnie z zapisaną odpowiednią funkcją hamowania sterownik określa zadaną wartość ciśnienia hamowania. Informacja o wartości zadanego ciśnienia jest transferowana poprzez CAN- hamulec do modułów regulacji ciśnienia (3,8,10). Moduły te zgodnie z zadaną informacją regulują samoczynnie ciśnienie hamowania i analizują stan ciśnienia sprężonego powietrza w układzie siłowników hamulcowych. Informacja o zadanym wartości ciśnienia jest również przekazywana do modułu sterowania przyczepy (9) poprzez CAN-hamulec. Równoległe dane elektryczne są wysyłane poprzez CAN-przyczepa do gniazda 7-pionego ISO 7638 (16) [4,5,6].

Sygnały określające wartość ciśnienia hamowania są modyfikowane w zależności od stanu obciążenia samochodu. Stan ten jest analizowany poprzez czujnik ciśnienia (ALB) (11) zamontowany na powietrznym układzie zawieszenia pojazdu a sygnały elektryczne przesyła do modułu tylnej osi (10).

Czujnik ciśnienia ALB jest bardzo ważny elementem układu EBS. Uszkodzenie czujnika doprowadza do:

- zmniejszonej stabilności toru jazdy pojazdów z redukcją w przednim obwodzie.
- niesparametryzowanego (nierównomiernego) zużycia się okładzin ciernych.
- wadliwego funkcjonowania układu TBA.
- błędną integrację pracy retardera z układem EBS.

<sup>20</sup> Scania CV AB. Podręcznik schematów układu hamulcowego. Wydanie 2, Sweden, 2018.

### Hamowanie za pomocą układu zabezpieczającego (Back-up)

Zawór hamulca głównego (2) oprócz wbudowanego nadajnika elektronicznego składa się z dwuobwodowego układu pneumatycznego. Układ pierwszy połączony jest sterującymi przewodami pneumatycznymi z modułami regulacji przedniej osi (3,8) oraz z modulem sterowania naczepy (9). Układ drugi poprzez przewody pneumatyczne przekazuje sygnał sterujący ciśnieniowy do modułu regulacji osi tylnej (10) i modułu przyczepy (9). Zawór główny oraz wszystkie moduły regulacji zasilane są sprężonym powietrzem z butli magazynujących czynnik pod odpowiednim ciśnieniem.

Hamowanie Back-up występuje w następujących sytuacjach:

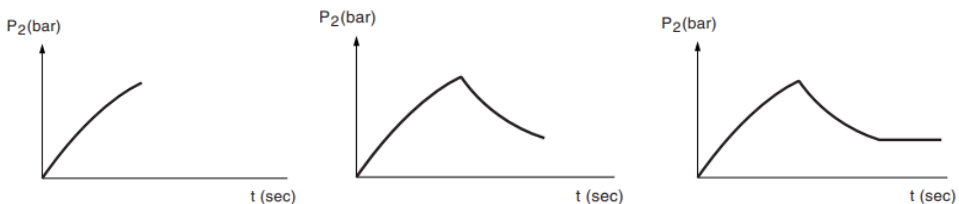
- Stacyjka samochodu nie jest załączona w pozycji 15 lub samochód jest pozbawiony zasilania elektrycznego
- Sterownik rozpoznał błąd w systemie zintegrowanej elektroniki modułów regulacji ciśnienia
- Uszkodzenie instalacji elektrycznej lub magistrali CAN

Przy hamowaniu za pomocą układu zabezpieczającego sterownik (1) nie zasila modułów regulacji (3,8,9,10) prądem oraz nie wysyła do nich elektrycznej informacji zadanej wartości hamowania.

Spowolnienie samochodu odbywa się poprzez wewnętrzne zawory przekąźnikowe wszystkich modułów które realizują proporcjonalną charakterystykę sił hamowania. Oznacza to brak stopniowania momentów hamujących działających na poszczególne osie pojazdu. Sterowanie przyczepy jest również realizowane poprzez charakterystykę proporcjonalną.

### System zapobiega blokowaniu kół ABS

Czujniki prędkości obrotowej (4,7,12,15) są podłączone do określonych modułów regulacji ciśnienia. Czujnik prawego koła osi przedniej (4) podłączony jest do modułu regulacji numer 3, a koła lewego (7) do modułu numer 8, dla osi tylnej czujniki koła prawego (12) i lewego (14) podłączone są do modułu numer 10. Moduły przekazują informację o prędkości obrotowej kół do sterownika (1) poprzez magistralę CAN-hamulce. Sterownik EBS oblicza na podstawie tych sygnałów aktualną prędkość pojazdu, która jest transferowana powrotnie przez magistralę CAN-hamulce do modułów regulacji. W procesie regulacji, ciśnienie hamowania w poszczególnych modułach regulacji zostaje zredukowane w stosunku do ciśnienia pierwotnego zgodnie z charakterystyką dopuszczalnej wartości poślizgu kół rys. 8. Dzięki temu koła mogą być hamowane z siłą uniemożliwiającą poślizg<sup>21</sup>.



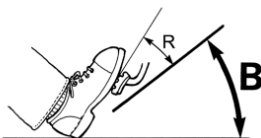
Rys. 8. Etapy oddziaływania ciśnienia powietrza w siłowniku hamulcowym podczas działania podsystemu ABS (narastanie, spadek, stabilizacja) [6]. P2 – ciśnienie w siłowniku hamulcowym

Źródło: (DAF Truck N.V. 2018)

<sup>21</sup> DAF Truck N.V. Podręcznik układu EBS. Holland, 2018.

## Hamowanie z wykorzystaniem układu ABS i retardera

Podczas hamowania z wykorzystaniem retardera, oddziałuje on wyłącznie na koła napędzane. Jeśli pojazd jest niezaladowany, koła napędowe mogą się zablokować na śliskiej nawierzchni. Zapobiega temu układ EBS, który wyłącza retarder. Układ EBS wstrzymuje żądanie momentu hamowania retardera za pomocą komunikacji CAN-ogólny rys 9. Aktywny jest tylko hamulcowy układ przeciwoślizgowy kół ABS.



Rys. 9. Konfiguracja działania układu EBS z retarderem. A- działa tylko retarder, B- wspólne działanie hamulców kół i retardera (podczas działania systemu ABS retarder jest wyłączony).

Źródło: (Scania CV AB. 2018)

## System ESC

Układ ESC wspomaga zachować stabilność zestawu drogowego w momencie utraty przyczepności i ryzyka wywrotki zestawu<sup>22</sup>. System ten w samochodzie ciężarowym wykorzystuje takie same informacje pobrane z czujników jak w samochodzie osobowym. Różnica polega na tym, że dane są jeszcze uzupełniane o odczyty z przyczepy lub naczepy. Jeśli ciągnik wraz z przyczepą wykazuje podczas pokonywania zakrętu jakiegokolwiek objawy nadsterowności, układ ESC aktywuje się, hamując zewnętrznym przednim kołem i kołami naczepy. Jeśli wystąpią oznaki podsterowności i zestaw ma tendencję do ześlizgnięcia się z drogi podczas zakrętu, układ ESC aktywuje się, hamując wewnętrznym tylnym kołem.

Podczas jazdy ciągnikiem z ciężkim ładunkiem umiejscowionym na naczepie kluczowa jest współpraca układu stabilizacji z układem hamulcowym przyczepy/naczepy TEBS, EB+<sup>23</sup>. Układ EBS i TEBS może wykryć ryzyko oderwania jednego z kół od drogi i zareagować poprzez odpowiednie zwiększenie siły hamowania kół naczepy. Układ ESC wspomaga zachowanie stabilności zestawu w trudniejszych warunkach, należy jednak pamiętać, że zestaw może utracić stabilność, jeśli będzie prowadzony przez kierowcę bez rozważliwych warunkach.

## Regulacja antypoślizgowa kół osi napędowej TC

W przypadku gdy jedno lub więcej kół napędzanych zaczyna tracić przyczepność, układ poprzez ciągłą analizę czujników ABS (4,7,12,15) wykrywa rozbieżności i dokonuje redukcji

<sup>22</sup> Minjun, S., Changhee, Y., Sang-Shin, P., Kanghyun, N.: Development of Wheel Pressure Control Algorithm for Electronic Stability Control (ESC) System of Commercial Trucks. Sensors, 18, 2317, 2018.

<sup>23</sup> Haldex AB. Operator's guide. Sweden, 2022.

momentu obrotowego silnika lub przyhamowuje to koło, które straciło przyczepność<sup>24</sup>. Podczas utraty przyczepności kół napędowych, układ jako wzorcową prędkość wykorzystuje prędkość obrotową kół przednich. Układ TC montowany jest wyłącznie w pojazdach wyposażonych w sterownik silnika (obecnie wszystkie samochody są w niego wyposażone).

Sterowanie silnikiem zostaje włączone, gdy oba koła ślizgają się. Używane jest także, gdy koło utraci przyczepność a prędkość pojazdu przekracza 40 km/h. Ze sterownika EBS do modułu sterującego silnika wysyłany jest sygnał CAN-ogólny wymuszający zredukowanie obrotów silnika.

W przypadku gdy tylko jedno koło straci przyczepność, zostanie ono wyhamowane poprzez układ hamulcowy kół. Koła kontrolowane są przez moduł regulacji (10) oraz czujniki ABS (12,15). Ciśnienie kierowane do siłownika hamulcowego ma za zadanie ograniczyć liczbę obrotów koła, co oznacza, że siła napędowa przekazywana jest na przeciwległe koło napędowe, które nie utraciło przyczepności. Pozwala to na zsynchronizowanie prędkości obrotowej kół napędzanych. Synchronizacja prędkości kół przy pomocy modułu regulacji aktywna jest wyłącznie przy prędkościach poniżej 40 km/h. Jeśli jest aktywna a pojazd przyspieszy do prędkości większej niż 40km/h, pozostaje włączona do następnej zmiany biegu. Jeśli w jakimkolwiek obwodzie jest zbyt małe ciśnienie hamowania, regulacja hamulcami układu TC zostanie wyłączona po 1 sekundzie.

### **Regulacja sił na sprzęgu samochód-przyczepa TBA**

Pojazdy wyposażone w elektroniczny moduł przyczepy (9) posiadają automatyczne dostrójenie układów hamulcowych pojazd – przyczepa<sup>25</sup>. Ustawienie optymalnej siły hamowania pojazdu ciągnącego różne rodzaje przyczep lub naczep jest trudne. Układ TBA otrzymuje informacje o wymaganym ciśnieniu z modulatora naczepy (TEBS, EB+). TBA oblicza ciśnienie wymagane w obwodzie przyczepy tak, by zaczynał on hamować w tym samym czasie, co hamulce ciągnika, wyhamowując własną masę. TBA pozwala uzyskać równomierne zużycie okładzin i zwiększa stabilność pojazdu podczas hamowania. Po podłączeniu nowej naczepy lub jej zmianie, TBA wykonuje przybliżone obliczenie i reguluje ciśnienie sterujące do naczepy po 5-krotnym hamowaniu zestawu. Gdy zasilanie zostanie wyłączone, układ wykorzystuje ostatnią zarejestrowaną wartość do obliczenia ciśnienia początku następnego hamowania. Jeśli wartość ciśnienia z czujnika obciążenia wskazuje, że masa zmieniła się o ponad 30%, układ dokonuje nowych obliczeń. Układ TBA opiera się na informacjach przekazywanych ze sterownika silnika i retardera. Podstawowymi danymi przekazywanymi jest wartość momentu obrotowego silnika (położenia pedału przyspieszenia, liczby obrotów silnika, przyspieszenia pojazdu i ilości wtryskiwanego paliwa), aktualnego przełożenia przekładni. Te sygnały są przekazywane z sterownika silnika poprzez magistralę CAN-ogólny pojazdu SAE- J1939 do sterownika EBS. Na obliczenia wpływają również opory ruchu (np. pochyłość jezdni, opór powietrza itp.), jak również siła działania hamulca silnikowego względnie moment hamujący retardera. Właściwe dostrójenie hamulców odbywa się przy

---

<sup>24</sup> Radzajewski, P, Guzek, M.: Assessment of the Impact of Selected Parameters of Tractor-Semitrailer Set on the Braking Safety Indicators; Appl. Sci. 2023, 13, 5336. <https://doi.org/10.3390/app13095336> Appl. Sci., 13, 5336, 2023.

<sup>25</sup> ZF Friedrichshafen AG, Wabco, EBS in towing vehicles and buses system description, 2011.

założeniu, sterownik silnika i retarder funkcjonują prawidłowo. Układ TBA jest dezaktywowany przy prędkościach poniżej 10 km/h oraz podczas hamowania, którego ciśnienie przekroczyło 6,5 bar. Funkcja TBA działa niezależnie od tego, czy pojazd ciągniony jest wyposażony w TEBS. Przyczepa z TEBS reaguje szybciej niż przyczepa bez TEBS dzięki wykorzystaniu transferu danych poprzez CAN-przyczepa.

### Regulacja zużycia okładzin hamulcowych BVS

Podstawowym zadaniem regulacji zużycia okładzin hamulcowych jest wyrównanie zużycia okładzin hamulcowych pomiędzy osiami. W tym celu sterownik EBS (1) oblicza dla osi wartość korekty ciśnienia hamowania. Zasadniczym celem BVS jest utrzymanie na takim samym poziomie sumy ciśnień hamowania dla całego pojazdu. Regulacja działa tylko osiowo, a nie obejmuje poszczególnych kół i jest zawarta w zakresie częściowych hamowań (małymi i średnimi ciśnieniami). Maksymalna różnica ciśnień pomiędzy osiami nie może przekroczyć 0,2 bar.

## Podsumowanie

Przyszłość systemów elektronicznych **montowanych w samochodach** w dużym stopniu zależy będzie od tego, w jakim kierunku rozwijać się będą i czy się spopularyzują pojazdy - elektryczne oraz autonomiczne. W przypadku szybkiego rozwoju tych aut liczba **systemów elektronicznych** stanowiących rozwinięcie tych opisanych artykuły byłyby znacząco większa niż stosowana obecnie.

## Bibliografia

- Czujniki w pojazdach samochodowych. WKiŁ, Warszawa, 2009.
- DAF Truck N.V. Podręcznik układu EBS. Holland, 2018.
- Frei, M.: Samochodowe magistrale danych w praktyce warsztatowej. WKŁ, ISBN 978-83-206-1787-0, Warszawa, 2010.
- Haldex AB.: Operator's guide. Sweden. [https://www.haldex.com/globalassets/europe/61.-documents/ebs-system/006300056\\_en.pdf](https://www.haldex.com/globalassets/europe/61.-documents/ebs-system/006300056_en.pdf), 2022.
- Herner, A., Hans-Jurgen, R.: Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych. WKiŁ, EAN 9788320619218, Warszawa, 2022.
- Herner, A., Riehl, H.: Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych. WKŁ, ISBN 978-206-1824-2, Warszawa, 2011.
- Informator BOSCH. Sieci wymiany danych w pojazdach samochodowych. WKŁ, ISBN 978-83-206-1695-8, Warszawa, 2007.
- Knorr-Bremse AG. EBS 2.x - Electronic Braking System for Trucks, Munchen, 2015.
- MAN Truck & Bus Company. Elektroniczny układ hamulcowy (EBS) – opis układu TGX. Monachium, 2016.
- Minjun, S., Changhee, Y., Sang-Shin, P., Kanghyun, N.: Development of Wheel Pressure Control Algorithm for Electronic Stability Control (ESC) System of Commercial Trucks. Sensors, 18, 2317; <https://doi.org/10.3390/s18072317>, 2018.
- Oprogramowanie AUTODATA.



- Radzajewski, P, Guzek, M.: Assessment of the Impact of Selected Parameters of Tractor-Semitrailer Set on the Braking Safety Indicators; Appl. Sci. 2023, 13, 5336; <https://doi.org/10.3390/app13095336>, 2023.
- Rokosch, U.: Układy oczyszczania spalin i pokładowe systemy diagnostyczne samochodów OBD. WKiŁ, Warszawa, 2007.
- Rychter, T.: Budowa pojazdów samochodowych. WSiP, Warszawa, 1999.
- Scania CV AB. Podręcznik schematów układu hamulcowego. Wydanie 2. Sweden, 2018.
- Sieci wymiany danych w pojazdach samochodowych. Informator techniczny BOSCH 2008.
- Sitek, K., Syta, S.: Badania stanowiskowe i diagnostyka. WKiŁ, Warszawa, 2011.
- Tester diagnostyczny CDIF/2 firmy Axes System.
- TEXA OBD Log, loger OBD.
- Trzeciak, K.: Diagnostyka samochodów osobowych. WKiŁ, Warszawa, 2008.
- White, C., Randall, M.: Kody usterek. WKiŁ, Warszawa, 2008.
- Widerski, T.: Samochodowe sieci informatyczne. Poradnik serwisowy-kompedimu praktycznej wiedzy warsztatowej nr 5. Instalator Polski, 2005.
- Zeszyt do samodzielnego kształcenia nr 286. Nowe systemy magistral danych LIN, MOST, Bluetooth. Audi AG Inglostadt, 2002.
- Zimmerman, W., Schmidgall, R.: Magistrale danych w pojazdach. WKŁ, ISBN 978-83-206-1698-9, Warszawa, 2008.
- ZF Friedrichshafen AG, Wabco. EBS in towing vehicles and buses system description. <https://www.wabco-customercentre.com/catalog/docs/8150100153.pdf>, 2011.

*Adres do korespondencji: e-mail: [norbert.pedryc@urk.edu.pl](mailto:norbert.pedryc@urk.edu.pl)*

ORCID: Norbert Pedryc 0000-0001-5482-5057

ORCID: Grzegorz Basista 0000-0001-9637-1305

ORCID: Michał Hajos 0009-0004-4193-7542

ORCID: Grzegorz Dzieńszewski 0000-0002-2712-1131

# EFEKTYWNOŚĆ PROCESÓW MAGAZYNOWYCH NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO PRZEDSIĘBIORSTWA

**Bartłomiej Sak<sup>1</sup>, Elżbieta Olech<sup>2</sup>, Maciej Kuboń<sup>2,3</sup>, Dariusz Kwaśniewski<sup>2</sup>, Urszula Malaga-Toboła<sup>2</sup>, Andrzej Borusiewicz<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Dyplomant w Katedrze Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

<sup>2</sup> Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

<sup>3</sup> Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych Przemysłu

<sup>4</sup> Międzynarodowa Akademia Nauk Stosowanych w Łomży

## Wprowadzenie

Każde współczesne przedsiębiorstwo zdaje sobie sprawę z tego, że magazyny stanowią istotny element w logistycznym łańcuchu dostaw. Zarówno wyroby gotowe, półprodukty jak i materiały niezbędne do produkcji określonych dóbr, muszą zostać w jakiś sposób przechowywane<sup>1</sup>. Generuje to dodatkowe koszty związane z wytworzeniem produktu, przez co coraz większy nacisk kładzie się na propagowanie dostaw w systemie „Just in Time”. Główną korzyścią związaną ze stosowaniem tej metody jest znaczne zredukowanie zapasów, co wiąże się z wymiernymi korzyściami finansowymi. Jednak mimo wszystko, niemożliwe wydaje się aby zminimalizować przestrzeń magazynowe do minimum. Mało tego, magazynów z każdym rokiem będzie przybywać w związku ze zwiększoną konsumpcją dóbr przez ludność na całym świecie<sup>2</sup>.

System logistyczny, który jest zorganizowany w sposób przemysłowy oraz działa efektywnie, jest kluczowy do wyrobienia dobrej pozycji na rynku. Procesy logistyczne w gospodarce magazynowej obejmujące przepływ dóbr materialnych, tworzenie zapasów oraz tworzenie i przetwarzanie związanych z tym informacji wymagają określonej infrastruktury technicznej, którą tworzą:<sup>3</sup>

- budowle magazynowe,
- urządzenia magazynowe,
- środki transportu wewnętrznego,

---

<sup>1</sup> Tylicki, H.: Wybrane problemy optymalizacji procesu magazynowego, Autobusy, 6, 2016.

<sup>2</sup> Bartosiewicz, S.: Optymalizacja procesów magazynowych w przedsiębiorstwie, Gospodarka materialowa i logistyka, 5, 2017

<sup>3</sup> Dudziński, Z.: Poradnik organizatora gospodarki magazynowej, Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2012.

– urządzenia techniki obliczeniowej i informatycznej.

Magazynowanie samo w sobie nie jest w stanie odpowiednio funkcjonować bez transportu a także produkcji i dystrybucji. Ważne jest więc, przy planowaniu lokalizacji magazynów, aby zapewnić dostateczny dostęp do szlaków transportowych, które w najlepszy sposób zapewniają możliwość wymiany handlowej. Odpowiednio zaprojektowany magazyn odznacza się optymalną wielkością, która jest niezbędna do utrzymania ciągłości produkcji lub potrzeb występujących na rynku.<sup>4</sup>

W obecnych czasach organizacja gospodarki magazynowej musi być traktowana w taki sposób, aby nadażyć za postępowaniem zarówno technicznym jak i technologicznym w kwestii magazynowania i wyposażenia magazynów. Według normy PN-N-01800 z 1984 roku, organizacja gospodarki magazynowej to całokształt sposobów postępowania i przedsięwzięć podejmowanych, stosowanych i współdziałających ze sobą przy zarządzaniu magazynami oraz dobór struktur organizacyjnych, mających na celu optymalną koordynację wszystkich funkcji magazynu dla osiągnięcia największego efektu przy najmniejszych nakładach pracy żywej i uprzedmiotowionej.<sup>5</sup> Magazyn w systemie logistycznym odgrywa rolę zwiększającą wartość produktów poprzez: konsolidację ładunków transportowych, zestawianie produktów, zabezpieczanie ich przed nieprzewidywanymi zdarzeniami i wygładzanie ich przepływów.<sup>6</sup> Asortymenty wytwarzane przez przedsiębiorstwa często składają się z setek lub nawet tysięcy produktów, różniących się kształtem, kolorem, wielkością lub innymi cechami. Wytwarzane artykuły mogą być produkowane również w różnych zakładach. Powodować to może różnice przychodzenia dostaw oraz ewentualne pomyłki lub niedomówienia podczas konfekcjonowania produktów. Dlatego też magazyn, w którym następuje kompletacja zróżnicowanego asortymentu, umożliwia sprawniejszą realizację zamówień.<sup>7</sup> Organizatorem gospodarki magazynowej powinna być osoba zdolna, kompetentna do kierowania zespołem ludzi, która potrafi układać w odpowiedni sposób swoje stosunki z podwładnymi i innymi pracownikami. Według Dudzińskiego i Kizyna<sup>8</sup> organizatorami-uczestnikami organizacji procesów magazynowych są:

- kierownicy przedsiębiorstw i instytucji,
- kierownicy komórek organizacyjnych nadzorujących gospodarkę magazynową (szefowie pionów logistyki działów zaopatrzenia, sprzedaży itp.),
- kierownicy magazynów,
- magazynierzy.

W każdym przedsiębiorstwie, które funkcjonuje w sposób prawidłowy, kierownictwo powinno opracować zarządzenia wewnętrzne i regulaminy określające strukturę magazynów, pomieszczenia magazynowe jakie występują w przedsiębiorstwie a także jakie towary powinny w nich się znajdować. Instrukcja magazynowa powinna określać zakres czynności

<sup>4</sup> Bartosiewicz, S., Oziębło, M.: Wybór lokalizacji przedsiębiorstwa produkcyjnego, *Przedsiębiorczość i Zarządzanie* t. XVI, część 1. 2016.

<sup>5</sup> PN-N-01800:1984 Gospodarka magazynowa. Terminologia podstawowa

<sup>6</sup> Motowidlak, U., Tokarski, D.: *Infrastruktura magazynowa i transportowa w dobie zrównoważonego rozwoju gospodarki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 2022.

<sup>7</sup> Gradowicz, C., Pasek, K.: Nowoczesne technologie i systemy informacyjne w zarządzaniu łańcuchem dostaw w centrach logistycznych, *Acta Universitatis Lodzianis, Folia Oeconomica*, 251, 2011.

<sup>8</sup> Dudziński, Z., Kizyn, M.: *Vademecum gospodarki magazynowej*, wydawnictwo Ośrodek Doskonalenia i Doskonalenia Kadr Sp. Z o.o. Gdańsk, 2002.

i odpowiedzialności personelu magazynowego, zasady obiegu dokumentacji, sposoby składowania zapasów, wykaz urządzeń do składowania, środków transportowych i innych urządzeń pomocniczych. W dokumencie tym powinny się również znajdować zasady przyjęcia oraz wydania z magazynu zapasów, sposób zabezpieczenia przed kradzieżą i pożarami, przepisy o systemie przepustowym oraz zasady przeprowadzania inwentaryzacji i kontroli gospodarki magazynowej. Instrukcja magazynowa opracowywana jest dla istniejącego lub projektowanego układu magazynów w przedsiębiorstwie.<sup>9</sup>

Struktura organizacyjna magazynu musi odpowiadać indywidualnym potrzebom przedsiębiorstwa. Powinna integrować w sobie funkcje logistyki zaopatrzenia, dystrybucji, gospodarki magazynowej i produkcji. W praktyce jednak, wspomniane funkcje logistyczne są realizowane przez różne komórki.

Organizacja zarządzania gospodarką magazynową w przedsiębiorstwie obejmuje:<sup>10</sup>

- strukturę organizacyjną gospodarki magazynowej,
- zatrudnienie pracowników magazynowych oraz zakres ich czynności,
- dokumentację obrotu magazynowego i ewidencję jego zapasów,
- odpowiedzialność personelu magazynowego,
- kontrolę gospodarki magazynowej, w tym inwentaryzacji zapasów.

Brak optymalnego wykorzystania przestrzeni magazynowej to jeden z najpowszechniej występujących problemów związanych z procesami magazynowania. Przede wszystkim może to wynikać z nieodpowiedniego zaplanowania przestrzeni magazynowej, czego następstwem jest to, że palety czy regały są ułożone nieprawidłowo. Utrudnia to transport wewnętrzny oraz ogranicza możliwość skutecznego i szybkiego rozłokowywania towarów, a w późniejszym etapie ich pobierania w celu realizowania zamówień składanych przez klientów.<sup>11</sup>

Pierwszym etapem określania zapotrzebowania na przestrzeń magazynową jest opracowanie prognozy na produkty przedsiębiorstwa. Zachodzi konieczność obliczenia wolumenu sprzedaży dla danego produktu w określonym czasie. Następnie określona zostaje wielkość zamówienia każdego towaru, zwykle uwzględniająca pewny zapas bezpieczeństwa. Dodatkowo należy ustalić, jaka przestrzeń magazynowa zostanie przeznaczona na przejścia oraz różnego typu pomieszczenia pomocnicze. Zazwyczaj około 1/3 przestrzeni magazynów jest przeznaczana na realizowanie funkcji bezpośrednio niezwiązanych ze składowaniem. Istotne jest także uwzględnienie operacji związanych z transportem, czyli realizacją przyjęcia towaru i wysyłki. Najważniejsze znaczenie podczas określenia rozmiarów przestrzeni magazynowej w strefach realizujących przyjmowanie i wysyłanie towaru mają rozmiary a także liczba obrotów zapasów.<sup>12</sup>

W magazynach dystrybucyjnych zachodzi również zapotrzebowanie wyselekcjonowania przestrzeni do kompletowania towarów zgodnych z poszczególnymi zamówieniami. Przestrzeń przeznaczona do składowania zajmować będzie największą część magazynu. Tak jak

---

<sup>9</sup> Ibidem

<sup>10</sup> Niziński, S., Żurek, J.: Logistyka ogólna. Wydawnictwa Komunikacji Łączności, Warszawa, 2011.

<sup>11</sup> Szczepanik T.: Logistyczne aspekty magazynowania w przedsiębiorstwach na terenie województwa śląskiego, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie, 7, 2012.

<sup>12</sup> Motowidlak, U., Tokarski, D.: Infrastruktura magazynowa i transportowa w dobie zrównoważonego rozwoju gospodarki, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 2022.

w przypadku strefy kompletacji, zachodzi potrzeba szczegółowego rozplanowania przestrzeni przeznaczonej do składowania. Przede wszystkim, w magazynach dystrybucji bardzo często wyznaczana jest przestrzeń do składowania zużytych opakowań. Zachodzi również potrzeba wyselekcjonowania odrębnej przestrzeni na pomieszczenia biurowe oraz różne inne przeznaczone dla pracowników- szatnie, miejsca do odpoczynku, bufet.

Przez magazynowanie rozumie się zespół czynności związanych z przyjmowaniem, składowaniem, przechowywaniem, kompletowaniem, przemieszczaniem, konserwacją, ewidencjonowaniem, kontrolowaniem i wydawaniem dóbr materialnych w określonych warunkach.<sup>13</sup> W zależności od specyfiki oraz wielkości przedsiębiorstwa można wyróżnić kilka rodzajów magazynów.

W celu utrzymania funkcjonowania gospodarki magazynowej przedsiębiorstwa na dobrym poziomie, trzeba uwzględnić zadania w obszarze zaopatrzenia, produkcji i dystrybucji. Jeśli chodzi o zaopatrzenie, zadaniem gospodarki magazynowej jest przyjęcie materiałów, przechowywanie ich oraz stopniowe wydawanie do produkcji. W obszarze produkcji, jej zadaniem jest odpowiednie zarządzanie materiałami i półwyrobami przekazywanymi do kolejnych działów produkcji. Zadaniem gospodarki magazynowej w obszarze dystrybucji jest natomiast przechowywanie wyrobów gotowych, kompletacja i zaopatrywanie w produkt finalnych odbiorców.

W systemie logistycznym można wyróżnić cztery podstawowe funkcje, jakie pełnią magazyny:<sup>14</sup>

- skoordynowanie wielkości podaży i popytu,
- wspomaganie procesów produkcyjnych,
- wspomaganie procesów marketingowych,
- zredukowanie kosztów transportu.

Z pojęciem magazynu związane są następujące elementy:<sup>15</sup>

- struktura organizacyjna oraz podział zadań i obowiązków dla poszczególnych pracowników,
- obieg dokumentacji obrotu magazynowego a także komunikatów kierowanych do pracowników,
- wyodrębniona przestrzeń służąca do składowania zapasów w postaci budynków i hal magazynowych a także pól odkładczych,
- niezbędne wyposażenie służące do składowania zapasów, środki transportu wewnętrznego i specjalistyczne urządzenia,
- występujący najczęściej w postaci jednostek ładunkowych towarów.

W gospodarce magazynowej są realizowane następujące działania:<sup>16</sup>

- przyjmowanie, przechowywanie oraz wydawanie zapasów,
- zabezpieczanie zapasów przed kradzieżą, zniszczeniem bądź uszkodzeniem,
- bieżąca konserwacja zapasów,
- ciągła kontrola stanu zapasów,

---

<sup>13</sup> Dudziński, Z.: *ibidem*, 2012

<sup>14</sup> Niemczyk, A.: *Zapasy i magazynowanie*, Poznań, Instytut Logistyki i Magazynowania, 2008.

<sup>15</sup> Grzybowska, K.: *Gospodarka zapasami i magazynem cz. 2: Zarządzanie magazynem*. Wydawnictwo Difin, Warszawa, 2010.

<sup>16</sup> Stępnicka, N., Bąkowska, P.: *Zarządzanie logistyczne i gospodarka magazynowa w przedsiębiorstwach – wybrane aspekty teoretyczne*, 2013.

- prowadzenie ewidencji materiałowej.

Istotnym elementem infrastruktury logistycznej jest infrastruktura magazynowa. W przedsiębiorstwie magazynowanie oraz manipulacja należą do pierwszorzędných funkcji logistycznych. Do infrastruktury magazynowej i manipulacyjnej zalicza się:

- budowle magazynowe,
- techniczne środki manipulacji i transportu wewnętrznego,
- urządzenia magazynowe, zwłaszcza urządzenia do składowania, pomiarowo-kontrolne, przeciwpożarowe i inne,
- inne środki techniczne, zwłaszcza środki techniki informatycznej wykorzystywane do sterowania operacjami magazynowymi.<sup>17</sup>

W obecnych czasach, coraz więcej pojawia się magazynów zautomatyzowanych, w nich ważną rolę odgrywają komputery, które służą do sterowania zadaniami magazynowymi. W dobie postępu technicznego ciągle powstają coraz to nowsze urządzenia dedykowane usprawnieniu prac magazynowych. Dzięki temu zwiększa się niezawodność systemów, możliwa jest eliminacja wielu prac ręcznych co przekłada się w znaczny sposób na wzrost wydajności pracy personelu magazynowego.

### Charakterystyka przedsiębiorstwa

Analizowane przedsiębiorstwo swoją działalność prowadzi w zakresie branży spożywczej o charakterze przetwórstwa warzywno-owocowego. Głównym źródłem zaopatrzenia w warzywa i owoce jest Powiśle Dąbrowskie. Dużą wagę firma przywiązuje nie tylko do odmiany, ale również do miejsca, a więc gleby, warunków nasłonecznienia i wilgoci, w których rosną wybrane plantacje. Dostawy i dostawcy są na bieżąco monitorowani, aby mieć pewność, że to, co trafia do produkcji, spełni oczekiwania klientów. Produkcja odbywa się w dwóch nowoczesnych i częściowo zautomatyzowanych halach. Przedsiębiorstwo zatrudnia około 120 osób, natomiast w miesiącach sezonowych liczba ta znacząco się zwiększa. Jest jednym z największych zakładów produkcyjnych w okolicy. Swoje produkty sprzedaje głównie we Francji, Niemczech i Anglii.

Przedsiębiorstwo poddawane analizie posiada obecnie 5 magazynów o następujących wymiarach:

- 66x19x6 m, pow. 1254 m<sup>2</sup>
- 33x25x6 m, pow. 825 m<sup>2</sup>
- 48x29x8 m, pow. 1392 m<sup>2</sup>
- 34x18x6 m, pow. 612 m<sup>2</sup>
- 60x24x6 m, pow. 1440 m<sup>2</sup>

W głównym magazynie przedsiębiorstwa odbywają się wszystkie prace związane z przyjęciem, kompletacją i wydaniem towaru. Pozostałe służą do przechowywania zapasu. W magazynie został zastosowany układ przelotowy który podzielony jest na 3 strefy: przyjęć, składowania oraz wydań i kompletacji. Dodatkowo posiada pomieszczenia przeznaczone dla pracowników administracji oraz biura kierowników. We wszystkich magazynach stosowane jest zarówno składowanie towarów na regałach jak i blokowe, w zależności od produktów jakie są przechowywane w danym miejscu. Do obsługi paletowych jednostek ładunkowych

<sup>17</sup> Skowronek, Cz., Sariusz-Wolski, Z.: Logistyka w przedsiębiorstwie, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2012.

wykorzystywane są 4 elektryczne wózki widłowe. W przedsiębiorstwie na stałe do prac magazynowych zatrudnionych jest 20 osób, pracujących w dwóch zmianach.

W magazynach analizowanego przedsiębiorstwa przechowywane są produkty, trafiające tam wprost z zakładu produkcyjnego firmy. Są to przetwory owocowe i warzywne, pakowane głównie w słoikach, przez co cały proces musi przebiegać bardzo ostrożnie i skrupulatnie. W magazynowym asortymencie przeważają przetwory z takich warzyw jak: ogórki, pomidory, buraki czy kapusta. W dalszej części nazwy produktów zostaną przedstawione według następujących oznaczeń:

Produkt A- pikle ogórkowe, Produkt B- ćwikła z chrzanem, Produkt C- sałatka warzywna szwedzka, Produkt D- kapusta kiszona z marchewką, Produkt E- barszcz czerwony zagęszczony, Produkt F- ogórki kiszone pasteryzowane, Produkt G- ogórki konserwowe z papryką słodką, Produkt H- papryka konserwowa, Produkt I- kapusta kiszona z burakami i jabłkami, Produkt J- sałatka z czerwonej kapusty, Produkt K- marmolada wieloowocowa, Produkt L- buraczki konserwowe plastry, Produkt M- leczko paprykowe, Produkt N- pomidory konserwowe z liściem winogrona, Produkt O- chrzan delikatesowy, Produkt U- sałatka z selera i marchewki, Produkt P- żur biały, Produkt R- kapuśniak zagęszczony, Produkt S- kapusta kiszona z burakami i jabłkami, Produkt T- koncentrat barszczu czerwonego, Produkt U- ogórki kwaszone małosolne pasteryzowane.

Celem opracowania jest analiza i ocena efektywności gospodarki magazynowej w wybranym przedsiębiorstwie. Zakres obejmuje analizę i ocenę podstawowych procesów magazynowych występujących w obrębie gospodarki magazynowej przedsiębiorstwa. Na podstawie wybranych wskaźników logistycznych oceniono sprawność funkcjonowania strefy przyjęć, składowania, kompletacji oraz wydań. Analiza obejmuje rok 2021.

### **Analiza efektywności funkcjonowania gospodarki magazynowej**

W celu przeprowadzenia analizy funkcjonowania gospodarki magazynowej, niezbędne było podanie informacji na temat ilości, w jakich produkty są magazynowane, dostarczane oraz wydawane z magazynu w analizowanym czasie. W poniższych tabelach zostały przedstawione szczegółowe dane na ten temat.

Tabela 1. Zestawienie dostaw na magazyn w 2021 roku (pjl)

Produkty	Miesiące												Suma
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Produkt A	0	0	0	0	0	112	129	121	96	27	0	0	485
Produkt B	9	0	0	0	0	0	0	8	12	10	12	14	65
Produkt C	26	48	56	67	89	118	212	243	230	101	44	31	1265
Produkt D	28	30	24	19	22	25	20	16	18	24	32	30	288
Produkt E	112	114	110	115	119	130	133	130	128	121	116	110	1438
Produkt F	67	36	10	26	68	164	278	314	300	246	112	82	1703
Produkt G	0	0	0	40	68	59	63	77	60	12	8	0	387
Produkt H	0	0	26	52	66	112	136	140	122	80	32	0	766

Produkty	Miesiące												Suma
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Produkt I	16	20	19	23	18	18	20	13	14	19	20	22	222
Produkt J	23	28	30	48	76	92	98	96	88	53	14	8	654
Produkt K	0	0	0	44	56	88	86	92	76	32	11	0	485
Produkt L	33	40	58	55	51	59	67	70	58	44	31	29	595
Produkt M	103	102	126	172	205	290	312	368	309	199	132	108	2426
Produkt N	0	0	0	66	114	189	276	302	211	108	36	0	1302
Produkt O	93	101	117	111	116	140	160	168	154	130	99	89	1478
Produkt U	0	0	0	8	20	39	44	36	18	12	0	0	177
Produkt P	17	14	8	8	2	0	0	0	8	19	20	24	120
Produkt R	112	106	131	150	148	156	161	159	155	140	131	119	1668
Produkt S	89	46	12	0	0	0	0	0	0	32	58	92	329
Produkt T	298	326	300	251	208	187	143	130	171	189	212	250	2665
Produkt U	143	129	137	156	168	170	191	194	190	176	170	152	1976
Suma	1169	1140	1164	1411	1614	2148	2529	2677	2418	1774	1290	1160	20494

Analizując tabelę 1 można zauważyć, że najwięcej dostaw na magazyn następuje w sierpniu - 2677 pjt. Z kolei miesiącem, gdzie dostaw było najmniej jest luty - 1140 pjt. Jeśli chodzi o poszczególne produkty - największy udział mają produkty M oraz T. Łącznie w 2021 roku na magazyn zostało dostarczonych 20494 pjt.

Tabela 2. Średni stan magazynowy w 2021 roku (pjt)

Produkty													Suma
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Produkt A	21	10	3	0	0	80	160	224	251	196	94	36	1075
Produkt B	14	0	0	0	0	0	0	8	12	16	17	15	82
Produkt C	28	48	76	112	157	206	349	516	578	511	302	143	3026
Produkt D	30	40	39	37	42	45	45	42	38	35	30	32	455
Produkt E	119	128	126	127	124	128	130	132	131	124	119	114	1502
Produkt F	110	102	66	48	76	192	403	610	655	590	404	207	3463
Produkt G	9	0	0	40	88	119	146	152	159	112	52	16	893
Produkt H	20	0	26	78	90	136	201	242	250	231	180	96	1550
Produkt I	18	20	21	24	26	25	23	19	17	15	18	20	246
Produkt J	29	35	38	52	73	114	166	202	218	190	125	68	1310
Produkt K	19	0	0	44	72	121	163	197	187	149	86	27	1065



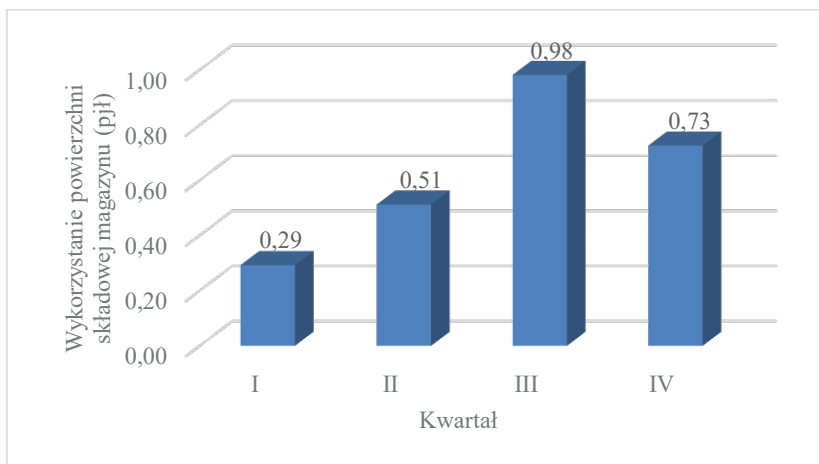
Produkty													Suma
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Produkt L	13	16	31	46	63	79	93	101	91	72	49	26	680
Produkt M	212	176	202	287	388	512	630	726	812	698	498	390	5531
Produkt N	68	32	0	66	180	276	402	515	509	356	202	132	2738
Produkt O	167	121	130	143	156	176	224	255	290	283	256	221	2422
Produkt U	3	0	0	8	28	50	61	63	55	49	29	13	359
Produkt P	22	17	13	9	0	0	0	0	8	12	21	26	128
Produkt R	99	132	170	214	239	261	292	312	307	283	257	219	2785
Produkt S	80	65	46	19	0	0	0	0	0	32	50	79	371
Produkt T	214	250	256	293	302	314	309	296	308	320	329	302	3493
Produkt U	188	212	250	312	368	410	454	486	498	480	442	388	4488
Suma	1483	1404	1493	1959	2472	3244	4251	5098	5374	4754	3560	2570	37662

Przedstawiony w tabeli 2 średni stan magazynowy osiąga bardzo zróżnicowane wartości dla poszczególnych produktów. Występują zarówno asortymenty, występujące zaledwie w liczbie kilku paletowych jednostek ładunkowych, jak i takie których jest kilkaset. Zdecydowanie największy średni stan magazynowy odnotowano w przypadku produktu M, najmniejszy produktu B - 7 pjł.

W tabeli 3 przedstawiono ogólną liczbę miejsc składowych oraz liczbę zajętych miejsc składowych.

Tabela 3. Wykorzystanie powierzchni składowej magazynu

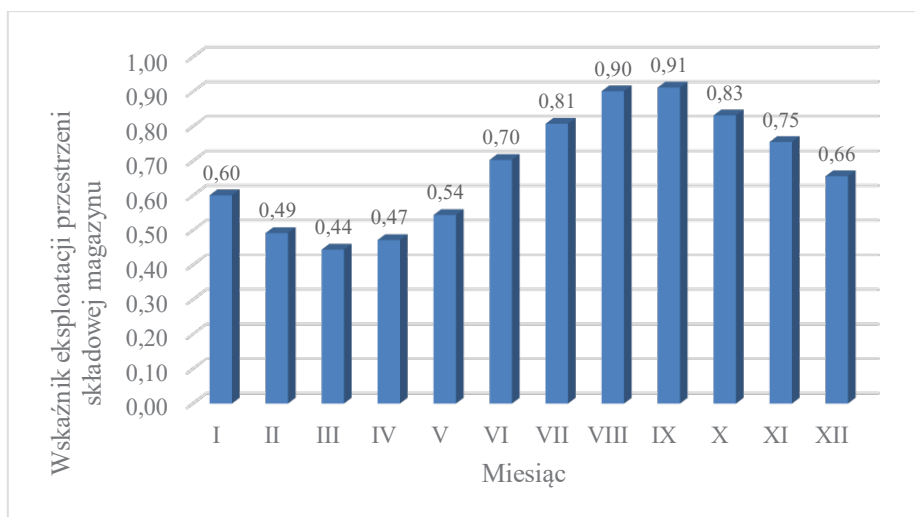
Wyszczególnienie	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Liczba zajętych miejsc składowych (pjł)	1483	1404	1493	1959	2472	3244	4251	5098	5374	4754	3560	2570
Liczba wszystkich miejsc składowych (pjł)	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000



Rys. 1. Wykorzystanie powierzchni składowej magazynu w poszczególnych kwartałach 2021 roku

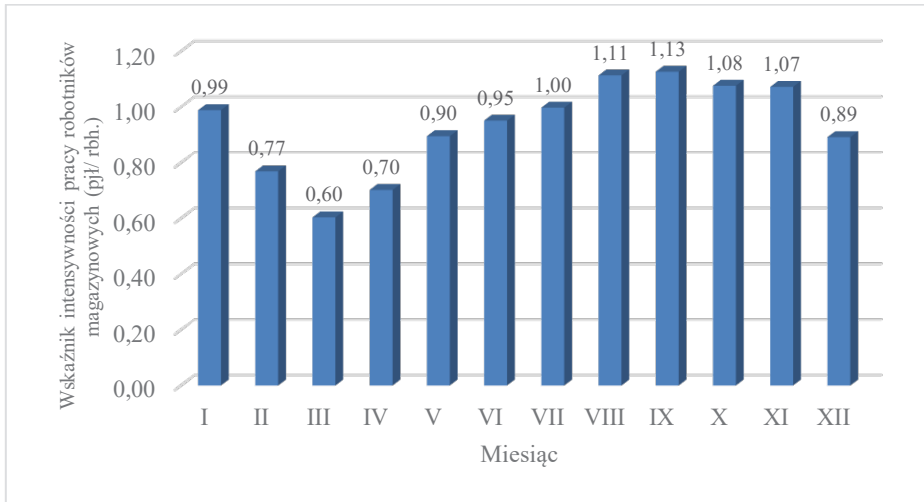
W I kwartale roku stopień wykorzystania jest niższy niż 40% osiągając wartości w przedziale 0,28-0,39. Następnie w każdym kolejnym miesiącu wzrasta, osiągając we wrześniu 1,07. Magazyn jest najbardziej obciążony w III kwartale roku, w sierpniu i wrześniu przekraczając nawet 100% wykorzystania powierzchni składowej. Wynika to ze znacznego zapotrzebowania na sezonowe produkty, na które przedsiębiorstwo nie jest w pełni przygotowane pod względem dostępności miejsc składowych. Pod koniec roku wykorzystanie powierzchni składowej stopniowo maleje, osiągając w grudniu poziom - 0,5.

Następny wskaźnik określa stopień eksploatacji przestrzeni składowej magazynu.



Rys. 2. Wskaźnik eksploatacji przestrzeni składowej magazynu w 2021 roku

Kolejny wskaźnik określa intensywność pracy robotników magazynowych. Na rys. 3 znajduje się graficzne przedstawienie wyników.



Rys. 3. Wskaźnik intensywności pracy robotników magazynowych w 2021 roku

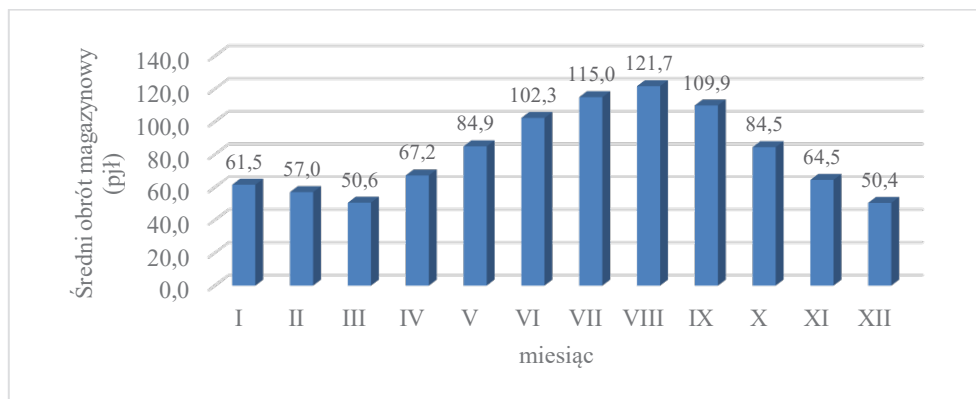
Dzięki analizie wyników z rysunku 3 można stwierdzić, że najmniejsze wartości wskaźnika zanotowane zostały w marcu- 0,60 pjt/ rbh. Największy wynik odnotowano we wrześniu- 1,13 pjt/ rbh.

W magazynie wyróżnić można strefę przyjęć. Jest to przestrzeń przeznaczona do czynności organizacyjnych, związanych z przyjęciem towaru ale także do kontroli ilości i jakości, sortowania ładunku, wyznaczenia położenia w strefie składowania oraz ewentualnego podziału na mniejsze jednostki.

W pierwszej kolejności obliczono wskaźnik średniego obrotu magazynowego. W tabeli 4 przedstawiono wielkość obrotu magazynowego według przychodu oraz liczbę dni w badanym okresie. Na rysunku 4 pokazano natomiast wyniki wspomnianego wskaźnika.

Tabela 4. Średni obrót magazynowy w 2021 roku

Wyszczególnienie	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Wielkość obrotu magazynowego według przychodu w badanym okresie (pjt)	1169	1140	1164	1411	1614	2148	2529	2677	2418	1774	1290	1160
Liczba dni w badanym okresie	19	20	23	21	19	21	22	22	22	21	20	23



Rys. 4. Średni obrót magazynowy w 2021 roku

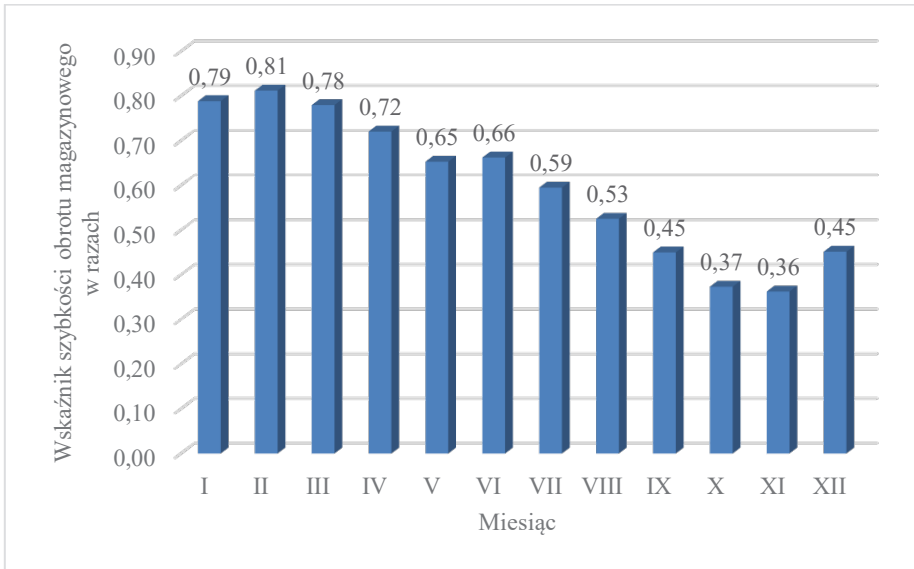
Przeprowadzona analiza wyników zaprezentowanych na rysunku 4 pozwala stwierdzić, że poszczególne okresy roku dość znacząco różnią się jeśli chodzi o średni obrót magazynowy. Najlepszy wynik wskaźnik osiąga w III kwartale w sierpniu- 122 pjt. Najmniejszy natomiast, ponad dwukrotnie mniejszy w I kwartale, wynosząc zaledwie 51 pjt.

Kolejny wskaźnik określa szybkość obrotu magazynowego. Konieczne dane do obliczeń dotyczą wielkości obrotu magazynowego według przychodu i średniego obrotu magazynowego dla analizowanego okresu- zostały przedstawione w tabeli 5.

W tabeli 5 przedstawione zostały potrzebne dane do obliczeń.

Tabela 5. Wskaźnik szybkości obrotu magazynowego w razach

Wyszczególnienie	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Wielkość obrotu magazynowego według przychodu w badanym okresie (pjt)	1169	1140	1164	1411	1614	2148	2529	2677	2418	1774	1290	1160
Wielkość średniego zapasu magazynowego w badanym okresie (pjt)	1483	1404	1493	1959	2472	3244	4251	5098	5374	4754	3560	2570



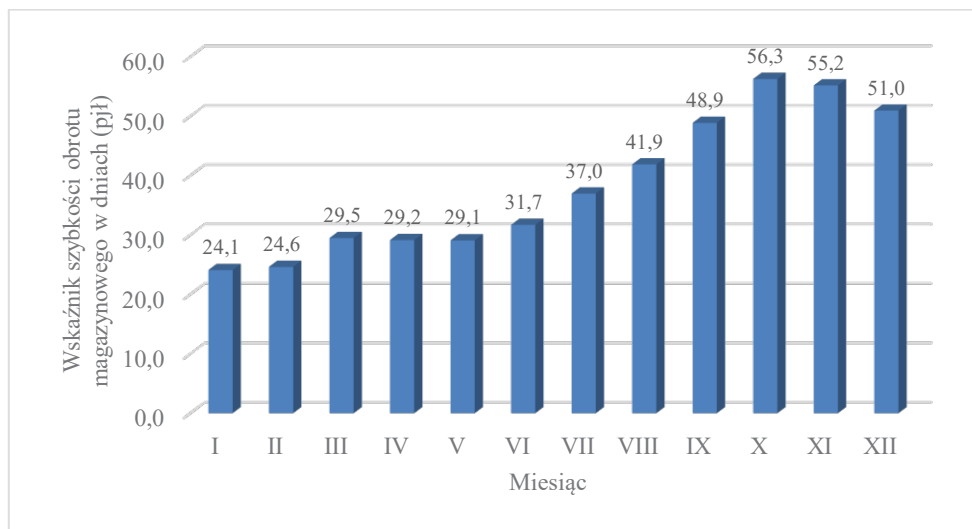
Rys. 5. Wskaźnik szybkości obrotu magazynowego w razach w 2021 roku

Przedstawiony na rysunku 5 wskaźnik najwyższe wartości osiąga w I kwartale roku 2021 - 0,81-0,72. Następnie, zauważalny jest spadek w każdym kolejnym miesiącu osiągając w listopadzie poziom jedynie 36%. Wyższe wielkości wskaźnika zaobserwowano na początku roku. Były one spowodowane zarówno relatywnie niewielkim przychodem na magazyn jak i niskim zapasem. W kolejnych miesiącach przychód i średni zapas magazynowy rósł, jednak przyjęte towary nie są wydawane w sposób natychmiastowy, skutkiem czego stan magazynowy podnosi się bardzo szybko. Przez co, mimo największych przychodów na magazyn w sierpniu, wrześniu i październiku, wskaźnik osiąga niemalże najmniejsze wartości.

W tabeli 6 przedstawiono wskaźnik szybkości obrotu magazynowego w dniach.

Tabela 6. Wskaźnik szybkości obrotu magazynowego w dniach

Wyszczególnienie	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Wielkość obrotu magazynowego według przychodu w badanym okresie (pjł)	1169	1140	1164	1411	1614	2148	2529	2677	2418	1774	1290	1160
Wielkość średniego zapasu magazynowego w badanym okresie (pjł)	1483	1404	1493	1959	2472	3244	4251	5098	5374	4754	3560	2570
Liczba dni w badanym okresie	19	20	23	21	19	21	22	22	22	21	20	23



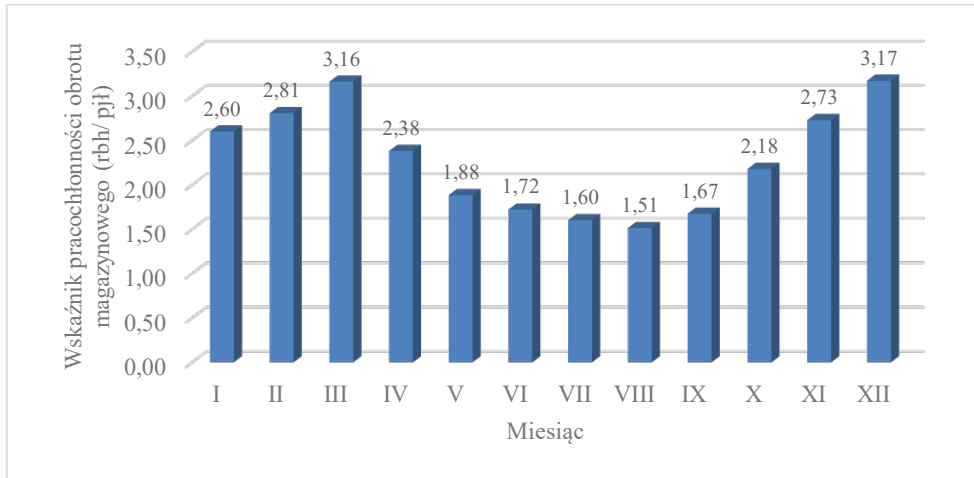
Rys. 6. Wskaźnik szybkości obrotu magazynowego w dniach w 2021 roku

Po przeanalizowaniu powyższych wykresów można stwierdzić, że wartości wskaźnika z każdym kolejnym miesiącem są coraz wyższe, począwszy od najmniejszej wartości w styczniu- 25 pjł. Wskaźnik szybkości obrotu magazynowego rośnie aż do października osiągając 57 pjł. Następnie wartości delikatnie spadają, jednak są zdecydowanie większe niż w I bądź II kwartale roku.

Wskaźnik pracochłonności obrotu magazynowego informuje, jaka ilość paletowych jednostek ładunkowych jest obsługiwana przez pracownika magazynowego na godzinę. Aby uzyskać takie dane, należy zestawić ze sobą liczbę przepracowanych przez pracowników magazynowych do wielkości przychodu w danym okresie. W tabeli 7 przedstawione zostały dane potrzebne do obliczeń wskaźnika.

Tabela 7. Wskaźnik pracochłonności obrotu magazynowego

Wyszczególnienie	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Liczba godzin przepracowanych przez pracowników magazynowych w badanym okresie	3040	3200	3680	3360	3040	3696	4048	4048	4048	3864	3520	3680
Wielkość obrotu magazynowego według przychodu w badanym okresie (pjł)	1169	1140	1164	1411	1614	2148	2529	2677	2418	1774	1290	1160



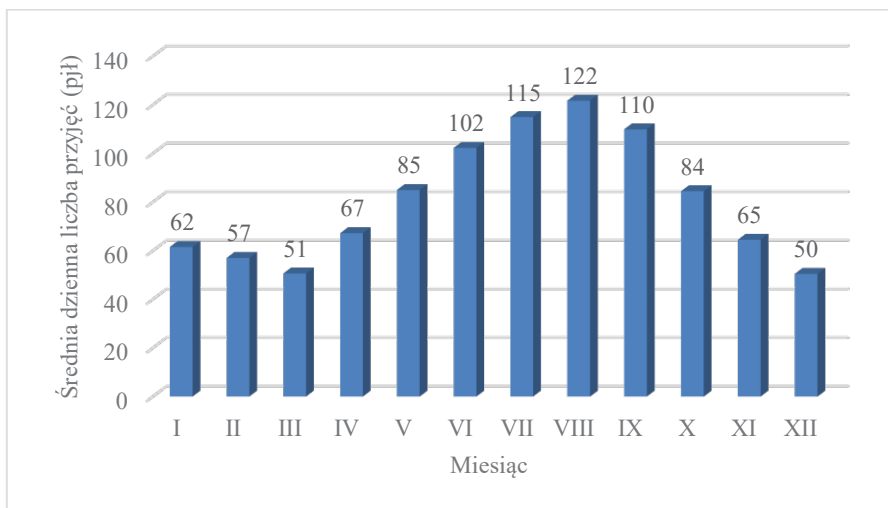
Rys. 7. Wskaźnik pracochłonności obrotu magazynowego w 2021 roku

Po analizie wyników przedstawionych na rysunku 7 stwierdzono, że analizowany wskaźnik największe wartości osiąga w I i IV kwartale 2021 roku. Należy zaznaczyć, że im wyniki wskaźnika są mniejsze tym prace wykonywane przez robotników są bardziej intensywne. Pracownicy najbardziej obciążeni pracą są więc w III kwartale, a dokładniej w sierpniu- 1,51 rbh/pjł. Z kolei marzec i grudzień to miesiące odznaczające się najmniejszym obciążeniem dla pracowników magazynowych.

Średnia dzienna liczba przyjęć informuje, jaka liczba towaru były przyjmowana na magazyn w ciągu roku. W tabeli 8 przedstawiono niezbędne dane do obliczeń.

Tabela 8. Średnia dzienna liczba przyjęć

Wyszczególnienie	miesiąc											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Liczba przyjętych towarów w badanym okresie (pjł)	1169	1140	1164	1411	1614	2148	2529	2677	2418	1774	1290	1160
Liczba dni roboczych w badanym okresie	19	20	23	21	19	21	22	22	22	21	20	23



Rys. 1. Średnia dzienna liczba przyjęć w 2021 roku

Analizując powyższy wykres można stwierdzić, że największa liczba przyjęć towarów na magazyn realizowana jest w II i III kwartale, w sierpniu sięgająca nawet 122 paletowych jednostek ładunkowych. Znacznie mniej przyjęć realizowanych jest w I i IV kwartale roku, w marcu - 51, w grudniu - 50. Uzyskane wyniki mają swoje uzasadnienie w sposobie działalności firmy. Najwięcej towarów wyprodukowanych zostaje właśnie w III kwartale, stąd liczba przyjęć na magazyn jest wtedy największa.

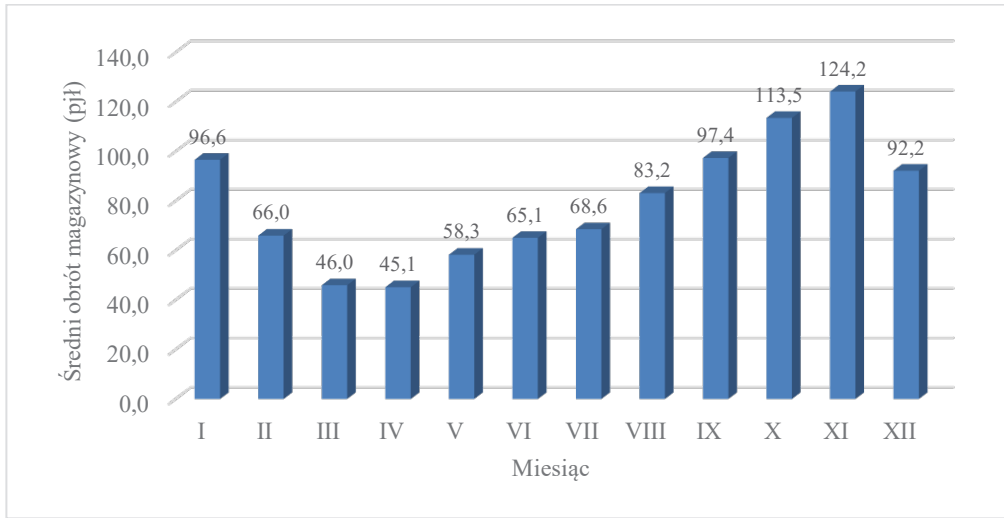
W analizowanym magazynie występuje strefa wydań i kompletacji. Jest to przestrzeń przeznaczona do wszelkich czynności organizacyjnych, które są związane z wydaniem towaru a także jego kompletacją, która polega na połączeniu towarów znajdujących się w różnych jednostkach ładunkowych zgodnie z zamówieniem klienta.

W tabeli 9 przedstawiono wielkość obrotu magazynowego według rozchodu oraz liczbę dni w badanym okresie.

Tabela 9. Średni obrót magazynowy

Wyszczególnienie	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Wielkość obrotu magazynowego według rozchodu w badanym okresie (pjł)	1836	1320	1057	948	1107	1367	1509	1830	2142	2384	2484	2121
Liczba dni w badanym okresie	19	20	23	21	19	21	22	22	22	21	20	23





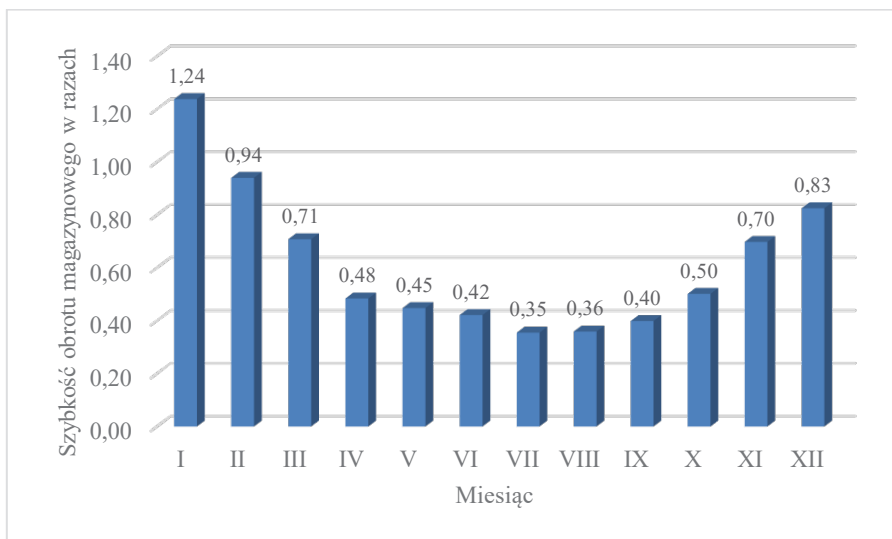
Rys. 9. Średni obrót magazynowy w 2021 roku

Z przedstawionych danych wynika, że wykorzystanie powierzchni składowej jest bardzo różnicowane w ciągu roku. Analizując rysunek 9 można zauważyć, że wykres układa się w kształt sinusoidy. W pierwszym miesiącu roku wartości kształtują się na poziomie 97 pjt, następnie stopniowo spadają by w kwietniu wynosić 46 pjt. Kolejne miesiące to sukcesywny wzrost wielkości wskaźnika, który w listopadzie osiąga 125 pjt. Grudzień to mniejszy wynik, wynoszący 93 pjt. Jeśli chodzi o kwartalny średni obrót magazynowy, największy ma miejsce w IV - 110 pjt, natomiast najmniejszy w II kwartale - 57 pjt. Tak duża liczba wydań w miesiącach wrzesień-styczeń spowodowana jest specyfiką działania przedsiębiorstwa, które największą ilość produkcji osiąga w III kwartale roku. Dostarczone towary na magazyn muszą więc, w kolejnych miesiącach zostać sukcesywnie wydawane w większych ilościach.

Następnym wskaźnikiem jest szybkość obrotu magazynowego. W tabeli 10 przedstawione zostały potrzebne dane do obliczeń.

Tabela 10. Szybkość obrotu magazynowego w razach

Wyszczególnienie	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Wielkość obrotu magazynowego według rozchodu w badanym okresie (pjt)	1836	1320	1057	948	1107	1367	1509	1830	2142	2384	2484	2121
Wielkość średniego zapasu magazynowego w badanym okresie (pjt)	1483	1404	1493	1959	2472	3244	4251	5098	5374	4754	3560	2570



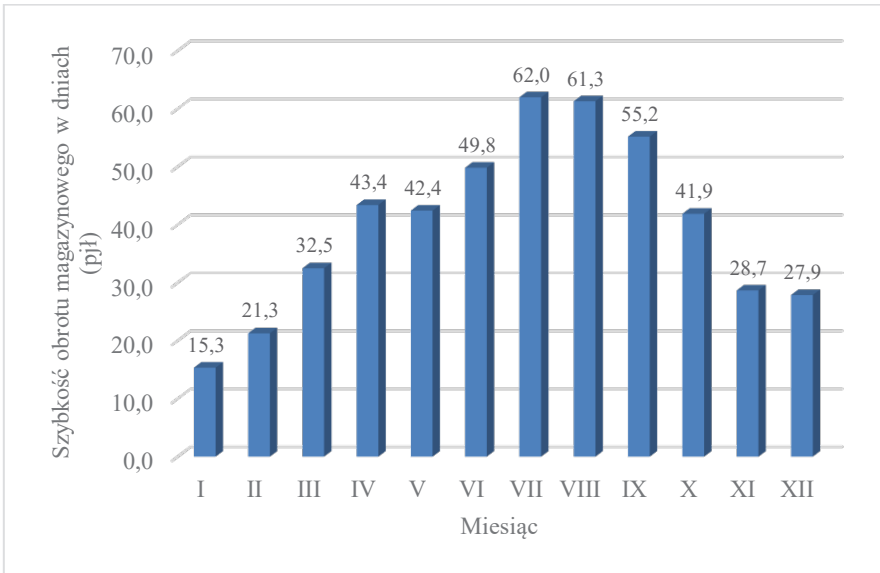
Rys. 10. Szybkość obrotu magazynowego w razach w 2021 roku

Na podstawie uzyskanych wyników zaprezentowanych na rys. 10 stwierdzono, że zdecydowanie największe wartości analizowanego wskaźnika zostały osiągnięte I kwartale roku. Następnie odnotowany został spory spadek szybkości obrotu magazynowego w razach, aż do IV kwartału gdzie zauważalny jest znaczny wzrost. Miesiącem odznaczającym się najwyższym wynikiem jest styczeń - 1,24, natomiast najmniejszym lipiec - 0,35.

W tabeli 11 przedstawiono dane niezbędne do obliczenia wskaźnika szybkości obrotu magazynowego w dniach.

Tabela 11. Szybkość obrotu magazynowego w dniach w 2021 roku

Wyszczególnienie	Miesiąc											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Wielkość obrotu magazynowego według rozchodu w badanym okresie (pjt)	1836	1320	1057	948	1107	1367	1509	1830	2142	2384	2484	2121
Wielkość średniego zapasu magazynowego w badanym okresie (pjt)	1483	1404	1493	1959	2472	3244	4251	5098	5374	4754	3560	2570
Liczba dni w badanym okresie	19	20	23	21	19	21	22	22	22	21	20	23



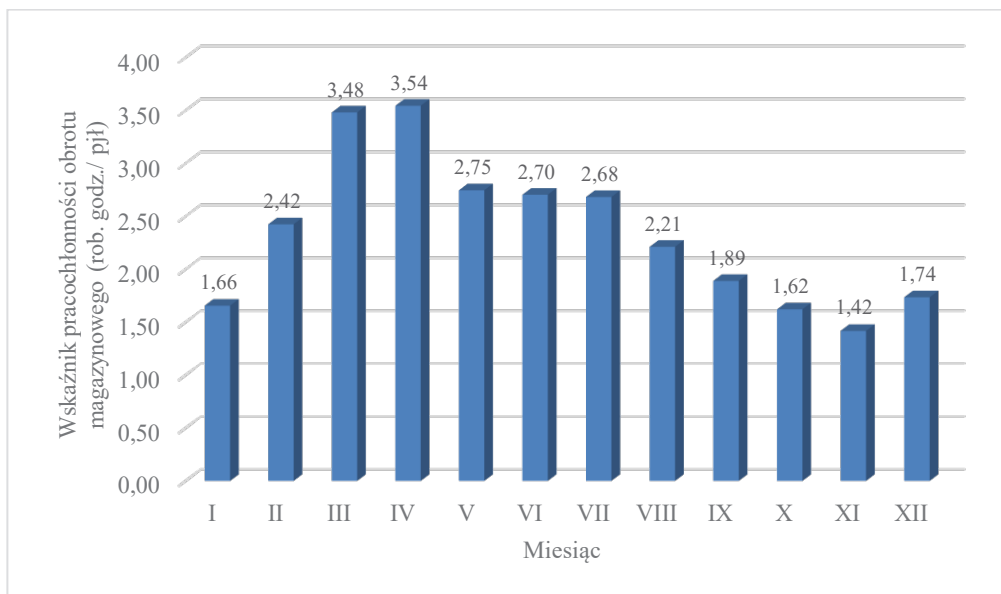
Rys. 11. Szybkość obrotu magazynowego w dniach w 2021 roku

Z przedstawionych danych na rysunku 11, można stwierdzić, że uzyskane wyniki wskazują, że wskaźnik szybkości obrotu magazynowego w dniach jest odwrotnością jeśli chodzi o trend wskaźnika szybkości obrotu magazynowego w razach. W tym przypadku największe wartości osiągnięte zostały w II i III kwartale. W lipcu szybkość obrotu magazynowego w dniach wyniosła aż 62 pjł, przy tylko 16 w styczniu.

W tabeli 12 przedstawione zostały dane potrzebne do obliczeń wskaźnika.

Tabela 12. Wskaźnik pracochłonności obrotu magazynowego w 2021 roku

Wyszczególnienie	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Liczba godzin pracowanych przez pracowników magazynowych w badanym okresie	3040	3200	3680	3360	3040	3696	4048	4048	4048	3864	3520	3680
Wielkość obrotu magazynowego według rozchodu w badanym okresie (pjł)	1836	1320	1057	948	1107	1367	1509	1830	2142	2384	2484	2121

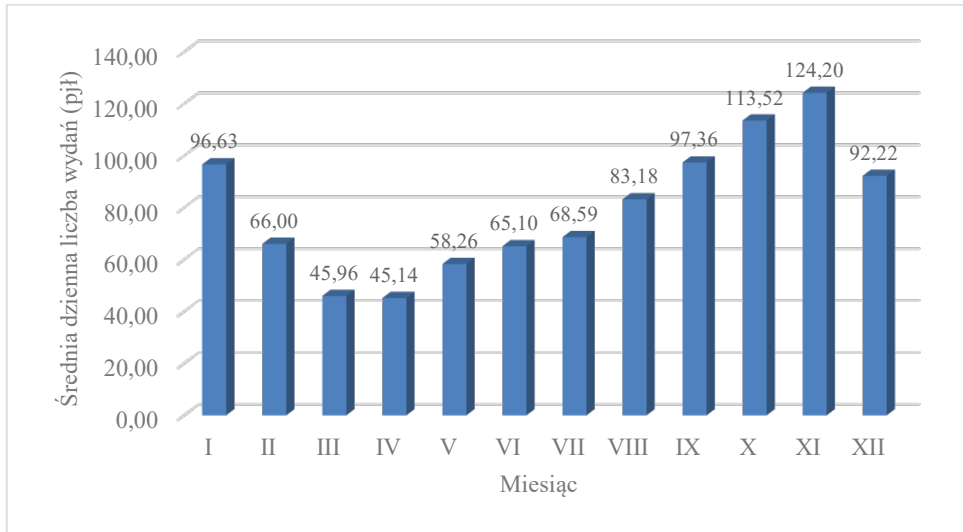


Rys. 12. Wskaźnik pracochłonności obrotu magazynowego w 2021 roku

Wskaźnik pracochłonności obrotu magazynowego największy poziom osiągał w II kwartale 2021 roku. Im jest on mniejszy, tym prace wykonywane przez pracowników magazynowych wykonywane są bardziej intensywnie. Najbardziej są oni obciążeni pracą w IV kwartale roku, w listopadzie osiągając wynik 1,42. Średnia dzienna liczba wydań obrazuje, jakie ilości towaru były przyjmowane na magazyn w ciągu roku. W tabeli 13 przedstawiono niezbędne dane do obliczeń.

Tabela 13. Średnia dzienna liczba wydań

Wyszczególnienie	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Liczba przyjętych towarów w badanym okresie (pjl)	1836	1320	1057	948	1107	1367	1509	1830	2142	2384	2484	2121
Liczba dni roboczych w badanym okresie	19	20	23	21	19	21	22	22	22	21	20	23



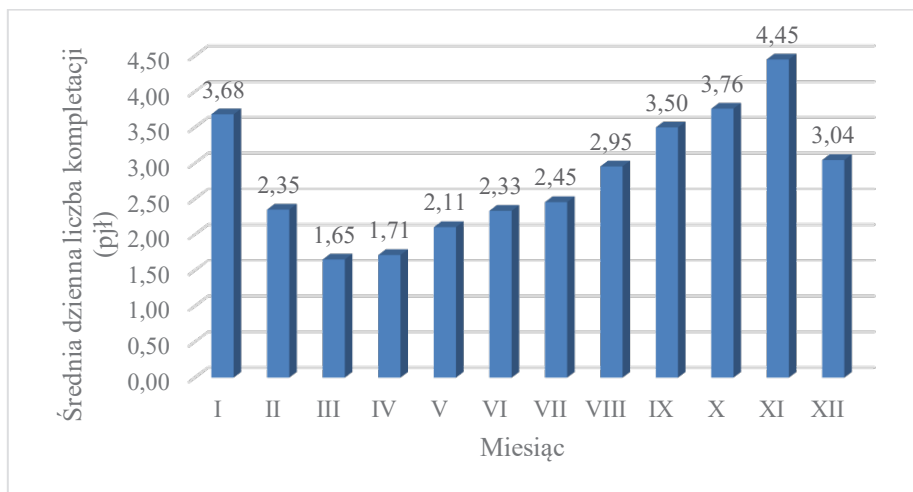
Rys. 13. Średnia dzienna liczba wydań w 2021 roku

Analizując wyniki można zauważyć, że zdecydowanie największa liczba wydań z magazynu ma miejsce w IV kwartale - w listopadzie sięga nawet 125 paletowych jednostek ładunkowych. Najmniej wydań przypada na marzec i kwiecień - 46 pjł. Tak duża dysproporcja, może skutkować stratami w pierwszej części roku, poprzez wykorzystywanie w niewielkim stopniu możliwości strefy wydań magazynu.

Średnia dzienna liczba kompletacji informuje, jakie ilości towaru były kompletowane na przestrzeni roku. W tabeli 14 przedstawiono niezbędne dane do obliczeń.

Tabela 14. Średnia dzienna liczba kompletacji

Wyszczególnienie	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Liczba kompletowanych towarów w badanym okresie (pjł)	70	47	38	36	40	49	54	65	77	79	89	70
Liczba dni roboczych w badanym okresie	19	20	23	21	19	21	22	22	22	21	20	23



Rys. 14. Średnia dzienna liczba kompletacji w 2021 roku

Przedstawione na rysunku 14 wyniki wskaźnika średniej dziennej liczby kompletacji w 2021 roku wskazują, że największa ich liczba miała miejsce w listopadzie, średnio 4,45 pjł. Istotne wartości występują na początku roku, w styczniu- 3,68 pjł. Następnie sukcesywnie spadają.

## Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonej analizy, na bazie wybranych wskaźników logistycznych stwierdzono, że gospodarka magazynowa omawianego przedsiębiorstwa prowadzona jest w sposób prawidłowy i efektywny.

Dowodem na istotną sprawność i efektywność realizowanych procesów magazynowych są wysokie wartości przyjętych do analizy wskaźników. Ich wielkość kształtuje się na poziomie co najmniej 75% możliwości, a w III kwartale roku oscylują blisko granicy 100%, co jest niezwykle dobrym rezultatem.

Strefa składowania nie jest jednak w pełni efektywnie wykorzystywana przez cały rok ze względu na rodzaj posiadanego asortymentu. W celu obniżenia kosztów, jakie firma ponosi w związku z utrzymaniem przestrzeni magazynowej w miesiącach dużo mniej obciążonych, zarząd przedsiębiorstwa powinien pomyśleć o wynajęciu części magazynu firmom zewnętrznym.

W strefie przyjęć, wydań i kompletacji przedsiębiorstwo powinno dążyć do zwiększenia efektywności prac w I i II kwartale roku. Lecz nie jest to możliwe ze względu na sezonowość dużej liczby posiadanych produktów, natomiast wykonywanie usług outsourcingowych mogłoby przynieść wymierne korzyści finansowe.

Obciążenie pracą robotników magazynowych jest na dobrym poziomie. Zatrudnienie dodatkowych pracowników w III i IV kwartale roku, gdzie sezon jest w pełni, to trafne rozwiązanie, zwiększa wydajność oraz odciąża osoby na stałe zatrudnione w przedsiębiorstwie. Dobrym rozwiązaniem byłoby zatrudnienie w kolejnych latach większej liczby pracowników wspomagających w okresie sezonowym, celem jeszcze lepszego wyrównania dysproporcji intensywności pracy w poszczególnych miesiącach.

## Bibliografia

- Bartosiewicz, S., Oziębło, M.: Wybór lokalizacji przedsiębiorstwa produkcyjnego, *Przedsiębiorczość i Zarządzanie t. XVI, część 1*. 2016.
- Bartosiewicz, S.: Optymalizacja procesów magazynowych w przedsiębiorstwie, *Gospodarka materiałowa i logistyka*, 5, 2017.
- Dudziński, Z.: *Poradnik organizatora gospodarki magazynowej*, Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2012.
- Dudziński, Z., Kizyn, M.: *Vademecum gospodarki magazynowej*, wydawnictwo Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr Sp. Z o.o. Gdańsk, 2002.
- Gradowicz, C., Pasek, K.: Nowoczesne technologie i systemy informacyjne w zarządzaniu łańcuchem dostaw w centrach logistycznych, *Acta Universitatis Lodziensis, Folia Oeconomica*, 251, 2011.
- Grzybowska, K.: *Gospodarka zapasami i magazynem cz. 2: Zarządzanie magazynem*. Wydawnictwo Difin, Warszawa 2010.
- Motowidlak, U., Tokarski, D.: *Infrastruktura magazynowa i transportowa w dobie zrównoważonego rozwoju gospodarki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 2022.
- Niemczyk, A.: *Zapasy i magazynowanie*, Poznań, Instytut Logistyki i Magazynowania, 2008.
- Niziński S., Żurek J., *Logistyka ogólna*. Wydawnictwa Komunikacji Łączności, Warszawa, 2011.
- PN-N-01800:1984 *Gospodarka magazynowa. Terminologia podstawowa*.
- Skowronek, Cz., Sariusz-Wolski, Z.: *Logistyka w przedsiębiorstwie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2012.
- Stępnicka, N., Bąkowska, P.: *Zarządzanie logistyczne i gospodarka magazynowa w przedsiębiorstwach – wybrane aspekty teoretyczne*, 2013.
- Szczepanik, T.: *Logistyczne aspekty magazynowania w przedsiębiorstwach na terenie województwa śląskiego*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie*, 7, 2012.
- Tylicki, H.: *Wybrane problemy optymalizacji procesu magazynowego*, *Autobusy*, 6, 2016.

*Adres do korespondencji: elzbieta.olech@urk.edu.pl*

ORCID Olech Elżbieta 0000-0003-4405-701X,

ORCID Kuboń Maciej 0000-0003-4847-8743

ORCID: Dariusz Kwaśniewski 0000-0002-1873-1456

ORCID: Urszula Malaga-Toboła 0000-0001-7918-8699

ORCID: Andrzej Borusiewicz 0000-0002-1407-7530

# ANALIZA SYSTEMU UTRZYMANIA RUCHU W BROWARZE - STUDIUM PRZYPADKU

Aleksander Zydrón<sup>1</sup>, Maciej Kuboń<sup>2,3</sup>, Karolina Furyk-Grabowska<sup>2</sup>, Jakub Gajda<sup>2</sup>,  
Zbigniew Kowalczyk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dyplomant w Katedrze Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

<sup>2</sup> Katedra Inżynierii Produkcji, Logistyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

<sup>3</sup> Wydział Nauk Technicznych i Sztuk Projektowych, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyśle

## Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach, przemysł piwowarski rozwija się w dynamiczny sposób, zyskując na znaczeniu na rynku globalnym. Browar, który opisano w artykule wykorzystuje nowoczesne wyposażenie oraz technologię produkcyjną. Jednakże, aby osiągnąć doskonałość w produkcji piwa, niezbędna jest nie tylko zaawansowana technologia, ale także sprawnie działający system utrzymania ruchu.

Struktura browaru obejmuje wiele kluczowych działów, takich jak produkcja, pakowanie, magazynowanie surowców i gotowych produktów, a także dział utrzymania ruchu i dział jakości. Te wszystkie elementy pracują w ścisłej współpracy, dążąc do wyprodukowania najwyższej jakości piwa w jak najkrótszym czasie, przy zachowaniu optymalnych kosztów i zasobów.

Omawiany browar produkuje blisko 4,5 miliona hektolitrów piwa rocznie. Te imponujące liczby pokazują skalę przedsiębiorstwa i potrzebę efektywnego zarządzania procesem produkcji oraz utrzymaniem sprzętu w doskonałym stanie.

Celem niniejszego artykułu jest dokładna analiza i ocena systemu utrzymania ruchu w opisywanym browarze. Przez przyjrzenie się kluczowym wskaźnikom oraz procesom produkcyjnym, przeprowadzono ocenę istniejącego systemu na przestrzeni roku. Ponadto, autorzy analizują rolę logistyki w przedsiębiorstwie oraz metody zarządzania utrzymaniem ruchu w systemach produkcyjnych. W artykule poruszane są również współczesne aspekty utrzymania jakości systemów produkcyjnych.

Dane produkcyjne zostały poddane szczegółowej analizie, w wyniku której wyłoniono najmniej efektywną linię produkcyjną. Następnie, przeprowadzono analizę czasów przesto-  
jów, identyfikując najbardziej awaryjne maszyny oraz ich podzespoły. Na tej podstawie oceniono system utrzymania ruchu w opisywanym przedsiębiorstwie, co umożliwiło sformułowanie wniosków i rekomendacji w celu udoskonalenia jego funkcjonowania.





Rys.1. Fragment linii produkcyjnej piwa

Analiza systemu utrzymania ruchu w browarze to ważne badanie, które ma na celu przyczynić się do zwiększenia wydajności produkcji, redukcji awaryjności linii produkcyjnych oraz zwiększenia efektywności przeglądów i kontroli. Warto przyjrzeć się bliżej temu studium przypadku, aby zrozumieć, jak istotny jest sprawnie działający system utrzymania ruchu w przemyśle piwowarskim.

### **Rola i znaczenie logistyki w przedsiębiorstwie**

Przedsiębiorstwo to jednostka gospodarcza, która działa w celu osiągnięcia zysku i realizuje swoje cele poprzez różnego rodzaju decyzje zarządcze. Koncepcja zarządzania logistycznego w przedsiębiorstwie stanowi nieodłączny element skomplikowanego procesu działalności organizacji. Logistyka to obszar obejmujący szeroki zakres działań związanych z planowaniem, koordynacją i kontrolą przepływu surowców, materiałów, informacji i produktów w ramach całego przedsiębiorstwa<sup>1</sup>. W dzisiejszym dynamicznym środowisku biznesowym, rola logistyki staje się coraz bardziej istotna w kontekście poprawy wydajności i konkurencyjności przedsiębiorstw. Efektywne zarządzanie pozwala na spełnienie oczekiwań klientów oraz maksymalizację zysków, jednocześnie minimalizując koszty.

System logistyczny w przedsiębiorstwie jest strategicznie zaplanowanym i zintegrowanym zbiorem elementów, które obejmują przepływ materiałów, produktów i informacji. Głównym celem tego systemu jest osiągnięcie przewagi konkurencyjnej. Organizacje mogą

---

<sup>1</sup> Surowiec, A.: Zarządzanie zintegrowanym łańcuchem dostaw. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie 12, 50-61,2013.

zdobyć tę przewagę poprzez doskonalenie jakości produktów lub usług, kontrolowanie kosztów oraz efektywną dostawę.

Aby osiągnąć te cele, przedsiębiorstwa muszą skoncentrować się na kilku kluczowych obszarach logistycznych:

- Zarządzanie łańcuchem dostaw: Koordynacja i integracja wszystkich uczestników łańcucha dostaw, w tym dostawców, producentów, dystrybutorów i klientów, ma kluczowe znaczenie dla efektywnego przepływu materiałów i produktów.
- Wsparcie informatyczne logistyki: Wykorzystanie odpowiednich systemów informatycznych, takich jak WMS, MRP, ERP, pomaga w planowaniu i monitorowaniu procesów logistycznych oraz w zarządzaniu informacjami.
- Infrastruktura logistyczna: Odpowiednia infrastruktura, w tym magazyny, środki transportu i technologia, zapewnia sprawny przepływ towarów i informacji.
- Monitorowanie wskaźników logistycznych: Wskaźniki logistyczne pozwalają na pomiar i ocenę wydajności oraz efektywności działań logistycznych, co umożliwia identyfikację obszarów wymagających ulepszeń<sup>3</sup>.

Przykładowe wskaźniki logistyczne obejmują jakość obsługi klienta, skuteczność procesów logistycznych, wydajność w zarządzaniu zapasami, koszty transportu i składowania oraz wiele innych. Monitorowanie tych wskaźników pozwala przedsiębiorstwom podejmować świadome decyzje w celu doskonalenia swoich operacji logistycznych.

Tradycyjne podejście do zarządzania utrzymaniem ruchu koncentrowało się głównie na działaniach związanych z procesami produkcyjnymi<sup>4</sup>. Jednak szybki rozwój technologiczny spowodował zmianę tego podejścia, rozszerzając zakres obowiązków działu utrzymania ruchu na zarządzanie cyklem życia wyprodukowanych produktów. Obecnie utrzymanie ruchu jest postrzegane jako składowa wartości operacyjnych, której celem jest tworzenie wartości dodanej dla klienta. Obejmuje to wszystkie czynności, za które klient jest gotów zapłacić, oraz zapewnienie jak najmniejszej ilości postojów i awarii maszyn wchodzących w szeroko rozumiany park maszynowy.

Aby spełnić te wymogi, przedsiębiorstwa wprowadzają nowoczesne metody i narzędzia w swoich strukturach organizacyjnych, pochodzące z obszarów takich jak Lean Manufacturing (LM), World Class Manufacturing (WCM) oraz Agile Manufacturing (AM).

Do metod i narzędzi stosowanych obecnie w przedsiębiorstwie można zaliczyć:

- TPM (*Total Productive Maintenance*) – utrzymanie ruchu zorientowane na produktywności,
- RCM (*Reliability Centered Maintenance*) – utrzymanie ruchu skoncentrowane na niezawodności,
- SP – samodzielne przeglądy techniczne,

---

<sup>2</sup> Słowiński, B.: Wprowadzenie do logistyki. Koszalin, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej. s. 18-21, 52, 56-57, 67-70, 72, 2008.

<sup>3</sup> Demir, Sercan, Turan Paksoy, Cigdem Gonul Kochan: "Logistics 4.0: SCM in Industry 4.0 Era:(Changing Patterns of Logistics in Industry 4.0 and role of digital transformation in SCM)." *Logistics 4.0*. CRC Press, 15-26, 2020.

<sup>4</sup> Jasiulewicz-Kaczmarek, M.: Klienci i strony zainteresowane utrzymaniem ruchu, 2013.

Pobrane z: [http://46.242.185.119/off\\_ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk\\_pdf\\_2013/p008.pdf](http://46.242.185.119/off_ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2013/p008.pdf)

- OEE – (*Overall Equipment Effectiveness*) – całkowita efektywność wyposażenia,
- 5S,
- Kaizen,
- EWO (*Emergency Work Order*).<sup>5</sup>

### Charakterystyka nowoczesnych systemów utrzymania ruchu

Przedsiębiorstwo to jednostka gospodarcza, która działa w celu osiągnięcia zysku i realizuje swoje cele poprzez różnego rodzaju decyzje zarządcze. Zarządzanie w przedsiębiorstwie obejmuje szereg kluczowych działań, takich jak planowanie, organizowanie, sterowanie i kontrolowanie, które są niezbędne do osiągnięcia pożądaných wyników. Efektywne zarządzanie pozwala na spełnienie oczekiwań klientów oraz maksymalizację zysków, jednocześnie minimalizując koszty. Współczesne systemy produkcyjne charakteryzują się złożonością, różnorodnością i szybkimi zmianami w wymaganiach rynku.<sup>6</sup> Przedsiębiorstwa muszą sprostać rosnącym oczekiwaniom klientów, dostarczając produkty o wysokiej jakości, dostępne natychmiast i w konkurencyjnych cenach. Jednak osiągnięcie tych celów nie jest możliwe bez sprawnego utrzymania ruchu maszyn.<sup>7</sup>

Jednym z głównych wyzwań, jakie stawiają przedsiębiorstwom współczesne systemy produkcyjne, jest minimalizacja przestojów maszyn. Każda awaria lub przestój maszyny może prowadzić do opóźnień w produkcji, co ma negatywny wpływ na terminowość dostaw i satysfakcję klientów. Dlatego niezawodność maszyn i minimalizacja ryzyka awarii stają się kluczowymi priorytetami.<sup>8,9</sup>

Wraz z rosnącą złożonością technologiczną maszyn, ich utrzymanie staje się coraz bardziej wymagające. Konieczne jest zapewnienie, że maszyny pracują zgodnie z określonymi parametrami i standardami jakości. Kontrola jakości w trakcie produkcji jest kluczowa, a systemy utrzymania ruchu odgrywają istotną rolę w zapewnieniu, że maszyny są w pełni sprawne i spełniają określone normy jakości.

Systemy utrzymania ruchu odgrywają fundamentalną rolę w zapewnieniu, że współczesne systemy produkcyjne działają efektywnie i niezawodnie.

Kluczowe aspekty roli tych systemów to:

- Zminimalizowanie przestojów: Systemy utrzymania ruchu pozwalają na planowanie i przeprowadzanie regularnych przeglądów, konserwacji i napraw maszyn. Dzięki temu można wykryć potencjalne problemy i uniknąć niezaplanowanych przestojów.
- Zapewnienie niezawodności: Systemy utrzymania ruchu umożliwiają monitorowanie stanu technicznego maszyn i urządzeń. Dzięki regularnym działaniom konserwacyjnym można zminimalizować ryzyko awarii, co wpływa na niezawodność produkcji.

---

<sup>5</sup> Fraś, J., M. Fraś.: Metody i narzędzia zarządzania utrzymaniem ruchu maszyn współczesnych systemów produkcyjnych." *Problemy Nauk Stosowanych* 8, 2018.

<sup>6</sup> Calinescu A., Sivasadan S., Schirn J., Huaccho L.: *Complexity in Manufacturing: An Information Theoretic Approach*, University of Oxford, Oxford, 2003.

<sup>7</sup> Kumar, S., Goyal, A., Singhal, A.: Manufacturing flexibility and its effect on system performance, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Vol. 11, s. 105–112, 2017.

<sup>8</sup> Legutko, S.: Trendy rozwoju utrzymania ruchu urządzeń i maszyn., *Eksplotacja i niezawodność*, 8-16, 2019.

<sup>9</sup> Feng, B., Ye, Q.: Operations management of smart logistics: A literature review and future research. *Front. Eng. Manag.* 8, 344–355, 2021.

- Poprawa jakości: Kontrola jakości w trakcie produkcji jest kluczowa dla zapewnienia wysokiej jakości produktów. Systemy utrzymania ruchu pomagają w utrzymaniu maszyn w optymalnym stanie, co przekłada się na jakość produkcji.
- Optymalizacja kosztów: Efektywne zarządzanie utrzymaniem ruchu pozwala na optymalizację kosztów produkcji. Regularna konserwacja i planowane przeglądy są zazwyczaj mniej kosztowne niż naprawy awaryjne.
- Dostosowanie do zmian na rynku: Systemy utrzymania ruchu pozwalają na elastyczne reagowanie na zmiany na rynku. Dzięki monitorowaniu stanu maszyn, można dostosować produkcję do nowych wymagań i trendów.

Stan techniczny infrastruktury technicznej ma znaczący wpływ na jakość wytworzonych produktów oraz konkurencyjność firm.<sup>10</sup> W przedsiębiorstwach produkcyjnych to służba utrzymania ruchu (SUR) odpowiada za utrzymanie odpowiedniego stanu technicznego tej infrastruktury.

Służba utrzymania ruchu ma wiele kluczowych zadań, w tym:

- Wykonywanie prac związanych z konserwacją parku maszynowego.
- Doskonalenie niezawodności maszyn i urządzeń, a także poprawa ich użytkowania.
- Przywracanie lub utrzymywanie pierwotnego stanu infrastruktury technicznej w przypadku utraty jej właściwości w trakcie użytkowania.
- Monitorowanie efektywności obiektów technicznych bez ingerencji w postaci konserwacji, napraw lub ulepszeń.<sup>11</sup>

Klasyczne podejście do zarządzania utrzymaniem ruchu polega na skupieniu się wyłącznie na aspektach związanych z procesami produkcyjnymi.<sup>12</sup> Jednak rozwój technologiczny i wzrost znaczenia zrównoważonego rozwoju spowodowały ewolucję podejścia do zarządzania utrzymaniem ruchu. Obecnie służby utrzymania ruchu mają szerszy zakres obowiązków, koncentrując się na zarządzaniu cyklem życia wytwarzanych produktów.

Utrzymanie ruchu jest traktowane jako integralna część procesu dostarczania wartości operacyjnej klientowi oraz zapewniania niezawodności infrastruktury technicznej.

Współczesne systemy utrzymania ruchu odgrywają kluczową rolę w nowoczesnych systemach produkcyjnych. Zapewniają niezawodność, wydajność i wysoką jakość produktów. Dział utrzymania ruchu musi dostosować się do zmieniających się potrzeb firm produkcyjnych, wprowadzając nowoczesne metody i narzędzia, takie jak TPM<sup>13</sup>, samodzielne przeglądy techniczne i EWO. To pozwala firmom sprostać wymaganiom rynku i dostarczać produkty, które spełniają oczekiwania klientów. Wdrażanie elastycznych systemów produkcyjnych (ESP), koncepcji szybkiego wytwarzania (QRM) i spersonalizowanej produkcji masowej (MC) stawia nowe wyzwania przed działem utrzymania ruchu, które muszą być skutecznie rozwiązane, aby firmy zachowały konkurencyjność na rynku.

---

<sup>10</sup> Antosz, K., Stadnicka, D.: Identyfikacja działań realizowanych w zarządzaniu infrastrukturą techniczną w dużych przedsiębiorstwach., pobrane z <https://www.researchgate.net/>

<sup>11</sup> Pomiętlorz-Loska, M., Byrska-Bienias, K.: Metody i techniki zarządzania utrzymaniem ruchu – studium przypadku., *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji* 2, 2016.

<sup>12</sup> Zonta, T., et al.: Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review., *Computers & Industrial Engineering* 150, 2020.

<sup>13</sup> Mutaqiem, A., Soediantono D.: Literature Review of Total Productive Maintenance (TPM) and Recommendations for Application in the Defense Industry. *Journal of Industrial Engineering & Management Research* 3.2, 48-60, 2022.

## Przedmiot Badań

W pracy badawczej skoncentrowano się na analizie browaru, cechującego się nowoczesnym wyposażeniem i technologią produkcji zgodną z standardami XXI wieku. Badany browar stanowi kompleksową i złożoną jednostkę pracy, obejmującą dział produkcji, pakowania, magazynów, w tym magazynów pustych puszek, butelek i półproduktów, silosów na surowce słodowe i jęczmień, działu utrzymania ruchu, działu utrzymania jakości, działu obsługi klienta, działu marketingu oraz działu uzdatniania wody. Wszystkie te działy ściśle ze sobą współpracują, aby wytwarzać produkty najwyższej jakości w jak najkrótszym czasie przy optymalnych nakładach pracy i kosztach. Do procesu analizy dobrano wskaźniki które pomogły w zidentyfikowaniu linii produkcyjnej, która charakteryzowała się najniższym wskaźnikiem efektywności wyposażenia, uwzględniając również inne parametry, takie jak rytmiczność produkcji. Dane do analizy zostały pozyskane z okresowych raportów produkcyjnych za rok 2022, które były przygotowywane przez pracowników działu pakowania przy użyciu specjalistycznego oprogramowania MES typu SAP.

### Analiza i ocena wskaźników systemu utrzymania ruchu w obszarze pakowania

W niniejszym artykule skoncentrowano się na dwóch kluczowych wskaźnikach, które mają istotne znaczenie w kontekście monitorowania i oceny wydajności procesów produkcyjnych. Pierwszym z tych wskaźników jest wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia (OEE), który stanowi podstawowe narzędzie analizy efektywności pracy urządzeń produkcyjnych w zakładach produkcyjnych. Drugi to wskaźnik rytmiczności produkcji. Wskaźnik ten jest istotny w kontekście systemu utrzymania ruchu w produkcji. Oparte na nim analizy pozwalają na określenie sezonowości produkcji.

### Całkowita Efektywność Wyposażenia Produkcyjnego

Współczynnik OEE, czyli Całkowita Efektywność Wyposażenia Produkcyjnego, jest kluczowym narzędziem w monitorowaniu i ocenie wydajności procesów produkcyjnych. OEE to skrót od angielskiego terminu „*Overall Equipment Effectiveness*.”<sup>14</sup> Jest to miara wydajności, która pozwala na określenie, jak efektywnie urządzenia produkcyjne działają w zakładzie produkcyjnym.<sup>15</sup>

OEE definiuje się jako Wynikową Efektywność Produkcji, który jest iloczynem trzech kluczowych wskaźników cząstkowych, które stanowią fundament OEE:

- Dostępność (*Availability*): wskaźnik ten określa, jaki procent planowanego czasu produkcji został wykorzystany do produkcji. Czas ten nazywamy czasem operacyjnym, a pozostały to nieplanowane przerwy. Dostępność jest obliczana jako iloraz czasu operacyjnego przez planowany czas produkcji. Jeśli dostępność wynosi 100%, oznacza to, że proces przebiegał bez nieplanowanych przerw w produkcji.

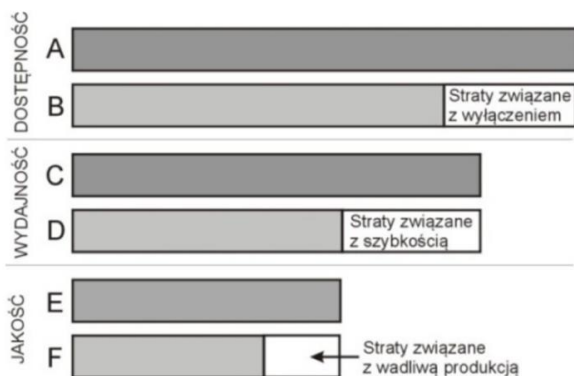
---

<sup>14</sup> Gupta, P., Vardhan, S.: Optimizing OEE, productivity and production cost for improving sales volume in an automobile industry through TPM: a case study. *International Journal of Production Research*, 54(10), 2976-2988, 2016.

<sup>15</sup> Purzycki, G.: Wskaźnik OEE, czyli jak w ciągu kilku miesięcy znacząco zwiększyć efektywność produkcji. *Napędy i Sterowanie* 5,2003.

- Wydajność (*Performance*): Wydajność to iloraz rzeczywistej produkcji, czyli liczby wytworzonych wyrobów (oznaczona na rysunku jako wartość D), do teoretycznej produkcji, czyli ilości wyrobów, które mogłyby zostać wytworzone, gdyby maszyny pracowały z maksymalną możliwą prędkością.
- Jakość (*Quality*): Wskaźnik ten mówi, jaka część wyrobów wyprodukowanych jest zgodna z wymaganiami jakościowymi. Jakość jest obliczana jako iloraz wyrobów zgodnych z wymaganiami przez wszystkie wyprodukowane wyroby (Rys.2).<sup>16</sup>

Posługiwanie się wskaźnikiem OEE jest niezwykle ważne dla zakładów produkcyjnych. OEE dostarcza konkretnej i rzetelnej informacji na temat efektywności produkcji, co pozwala na podejmowanie konkretnych działań w celu poprawy wydajności. Dążenie do osiągnięcia OEE na poziomie 85% uważane jest za sukces, co implikuje dostępność powyżej 90%, wykorzystanie nie mniejsze niż 95% oraz jakość na poziomie 99%. Dla firm, z którymi związane jest zarządzanie efektywnością, OEE jest kluczowym narzędziem w doskonaleniu procesów produkcyjnych i minimalizowaniu strat.

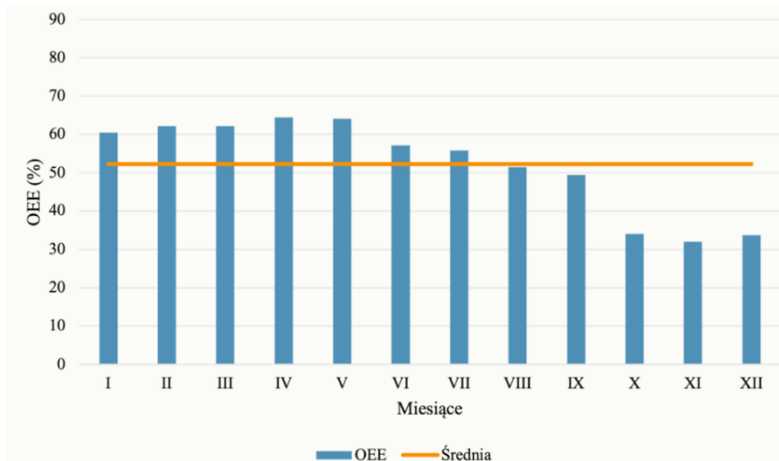


Rys.2. Elementy składowe wskaźnika OEE<sup>17</sup>

Poniżej przedstawiono wykresy ilustrujące omawiany wcześniej wskaźnik efektywności wyposażenia (OEE) (Rys.4,5,6,7). Analiza wskaźnika ogólnej efektywności maszyn i urządzeń (OEE) w roku 2022 na czterech liniach produkcyjnych – B3, B4, P1 i P2 – rzuca światło na istotne aspekty zarządzania i wydajności produkcji. Przeprowadzono badanie miesięcznych wartości tego wskaźnika, co pozwoliło na wyodrębnienie linii o najwyższym i najniższym poziomie efektywności maszyn w okresie całego roku.

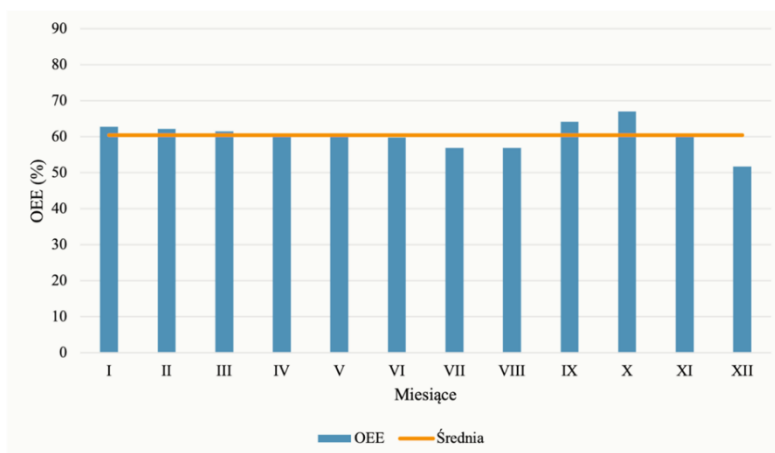
<sup>16</sup> Gola, A., et al.: Analiza błędów przy ocenie wskaźnika OEE na przykładzie linii rozlewu butelkowego. *Innowacje w Zarządzaniu Inżynierią Produkcji* 2, 654-662, 2016.

<sup>17</sup> Gola, A.: Sterowanie przepływem produkcji w zautomatyzowanych systemach produkcyjnych, [in:] Szatkowski K. *Nowoczesne zarządzanie produkcją. Ujęcie procesowe*, Wyd. PWN, Warszawa ss, 406-440, 2014.



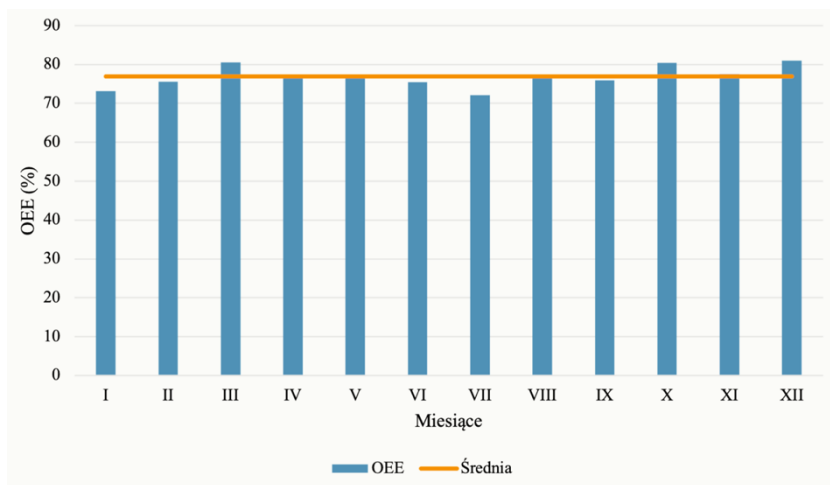
Rys.3. Dane dotyczące wskaźnika ogólnej efektywności (OEE) na linii B3 w ciągu roku 2022

Linia butelkowa B3 wykazywała średnią roczną efektywność wynoszącą 52,24%. Warto zaznaczyć, że najniższy wskaźnik wystąpił w listopadzie, osiągając 32,04%, natomiast najwyższy poziom efektywności zanotowano w kwietniu, wynoszący 64,49%. Wartości te były znacznie niższe w związku z prowadzonymi inwestycjami mającymi na celu modernizację linii B3. Dlatego też, wyniki te w kontekście pełnego roku niekoniecznie oddają rzeczywistą efektywność tej linii produkcyjnej.



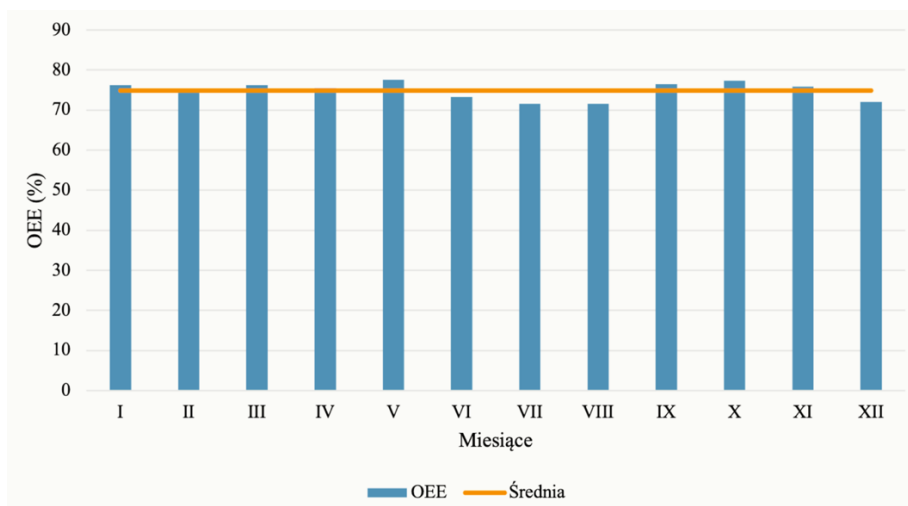
Rys. 4. Dane dotyczące wskaźnika ogólnej efektywności (OEE) na linii B4 w ciągu roku 2022

Linia butelkowa B4, z kolei, osiągnęła roczny średni wskaźnik OEE na poziomie 60,44%. Najniższa wartość tego wskaźnika zarejestrowana została w grudniu (51,70%), a najwyższa w październiku (66,97%).



Rys. 5. Dane dotyczące wskaźnika ogólnej efektywności (OEE) na linii P1 w ciągu roku 2022

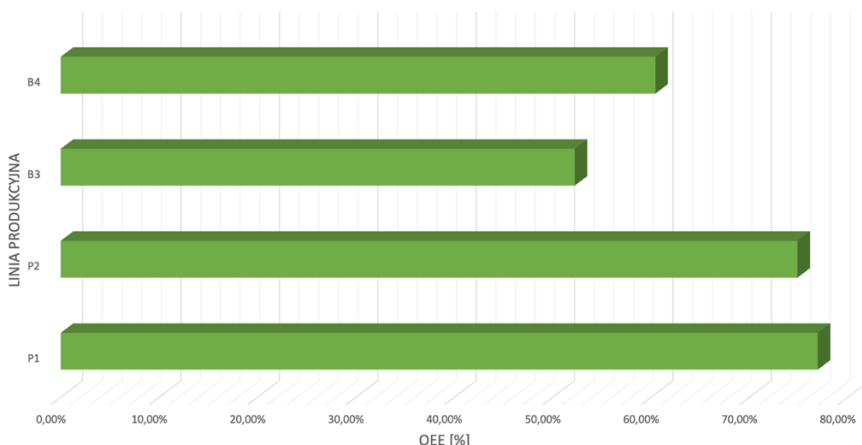
Ogólny wskaźnik efektywności (OEE) na linii P1 wynosił średnio 76,94%. Warto zauważyć, że najniższą wartość OEE odnotowano w lipcu, gdzie wynosiła 72,12%, natomiast najwyższy poziom efektywności osiągnięto w grudniu, sięgając imponującego poziomu 90,95%.



Rys. 6. Dane dotyczące wskaźnika ogólnej efektywności (OEE) na linii P2 w ciągu roku 2022

Linia puszkowa P2 prezentowała średnią roczną efektywność, wynoszącą 74,88%. Najniższy poziom OEE odnotowano w sierpniu (71,57%), a najwyższy w październiku (77,56%). Te rezultaty wykazują, że linia P2 była stosunkowo stabilna w osiągnięciu wysokich poziomów efektywności przez większość roku.





Rys.7. Porównanie wskaźników ogólnej efektywności wyposażenia (OEE) dla linii produkcyjnych P2, P1, B4 i B3 w roku 2022

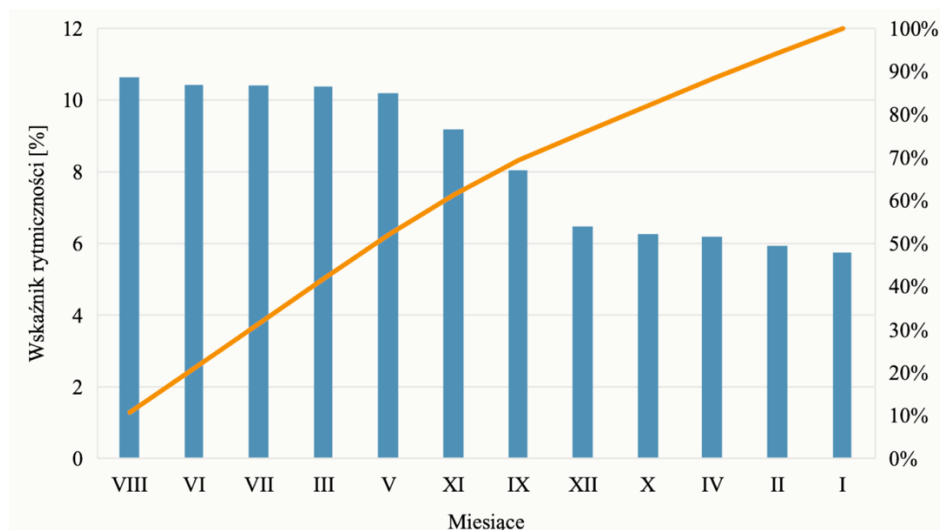
Porównując linie produkcyjne, można zauważyć, że linia puszkowa P1 wyróżnia się wyższą średnią roczną efektywnością, która wyniosła 76,94% (Rys.7.). Warto zwrócić uwagę, że linia butelkowa B3 miała najniższą średnią efektywność, wynoszącą 52,24%, ale ze względu na inwestycje w modernizację, jej wyniki w ostatnich miesiącach nie są miarodajne.

Analiza OEE na czterech liniach produkcyjnych wykazuje, że linia puszkowa P1 była najbardziej efektywna, podczas gdy linia butelkowa B4 miała najniższy wskaźnik OEE. Warto jednak mieć na uwadze, że wyniki te mogą być zniekształcone przez modernizacje i zmiany przeprowadzane na liniach podczas ostatnich miesięcy roku. Dlatego też, wybór linii B4 jako tej o najniższym OEE, powinien być oceniany w kontekście tych korekt. Wnioski z analizy OEE stanowią istotny punkt wyjścia do dalszych działań mających na celu optymalizację procesów produkcji i zwiększenie efektywności.

### Wskaźnik rytmiczności produkcji

Wskaźnik rytmiczności produkcji stanowi istotny element analizy systemu utrzymania ruchu w kontekście produkcji piwa. Ten wskaźnik, który opiera się na porównaniu ilości piwa wyprodukowanego w różnych okresach, w tym przypadku w skali całego roku i miesięcznie, mierzonych w hektolitrach (hL), dostarcza cennych informacji dotyczących sezonowości produkcji w poszczególnych miesiącach. Pozwala to wyodrębnić miesiące charakteryzujące się zarówno najwyższym, jak i najniższym poziomem produkcji na czterech liniach produkcyjnych.

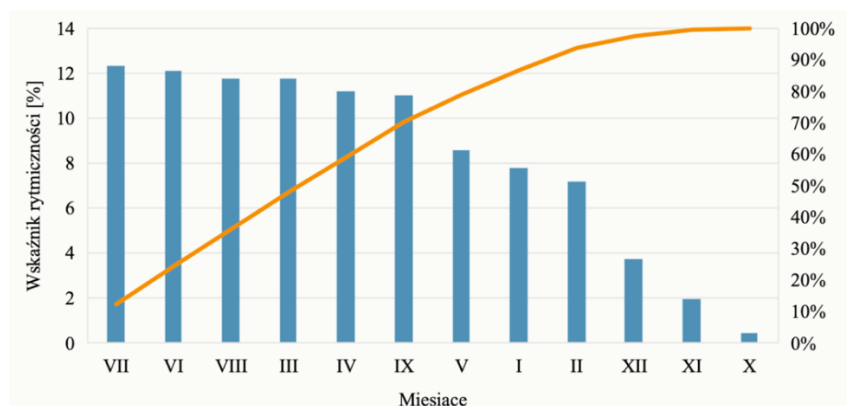
Analizując wielkość produkcji w roku 2022, można zauważyć, że linia P1 wykazywała największą ilość rozlanego piwa, natomiast linia P2 miała najmniejszą ilość (Rys.8).



Rys. 8. Wskaźnik rytmiczności dla linii produkcyjnej P1 w roku 2022

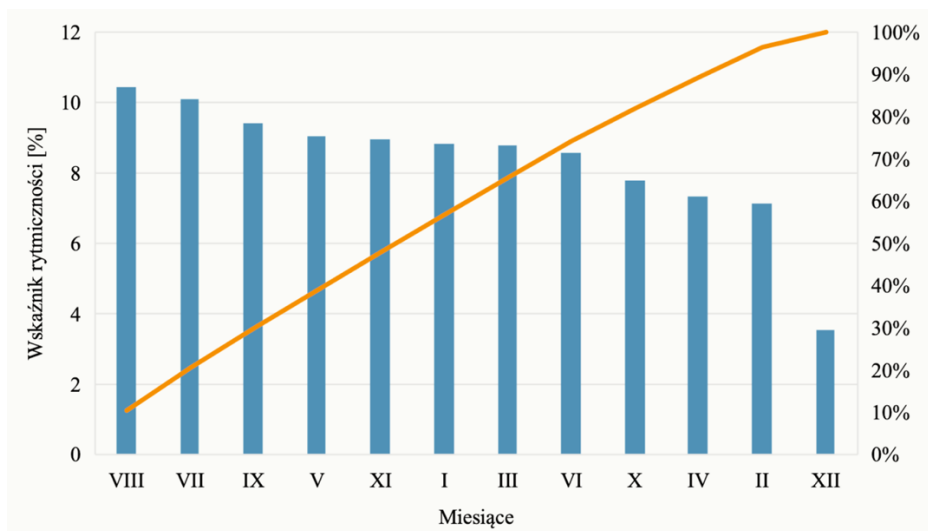
Jeśli skupimy się na aspekcie rozlewu do butelek, to linia B4 odznaczała się największą produkcją.

Wskaźnik rytmiczności dla linii B3 osiągnął najwyższą wartość w lipcu, wynoszącą 12,35%, a najniższą w październiku, gdzie wynosiła zaledwie 0,45% (Rys. 9.). Warto zwrócić uwagę na drastyczny spadek wskaźnika rytmiczności w ostatnich miesiącach roku, a więc w październiku, listopadzie i grudniu. Ten spadek jest związany z prowadzoną w tym okresie inwestycją w monoblok na linii B3, co wpłynęło na ilość rozlanego piwa.



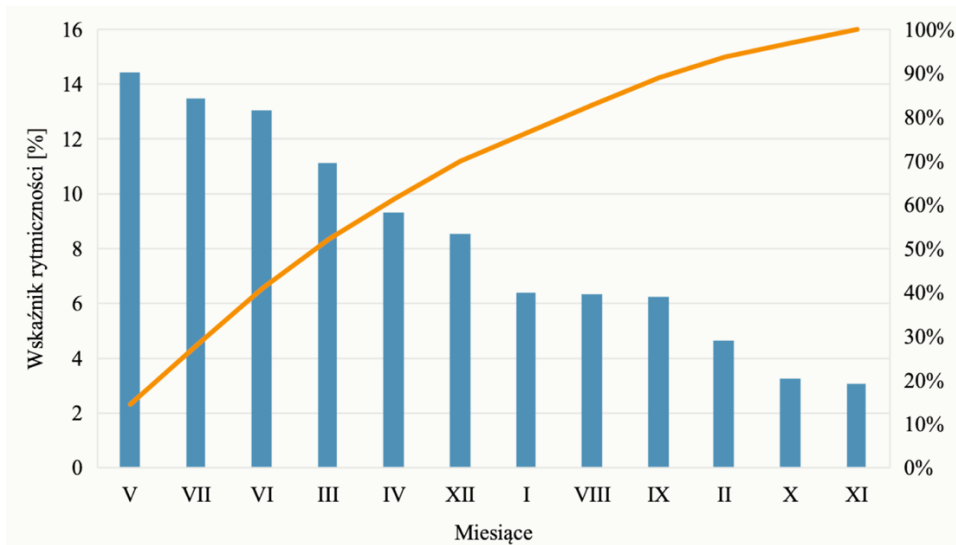
Rys. 9. Wskaźnik rytmiczności dla linii produkcyjnej B3 w roku 2022

Wskaźnik rytmiczności dla linii B4 osiągnął najwyższą wartość w sierpniu, wynoszącą 10,45%, a najniższą w październiku, gdzie wynosiła 3,54% (Rys.10.).



Rys. 10. Wskaźnik rytmiczności dla linii produkcyjnej B4 w roku 2022

W przypadku linii P1, wskaźnik rytmiczności osiągnął najwyższą wartość w sierpniu (10,65%), natomiast najniższą zarejestrowano w styczniu (5,76%).



Rys. 11. Wskaźnik rytmiczności dla linii produkcyjnej P2 w roku 2022

Wskaźnik rytmiczności dla linii P2 wykazywał najwyższą wartość w maju (14,44%), a najniższą w listopadzie (3,08%) (Rys.11.).

## Wnioski

W obecnym klimacie gospodarczym, z naciskiem na kontrolę kosztów i konkurencyjność, wraz z rosnącymi nakładami na nowoczesne maszyny i urządzenia technologiczne, znaczenie efektywności parku maszynowego wzrasta wyraźnie. Dlatego przedsiębiorstwa coraz częściej decydują się na ocenę, jak sprawnie wykorzystują swoje zasoby maszynowe, a także podejmują inicjatywy mające na celu skrócenie czasów przestoju, zwiększenie produktywności oraz podniesienie jakości wytwarzanych wyrobów.

Wskaźnik Całkowitej Efektywności Wyposażenia (OEE) jest często wybieranym narzędziem do oceny sprawności parku maszynowego. Pozwala on na pomiar poziomu wykorzystania maszyn (czyli dostępności), realnej produktywności oraz liczby defektywnych wyrobów w procesie produkcji. W związku z tym, rynek oferuje różne rozwiązania, które umożliwiają monitorowanie parametrów procesów produkcyjnych oraz korzystanie z systemów komputerowych do obliczeń i wizualizacji wskaźnika OEE.

Wprowadzenie tych rozwiązań i procesów jest odpowiedzią na wyzwania związane z konkurencyjnością oraz kontrolą kosztów, co umożliwi przedsiębiorstwom optymalizację ich parku maszynowego i bardziej efektywne zarządzanie produkcją. Poprawa efektywności staje się kluczowym elementem strategii przedsiębiorstw, pomagając im zachować konkurencyjność na rynku.

W świetle przeprowadzonej analizy wskaźników ogólnej efektywności maszyn (OEE) i rytmiczności produkcji w badanym browarze można wyciągnąć następujące wnioski, że system utrzymania ruchu w badanym browarze nie spełnia oczekiwanych standardów efektywności. Żadna z linii produkcyjnych nie osiągnęła optymalnych wartości OEE. To sugeruje potrzebę szczegółowej analizy uwzględniającej m.in. czasów przestoju i awarii.

## Bibliografia

- Antosz, K., Stadnicka, D.: Identyfikacja działań realizowanych w zarządzaniu infrastrukturą techniczną w dużych przedsiębiorstwach., pobrane z <https://www.researchgate.net/>
- Calinescu, A., Sivadasan, S., Schirn, J., Huaccho, L.: *Complexity in Manufacturing: An Information Theoretic Approach*, University of Oxford, Oxford, 2003.
- Demir, Sercan, Turan Paksoy, Cigdem Gonul Kochan: "Logistics 4.0: SCM in Industry 4.0 Era:(Changing Patterns of Logistics in Industry 4.0 and role of digital transformation in SCM)." *Logistics 4.0*. CRC Press, 15-26, 2020.
- Feng, B., Ye, Q.: Operations management of smart logistics: A literature review and future research. *Front. Eng. Manag.* 8, 344–355, 2021.
- Fraś, J., Fraś M.: Metody i narzędzia zarządzania utrzymaniem ruchu maszyn współczesnych systemów produkcyjnych." *Problemy Nauk Stosowanych* 8, 2018.
- Gola, A., et al.: Analiza błędów przy ocenie wskaźnika OEE na przykładzie linii rozlewu butelkowego. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji* 2, 654-662, 2016.
- Gola, A.: Sterowanie przepływem produkcji w zautomatyzowanych systemach produkcyjnych, [in:] Szatkowski K. *Nowoczesne zarządzanie produkcją. Ujęcie procesowe*, Wyd. PWN, Warszawa ss, 406-440, 2014.
- Gupta, P., Vardhan, S.: Optimizing OEE, productivity and production cost for improving sales volume in an automobile industry through TPM: a case study. *International Journal of Production Research*, 54(10), 2976-2988, 2016.

- Jasiulewicz-Kaczmarek, M.: Klienci i strony zainteresowane utrzymaniem ruchu. Pobrane z:[http://46.242.185.119/off\\_ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk\\_pdf\\_2013/p008.pdf](http://46.242.185.119/off_ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2013/p008.pdf), 2013.
- Kumar, S., Goyal, A., Singhal, A.: Manufacturing flexibility and its effect on system performance, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Vol. 11, s. 105–112, 2017.
- Legutko, S.: Trendy rozwoju utrzymania ruchu urządzeń i maszyn. *Eksploatacja i niezawodność*, 8-16, 2019.
- Mutaqiem, A., Soediantono D.: Literature Review of Total Productive Maintenance (TPM) and Recommendations for Application in the Defense Industry. *Journal of Industrial Engineering & Management Research* 3.2, 48-60, 2022.
- Pomietlorz-Loska M., Byrska-Bienias K.: Metody i techniki zarządzania utrzymaniem ruchu–studium przypadku., *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji* 2, 2016.
- Purzycki, G.: Wskaźnik OEE, czyli jak w ciągu kilku miesięcy znacząco zwiększyć efektywność produkcji. *Napędy i Sterowanie* 5, 2003.
- Słowiński, B.: Wprowadzenie do logistyki. Koszalin, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej. 18-21, 52, 56-57, 67-70, 72, 2008.
- Surowiec, A.: Zarządzanie zintegrowanym łańcuchem dostaw." *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie* 12, 50-61, 2013.
- Zonta, T., et al.: Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review., *Computers & Industrial Engineering* 150, 2020.

*Adres do korespondencji: e-mail: karolina.furyk-grabowska@urk.edu.pl*

ORCID: Maciej Kuboń 0000-0003-4847-8743

ORCID: Karolina Furyk-Grabowska 0000-0001-7509-1814

ORCID: Jakub Gajda 0009-0001-5736-0598

ORCID: Zbigniew Kowalczyk 0000-0001-8001-2092

**WIR**  
WYDAWNICTWO

ISBN 978-83-64377-54-9