



BUSINESS ANALYTICS SKILLS FOR THE FUTURE-PROOFS SUPPLY CHAINS

ZAAWANSOWANE ZASTOSOWANIE ARKUSZA KALKULACYJNEGO DO ANALIZY DANYCH LOGISTYCZNYCH — WPROWADZENIE TEORETYCZNE

Autorzy:

Katarzyna Grzybowska
Katarzyna Ragin-Skorecka
Katarzyna Siemieniak
Piotr Cyplik
Michał Adamczak
Jędrzej Jankowski-Guzy
Adrianna Toboła-Walaszczyk



Katarzyna Grzybowska, Katarzyna Ragin-Skorecka, Katarzyna Siemieniak, Piotr Cyplik,
Michał Adamczak, Jędrzej Jankowski-Guzy, Adrianna Toboła-Walaszczyk

ZAAWANSOWANE ZASTOSOWANIE ARKUSZA KALKULACYJNEGO DO ANALIZY DANYCH LOGISTYCZNYCH – WPROWADZENIE TEORETYCZNE

Poznan 2025



Wydawca:

Wyższa Szkoła Logistyki
Estkowskiego 6
61-755 Poznań, POLSKA
www.wsl.com.pl

Kolegium redakcyjne:

Stanisław Krzyżaniak (przewodniczący), Ireneusz Fechner, Marek Fertsch, Aleksander Niemczyk, Bogusław Śliwczyński, Ryszard Świekatowski, Kamila Janiszewska

ISBN 978-83-62285-43-3 (Online)

Copyright © by Wyższa Szkoła Logistyki

Poznań 2024, Wydanie I

Recenzenci:

- prof. Agnieszka Tubis, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska
- prof. Maciej Urbaniak, Uniwersytet Łódzki, Łódź, Polska

Redakcja techniczna: Katarzyna Grzybowska, Politechnika Poznańska, Poznań, Polska

Projekt okładki: Michał Adamczak, Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań, Polska

Książka powstała w ramach projektu Business Analytics Skills for Future-proof Supply Chains (BAS4SC) [2022-1-PL01-KA220-HED-000088856] finansowanego ze środków programu ERASMUS+.

Dofinansowane ze środków UE. Wyrażone poglądy i opinie są jedynie opiniami autora lub autorów i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy i opinie Unii Europejskiej lub Fundacji Rozwoju Systemu Edukacji. Unia Europejska ani Fundacja Rozwoju Systemu Edukacji nie ponoszą za nie odpowiedzialności.



Przedmowa

Funkcjonowanie współczesnych łańcuchów dostaw nie jest możliwe bez wsparcia informatycznego. Rozwój technologii cyfrowych pozwala przedsiębiorstwom na bieżące monitorowanie a także doskonalenie realizowanych procesów. Współczesne systemy IT pozwalają na zbieranie i przechowywanie danych co w konsekwencji daje niemal nieograniczone możliwości ich analizy. Dostrzegając rozwój wysoko wyspecjalizowanych narzędzi analitycznych nie możemy naszym zdaniem zapominać o arkuszach kalkulacyjnych jako najbardziej dostępnych narzędziach analitycznych.

Treści zaprezentowane w niniejszej książce zostały opracowane na podstawie wyników badań przeprowadzonych w ramach projektu Business Analytics Skills for Future-proof Supply Chains (BAS4SC). Stanowią one wprowadzenie teoretyczne do metod analiz i optymalizacji procesów realizowanych w ramach łańcuchów dostaw. Książka wraz z materiałami dydaktycznymi również opracowanymi w projekcie BAS4SC stanowią całość pozwalającą na zdobycie zarówno wiedzy jak i umiejętności wykorzystania metod analitycznych i posługiwania się w tym celu narzędziem w postaci arkusza kalkulacyjnego.

Mamy nadzieję, że książka ta stanowiąca wprowadzenie teoretyczne do zagadnień analizy i optymalizacji łańcuchów dostaw za pomocą arkusza kalkulacyjnego stanowić będzie istotne źródło zarówno wiedzy jak i inspiracji do opracowywania analiz i doskonalenia procesów logistycznych

Katarzyna Grzybowska
Katarzyna Ragin-Skorecka
Katarzyna Siemieniak
Piotr Cyplik
Michał Adamczak
Jędrzej Jankowski-Guzy
Adrianna Toboła-Walaszczyk



Spis treści

Przedmowa.....	3
WPROWADZENIE	9
1. WPROWADZENIE DO ANALIZY DANYCH ZA POMOCĄ ARKUSZA KALKULACYJNEGO	12
1.1. Wprowadzenie	12
1.2. Analiza danych.....	13
1.3. Arkusz kalkulacyjny MS Excel i jego zastosowanie	14
1.4. Najważniejsze narzędzia dostarczane przez arkusze kalkulacyjne.....	16
Pytania do rozdziału	26
LITERATURA.....	27
2. METODY WIZUALIZACJI DANYCH.....	28
2.1. Wprowadzenie	28
2.2. Metody wizualizacji danych	29
2.3. Porównanie typów wykresów	40
Pytania do rozdziału	41
LITERATURA.....	42
3. OPTIMALIZACJA W ZARZĄDZANIU ŁAŃCUCHEM DOSTAW	43
3.1. Optimalizacja w logistyce	43
3.2. Rola magazynu w łańcuchu dostaw	45
3.3. Wyznaczanie powierzchni magazynowej.....	46
3.4. Wybrane metody zarządzania zapasami w łańcuchu dostaw.....	53
3.5. Zastosowanie narzędzia Solver w rozwiązywaniu problemów optymalizacyjnych	65
3.6. Optimalizacja wykorzystania powierzchni magazynowej – przykład zastosowania narzędzia Solver	67
Pytania do rozdziału	71



LITERATURA.....	71
4. CONTROLLING W ZARZĄDZANIU ŁAŃCUCHEM DOSTAW.....	75
4.1. Wprowadzenie.....	75
4.2. Kluczowe wskaźniki efektywności w łańcuchu dostaw.....	78
Pytania do rozdziału	81
LITERATURA.....	82
5. ANALITYKA W OBSZARZE ZAOPATRZENIA I ZAKUPÓW	84
5.1. Wprowadzenie.....	84
5.2. Strategie zaopatrzenia i zakupów – podział pod względem źródeł zaopatrzenia..	86
5.3. Metody oceny i wyboru dostawców.....	88
5.4. Kryteria oceny dostawców	89
5.5. Metoda oceny ważonej dostawców (Weighted Point Method)	92
5.6. Metoda wielokryterialna.....	97
5.7. Odporni dostawcy	104
Pytania do rozdziału	106
LITERATURA.....	106
6. OUTSOURCING.....	109
6.1. Wprowadzenie.....	109
6.2. Istota outsourcingu	110
6.3. Podstawowe rodzaje outsourcingu.....	112
6.4. Korzyści i zagrożenia stosowania outsourcingu we współczesnych przedsiębiorstwach	115
6.5. Analiza Make-or-Buy.....	118
6.6. Outsourcing w logistyce.....	127
Pytania do rozdziału	130



LITERATURA.....	131
7. OPTYMALIZACJA SIECI LOGISTYCZNEJ Z WYKORZYSTANIEM GRAVITY POINT	133
7.1. Wprowadzenie	133
7.2. Sieć logistyczna.....	134
7.3. Koncepcja zastosowania modelu grawitacji w sieci logistycznej	136
7.4. Typowy proces decyzyjny dotyczący lokalizacji obiektu w łańcuchu dostaw	138
7.5. Modele grawitacyjne dezagregowane i zagregowane	139
7.6. Model wyważonego środka ciężkości.....	140
7.7. Model grawitacyjny w handlu międzynarodowym	142
7.8. Grawitacyjny model lokalizacji obiektów konkurencyjnych.....	144
7.9. Model grawitacyjny dla międzykontynentalnego łańcucha dostaw	145
Pytania do rozdziału	146
LITERATURA.....	146
8. PROGNOZOWANIE POPYTU	148
8.1. Wprowadzenie	148
8.2. Klasyfikacja metod prognozowania	153
8.3. Prognozowanie szeregów czasowych	154
8.4. Dekompozycja szeregu czasowego	155
8.5. Przygotowanie danych w szeregach czasowych.....	157
8.6. Metody prognozowania szeregów czasowych.....	160
8.7. Błędy prognozy	179
8.8. Zalety prognozowania w Excelu	180
8.9. Sztuczna inteligencja w prognozowaniu.....	182
Pytania do rozdziału	184
LITERATURA.....	184



9. ZARZĄDZANIE ZAPASAMI	188
9.1. Wprowadzenie	188
9.2. Poziom obsługi klienta	189
9.3. Funkcje i rodzaje zapasów	194
9.4. Systemy uzupełniania zapasu	201
9.5. Koszty zapasów	204
9.6. Podstawowe modele klasyfikacji zapasów.....	209
Pytania do rozdziału	215
LITERATURA.....	215
10. OPTYMALIZACJA TRANSPORTU	218
10.1. Wprowadzenie.....	218
10.2. Istota i znaczenie optymalizacji systemu transportowego	219
10.3. Zagadnienia optymalizacji transportu w praktyce	224
Pytania do rozdziału	240
LITERATURA.....	240
SPIS TABEL.....	244
SPIS RYSUNKÓW.....	245





WPROWADZENIE

Książka *Zaawansowane Zastosowanie Arkusza Kalkulacyjnego do Analizy Danych Logistycznych – Wprowadzenie teoretyczne* to pierwsza z serii trzech książek opracowanych w ramach projektu Business Analytics Skills for Future-proof Supply Chains (BAS4SC) współfinansowanego z Programu ERASMUS+. Książka ta może stanowić podręcznik akademicki służący rozwijaniu wiedzy i umiejętności analitycznych w obszarze logistyki. Jej treść powstała w oparciu o badania przeprowadzone w ramach projektu BAS4SC. Identyfikację i selekcję treści, które powinny znaleźć się w takim podręczniku przeprowadzano w trzech etapach. W etapie pierwszym badania przeanalizowano programy kształcenia w zakresie analityki biznesowej realizowane na uczelniach w Europie oraz Ameryce Północnej. Przeanalizowano programy kształcenia 66 uczelni wyższych. Wyselekcjonowano z nich kluczowe kompetencje jakimi powinni się charakteryzować analitycy biznesowi szczególnie ci realizujący swoje zadania w obszarze logistyki. W etapie drugim przeprowadzono badania ankietowe wśród przedstawicieli biznesu (ze szczególnym uwzględnieniem przedsiębiorstw, logistycznych, produkcyjnych i handlowych), nauczycieli akademickich oraz studentów, których celem było po pierwsze określenie stopnia istotności dla współczesnego biznesu wyróżnionych w etapie pierwszym badania kompetencji po drugie określenie czy te kompetencje znajdują się już w efektach kształcenia programów realizowanych na uczelniach. Rezultaty dwóch pierwszych etapów badania pozwoliły na wskazanie kluczowych z punktu widzenia praktyki biznesowej kompetencji analitycznych. Wyróżniono w ten sposób ponad 100 kluczowych kompetencji. W etapie trzecim badania dokonano systematyzacji i klasyfikacji tych kompetencji, wyróżniono zdaniem ekspertów 33 najistotniejsze. Dzięki temu możliwe było stworzenie trzech programów kształcenia. Pierwszym z nich jest: *Zaawansowane Zastosowanie Arkusza Kalkulacyjnego do Analizy Danych Logistycznych*.

Niniejsza książka stanowi wprowadzenie teoretyczne do zagadnień związanych z metodami i technikami analizy danych, które mogą być realizowane za pomocą arkusza kalkulacyjnego. Uzupełnieniem treści podręcznika są materiały dydaktyczne opracowane również w ramach projektu Business Analytics Skills for Future-proof Supply Chains, w których przedstawiono praktyczne aspekty wykonywania poszczególnych analiz w jednym



z najpopularniejszych arkuszy kalkulacyjnych. Podział treści na teoretyczne i praktyczne wynika również z tego, że funkcjonalności arkuszy kalkulacyjnych zmieniają się bardzo dynamicznie na przestrzeni czasu. Realizując programy nauczania chcemy dostarczać najnowsze rozwiązania w postaci plików udostępnianych uczestnikom programów kształcenia. Najnowsze wersje materiałów dydaktycznych i plików z ćwiczeniami są dostępne na stronie [WWW](#).

Książkę podzielono na 10 rozdziałów i w każdym z nich poruszono wybrany aspekt funkcjonowania łańcucha dostaw oraz możliwe metody analityczne jakie mogą zostać wykorzystane w jego ramach. Pierwszy rozdział poświęcony został zagadnieniom wprowadzającym. Opisano w nim współczesny sposób postrzegania istotności gromadzenia i analizy danych dla funkcjonowania procesów logistycznych. Przedstawiono w nim także arkusze kalkulacyjne jako narzędzie o wielu funkcjach mogących znaleźć zastosowanie w biznesie a w szczególności w logistyce.

W rozdziale drugim przedstawiono metody wizualizacji danych za pomocą wykresów oraz pulpitów menedżerskich zwanych (dashboardami). Autorzy przedstawili nie tylko rodzaje wykresów ale także rekomendacje dotyczące wykorzystania poszczególnych wykresów do prezentacji danych o określonym charakterze. To zagadnienie szczególnie istotne przy analizie zestawów dużych danych kiedy konieczne jest ich przedstawienie w sposób z jednej strony uproszczony a z drugiej oddający informacje w nich zawarte.

Rozdział trzeci poświęcono zagadnieniom związanym z optymalizacją jako pojęciem teoretycznym oraz zastosowaniem tych metod w zakresie zarządzania magazynem oraz zapasami. Przedstawiono zarówno metody optymalizacyjne jak i podstawy teoretyczne zagadnień związanych z planowaniem powierzchni magazynowej i powiązaniem pomiędzy wielkością zapasu a zapotrzebowaniem na powierzchnię magazynową.

W rozdziale czwartym opisano koncepcję controllingu łańcucha dostaw. Przedstawiono zakres funkcjonowania controllingu w obszarze logistyki. Wskazano także na pojęcie efektywności jako jednego z kluczowych w optymalizacji procesów łańcucha dostaw. Opis wzbogacono o mierniki i wskaźniki efektywności wykorzystywane w obszarze logistyki.

Tematem rozdziału piątego są zagadnienia związane z analityką w obszarze zaopatrzenia i zakupów. Po wprowadzeniu teoretycznym dotyczącym funkcjonowania zakupów i zaopatrzenia w łańcuchach dostaw przedstawiono metody oceny i wyboru dostawcy.



Skupiono się na najbardziej popularnych metodach: ważonej (uzupełnioną o ilustrację graficzną) i AHP.

Rozdział szósty poświęcono zagadnieniom związanym z outsourcingiem. Przedstawiono ideę outsourcingu, jego zalety oraz wady. Outsourcing przedstawiono jako jedną z metod pozwalających na optymalizację kosztów funkcjonowania procesów logistycznych w przedsiębiorstwie. Z punktu widzenia analitycznego opisano metodę Make or Buy pozwalającą na obiektywne wskazanie czy outsourcing pozwoli na redukcję kosztów realizacji wybranego procesu logistycznego.

W rozdziale siódmym skupiono się na optymalizacji sieci logistycznej w tym w szczególności na umiejscowieniu węzłów tej sieci. Opisano wpływ umiejscowienia magazynów w sieci dystrybucji lub zakładów produkcyjnych na funkcjonowanie sieci i koszty z tym związane. Zaprezentowano metodę środka ciężkości jako podstawową metodę optymalizacji rozmieszczenia węzłów sieci.

Przedmiotem rozdziału ósmego jest prognozowanie a w szczególności metody prognozowania opierające się na szeregach czasowych. Wskazano sposoby kalkulacji prognoz metodami średniej (prostej, arytmetycznej, ruchomej i ważonej), wygładzania wykładniczego oraz regresji. Uzupełnieniem rozdziału jest wskazanie zastosowania sztucznej inteligencji w prognozowaniu.

Rozdział dziewiąty poświęcono w całości zagadnieniom związanym z zapasami w przedsiębiorstwie. Przedstawiono zarówno zagadnienia teoretyczne jak metody obliczeniowe wykorzystywane w szacowaniu kosztów związanych z zapasami, wartościami parametrów systemów uzupełniania zapasów zależności od planowanego poziomu obsługi klienta.

Ostatni rozdział podręcznika poświęcony został optymalizacji transportu. To szczególnie istotne zagadnienie o wielu wymiarach możliwego doskonalenia. Paleta metod optymalizacji jest bardzo szeroka. Autorzy zdecydowali się w tym zakresie na przedstawienie modeli matematycznych optymalizacji czasu realizacji transportu oraz przebytej liczby kilometrów wraz ze sposobami poszukiwania najlepszego rozwiązania w ramach tych modeli za pomocą Solvera.



1. WPROWADZENIE DO ANALIZY DANYCH ZA POMOCĄ ARKUSZA KALKULACYJNEGO



Rozdział ten poświęcony jest najważniejszym zagadnieniom związanym z analizą danych przy użyciu arkusza kalkulacyjnego Excela, za pomocą którego można przeprowadzać również analizy danych logistycznych. Zawiera on:

- podstawowe definicje,
- analizę danych,
- znaczenie danych dla logistyki,
- arkusz kalkulacyjny i jego zastosowanie.

1.1. Wprowadzenie

Analiza i zarządzanie informacjami w przedsiębiorstwie obejmuje wszystkie jednostki organizacyjne na kolejnych szczeblach systemu gospodarczego, tj. operacyjnym, taktycznym, strategicznym, a także zarządzanie wiedzą. Na analizę i zarządzanie danymi składają się działania (Szymonik, 2010):

- tworzące funkcję informacyjną przedsiębiorstwa, tj. pozyskiwanie, przechowywanie, przetwarzanie, udostępnianie i wykorzystanie informacji,
- w ramach płaszczyzn (technologicznej, organizacyjnej, zasobów ludzkich) wpływających na realizację tej funkcji.

Gwarancją powodzenia jakichkolwiek przedsięwzięć jest osiągnięcie przewagi informacyjnej, zdefiniowanej jako zdolność pozyskiwania, przetwarzania oraz upowszechniania informacji, która umożliwi np. zdominowanie konkurentów czy udoskonalenie procesu logistycznego (Szymonik, 2015). Przewagę informacyjną można zdobyć m.in. dzięki spełnieniu



oczekiwań określonych użytkowników, np. uczestników łańcucha dostaw, poprzez zapewnienie jakościowych cech informacji, spośród których można wymienić (Szymonik, 2015):

- relatywność – informacja odpowiada na potrzeby i ma istotne znaczenie dla odbiorcy,
- dokładność – informacja jest adekwatna do poziomu wiedzy, jaki reprezentuje odbiorca, precyzyjnie i dokładnie oddaje oraz określa temat,
- aktualność – cykl aktualizacji jest zgodny z zawartością treści oraz tempem zmian,
- kompletność – informacja zawiera optymalną i wystarczającą liczbę danych do przetworzenia informacji w konkretną wiedzę, a jej poziom szczegółowości zależy od potrzeb odbiorcy,
- spójność – poszczególne dane współgrają ze sobą, forma odpowiada treści, aktualizacja danych jest zgodna z celami,
- odpowiedniość – odpowiednia prezentacja informacji oraz opis do prezentacji, umożliwiający poprawną interpretację,
- dostępność – informacja jest dostępna z każdego miejsca i o dowolnym czasie,
- wiarygodność – informacja potwierdza prawdziwość danych, zawiera elementy upewniające co do rzetelności przekazu,
- przystawalność – informacja jest zgodna z inną informacją, interpretowana we właściwym kontekście, funkcjonująca w znajomym systemie komunikacji.

1.2. Analiza danych



Dane to reprezentacja surowych, nieustrukturyzowanych faktów, koncepcji, instrukcji lub wyników zgromadzonych z obserwacji lub zapisów dotyczących zjawisk, obiektów lub ludzi, które mogą być kształtowane i formowane w celu stworzenia informacji w postaci, umożliwiającej komunikowanie, interpretację, dedukcję, wyciąganie wniosków lub przetwarzanie przez ludzi lub urządzenia automatyczne.

Analiza danych to proces badania, interpretacji i prezentacji informacji zebranych z różnych źródeł. Stosując różnorodne techniki i narzędzia, analitycy danych zamieniają surowe



dane w użyteczne informacje, które pomagają przedsiębiorstwom w podejmowaniu decyzji, identyfikowaniu trendów oraz rozwiązywaniu problemów. W dzisiejszym świecie, gdzie przedsiębiorstwa generują ogromne ilości danych, nauka analizy danych jest coraz bardziej istotna, a jej umiejętność staje się coraz bardziej pożądana na rynku pracy (www_1.1). Analiza danych to kluczowy proces w nauce oraz biznesie, który umożliwia transformację surowych danych w użyteczne i wartościowe informacje za pomocą różnych metod oraz technik analitycznych.

Wykorzystanie nowoczesnych technik analitycznych w logistyce pozwala przekształcić je w wartościowe zasoby, wspierając innowacje oraz rozwój inteligencji biznesowej, co stanowi kluczowy element współczesnego podejścia do biznesu (Zhang i Shao, 2020; www_1.1).

W kontekście logistyki i łańcucha dostaw kluczowe wyzwania w zarządzaniu tymi danymi dotyczą trzech głównych obszarów. Po pierwsze, pojawia się problem z wstępnym przetwarzaniem i kompresją danych. Po drugie, zarządzanie danymi logistycznymi napotyka trudności wynikające z fragmentacji firm w sieci dostaw, takich jak brak danych lub zakłócenia w sprzęcie sieciowym, co zwiększa ryzyko zarówno dla dostawców, jak i odbiorców. Po trzecie, istnieje niedostateczny poziom zaawansowania w analizie danych i wspieraniu decyzji. Braki w technologii modelowania, metodach eksploracji danych oraz systemach wspierających podejmowanie decyzji ograniczają zdolność do dostarczania wartościowych informacji dla operacji logistycznych.

1.3. Arkusz kalkulacyjny MS Excel i jego zastosowanie

Excel jest jednym z najczęściej wykorzystywanych programów na firmowych komputerach, ponieważ to właśnie w nim przygotowywana jest większość raportów korporacyjnych. Dodatkowo wiele systemów firmowych eksportuje dane w formatach, które są kompatybilne z Excelem, co ułatwia organizowanie i przeglądanie informacji w czytelny i uporządkowany sposób. Dzięki językowi programowania VBA, stanowiącemu integralną część Excela, program ten zyskuje jeszcze szersze możliwości zastosowań, takie jak automatyzacja rutynowych czynności, tworzenie bardziej zaawansowanych narzędzi czy rozwijanie funkcji. VBA jest kluczowym narzędziem do automatyzacji pracy w arkuszu kalkulacyjnym, umożliwiającym tworzenie makr do wykonywania powtarzalnych zadań oraz integrację z innymi elementami pakietu Microsoft Office, a także z programami takimi jak AutoCAD (Shinsato Jr i in., 2023). Arkusz kalkulacyjny Excel to program do obsługi arkuszy kalkulacyjnych w grupie aplikacji Microsoft



Office. W MS Excel dostępne są takie funkcje jak obliczenia, narzędzia do tworzenia wykresów, tabele przestawne i język programowania makr o nazwie Visual Basic for Applications. Oferuje on również zestaw funkcji analizy statystycznej i innych narzędzi, które można wykorzystać do uruchamiania statystyk opisowych i wykonywania kilku różnych testów statystycznych.

Arkusz kalkulacyjny jest programem komputerowym służącym do wykonywania różnego rodzaju obliczeń, często bardzo skomplikowanych. W arkuszach kalkulacyjnych możemy przedstawiać dane, głównie liczbowe, w postaci zestawu tabel, pozwalających na automatyczną obróbkę tych danych, ich analizę oraz na prezentację ich w różny sposób, np. w postaci różnego rodzaju wykresów, począwszy od prostych wykresów liniowych, przez diagramy kołowe i słupkowe, po efektownie wyglądające wykresy bąbelkowe. Najważniejszymi możliwościami dostarczonymi użytkownikowi przez arkusze kalkulacyjne są (www_1.2): (1) analiza danych, (2) wykonywanie obliczeń, (3) przygotowywanie ofert, (4) prezentacja wyników, (5) tworzenie wykresów i (6) tworzenie raportów i podsumowań.

Potocznie arkuszem kalkulacyjnym nazywa się także dokument generowany przez tego typu programy. Do każdej komórki arkusza kalkulacyjnego można wpisać dane liczbowe, tekstowe lub wzór w arkuszu nazywany **formułą**, która umożliwia obliczenie danej wartości na podstawie zawartości komórek. Może ona zawierać w swojej treści **adresy** tych komórek, symbole matematyczne oraz bardziej zaawansowane działania jak **funkcje** — nie tylko matematyczne, ale również statystyczne, finansowe, daty i czasu, czy bazodanowe, które są najważniejszymi i najczęściej wykorzystywanymi narzędziami, jakich dostarcza arkusz kalkulacyjny. **Funkcja** w arkuszu kalkulacyjnym to z kolei specjalnie zaprojektowany przez twórców programu algorytm, gotowe do użycia formuły, pozwalające na wykonanie specjalistycznych obliczeń bądź wyszukanie określonych wartości. Przykładem może być np. funkcja Średnia, obliczająca średnią arytmetyczną z podanych liczb lub funkcja Maximum, wyszukująca największą z podanych liczb oraz wiele innych. Za ich pomocą wprowadzone do programu dane są przetwarzane automatycznie oraz mogą posłużyć do tworzenia symulacji. Formuły w arkuszu buduje się stosując standardowe zasady tworzenia wyrażeń matematycznych. Wpisanie formuły zawsze należy poprzedzić znakiem równości np. =A8+C11 lub =(F14-E10)*12 itp. Formuła służy do obliczania i analizowania danych w arkuszu kalkulacyjnym. Jeśli zostanie zmieniona jakaś liczba w formule, to program dokona zmian automatycznie i będzie nadal wyświetlał prawidłowy wynik. Dzięki temu nie trzeba zmieniać



wszystkiego ręcznie. Dobre arkusze kalkulacyjne, takie jak np. Excel, mają wbudowane gotowe funkcje (www_1.2).

Wyższość arkuszy kalkulacyjnych nad innymi typami programów polega też w dużej mierze na możliwości wykonania bardzo dużej ilości obliczeń przy wielu danych, bez konieczności ręcznego potwierdzenia każdego pojedynczego działania. Wykonywanie obliczeń w taki zautomatyzowany sposób pozwala znacznie skrócić czas pracy i wymaga od pracownika bez porównania mniejszego wysiłku. Ponadto, jak już wspomniano, arkusze kalkulacyjne umożliwiają zilustrowanie zgromadzonych danych oraz wyników obliczeń w czytelny i atrakcyjny dla odbiorcy sposób, jakim są różnego rodzaju wykresy i diagramy. Zaawansowane programy typu arkusz kalkulacyjny są w stanie wygenerować bardzo wiele różnych rodzajów wykresów, które używane być mogą w celach statystycznych, optymalizacji danego procesu bądź wizualizacji planowanych do wdrożenia zmian w organizacji. Z tego powodu są one bardzo często wykorzystywane w różnego rodzaju prezentacjach planowanych projektów, gdzie wykorzystuje się je do przedstawienia otrzymanych lub przewidywanych przyszłych wyników. Zarówno wykresy jak i tabele przestawne pozwalają łatwiej dostrzec wzajemne zależności i tendencje, a dzięki temu trafniej określić skuteczność danych działań lub narzędzi (www_1.2).

Arkusze kalkulacyjne są często używane jako wielofunkcyjne narzędzie do wprowadzania, przechowywania, analizy i wizualizacji danych. Większość programów do arkuszy kalkulacyjnych umożliwia użytkownikom wykonywanie wszystkich tych zadań, jednak arkusze kalkulacyjne najlepiej nadają się do wprowadzania i przechowywania danych, a analiza i wizualizacja powinny odbywać się osobno. Analiza i wizualizacja danych w oddzielnym programie lub przynajmniej w oddzielnej kopii pliku danych zmniejsza ryzyko zanieczyszczenia lub zniszczenia surowych danych w arkuszu kalkulacyjnym (Broman i Woo, 2018).

1.4. Najważniejsze narzędzia dostarczane przez arkusze kalkulacyjne

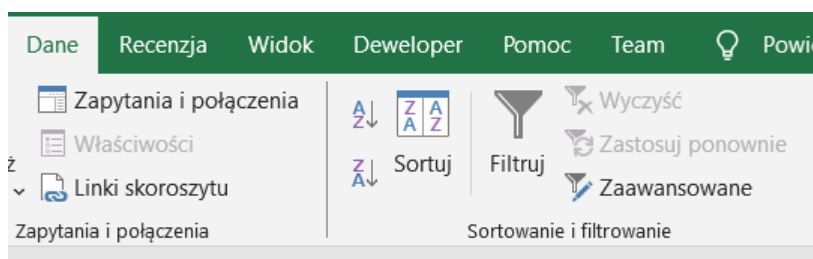
Arkusz kalkulacyjny oferuje szeroką paletę narzędzi, które mogą być wykorzystane do analizy zarówno danych logistycznych, jak i innych typów danych. Spośród narzędzi dostarczanych przez arkusz kalkulacyjny MS Excel należy wymienić:

- Filtrowanie danych,



- Sortowanie danych,
- Funkcje do analizy statystycznej,
- Narzędzie do analizy metodą regresji liniowej,
- Diagram korelacji
- Tabele przestawne
- Solver
- Makra
- Power Query
- Mapy 3D.

Gromadzenie informacji często wiąże się z dużymi zbiorami danych, charakteryzujących się nadmiarowością. Zanim zostanie przeprowadzona dalsza ich analiza, należy wyodrębnić z bazy tylko te dane, spełniające określone kryteria, dopasowane do potrzeb informacyjnych decydentów. Do tego celu służy filtrowanie. W Excelu są do dyspozycji dwa sposoby filtrowania, zamieszczone na wstążce Dane (rys. 1.1): autofiltr (polecenie Filtruj) i filtr zaawansowany (polecenie Zaawansowane).

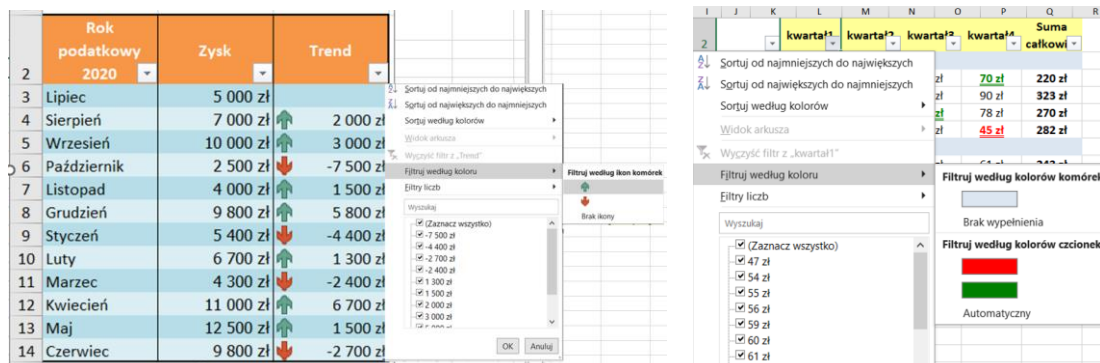


Rysunek 1.1. Widok wstążki Dane z poleceniami filtrowania

Źródło: opracowanie własne

Filtrowanie danych według formatu (autofiltr, opcja Filtruj według koloru) pozwala wybrać wartości o określonym kolorze czcionki, kolorze wypełnienia komórki lub też zawierające określoną ikonę komórki, wstawioną za pośrednictwem Formatowania warunkowego (rys. 1.2).

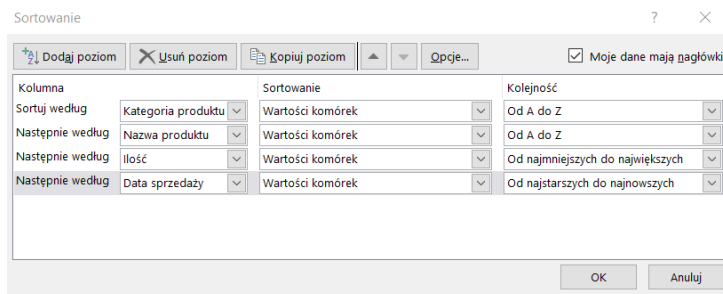
W razie potrzeby zdefiniowania większej liczby kryteriów powinien być zastosowany filtr zaawansowany. Podczas stosowania filtra zaawansowanego należy zdefiniować tzw. kryterium filtrowania.



Rysunek 1.2. Przykład zastosowania autofiltru wg formatu (wg ikon komórek oraz koloru czcionek)

Źródło: opracowanie własne

Przy pracy z bazami danych często pojawia się potrzeba uporządkowania danych w określonej kolejności według kryteriów zdefiniowanych przez użytkownika. Proces ten można uzyskać dzięki **sortowaniu**. Najprostsza forma sortowania to sortowanie proste, to znaczy według pojedynczego kryterium. Istnieje również możliwość sortowania wielopoziomowego, podczas którego baza danych jest sortowana według dwóch lub więcej kryteriów (rys. 1.3).



Rysunek 1.3. Widok okna Sortowanie z ustawionymi kryteriami dla sortowania wielopoziomowego

Źródło: opracowanie własne

Ocena zbiorów danych pod kątem znaczenia może być trudna, zwłaszcza gdy ilość danych wzrasta. Przeszukiwanie rzędów nieprzetworzonych danych w arkuszach kalkulacyjnych może być praktycznie niemożliwe z jakąkolwiek nadzieją na dostrzeżenie ich głębszego znaczenia. Podsumowania liczbowe mogą być pomocne, ale nadal mogą być niewystarczające. Przekształcenie tych podsumowań liczbowych w tabele przestawne i wykresy



przystawne może często uczynić je bardziej zrozumiałymi dzięki doskonałemu układowi i wizualnej reprezentacji.

Excel daje użytkownikom możliwość tworzenia tabel przestawnych i powiązanych z nimi wykresów przestawnych. Te korzystne narzędzia przyczyniają się do automatyzacji procesu analizy danych i umożliwiają niemal natychmiastowe zmiany we wzorcach, w których dane są zorganizowane, a także w częściach danych, które są przeglądane. Raporty spełniające wszelkie potrzeby mogą być generowane błyskawicznie, aby udzielić odpowiedzi na pojawiające się pytania dotyczące danych. Tabele przestawne umożliwiają wyróżnienie poszczególnych punktów danych w celu natychmiastowego porównania z innymi punktami, co pozwala na łatwe porównanie wielu różnych zmiennych.

Tabele przestawne to narzędzie analityczne, w którym, jak wskazuje na to nazwa, można swobodnie przedstawiać znajdujące się w nich informacje. Dzięki zastosowaniu tabeli przestawnej możliwe jest dowolne przekonstruowanie wierszy i kolumn, tak aby otrzymana w ten sposób forma tabeli była bardziej przejrzysta lub wyraźniej wskazywała na konkretne dane, które użytkownik pragnie podkreślić. Znajomość obsługi tej funkcji arkuszy kalkulacyjnych jest nieodzowna podczas tworzenia podsumowań oraz raportów (www_1.2). Tabele przestawne umożliwiają swobodne manipulowanie dużymi zestawami danych. Za ich pomocą istnieje możliwość odwrócenia danych znajdujących się w wierszach. Dane mogą być przeniesione do kolumn bieżących w poprzek arkusza kalkulacyjnego w prawo, co może przyczynić się do tego, że dane przyjmą bardziej użyteczną formę po przekonwertowaniu ich na wykres wizualny. Automatyzacja manipulacji danymi przyczynia się do przyspieszenia procesu i eliminuje potencjalne błędy ludzkie wynikające z ręcznego manipulowania danymi. Tabele przestawne i wykresy przestawne mają charakter dynamiczny i pozwalają na błyskawiczną zmianę ich zawartości w celu znalezienia odpowiedzi na konkretne pytania związane z danymi, natomiast aby odpowiedzieć na te same pytania przy tradycyjnych tabelach, należałoby włożyć znaczny wysiłek w zmianę układu danych (Miller, 2014).

Przykładowy raport tabeli przestawnej, przedstawiający sumaryczną wartość (obszar Wartości) sprzedanych produktów przez każdego sprzedawcę (obszar Wiersze) poszczególnym kontrahentom (obszar Kolumny) danym rodzajem transportu (obszar Filtry) został zaprezentowany na rysunku 1.4.



Transport	(Wszystko)	Firma 1	Firma 2	Firma 3	Firma 4	Suma końcowa
Dickinson		213,00 zł	193,35 zł	97,25 zł		503,60 zł
jabłka		213,00 zł				213,00 zł
marchew			48,00 zł			48,00 zł
morele				97,25 zł		97,25 zł
ogórki			145,35 zł			145,35 zł
Johnson		106,50 zł	59,60 zł	232,24 zł		398,34 zł
cebula				177,19 zł		177,19 zł
gruszki				55,05 zł		55,05 zł
jabłka			106,50 zł			106,50 zł
ziemniaki			59,60 zł			59,60 zł
Johnson		465,00 zł				465,00 zł
śliwki		465,00 zł				465,00 zł
Miller		247,10 zł	180,00 zł	465,00 zł	58,35 zł	950,45 zł
maliny			180,00 zł			180,00 zł
morele				58,35 zł		58,35 zł
pietruszką		220,40 zł				220,40 zł
śliwki			465,00 zł			465,00 zł
wiśnie		26,70 zł				26,70 zł
Morisson		149,00 zł	72,00 zł	204,45 zł		425,45 zł
cebula				204,45 zł		204,45 zł
jabłka			72,00 zł			72,00 zł
ziemniaki			149,00 zł			149,00 zł
Morisson		251,60 zł				251,60 zł
truskawki		251,60 zł				251,60 zł
Murphy				36,00 zł		36,00 zł
brzoskwinie				36,00 zł		36,00 zł
Savage		110,20 zł				110,20 zł
pietruszką		110,20 zł				110,20 zł
Savage		110,20 zł	24,00 zł	53,40 zł	178,80 zł	366,40 zł
brzoskwinie			24,00 zł			24,00 zł
pietruszką		110,20 zł				110,20 zł
wiśnie			53,40 zł			53,40 zł
ziemniaki				178,80 zł		178,80 zł
Smith		270,00 zł	69,50 zł	135,80 zł		475,30 zł
maliny		270,00 zł				270,00 zł
morele			38,90 zł			38,90 zł
ogórki			96,90 zł			96,90 zł
pomidory			69,50 zł			69,50 zł
Smith				119,20 zł		119,20 zł
ziemniaki				119,20 zł		119,20 zł
Suma końcowa		1 556,90 zł	832,55 zł	883,05 zł	829,04 zł	4 101,54 zł

Rysunek 1.4. Przykładowy raport tabeli przestawnej w Excelu

Źródło: opracowanie własne

Kontrahent	(Wszystko)	lądowy	lotniczy	morski	Suma końcowa
brzoskwinie		12,5			12,5
cebula		13		15	14
gruszki				15	15
jabłka			15		15
jabłka			15		15
maliny		15	10		12,5
marchew		10			10
morele		12,5	12,5		12,5
ogórki			12,5		12,5
pietruszką		10	10	20	13,33333333
pomidory				10	10
śliwki		30		30	30
truskawki			20		20
wiśnie		20	10		15
ziemniaki		25	20		21,25
Suma końcowa		15,72727273	14,64285714	18	15,6

Rysunek 1.5. Tabela przestawna przedstawiająca średnią ilość sprzedanych produktów dostarczoną danemu kontrahentowi za pomocą poszczególnych rodzajów transportu

Źródło: opracowanie własne

Ze względu na to, że pola w tabeli przestawnej mogą być usytuowane w dowolnej konfiguracji, w rezultacie czego za każdym razem można uzyskać inny efekt układu raportu.



Rysunek 1.5 przedstawia tabelę przestawną, utworzoną na tej samej liście źródłowej co tabela przestawna z rysunku 1.4, jednak tym razem prezentuje ona raport do analizy średniej ilości (obszar Wartości) sprzedanych produktów (obszar Wiersze) i dostarczonych danemu kontrahentowi (obszar Filtry) za pomocą danego rodzaju Transportu (obszar Kolumny).

Obecnie obserwuje się wśród przedsiębiorców wzmożone zainteresowanie arkuszami kalkulacyjnymi typu "co by było gdyby?" z możliwościami optymalizacji, takie jak **EXCEL Solver** (Microsoft Co.). Excel Solver jest wykorzystywany przede wszystkim do rozwiązywania oraz optymalizacji projektowania i integracji procesów. Praktykujący inżynierowie również używają arkuszy kalkulacyjnych do wielu zadań, ponieważ optymalizacja procesów staje się coraz powszechniejszym zadaniem w syntezie, projektowaniu i integracji procesów. Ze względu na swoją przydatność Solver jest bardzo często wykorzystywany w procesie podejmowania decyzji odnośnie optymalizacji takich zagadnień, jak: efektywne wykorzystanie posiadanych materiałów, redukcja kosztów dostaw i transportu, określenie wielkości produkcji, czy ustalenie najlepszego harmonogramu pracy wielozmianowej.

Solver jest bezpłatnym dodatkiem do arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel. Excel Solver posiada dwa nieliniowe optymalizatory bez ograniczeń, metodę quasi-Newtona i metodę zredukowanego gradientu. Stosuje się je w ramach algorytmu Generalized Reduced Gradient do rozwiązywania ograniczonych problemów optymalizacyjnych. Liniowa metoda simpleks z ograniczeniami na zmienne oraz metoda branch-and-bound mogą być stosowane do rozwiązywania problemów liniowych i całkowitoliczbowych. Podejście stosowane w celu uzyskania lepszych początkowych oszacowań podstawowych zmiennych w każdym jednowymiarowym wyszukiwaniu można określić w opcjach Solvera. Można zastosować ekstrapolację liniową z wektora stycznego lub ekstrapolację kwadratową, co może poprawić wyniki w przypadku problemów wysoce nieliniowych. Możliwe jest również określenie metody różnicowania w celu oszacowania pochodnych funkcji celu i funkcji ograniczeń: Forward, gdy wartości ograniczeń zmieniają się stosunkowo wolno, lub Central, używaną dla problemów, gdy ograniczenia zmieniają się szybko, szczególnie w pobliżu granic aktywnych ograniczeń (Ferreira i in., 2004).

W celu wykonania obliczeń należy zacząć najpierw od zakodowania zawartości arkusza Excel i zamieścić w wybranej komórce formułę obliczającą funkcję. Wartości parametrów



funkcji, a także poszukiwane argumenty muszą być zakodowane w komórkach wybranego zakresu arkusza. Ponadto powinny zostać zapisane formuły potrzebne do uwzględnienia w obliczeniach ograniczeń zmiennych. Następnie należy wyświetlić okno dialogowe Solver przeznaczone do wyznaczenia zależności niezbędnych do osiągnięcia rozwiązania. W oknie przez odwołanie się do adresów komórek należy wskazać (Bomba i Kwiecień, 2012):

- komórkę celu, np. \$A\$2,
- poszukiwane wartości funkcji celu (Maks, Min lub Wartość),
- zakres poszukiwanych zmiennych, np. \$H\$8:\$H\$13,
- zależności dotyczące warunków ograniczających,
- metodę rozwiązywania (nieliniową GRG, LP simplex lub Ewolucyjną)

Solver dokona obliczeń optymalizacyjnych po naciśnięciu przycisku „Rozwiąż”, czego rezultatem będzie wyświetlony raport z wynikami.

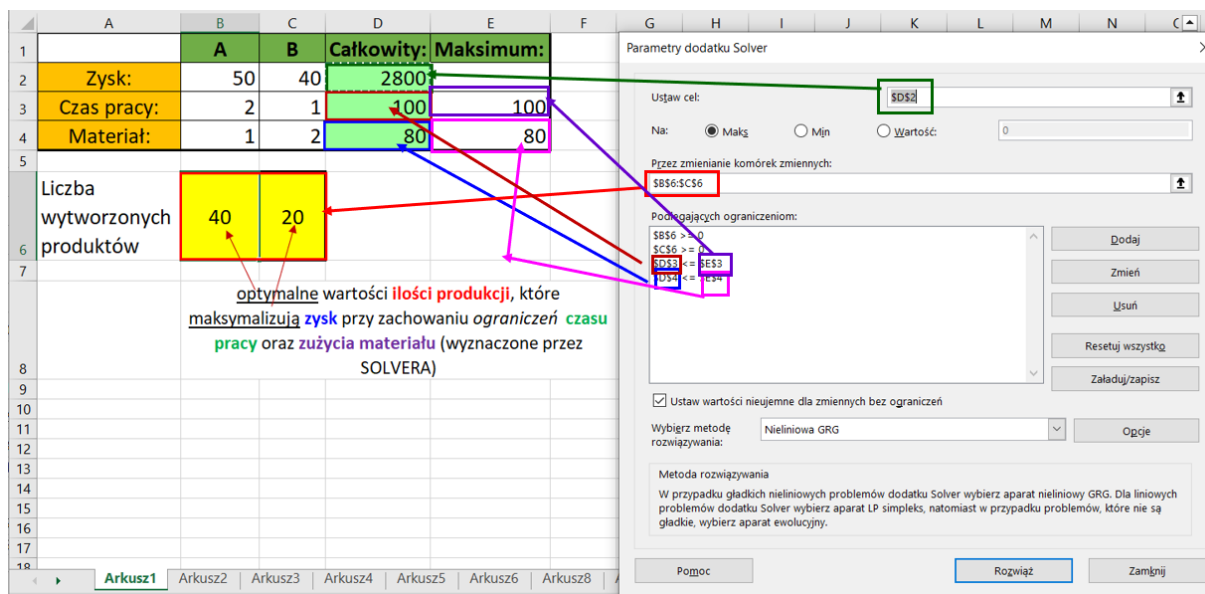
Opis zadania: Firma produkuje dwa produkty: A i B. Każdy z nich przynosi zysk, ale wymaga różnych nakładów czasu pracy i materiałów (dane wejściowe znajdują się w tabeli 1.1).

Tabela 1.1. Dane wejściowe do zadania optymalizacyjnego rozwiązywanego przy pomocy Solvera

Maksymalny/a	Produkt	Zysk na jednostkę	Czas pracy (godziny)	Materiał (kg)
	A	50	2	1
	B	40	1	2
czas pracy			100	
ilość materiałów				80

Źródło: opracowanie własne

Należy ustalić, ile sztuk każdego produktu wyprodukować, aby zmaksymalizować zysk, przy ograniczeniach dotyczących czasu pracy i dostępności materiałów? (rys. 1.6).



Rysunek 1.6. Zastosowanie Solvera do przykładowego zadania optymalizacyjnego

Źródło: opracowanie własne

Makra w Excelu są zapisanymi w języku programowania Visual Basic for Applications (VBA) sekwencjami poleceń, umożliwiającymi automatyzację wykonywanych często czynności w arkuszu kalkulacyjnym. Dzięki makrom wykonywanie ciągu żmudnych oraz powtarzalnych operacji da się sprowadzić do pojedynczego kliknięcia przycisku albo naciśnięcia kombinacji klawiszy. Jeżeli w przedsiębiorstwie często jest wykonywany szereg tych samych czynności na jakichś danych, to z dużym prawdopodobieństwem istnieje możliwość ich zautomatyzowania za pomocą makra. Oczywiście warto utworzyć uniwersalne makro, potrafiące wykonać sekwencję określonych czynności nie tylko na jednych danych, lecz także w przypadku zmiany ich układu danych ulegnie niewielkiej zmianie lub gdy liczba danych będzie większa lub mniejsza. Z tego względu przy projektowaniu makra należy użyć polecenia dające się zastosować na wielu arkuszach, a nie tylko jednym, w danej konkretnej sytuacji.

Przykłady automatyzacji pracy z wykorzystaniem makr: (1) automatyczne sortowanie danych, (2) automatyczne wprowadzanie danych, (3) automatyczne wypełnianie formularzy, (4) automatyczne generowanie raportów, (5) automatyczne tworzenie i przetwarzanie formularzy oraz ankiet, (6) automatyczna integracja z innymi systemami.



Microsoft Power Query (PQ) jest dodatkiem do arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel dla wersji wcześniejszych niż Excel 2016, zaprojektowanym przez firmę Microsoft do wspierania rozwiązań klasy Self-Service Business Intelligence.

Należy podkreślić także jego przydatność podczas pracy z danymi, ich gromadzeniu czy analizie. PQ umożliwia pobieranie danych z wielu różnych obszarów; zaczynając od relacyjnych baz danych, poprzez dane pochodzące z SharePointa oraz systemu operacyjnego, a kończąc na danych pobieranych z dowolnej strony internetowej. Dodatkową jego zaletą jest umożliwianie wstępnej obróbki danych, jak również przygotowanie ich do dalszej analizy albo wizualizacji. Realizację powyższych funkcji umożliwia specjalny język „M”, stosowany w Power Query do tworzenia formuł i dający duże możliwości użycia zaawansowanych funkcji do pracy nad danymi za pomocą wybranych operatorów.

Power Map to dodatek do programu Microsoft Excel Professional i Office 365 Professional, który umożliwia tworzenie przejrzystych wizualizacji geoprzestrzennych danych bezpośrednio z poziomu programu Excel. W wielu przypadkach, dotyczących wizualizacji danych, Power Map zupełnie eliminuje konieczność programowania, umożliwiając bezpośrednią pracę z danymi w arkuszu kalkulacyjnym i prezentowanie relacji bezpośrednio na mapie. Jako pomocne narzędzie do debugowania pozwala na pobranie informacji z bazy danych, zaimportowanie ich do programu Excel, zwizualizowanie oraz wyciągnięcie wniosków bez potrzeby tworzenia kodu do wykreślenia danych na mapie (Au i Rischpater, 2015).

Power Map może być pomocny w tworzeniu wizualizacji 3D, wykreślając do miliona punktów danych w postaci map kolumnowych, ciepłych i bąbelkowych na mapie Bing. Jeśli dane są oznaczone czasem, może również tworzyć interaktywne widoki, które pokazują zmianę danych w czasie i przestrzeni (Clark, 2014).

1.5. Zastosowania arkusza kalkulacyjnego w różnych branżach

Arkusz kalkulacyjny Excel jest najczęściej wykorzystywany jako narzędzie w przedsiębiorstwach produkcyjnych nieposiadających zintegrowanych systemów informacyjnych.



Pierwszym skojarzeniem z wykorzystywaniem arkuszy kalkulacyjnych są oczywiście różnego rodzaju prace biurowe. Za jego pomocą tworzone są listy pracowników, raporty sprzedaży oraz wyliczane wynagrodzenia dla pracowników. Programy tego typu znajdują również szerokie zastosowanie w księgowości, dzięki zaawansowanym funkcjom wyliczeń finansowych. Wykresy i tabele przestawne dostępne w arkuszach pomagają także w wizualizacji gromadzących się odsetek podczas sprzedaży produktów finansowych, zarówno w bankowości, przez towarzystwa ubezpieczeniowe, jak i w branży inwestycyjnej. Ponadto arkusze kalkulacyjne służą także do gromadzenia i przetwarzania informacji potrzebnych do optymalizacji procesów i maszyn stosowanych w przemyśle. Nieodłączne zastosowanie arkuszy to także tworzenie różnego rodzaju wzorów i szablonów ofert handlowych (www_1.2).

Excel ma również zastosowanie w dziedzinie logistyki. Logistycy w swojej pracy bardzo często do pracy wykorzystują arkusz kalkulacyjny do wspomagania decyzji w obszarze logistyki. Można do nich zaliczyć:

1) Analizę dotyczącą sterowania zapasami:

- dokonywanie analizy struktury, dynamiki oraz wielkości zakupu,
- przeprowadzanie analizy kompletności oraz przydatności zapasów,
- wskaźniki produktywności zapasów,
- analizowanie kosztów związanych z zapasami,

2) Dynamiczną analizę kształtowania się mierników logistycznych w okresie czasu przy użyciu tabeli przestawnej:

- analizowanie i porównanie kosztów zakupu,
- dokonanie porównania wskaźników w czasie,
- analizowanie oraz kalkulacje wielowalutowe,
- analizę obszernych baz danych przy pomocy tabeli przestawnej,
- analizę w dziedzinie transportu.

3) Graficzną prezentację danych w raportach w formie różnych typów wykresów.

4) Budżetowe i operacyjne raporty logistyczne.

Arkusz kalkulacyjny Excel jest wykorzystywany jako niezawodne narzędzie do wykonywania skomplikowanych raportów, kiedy występują problemy z ich odczytywaniem po



wygenerowaniu ich przez systemy logistyczne, takie jak ERP czy WMS, mające swoje własne systemy raportowania. Bardzo przydatne okazują się między innymi tabele przestawne, których nie można tworzyć w innych informatycznych, wspomagających procesy logistyczne a te tworzone w Excelu są jasne, zrozumiałe i przejrzyste (www_1.3).

Logistyka jest tym obszarem zarządzania, w którym często mamy do czynienia z wielkościami kwantyfikowalnymi i dającymi się opisać matematycznym modelem, dzięki czemu Excel idealnie nadaje się do analizy konkretnych zagadnień decyzyjnych z dziedziny logistyki. Oto przykłady niektórych z nich:

- koordynacja przepływu zasobów w łańcuchu dostaw,
- realizacja zadań transportowych,
- minimalizacja pustych przebiegów w transporcie,
- zagadnienie pośrednika,
- zagadnienie komiwojażera,
- model ekonomicznej wielkości zamówienia,
- optymalizacja asortymentu produkcji dla maksymalizacji zysku,
- planowanie wydajności i zapotrzebowania materiałowego w przedsiębiorstwie produkcyjnym,
- optymalizacja produkcji i dystrybucji produktów,
- optymalizacja kolejności realizacji zamówień,
- analiza XYZ w gospodarce zapasami,
- rozwiązanie problemu kalkulacji cen obsługi logistycznej,
- wielokryterialna analiza i ocena.

Pytania do rozdziału

1. Jakie są główne wyzwania związane z zarządzaniem informacjami i danymi w kontekście dynamicznie zmieniającego się środowiska organizacyjnego i systemu logistycznego?
2. Jakie działania mogą podjąć organizacje, aby zapewnić wysoką jakość informacji i spełnić oczekiwania użytkowników w kontekście zarządzania łańcuchem dostaw?



3. Jakie korzyści wiążą się z wykorzystaniem arkuszy kalkulacyjnych w analizie danych i prezentacji wyników w różnych projektach?

LITERATURA

Au, C. i Rischpater R., (2015). Power Map for Excel. Microsoft Mapping, Geospatial Development in Windows 10 with Bing Maps and C#. Second Edition, Apress, 159-165.

Broman, K.W. i Woo, K.H. (2018). Data Organization in Spreadsheets, The American Statistician, Taylor & Francis Group, Vol. 72, No.1, 2–10.

Clark, D., (2014), Beginning Power BI with Excel 2013. Self-Service Business Intelligence Using Power Pivot, Power View, Power Query, and Power Map, Apress.

Ferreira, E., Lima, R. i Salcedo, R., (2004). Spreadsheets in Chemical Engineering Education DA Tool in Process Design and Process Integration, Int. J. Engng Ed. Vol. 20, No. 6, 928-938.

Shinsato Jr, Ch., de Mattos Veroneze G., da Costa Craveiro, J M., Neto, T M. (2023). Proposal of an inventory control system based on the flow of materials in a warehouse using Excel/VBA, E-tech-Vol.16, Iss:1

Szymczak, M. (red.) (2011). Decyzje logistyczne z Excelem, Difin S.A., Warszawa.

Szymonik, A. (2010). Technologie informatyczne w logistyce, Placet, Warszawa.

Szymonik, A. (2015). Informatyka dla potrzeb logistyka (I), Difin S.A., Warszawa.

Zhang, C. i Shao, X. (2020). Research on intelligent analysis of port logistics information based on dynamic data mining, Journal of Coastal Research, vol. 115.

(www_1.1) <https://blog.strefakursow.pl/wprowadzenie-do-analizy-danych-kluczowe-pojecia-i-narzedzia-dla-poczatkujacych/>, dostęp 28.11.2023

(www_1.2) <https://www.xblue.pl/co-to-jest-i-do-czego-sluz-y-arkusz-kalkulacyjny/>, dostęp 26.11.2023

(www_1.3) <https://www.projektgamma.pl/strefa-wiedzy/wiki-eksperckie/microsoft-office-excel-w-logistyce/>, dostęp 04.01.2024



2. METODY WIZUALIZACJI DANYCH

W rozdziale podjęto tematykę wizualizacji danych i wykorzystaniu jej w celu skuteczniejszej i dokładniejszej analizy danych. Do najważniejszych zagadnień tego rozdziału zaliczyć można:



- potrzeby wykorzystywania wizualizacji danych i płynące z tego korzyści,
- rodzaje wizualizacji danych – kiedy i jakie wizualizacje stosować,
- porównanie wykresów względem ich własności,
- opisanie dashboardów,
- opisanie koncepcji budowy dashboardów.

2.1. Wprowadzenie

W aktualnych czasach nie sposób wyobrazić sobie funkcjonowanie świata bez analizy danych. Przy ogromie dostępnych informacji, to właśnie wizualizacja danych jest jednym z bardziej istotnych narzędzi, które pomaga w ich zrozumieniu, wyciąganiu wniosków i w efekcie podejmowania decyzji biznesowych (Buono, 2016). Dzieję się tak, ponieważ wykresy i dashboardy są przejrzyste i skutecznie ułatwiają zrozumienie danych. Metody wizualizacji pomagają w analizie danych i w przekształcaniu ich w informacje i wiedzę na temat biznesu. Dzięki wizualizacji danych łatwiej jest podejmować decyzje biznesowe w oparciu o fakty, a nie tylko przeczucie (Graudina i Grundspenkis, 2005). Same metody wizualizacji danych rozwijają się wraz z rozwojem technologii a głównie narzędzi BI. To właśnie rozwój BI spopularyzował Dashboardy, które pozwalają użytkownikom analizowanie oraz monitorowanie danych w czasie rzeczywistym (Tezel i in., 2009).

W tym rozdziale została podjęta tematyka wyboru różnych rodzajów wykresów a ponadto został omówiony proces powstawania dashboardów. Wyróżnia się wiele typów wykresów, między innymi wykresy kolumnowe, słupkowe, liniowe, kołowe, warstwowe, giełdowe, powierzchniowe, radarowe, pierścieniowe, punktowe, lejkowe, rozproszenia, ale



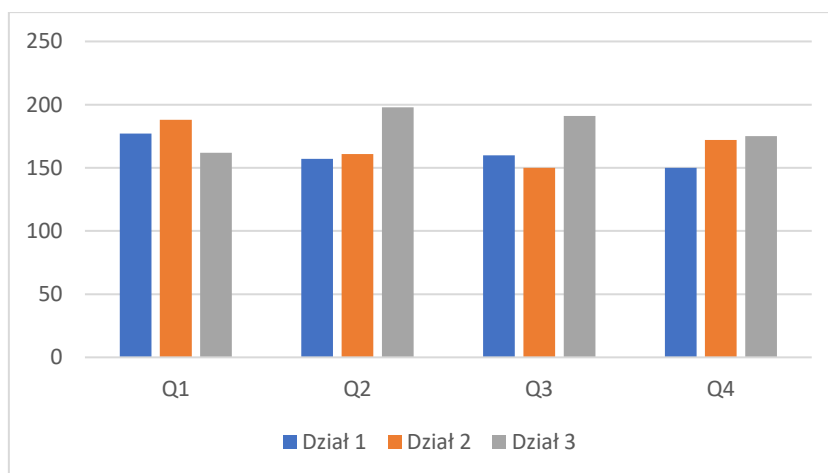
także histogramy, mapy cieplne, czy mapy drzewa. Wybór wykresu należy dopasować do typu analizowanych danych oraz należy warunkować poprzez potrzebę przeprowadzanej analizy.

Wszelkiego rodzaju wizualizacje danych pozwalają na lepsze ich zrozumienie. Wizualizacje pozwalają na zwrócenie uwagi na najważniejsze rzeczy, odchylenia, oraz trendy. Dodatkowo ukazanie danych na wykresach, mapach, dashboardach konwertują dane na informacje, co może skutkować przybliżeniem się do wiedzy potrzebnej do podejmowania decyzji biznesowych (Hansoti, 2010).

2.2. Metody wizualizacji danych

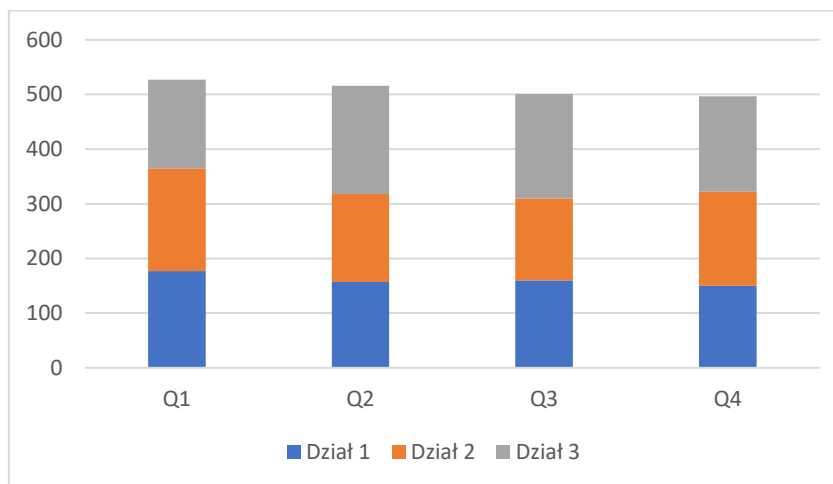
Wykresy kolumnowe

Wykresy kolumnowe (układ pionowy) oraz słupkowe (układ poziomy) są jednymi z najbardziej znanymi i wykorzystywanymi wykresami. Za pomocą słupków ukazują wartość danych kategorii, gdzie długość słupków reprezentuje wartość danych. Czym wyższa wartość tym słupek wyższy. Dzięki wykresom kolumnowym można porównać wielkość kategorii, a przede wszystkim porównywać różnice między nimi. Kategoriami może być czas, miernik (np. sprzedaż, koszty, marża), miejsce, lokalizacja. Wykresy mogą być skumulowane, gdzie kilka kategorii będzie w jednym słupku per czas lub grupowany, gdzie wszystkie kategorie będą obok siebie. Poszczególne kategorie mogą być grupowane ze sobą (www_2.1).



Rysunek 2.1. Wykres kolumnowy grupowany

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 2.2. Wykres kolumnowy skumulowany

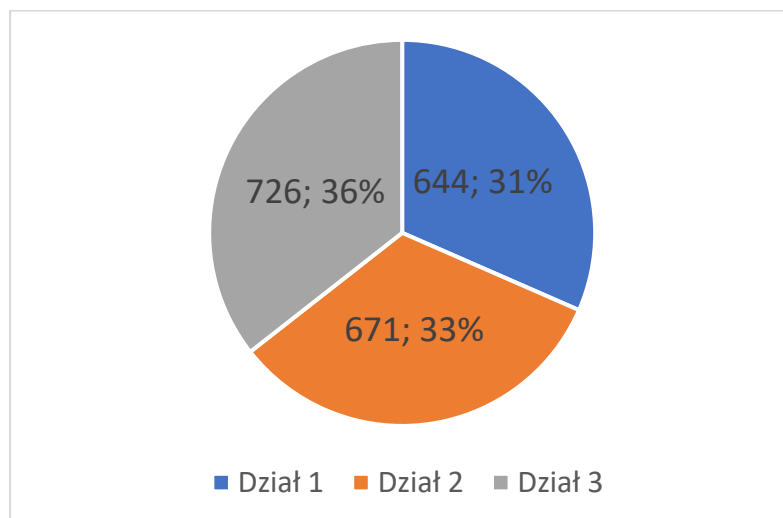
Źródło: opracowanie własne

Na wskazanych rysunkach 2.1 oraz 2.2 można zauważyć różnice pomiędzy wykresem skumulowanym a grupowanym. Wykresy można w różny sposób grupować ze sobą, dzięki czemu na te same dane możemy patrzeć z różnych perspektyw. Wykresy słupkowe często wykorzystywane są do prezentowania wyników sprzedaży, marży per okręg, czy do prezentowania poparcie dla partii politycznych podczas wyborów.

Wykresy kołowe

Wykresy kołowe to kolejny popularny wykres, który prezentuje udział różnych kategorii w całości miernika. Wykresu nie powinno się wykorzystywać do danych w perspektywie zmiany czasu, ale jest poprawny do analizy zbiorczej (rok, kwartał, miesiąc). Wykres uwypukla dominującą kategorię pod względem np. wartości sprzedaży (www_2.1).

Rysunek 2.3 przedstawia rozkład sprzedaży w wykresie kołowym. Wycinek koła jest tym większy czym większy udział wartości badanej kategorii w całości. Wykres można z powodzeniem wykorzystywać przy prezentacji struktury budżetu, czy ukazywaniu struktury sprzedaży per pion lub oddział (www_2.2).

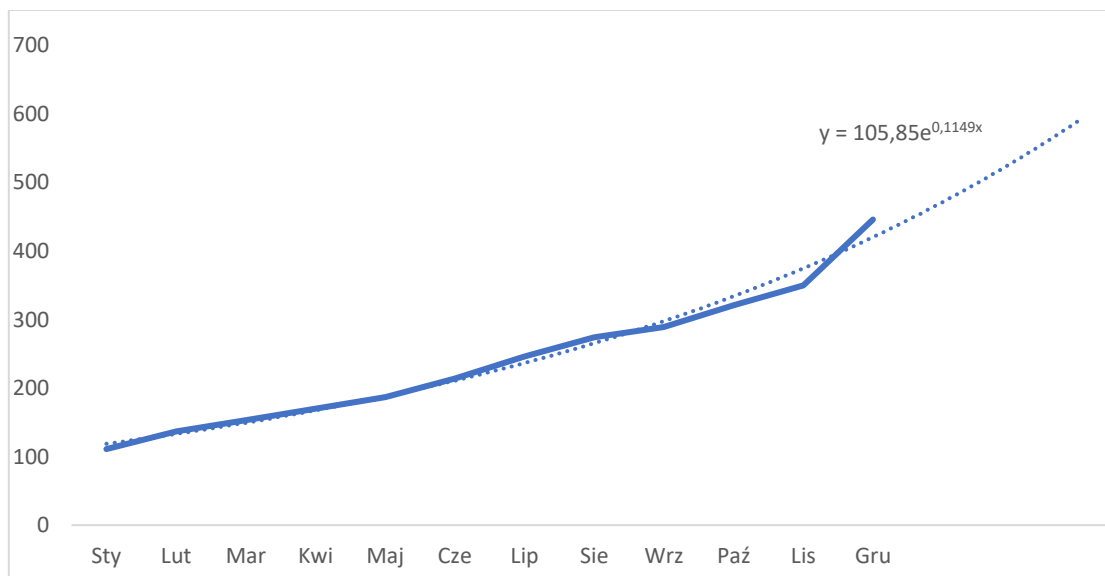


Rysunek 2.3. Wykres kołowy

Źródło: opracowanie własne

Wykresy liniowe

Wykresy liniowe to wykresy, za pomocą których można przedstawić dane w perspektywie czasu. Dzięki takiemu podejściu możemy w łatwy sposób analizować trend, dynamikę trendu, czy nawet prognozować wartości w czasie przyszłym (www_2.3).



Rysunek 2.4. Wykres liniowy

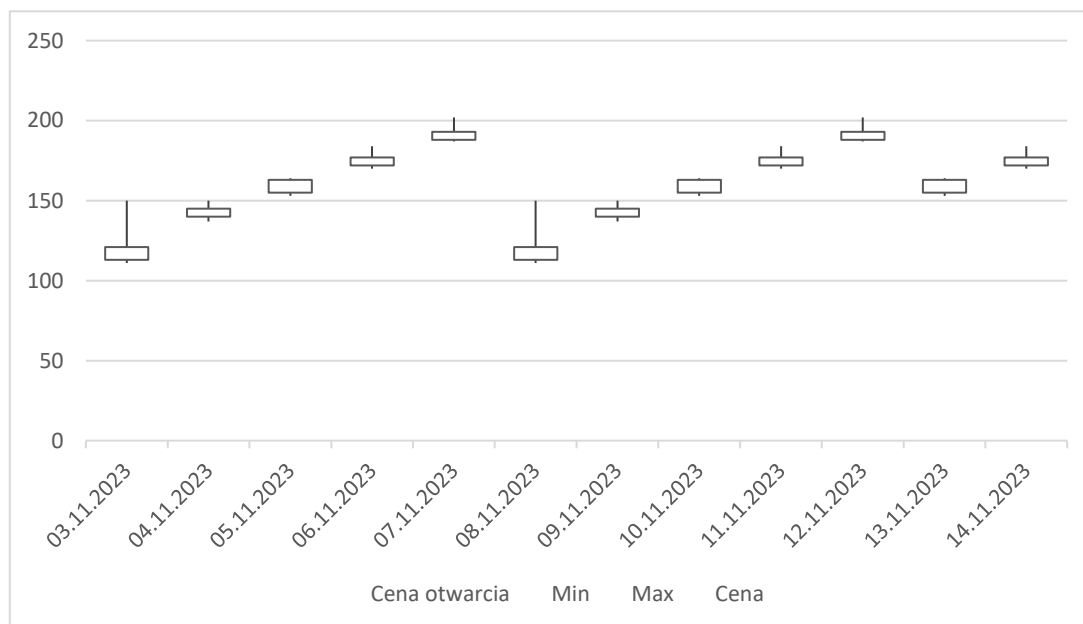
Źródło: opracowanie własne



Rysunek 2.4 przedstawia sprzedaż per miesiąc, wraz z zademonstrowaniem trendu wykładniczego tejże sprzedaży. Wykres liniowy to połączenie punktów ukazujących wielkość danej kategorii per czas. Wykresy można stosować do prezentowania kursów walut, czy ukazywani trendu sprzedaży danego produktu (www_2.1).

Wykresy giełdowe

Za pomocą wykresów giełdowych wykorzystuje się do przedstawiania cen akcji na giełdzie. Wykres jest w stanie pokazać cenę otwarcia, zamknięcia oraz wartości minimalną i maksymalną w określonym czasie (www_2.4).



Rysunek 2.5. Wykres giełdowy

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 2.5 przedstawia cenę otwarcia oraz zamknięcie akcji od 3 listopada do 14 listopada 2023 roku, wraz z wartościami maksymalnymi i minimalnymi z tego zakresu. Wykres służy do przedstawiania cen kursów akcji, walut (www_2.2).

Wykresy powierzchniowe

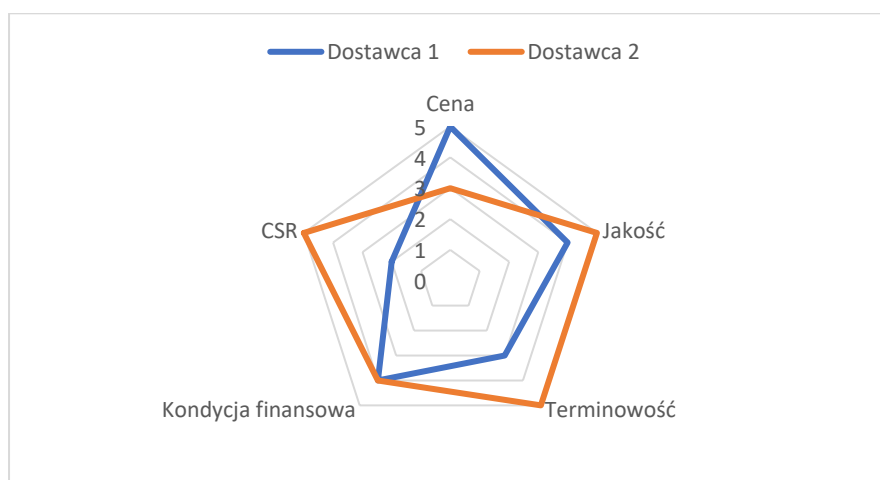
Wykresy powierzchniowe dają możliwość przedstawienia trójwymiarowych danych na dwuwymiarowym wykresie. Pozwalają na ukazanie dwóch zmiennych niezależnych wraz z jedną zmienną zależną. Zmienna zależna jest ukazywana za pomocą różnych kolorów lub



wysokości. Wykres można wykorzystać na przykład do modelowania topografii terenu (www_2.5).

Wykresy radarowe

Wykresy radarowe są używane do ukazywania wielu zmiennych dla wybranych kategorii. Wykresu nie wykorzystuje się w perspektywie czasu, ale nadaje się oceny danej kategorii, np. do oceny umiejętności zawodnika sportowego i jego umiejętności, ale także spełnienia kryteriów przez dostawcę usług (www_2.4).



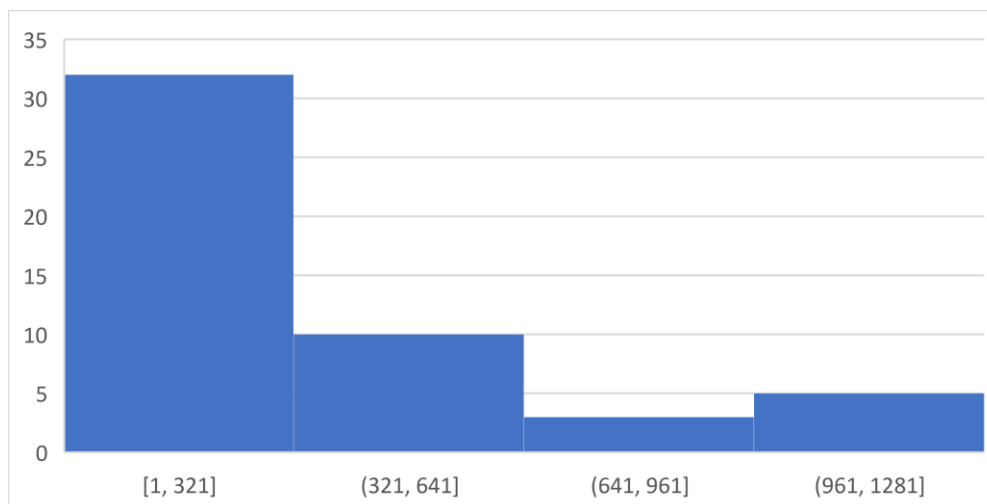
Rysunek 2.6. Wykres radarowy

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 2.6 przedstawia wykres radarowy na którym ocenione są poszczególne cechy każdego z dostawców. Wykres pozwala na porównanie ich wzajemnie, tak aby wybrać dostawcę najlepiej dopasowanego do potrzeb podmiotu analizującego.

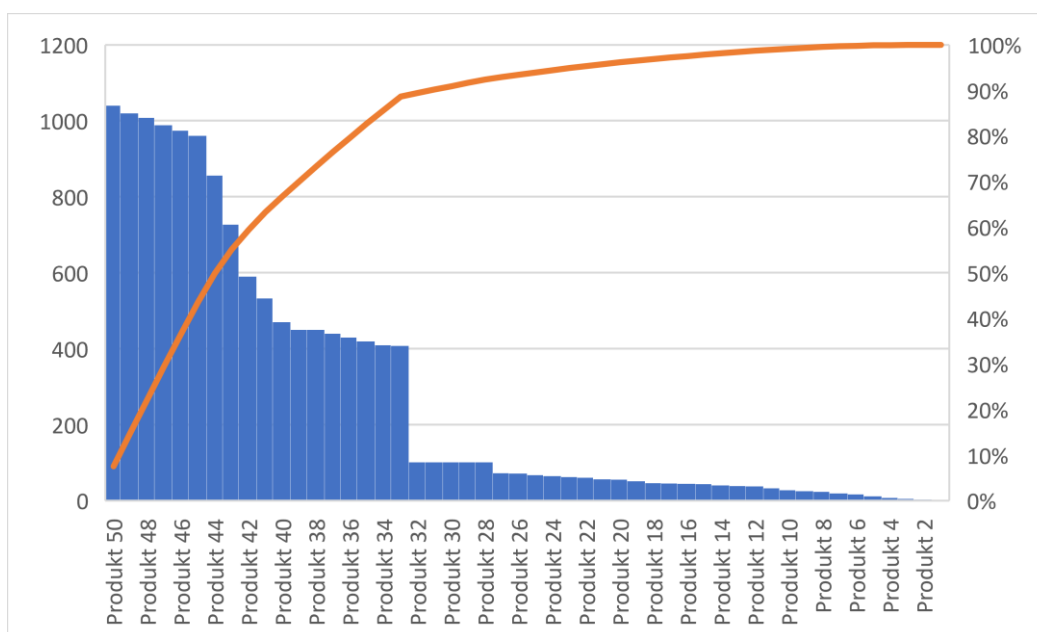
Histogramy

Za pomocą histogramów można zaprezentować rozkład danych numerycznych, co wpływa na lepsze zrozumienie rozkładu wokół średniej wartości oraz umożliwia zidentyfikowanie rozmiarów grup. Histogramy są używane do badań statystycznych tym do badania rozkładów w danej populacji (www_2.2).



Rysunek 2.7. Histogram

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 2.8. Wykres Pareto

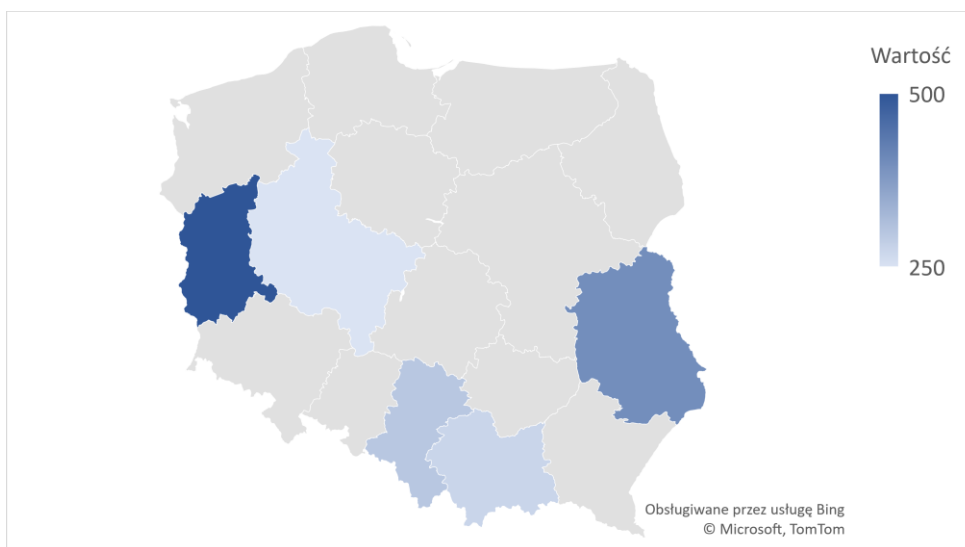
Źródło: opracowanie własne

Rysunki 2.7 i 2.8 przedstawiają rozkład sprzedaży za pomocą histogramu oraz Pareto i krzywej Lorenza. Widoczne są 4 grupy rozkładu, gdzie największa pula to najmniejsi Klienci. Wykorzystując wykres Pareto można zwrócić uwagę, ilu pierwszych Klientów odpowiada za jaki procent sprzedaży.



Mapy ciepłne

Mapy służą do wizualizacji danych z uwzględnieniem geolokalizacji lub jednostek terytorialnych. Tereny zaznaczone przyjmują coraz ciemniejsze barwy, przy większych wartościach. Na mapach można dodatkowo zawierać różnego rodzaju wykresy. Na mapach można także nanosić oś czasu, dzięki czemu można obserwować zmiany wartości per wybrana lokalizacja (www_2.4).



Rysunek 2.9. Mapa ciepłna

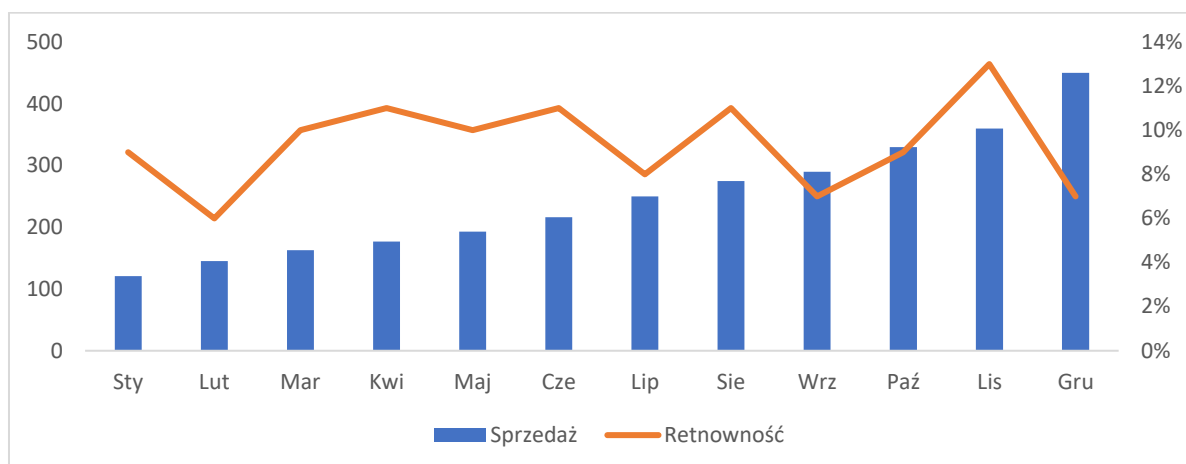
Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 2.9 ukazano mapy ciepł, w której wyróżniono sprzedaż per region. Można zauważyć, że najwyższa sprzedaż jest w województwie Lubuskim w Polsce.

Wykresy kombi

Wykresy kombi to kombinacja kilku wykresów wymienionych wyżej. Mogą służyć do wizualizacji różnych danych. W takich wykresach można użyć pomocniczej osi danych, w celu dogodniejszej wizualizacji danych. Taki wykres można wykorzystać do analizy chociażby sprzedaży oraz rentowności (www_2.2).

Na rysunku 2.10 ukazano sprzedaż z rentownością, gdzie użyto osi pomocniczej. Wykres można wykorzystać do wielu analiz, gdzie jest potrzeba wykorzystania różnych wykresów.



Rysunek 2.10. Wykres kombi

Źródło: opracowanie własne

Dashboardy

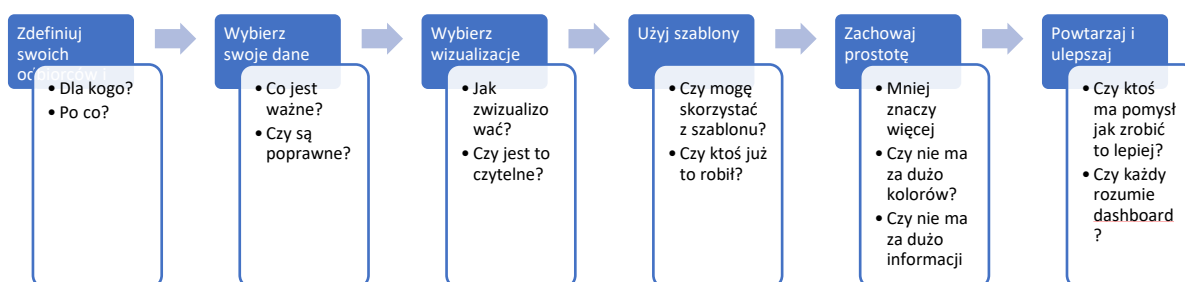
Dashboardy to zbiór wielu wykresów, map, tabel, które umożliwiają monitorowanie i analizowanie danych, KPI i wyników operacyjnych i finansowych. Dashboardy mogą przedstawiać wyniki w czasie rzeczywistym oraz mogą być w pełni elastyczne i kaskadowe. Interaktywność dashboardów pozwala na pogłębianie analiz i przechodzenie od ogółu do szczegółu. Celem Dashboardów jest wspomaganie zarządzania biznesem, czyli dane muszą dostarczać informacji potrzebnych do podejmowania decyzji biznesowych (www_2.2).

Dashboardy można przyrównać jak sama nazwa wskazuje do deski rozdzielczej samochodu na której znajdują się najważniejsze informacje, wskaźniki, mierniki, trendy na temat badanych danych (www_2.6). Interaktywność, czyli filtrowanie danych, możliwość dochodzenie od ogółu do szczegółu jest wyróżnikiem dashboardów. Wszelkiego rodzaju interaktywne przyciski/filtry powinny być przyjazne dla użytkownika i łatwe do codziennej pracy (www_2.6).

Umożliwiają szybkie i skuteczne podejmowanie decyzji kadrze kierowniczej, analitykom oraz managerom, ponieważ przekazują informacje na temat wydajności procesu, dzięki czemu wszyscy odbiorcy dashboardu mogą lepiej rozumieć biznes. Dodatkową korzyścią jest śledzenie realizacji celów, oraz skupienie się na najważniejszych informacjach. Kolejną zaletą jest, że



można w łatwy sposób wyodrębnić najmniej efektywne etapy procesów, albo największe odchylenia od celów, dzięki czemu zdecydowanie szybciej można wprowadzić działania korygujące. Dashboardy budują przewagę nad tradycyjnymi raportami, tym że przedstawiają dane w praktyce w czasie rzeczywistym (www_2.7).



Rysunek 2.11. Jak stworzyć Dashboard

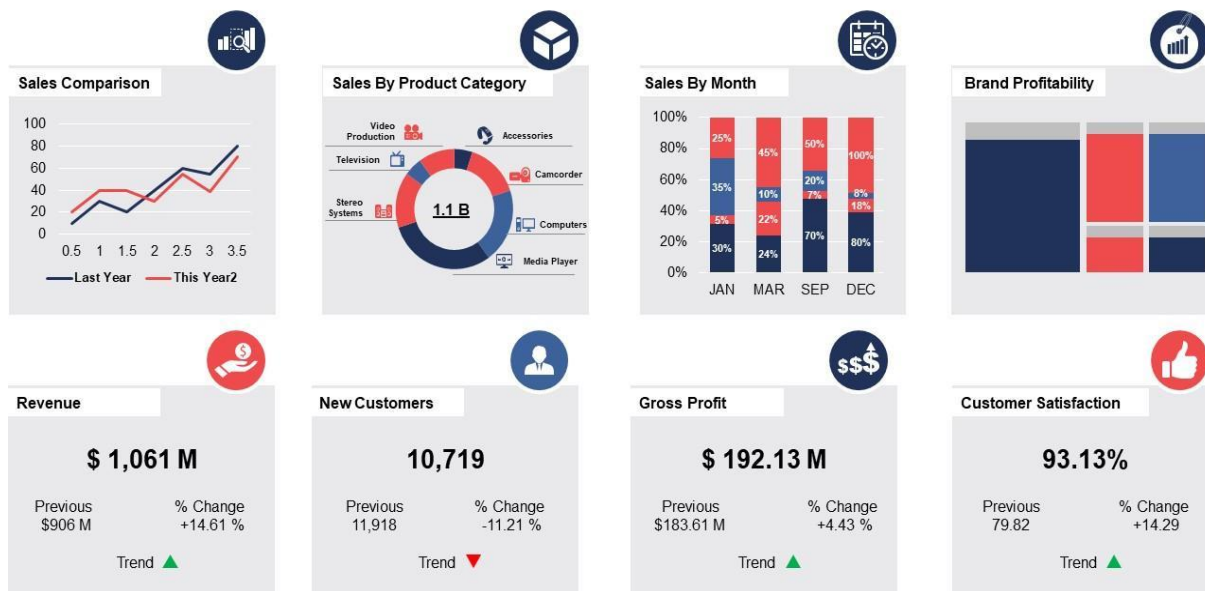
Źródło: opracowanie własne na podstawie: (www_2.8)

Na rysunku 2.11 ukazano krok po kroku jak powinno podejść się do tworzenia dashboardu. Najważniejsze to znać powód tworzenia raportu, komu ma on pomagać lepiej wykonywać swoją pracę i co chcemy osiągnąć. W następnym kroku trzeba wiedzieć z jakich danych należy korzystać, oraz upewnić się czy są one poprawne. Kolejnym krokiem jest odpowiednie dopasowanie wizualizacji do danych, lub użycie dostępnych szablonów. Najważniejsze są ostatnie kroki, ponieważ tworząc dashboard należy pamiętać, że musimy pamiętać, że mniej znaczy więcej i że dashboard ma być użyteczny dla odbiorcy. Oznacza to, że ma być czytelny, przejrzysty, przyjemny dla oka, a także, że twórca dashboardu powinien go modyfikować jeśli odbiorca tego wymaga (www_2.8).

Na rysunku 2.12 przedstawiono przykładowo wykonany dashboard sprzedażowy, gdzie widoczna jest sprzedaż do największych Klientów i porównanie ich do ubiegłego roku. Uwzględniono również wykonanie celów sprzedażowych, oraz podział tej sprzedaży na regiony. Dashboardy sprzedażowe pozwalają na śledzenie sprzedaży i odpowiednio szybką interwencję w razie niespodziewanych spadków, lub nie wykonywania budżetu.



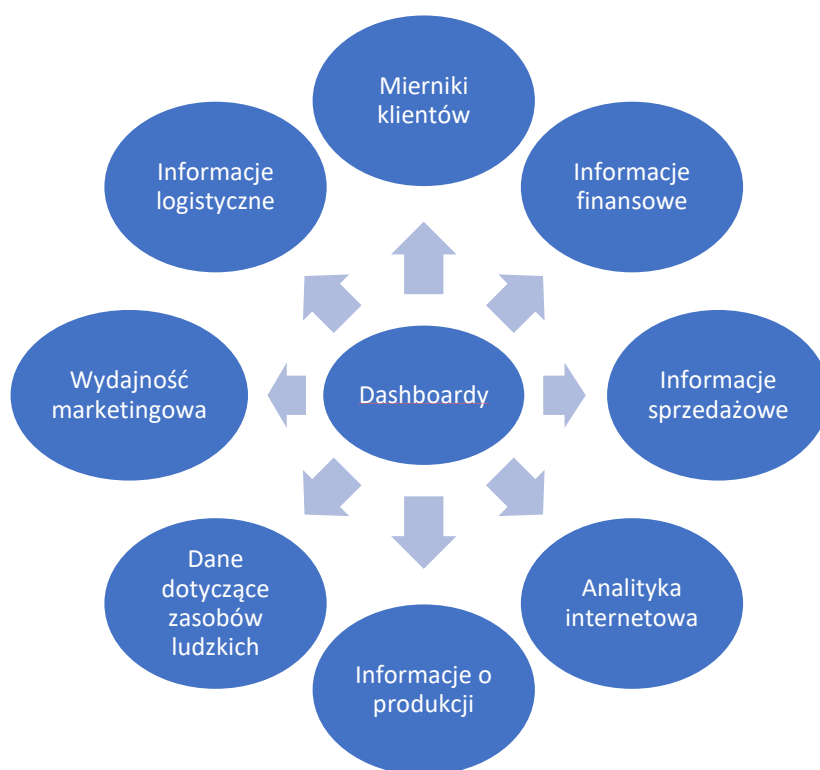
Sales Performance Dashboard Template 1 of 2



Rysunek 2.12. Przykład dashboardu sprzedażowego

Źródło: (www_2.9)

Praktycznie nie ma dziedziny w której nie można by zastosować dashboardów w celu udoskonalania procesów oraz podejmowania słusznych decyzji biznesowych. Wizualizacja danych za pomocą dashboardów buduje świadomość pracowników na temat operacji praktycznie w każdym możliwym procesie (rys. 2.13).



Rysunek 2.13. Wykorzystanie dashboardów

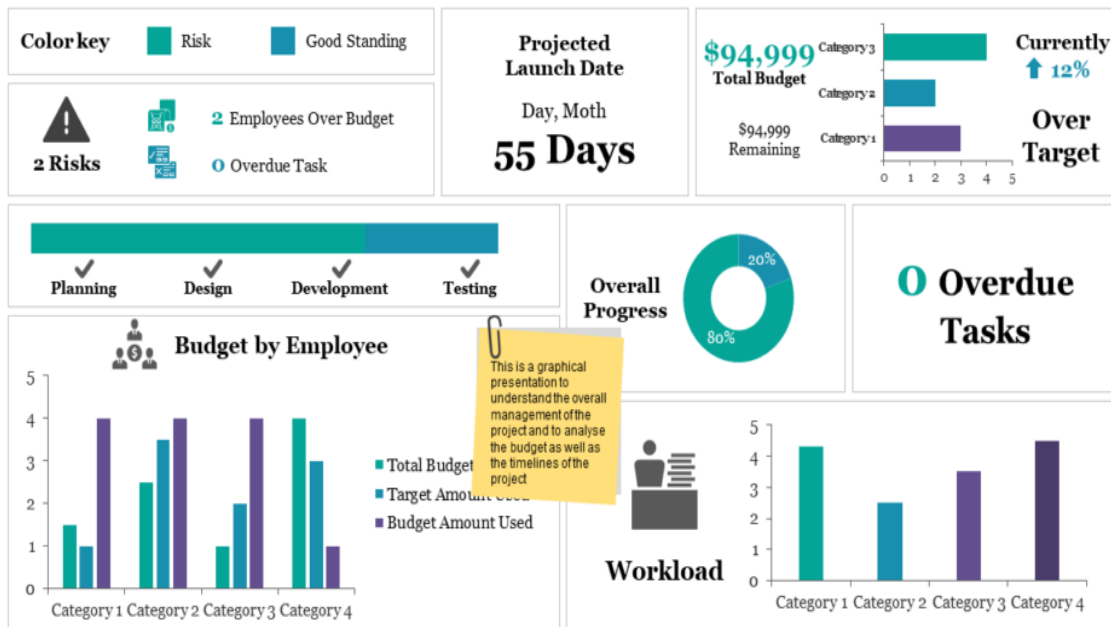
Źródło: opracowanie własne na podstawie: (www_2.8)

Dashboardy najłatwiej jest tworzyć za pomocą programów takich jak Power BI, Qlik, Tableau, Google Data Studio i innych narzędziach klasy Business Intelligence. Dodatkowo alternatywna jest wykorzystanie najbardziej popularnego „arkusza kalkulacyjnego” czyli MS Excel.

Na rysunku 2.14 ukazano przykład dashboardu wspomagającego zarządzanie projektami. Wizualizacja wspomaga podgląd realizacji pracy, wskazuje na zagrożone etapy. W wizualizacji użyto kilka typów wykresów, które są ze sobą spójne graficznie.



Project Management Dashboard



This graph/chart is linked to excel, and changes automatically based on data. Just left click on it and select "Edit Data".

Rysunek 2.14. Przykład dashboardu operacyjnego

Źródło: (www_2.10)

2.3. Porównanie typów wykresów

Wizualizacja danych to możliwość poznania danych i wyciągnięcie z nich wiedzy, która wspiera prowadzenie biznesu. Odpowiedni dobór wykresów, map lub kompleksowo stworzonych dashboardów może budować przewagę konkurencyjną. Narzędzia powinny dawać możliwość wchodzenia w szczegóły analiz, tak aby odbiorca wizualizacji był w stanie wyciągnąć interesujące go wnioski.



Tabela 2.1. Porównanie typów wykresów względem ich własności

Typ Wykresu	Nadaje się do analizy trendu	Poprawnie ukazuje miarę czasu	Idealny do porównywania wielkości kategorii	Skuteczny w ukazywaniu danych procentowych	Dobry do prezentacji relacji między zmiennymi	Przystępny dla szerokiej publiczności
Kolumnowy	Nie	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak
Liniowy	Tak	Tak	Nie	Nie	Tak	Tak
Kołowy	Nie	Nie	Tak	Tak	Nie	Tak
Warstwowy	Nie	Nie	Tak	Tak	Nie	Tak
Giełdowy	Tak	Tak	Nie	Nie	Tak	Tak
Powierzchniowy	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak	Tak
Radarowy	Nie	Nie	Tak	Nie	Tak	Nie
Punktowy	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak	Tak
Histogram	Nie	Nie	Tak	Nie	Nie	Tak
Mapa Ciepła	Nie	Nie	Tak	Tak	Nie	Tak
Kombi	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie tabeli 2.1 można dobrać odpowiedni typ wykresu do swoich potrzeb.

Pytania do rozdziału

1. Jakie mogą wystąpić wyzwania podczas tworzenia dashboardów?
2. Czy wybór typu wykresu wpływa na interpretację danych i podejmowanie decyzji?
Uzasadnij wypowiedź.



LITERATURA

Buono, P. (2016). Visualizing Transportation Routes for Data Analysis in Logistics, 210-215. 10.18293/DMS2016-040.

Graudina, V. i Grundspenkis, J. (2005). Technologies and Multi-Agent System Architectures for Transportation and Logistics Support: An Overview. s.l., International Conference on Computer Systems and Technologies.

Hansoti B. (2010). Business Intelligence Dashboard in Decision Making (Unpublished master thesis). College of Technology Directed Projects. Paper 15. <http://docs.lib.purdue.edu/techdirproj/15>

Tezel, A. i Koskela, L. i Tzortzopoulos, P. (2009). The Functions of Visual Management. Presented at International Research Symposium, Salford, UK.

(www_2.1) <https://www.ibm.com/docs/en/planning-analytics/2.0.0?topic=charts-chart-types>, (dostęp 2023.11.09)

(www_2.2) <https://powerbi.microsoft.com/en-us/excel-and-power-bi/>, (dostęp 2023.11.09)

(www_2.3) <https://www.simplilearn.com/types-of-data-visualization-article>, (dostęp 2023.11.09)

(www_2.4) <https://datavizcatalogue.com/>, (dostęp 2023.11.09)

(www_2.5) <https://visme.co/blog/data-visualization-types/>, (dostęp 2023.11.09)

(www_2.6) <https://www.arimetrics.com/en/digital-glossary/dashboard>, (dostęp 2023.11.09)

(www_2.7) <https://insightsoftware.com/encyclopedia/dashboards-dashboarding/>, (dostęp 2023.11.09)

(www_2.8) <https://www.tableau.com>, (dostęp 2023.11.09)

(www_2.9) <https://www.slideteam.net/sales-performance-dashboard-sales-comparison-sales-by-product-category.html>, (dostęp 2023.11.09)

(www_2.10) <https://www.slideteam.net/blog/operational-dashboard-templates-ppt-presentation> (dostęp 2023.11.09)



3. OPTYMALIZACJA W ZARZĄDZANIU ŁAŃCUCHEM DOSTAW



W rozdziale przedstawione zostały najważniejsze zagadnienia związane z zarządzaniem zapasami. Szczególny nacisk został położony na analizę danych logistycznych, dla których można wykorzystać arkusz kalkulacyjny. Znajdziesz tutaj:

- pojęcie optymalizacji w logistyce,
- rola magazynu w łańcuchu dostaw,
- wyznaczanie powierzchni magazynowej,
- wybrane metody zarządzania zapasami w łańcuchu dostaw,
- narzędzie Solver.

3.1. Optymalizacja w logistyce

Optymalizacja w logistyce to proces polegający na znalezieniu najbardziej efektywnego sposobu organizacji przepływu towarów, informacji i zasobów w całym łańcuchu dostaw, od punktu początkowego do końcowego, z minimalizacją kosztów operacyjnych, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej jakości i spełnieniu wymagań klienta (Reszka, 2012). Celem optymalizacji w logistyce jest poprawa różnych takich aspektów działalności, jak (Antoniuk i in., 2021; Gupta i in., 2022; Kauf i Tłuczak, 2016; Konarzewska i in., 2020):

- zmniejszenie czasu przepływu towarów,
- optymalizacja kosztów transportu, magazynowania i obsługi,
- poprawa jakości usług logistycznych,
- zwiększenie elastyczności i zdolności reagowania na zmiany w popycie,
- zmniejszenie ilości zapasów przy jednoczesnym zapewnieniu ciągłości dostaw,
- poprawa zarządzania przestrzenią magazynową i zasobami transportowymi,
- zintegrowanie i automatyzacja procesów logistycznych.



Logistyczne modele optymalizacyjne są stosowane w odniesieniu do (Tylicki i Bartol, 2017; Smyk, 2023):

- projektowania sieci dystrybucji (wyznaczanie lokalizacji centrów dystrybucji) – opisane w rozdziale Optymalizacja sieci logistycznej,
- projektowania systemów transportowych (optymalizacja zadań transportowych, minimalizacja pustych przebiegów, wyznaczanie tras dostaw) – opisane w rozdziale Optymalizacja transportu,
- zarządzania zapasami (rozmieszczenie zapasów, szacowanie ich wielkości, wyznaczanie terminów składania zamówień) – opisane w rozdziale Analityka w obszarze zaopatrzenia i zakupów oraz poniżej w podrozdziale Wybrane metody zarządzania zapasami w łańcuchu dostaw,
- projektowania i zarządzania działaniami w magazynach (maksymalizacja efektywności przestrzeni magazynowej) – opisane w podrozdziale Wyznaczanie powierzchni magazynowej.

W kontekście modeli optymalizacyjnych istnieje wiele metod optymalizacyjnych, gdzie główna klasyfikacja tych metod bazuje na typie zadania optymalizacyjnego, które ma być rozwiązane. Można wyróżnić następujące **metody optymalizacyjne** ze względu na (Jayarathna i in., 2021; Kusiak i in., 2021):

- rodzaj rozwiązywanego zadania: metody programowania liniowego, metody optymalizacji nieliniowej,
- ograniczenia: metody optymalizacji bez ograniczeń, metody optymalizacji z ograniczeniami,
- wymiar problemu (liczba zmiennych optymalizacji): metody jednowymiarowe, metody wielowymiarowe (wiele zmiennych optymalizacji),
- kryteria optymalizacji: metody dla pojedynczego kryterium; metody wielokryterialne (wiele kryteriów optymalizacji).

W logistyce najczęściej uwzględnia się liczbę kryteriów i formułuje zadania optymalizacyjne jedno- i wielokryterialne. W praktyce zazwyczaj rozwiązuje się jednokryterialne zadania optymalizacyjne, głównie z powodu prostoty modeli i ich łatwego zastosowania. Zadania optymalizacyjne wielokryterialne wymagają skomplikowanych modeli,



co często prowadzi do sytuacji, w której rozwiązanie optymalne według jednego kryterium może negatywnie wpływać na wynik zgodny z celem innego kryterium. W rezultacie, rozwiązania wielokryterialne wymagają wypracowania kompromisu pomiędzy różnymi funkcjami celu, co utrudnia określenie jednoznacznie najlepszego, optymalnego rozwiązania (Smyk, 2023). W związku z tym poszukując kryteriów i celów cząstkowych dla optymalizacji zadań logistycznych należy zadbać o to, aby były one (Kauf i Tłuczak, 2016; Silva i in., 2005):

- kompletne (mające wpływ na określony problem decyzyjny),
- niepowtarzające się,
- ograniczone do minimum (dążenie do jak najmniejszego rozmiaru problemu decyzyjnego),
- operacyjne (mieralne),
- różnicujące rozwiązania (możliwość wskazania rozwiązania najlepszego – optymalnego).

W działalności gospodarczej ważne jest, aby kryterium optymalizacyjne było wyraźnie zdefiniowane, a model optymalizacyjny powinien odpowiadać zasadniczej naturze analizowanego problemu (Smyk, 2023). Kryterium to jest nazywane funkcją celu i jest wybierane w kontekście podejmowanej decyzji lub na wstępnym etapie planowania logistycznego. Ta funkcja służy jako miernik do oceny jakości rozwiązania, gdzie rozwiązanie optymalne jest osiągnięte, gdy funkcja przyjmuje ekstremum (minimum lub maksimum) (Gupta i in., 2022).

3.2. Rola magazynu w łańcuchu dostaw

W nowoczesnym systemie logistycznym każda manipulacja materiałami podlega dokładnej weryfikacji już na etapie projektowania. Bardzo ważną rolę zaczynają odgrywać nawet drobne przesunięcia dóbr na krótkie odległości, które zazwyczaj odbywają się w obrębie budynku oraz między obiektem i pośrednikiem transportowym. **Magazyn** przeznaczony jest do magazynowania dóbr materialnych w wyodrębnionej przestrzeni budowli magazynowej, według ustalonej technologii, wyposażonej w odpowiednie urządzenia i środki techniczne, zarządzanej i obsługiwanej przez zespół ludzi wyposażonych w odpowiednie umiejętności (Miszewski, 2019). Możliwie najlepsze ulokowanie towaru na danej przestrzeni pozwala na



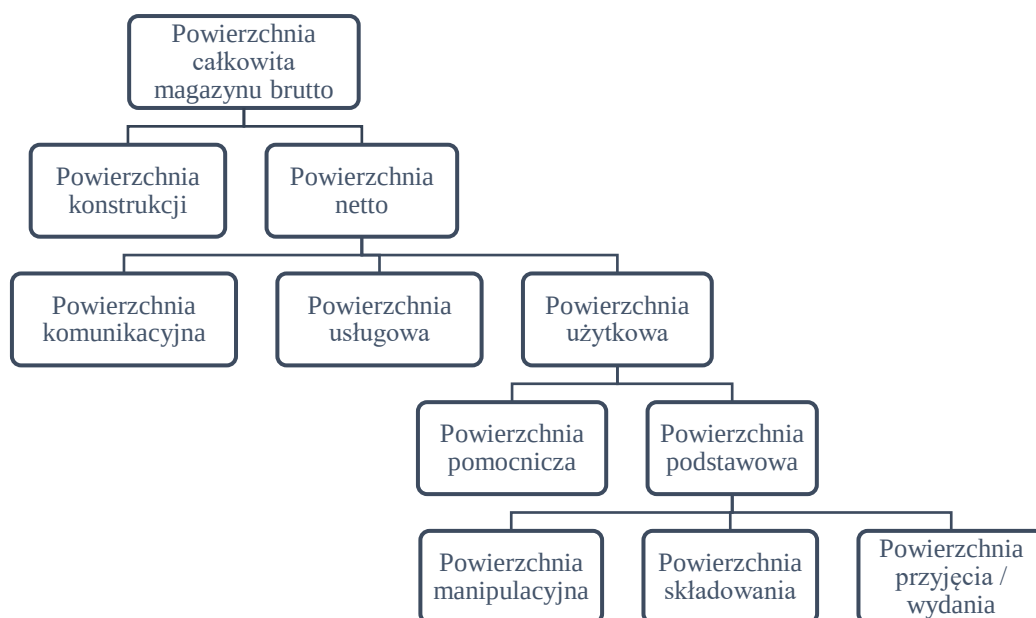
pełniejsze wykorzystanie ograniczonej pojemności obiektu oraz zmniejszenie liczby manipulacji danym zapasem (Ghiani, 2004; Muller, 2002).

W kontekście łańcucha dostaw, magazyn odgrywa niezwykle istotną rolę, stanowiąc kluczowe centrum koordynacji i przechowywania towarów, co jest niezbędne do zapewnienia płynności przepływu produktów od producentów do konsumentów. Jego funkcjonowanie ma zasadnicze znaczenie dla efektywnego zarządzania zapasami, co pozwala na minimalizację ryzyka wystąpienia braków i nadmiarów, utrzymując tym samym równowagę między popytem a podażą. Ponadto, magazyn pełni ważną rolę w procesie kontroli jakości, oferując możliwość sprawdzenia i przygotowania produktów do dalszej dystrybucji, co gwarantuje ich zgodność ze standardami i oczekiwaniami klientów. Wprowadzenie nowoczesnych systemów zarządzania magazynem (WMS) przyczynia się do znaczącej optymalizacji procesów logistycznych, co z kolei zwiększa efektywność operacyjną i pozwala na redukcję kosztów operacyjnych. Wreszcie, magazyny są niezwykle ważne w adaptacji łańcucha dostaw do dynamicznie zmieniających się warunków rynkowych, umożliwiając organizacjom szybką reakcję na ewolucję popytu i zmieniające się preferencje konsumentów, co jest kluczowe w utrzymaniu konkurencyjności na rynku (Gu i in., 2007; Ramaa i in., 2012).

3.3. Wyznaczanie powierzchni magazynowej

Podstawowe wymagania w operacjach magazynowych obejmują przyjmowanie **jednostek magazynowych** (Stock Keeping Unit, SKU) od dostawców, przechowywanie jednostek SKU, przyjmowanie zamówień od klientów, pobieranie jednostek SKU i składanie ich do wysyłki oraz wysyłanie skompletowanych zamówień do klientów. Projektowanie i obsługa magazynu spełniającego te wymagania wiąże się z wieloma kwestiami. Zasoby, takie jak przestrzeń, siła robocza i sprzęt, należy rozdzielić pomiędzy różne funkcje magazynu, a każdą funkcję należy starannie wdrożyć, obsługiwać i koordynować, aby spełnić wymagania systemowe pod względem pojemności, przepustowości i usług na poziomie minimalny koszt zasobów. Magazynowanie zajmuje się organizacją towarów znajdujących się w magazynie w celu uzyskania wysokiego wykorzystania przestrzeni i umożliwienia sprawnego transportu materiałów (Gu i in., 2007).

Funkcję przechowywania kształtują trzy podstawowe decyzje, tj. ile zapasów należy przechowywać w magazynie dla danego SKU; jak często i o której godzinie należy uzupełniać zapasy dla jednostki SKU; oraz gdzie należy przechowywać SKU w magazynie oraz rozprowadzać je i przenosić pomiędzy różnymi obszarami magazynowania. Pierwsze dwa pytania prowadzą odpowiednio do problemów związanych z wielkością partii i problemami, które należą do tradycyjnego obszaru kontroli zapasów (Hariga i Jackson, 1996). Dwa główne kryteria przy podejmowaniu decyzji dotyczących przydziału do stref magazynowania to efektywność przechowywania, która odpowiada pojemności przechowywania oraz efektywność dostępu, która odpowiada zasobom zużywanym przez sprzedaż i kompletację zamówień (Gu i in., 2007).



Rysunek 3.1. Podział powierzchni magazynowej

Źródło: (Dudziński i Kizyn, 2002)

Obliczenie powierzchni magazynowej wymaga uwzględniania jej różnych rodzajów (rys. 3.1). W przedsiębiorstwie na powierzchni użytkowej wydziela się strefy odpowiadające fazom procesu magazynowania: przyjęcie, składowanie (krótko i długoterminowe), kompletacja, wydanie oraz powierzchnię manipulacyjną i pomocniczą. Wielkość i kształt magazynu zależy od następujących zmiennych:

- rodzaje, liczba i wymiary stanowisk na których wykonywane są czynności magazynowe w strefie przyjęć i wydań,



- wymiary i ilości pól składowych w sferze składowania,
- wymiary i ilości pól odkładczych,
- parametry rzędów regałów oraz ilości kolumn w rzędach,
- szerokość korytarza roboczego dla przyjętego wózka widłowego,
- szerokość dróg komunikacyjnych dla sprzętu i ludzi.

Całkowitą powierzchnię magazynową S można wyrazić wzorem:

$$S = f_s + f_p = f_s + f_w + f_d + f_a$$

gdzie:

f_s – powierzchnia składowania,

f_p – powierzchnia pomocnicza,

f_w – powierzchnia przeznaczona na przyjęcie, sortowanie i wydawanie materiałów,

f_d – powierzchnia zajęta na przejścia i przejazdy,

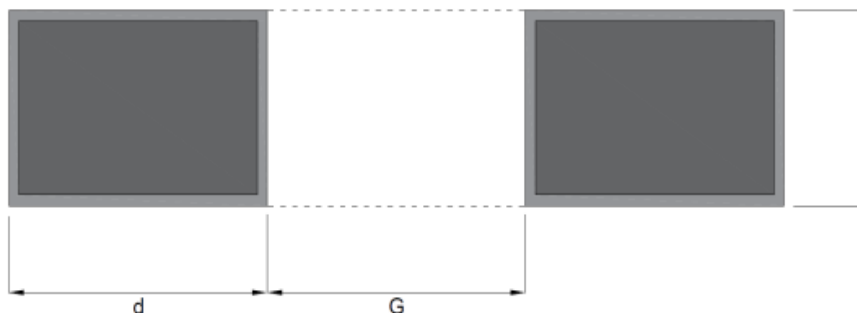
f_a – powierzchnia administracyjno-socjalna.



Formuła stosowana w Excelu:

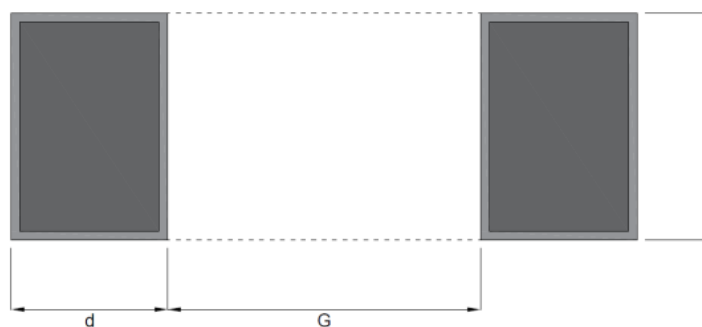
$$S = [\text{powierzchnia składowania}] + [\text{powierzchnia pomocnicza}] = \\ [\text{powierzchnia składowania}] + [\text{powierzchnia przeznaczona} \\ \text{na przyjęcie, sortowanie i wydawanie materiałów}] + \\ [\text{powierzchnia zajęta na przejścia i przejazdy}] + [\text{powierzchnia} \\ \text{administracyjno-socjalna}]$$

Część powierzchni magazynu, obejmująca rzut poziomy najmniejszej powtarzalnej części dwóch rzędów lub bloków jednostek ładunkowych (pjł) wraz z luzami manipulacyjnymi przy składowaniu oraz drogą manipulacyjną między nim to moduł magazynowy. Przyjęcie tej wielkości pozwala na szacowanie wielkości powierzchni magazynowej. Moduły magazynowe dla składowania rzędowego bez urządzeń mogą być ułożone na dwa sposoby (rys. 3.2 i 3.3).



Rysunek 3.2. Moduł magazynowy dla składowania rzędowego bez urządzeń z prostopadłym ułożeniem paletowych jednostek ładunkowych

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 3.3. Moduł magazynowy dla składowania rzędowego bez urządzeń z równoległym ułożeniem paletowych jednostek ładunkowych

Źródło: opracowanie własne

Pole powierzchni modułu magazynowego dla składowania rzędowego bez urządzeń oblicza się ze wzoru:

$$M = (2 \times d + G) \times l [m^2]$$

gdzie:

d – szerokość pola odkładczego [m],

G – szerokość drogi manipulacyjnej [m],

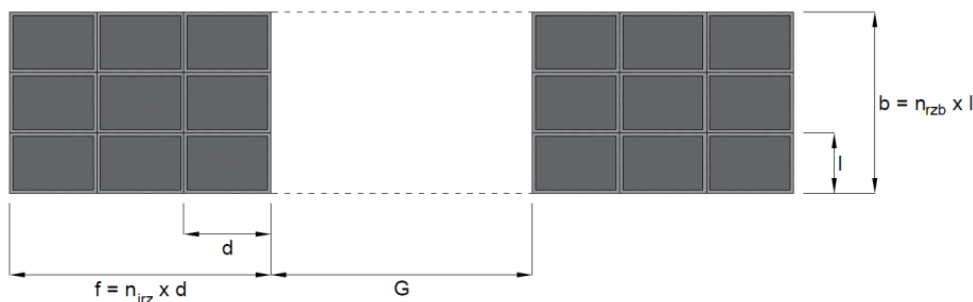
l – długość pola odkładczego [m].



Formuła stosowana w Excelu:

$$M = (2 * [\text{szerokość pola odkładczego}] + [\text{szerokość drogi manipulacyjnej}]) * [\text{długość pola odkładczego}]$$

Moduły magazynowe dla składowania blokowego bez urządzeń mogą być ułożone jak pokazano na rys. 3.4.



Rysunek 3.4. Moduł magazynowy dla składowania blokowego bez urządzeń

Źródło: opracowanie własne

Pole powierzchni modułu magazynowego dla składowania blokowego bez urządzeń oblicza się ze wzoru:

$$Mb = (2 \times f + G) \times b = (2 \times n_{LUz} \times d + G) \times n_{LUb} \times l [m^2]$$

gdzie:

f – szerokość bloku [m],

G – szerokość drogi manipulacyjnej [m],

b – długość bloku [m],

n_{LUz} – liczba jednostek ładunkowych w rzędzie bloku,

d – szerokość pola odkładczego [m],

n_{LUb} – liczba rzędów w bloku,

l – długość pola odkładczego [m].

Pojemność modułu jest równa $2 \times n_{jrz} \times n_{rzb}$ pjęt dla składowania w jednym poziomie oraz $2 \times n_{jrz} \times n_{rzb} \times n$ pjęt dla składowania w stosach przy piętrzeniu w n poziomach.



Formuła stosowana w Excelu:

$$M_b = (2 * [\text{szerokość bloku}] + [\text{szerokość drogi manipulacyjnej}]) * [\text{długość bloku}]$$

Ponadto dla modułów magazynowych można policzyć objętość – uwzględniając wysokość jednostki ładunkowej albo gdy zachodzi piętrzenie jednostek ładunkowych. **Objętość modułu magazynowego** (pojemność modułu) zależy od jego pola powierzchni (M_b) oraz wysokości, na jaką została sformowana jednostka ładunkowa (h). Objętość modułu jest obliczana ze wzoru:

$$V_M = [(2 \times f + G) \times b] \times h [m^3]$$

$$h = n_{rh} \times h_o + h_p [m]$$

gdzie:

f – szerokość bloku [m],

G – szerokość drogi manipulacyjnej [m],

b – długość bloku [m],

h – wysokość pjl [m],

n_{rh} – liczba warstw na pjl,

h_o – wysokość opakowania zbiorczego [m],

h_p – wysokość nośnika [m].



Formuła stosowana w Excelu:

$$V_M = \{(2 * [\text{szerokość bloku}] + [\text{szerokość drogi manipulacyjnej}]) * [\text{długość bloku}]\} * [\text{wysokość pjl}]$$



Objętość modułu magazynowego w przypadku, gdy zachodzi **piętrzenie jednostek ładunkowych**, zależy od jego pola powierzchni (M_b) oraz wysokości, na jaką zostały sformowane jł (H). Objętość modułu jest obliczana ze wzoru:

$$V_M = [(2 \times f + G) \times b] \times H [m^3]$$

$$H = n \times h = n \times (n_{rh} \times h_o + h_p) [m]$$

gdzie:

f – szerokość bloku [m],

G – szerokość drogi manipulacyjnej [m],

b – długość bloku [m],

H – wysokość bloku [m],

n – liczba spiętrzonych pjł,

h – wysokość pjł [m],

n_{rh} – liczba warstw na pjł,

h_o – wysokość opakowania zbiorczego [m],

h_p – wysokość nośnika [m].



Formuła stosowana w Excelu:

$$V_M = \{(2 * [\text{szerokość bloku}] + [\text{szerokość drogi manipulacyjnej}]) * [\text{długość bloku}]\} * [\text{wysokość bloku}]$$

Wykorzystanie powierzchni magazynowej ocenia się przez stosunek powierzchni wykorzystanej do całkowitej dostępnej powierzchni. W magazynach, gdzie nie są wykorzystywane regały paletowe, uzyskanie najwyższej wartości tego wskaźnika zapewnia składowanie materiałów w układzie blokowym, a wartości wskaźnika wykorzystania powierzchni wynoszą tutaj od 0,6 do 0,8. Dla porównania, wskaźnik ten dla rzędowego układu składowania wynosi od 0,25 do 0,6. Dążenie do optymalizacji wykorzystania powierzchni z



zastosowaniem tego typu składowania powoduje ograniczenie warunków piętrzenia materiałów oraz brak dostępu do asortymentu znajdującego się w środku bloków i możliwe jest do zastosowania jedynie dla asortymentu jednorodnego, przy czym nie wymaga dodatkowych nakładów finansowych na wyposażenie magazynu. W przypadku, kiedy jedynym kryterium oceny jest zwiększenie ilości składowanego asortymentu, dobrym rozwiązaniem okazuje się wykorzystanie przepływowych regałów paletowych. Zapewniają one wysoki wskaźnik wykorzystanej powierzchni z powodu ograniczenia ilości dróg transportowych, ale jednocześnie zmuszają do wykorzystania zasady **FIFO** (First In First Out – pierwsze weszło, pierwsze wyszło). Maksymalne wykorzystanie dostępnej powierzchni magazynowej możliwe jest dzięki zastosowaniu metody wolnych miejsc składowania, która zakłada, że asortyment może być umieszczony w każdym wolnym gnieździe regałowym (Kisielewski i Talarek, 2020).

3.4. Wybrane metody zarządzania zapasami w łańcuchu dostaw

Zarządzanie zapasami w łańcuchu dostaw jest kluczowym elementem zapewniającym płynność operacji, minimalizację kosztów i zadowolenie klientów. Istnieje wiele metod zarządzania zapasami, z których każda może być odpowiednia w zależności od specyfiki branży, charakterystyki produktów, dynamiki popytu i innych czynników operacyjnych (Cyplik i Hadaś, 2012).

Klasyczna koncepcja zarządzania zapasami pozwala na zarządzanie zapasami w sieci dystrybucji, gdzie są one zazwyczaj rozmieszczone w różnych miejscach. Rozwiązanie problemów zapasów znajdujących się w wielu lokalizacjach skupia się przede wszystkim na analizie wielkości zapasów bezpieczeństwa (Babai i Dallery, 2005; Mascle i Gosse, 2014). Zapas bezpieczeństwa zależy od zmienności popytu w cyklu uzupełnienia zapasu, wyrażonego odchyleniem standardowym popytu w tym okresie oraz współczynnika bezpieczeństwa zależnego od przyjętego poziomu obsługi. Jeśli dla różnych miejsc składowania zapasu przyjmuje się ten sam poziom obsługi to poziom zapasu bezpieczeństwa zależy od zmienności popytu obsługiwanego z danej lokalizacji. We wzorach przyjęto założenie, że we wszystkich punktach obsługi rynku przyjęto ten sam poziom obsługi ($\omega_{MR1} = \omega_{MR2} = \omega_{MR3} = \dots = \omega$) oraz ten sam system uzupełniania zapasów (Cyplik i Hadaś, 2012).



Formuła do obliczenia zapasu bezpieczeństwa:

$$Z_B = \omega \times \sigma_{PT}$$

Formuła do obliczenia odchylenia standardowego sumy popytów:

$$\sigma_{(P_1+P_2+P_3+\dots+P_n)} = \sqrt{\sigma_{P_1}^2 + \sigma_{P_2}^2 + \sigma_{P_3}^2 + \dots + \sigma_{P_n}^2}$$

gdzie:

n – liczba punktów lokalizacji zapasu,

P_n – indywidualna wartość popytu w n -tej lokalizacji zapasu,

Zapas bezpieczeństwa dla całkowitego popytu obsługiwanego np. z magazynu centralnego można obliczyć jako:

$$\begin{aligned} Z_{BC} &= Z_{B(P_1+P_2+P_3+\dots+P_n)} = \omega \times \sigma_{(P_1+P_2+P_3+\dots+P_n)} = \\ &= \omega \times \sqrt{\sigma_{P_1}^2 + \sigma_{P_2}^2 + \sigma_{P_3}^2 + \dots + \sigma_{P_n}^2} = \\ &= \sqrt{\omega^2 \times \sigma_{P_1}^2 + \omega^2 \times \sigma_{P_2}^2 + \omega^2 \times \sigma_{P_3}^2 + \dots + \omega^2 \times \sigma_{P_n}^2} = \\ &= \sqrt{Z_{BM1}^2 + Z_{BM2}^2 + Z_{BM3}^2 + \dots + Z_{BMn}^2} \end{aligned}$$

gdzie:

Z_{BMC} – całkowity zapas bezpieczeństwa we wszystkich magazynach,

Z_{BMn} – zapas bezpieczeństwa n -tej lokalizacji.

W szczególnym przypadku, jeśli zapas bezpieczeństwa we wszystkich punktach lokalizacji jest taki sam (na ogół jako skutek takiego samego popytu obsługiwanego przez każdy z tych punktów) i jest równy Z_{BMri} , to zapas scentralizowany Z_{BC} jest równy:

$$Z_{BC} = Z_{BMn} \times \sqrt{n}$$

gdzie n jest liczbą punktów lokalizacji zapasu.



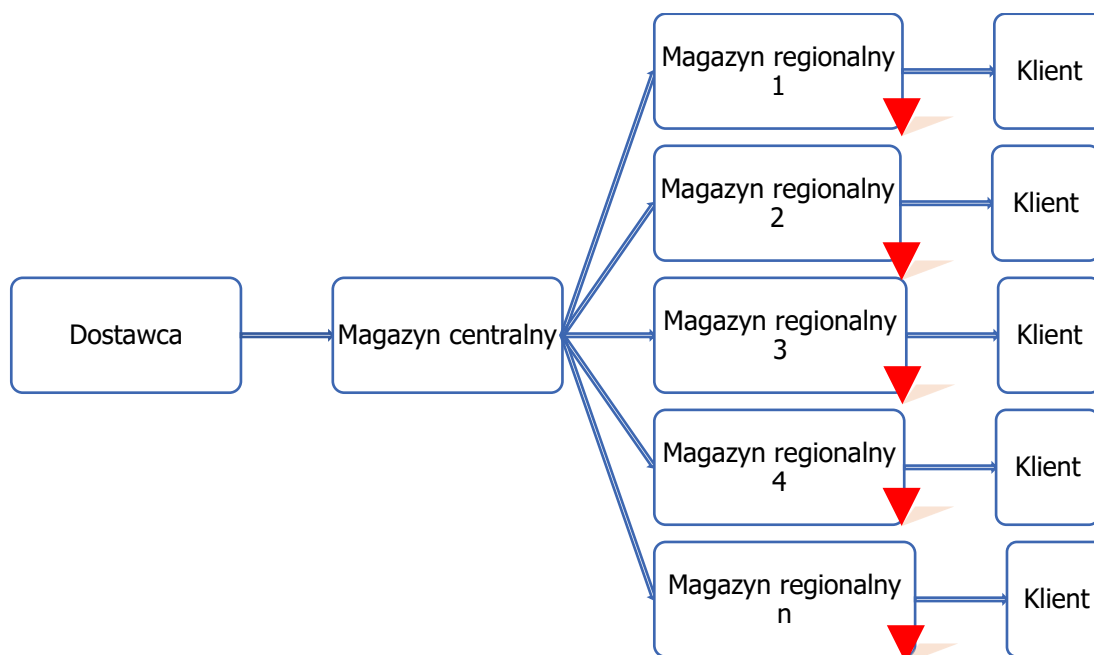
Formuła stosowana w Excelu:

$$\begin{aligned} Z_{BMC} &= [\text{współczynnik bezpieczeństwa}] * [\text{odchylenie standardowe} \\ &\text{sumy popytów w punktach P1-Pn w cyklu uzupełnienia zapasu}] = \\ &= [\text{współczynnik bezpieczeństwa}] * \text{PIERWIASTEK}[\\ &\quad [(\text{ODCH.STAND.POPUL}([\text{zakres komórek dla P1}])^2) + \\ &\quad + [(\text{ODCH.STAND.POPUL}([\text{zakres komórek dla P2}])^2) + \dots + \\ &\quad + [(\text{ODCH.STAND.POPUL}([\text{zakres komórek dla Pn}])^2)] \end{aligned}$$

Jednym z zagadnień wymagającym analiz w kontekście optymalizacji łańcucha dostaw jest lokalizacja magazynów z uwzględnieniem relacji pomiędzy istotnymi parametrami. Sposób lokalizacji zapasu może być rozpatrywany na dwa sposoby – jako zapas rozproszony lub zapas scentralizowany.

W przypadku zapasu rozproszonego (rys. 3.5) klienci są obsługiwani bezpośrednio z zapasu zlokalizowanego a magazynach regionalnych (MR) i tam jest utrzymywany zapas bezpieczeństwa. Na potrzeby obliczeń przyjmuje się następujące założenia (Krzyżaniak, 2006):

- popyt rozkłada się równomiernie na n magazynów regionalnych,
- tygodniowy popyt w każdym z tych magazynów daje się opisać rozkładem o średniej popytu P_{MR} i odchyleniu standardowym σ_{PMR} ,
- cena zakupu u dostawcy jest równa C,
- współczynnik tygodniowego kosztu utrzymania zapasu wynosi u_t i jest taki sam we wszystkich magazynach,
- czas cyklu uzupełnienia zapasu w magazynach regionalnych jest dla każdego magazynu równy i wynosi T_1 (bez istotnych odchyień).



Rysunek 3.5. Ilustracja przypadku zapasu rozproszonego

Źródło: (Krzyżaniak, 2006)

Przy przyjętych założeniach łączny tygodniowy koszt utrzymania zapasu zabezpieczającego w sieci jest równy:

$$K_1 = \sum_{i=1}^n K U t Z B_{MR}$$

Dla równomiernego rozłożenia popytu pomiędzy wszystkie magazyny otrzymujemy:

$$K_1 = n \times Z B_{MR} \times C \times u_t = n \times \omega \times \sigma_{PMR} \times \sqrt{T_1} \times C \times u_t$$

gdzie:

ω – współczynnik bezpieczeństwa, zależny od przyjętego poziomu obsługi i typu rozkładu opisującego dany rozkład częstości występowania popytu,

$Z B_{MR}$ – zapas zabezpieczający w każdym z magazynów regionalnych.

Ponieważ zachodzi $\sigma_{PMR} = V \times P_{MR}$, gdzie V jest tzw. współczynnikiem zmienności $V = \frac{\sigma_P}{P}$, to wzór przyjmuje postać:

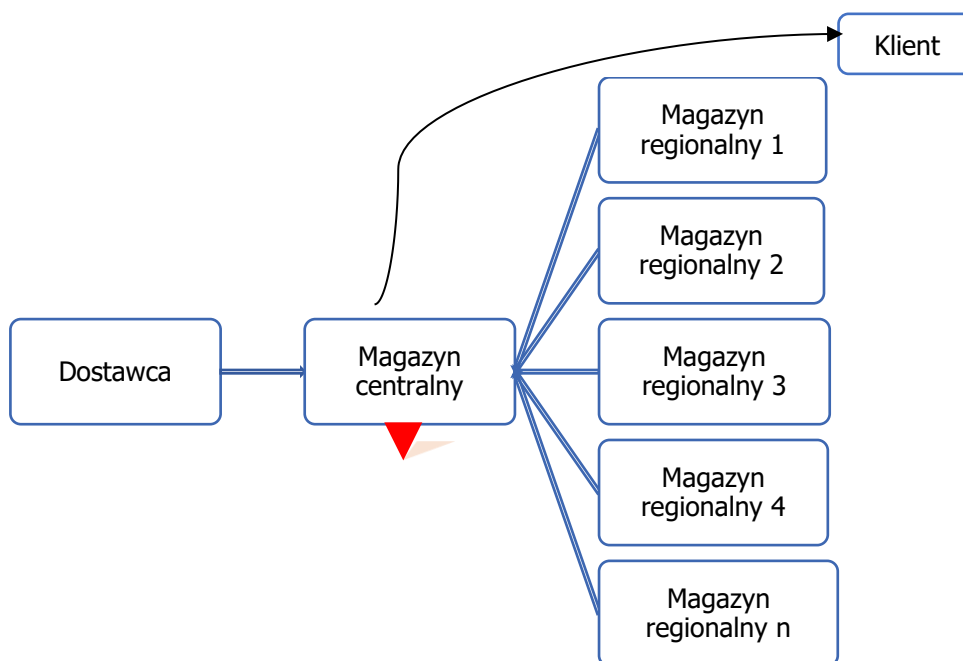
$$K_1 = n \times \omega \times V \times P_{MR} \times \sqrt{T_1} \times C \times u_t$$



W modelu ogólnym dla zapasu scentralizowanego (rys. 3.6) klienci obsługiwani są z magazynu centralnego (MC) bezpośrednimi dostawami w postaci np. przesyłek kurierskich.

Na potrzeby obliczeń przyjmuje się następujące założenia (Krzyżaniak, 2006):

- tygodniowy popyt w magazynie centralnym jest sumą popytów obserwowanych na rynkach związanych z poszczególnymi magazynami regionalnymi i można go opisać rozkładem o średniej $P_{MC}=n \cdot P_{MR}$ i odchyleniu standardowym $\sigma_{PMC} = \sigma_{PMR} \times \sqrt{n}$ (zgodnie z prawem pierwiastka kwadratowego),
- współczynnik tygodniowego kosztu utrzymania zapasu wynosi u_t i jest taki sam jak w przypadku magazynów regionalnych,
- czas cyklu uzupełnienia zapasu w magazynie centralnym wynosi T_2 ,
- w przypadku wystąpienia zapotrzebowania ze strony odbiorców produkt jest przesyłany bezpośrednio do klienta w formie przesyłki kurierskiej o jednostkowym koszcie k_{pk} , co pozwala zachować zbliżony czas realizacji zamówienia klienta jak w przypadku obsługi z magazynów regionalnych.



Rysunek 3.6. Ilustracja przypadku zapasu scentralizowanego

Źródło: (Krzyżaniak, 2006)



Tygodniowy koszt utrzymania zapasu zabezpieczającego w magazynie centralnym jest równy:

$$K_{2(ZB)} = ZB_{MC} \times C \times u_t = \omega \times \sigma_{PMC} \times \sqrt{T_2} \times C \times u_t.$$

Ponieważ, zgodnie z założeniami $T_2 = \alpha \times T_1$:

$$K_{2(ZB)} = \omega \times \sigma_{PMC} \times \sqrt{\alpha \times T_1} \times C \times u_t = \omega \times \sigma_{PMR} \times \sqrt{n \times \alpha \times T_1} \times C \times u_t.$$

Ponieważ zachodzi $\sigma_{PMR} = V \times P_{MR}$, gdzie V jest tzw. współczynnikiem zmienności $V = \frac{\sigma_P}{P}$, to wzór przyjmuje postać:

$$K_{2(ZB)} = \omega \times V \times P_{MR} \times \sqrt{n \times \alpha \times T_1} \times C \times u_t.$$

Warto zauważyć, że założenie $T_2 = \alpha \times T_1$ uwzględnia różne rozwiązania organizacji dostaw dla obu przypadków. Na przykład w przypadku zapasów rozproszonych dostawy do magazynów regionalnych mogą być prowadzone według systemu przeglądu okresowego, a w systemie scentralizowanym w oparciu o tzw. punkt ponownego zamówienia (poziom informacyjny). Można przyjąć, że zazwyczaj będzie zachodziło $T_2 < T_1$.

Łączne tygodniowe koszty bezpośrednich kurierskich do klienta są równe:

$$K_{2(dostaw)} = n \times P_{MR} \times k_{pk}$$

Stawiając pytanie: kiedy opłaca się rozproszyć zapas, to znaczy kiedy taniej będzie utrzymywać zapas zabezpieczający w n magazynach regionalnych i z nich obsługiwać lokalnych odbiorców, niż skupić zapas w magazynie centralnym i realizować zamówienia klientów bezpośrednimi dostawami, odpowiedź sprowadza się do rozwiązania nierówności:

$$K_1 < K_{2(ZB)} + K_{2(dostaw)}$$

czyli:

$$n \times \omega \times V \times P_{MR} \times \sqrt{T_1} \times C \times u_t < \omega \times V \times P_{MR} \times \sqrt{n \times \alpha \times T_1} \times C \times u_t + n \times P_{MR} \times k_{pk}$$

Po przekształceniach otrzymujemy:

$$V < \frac{n \times k_{pk}}{\omega \times \sqrt{T_1} \times C \times u_t \times (n - \sqrt{n \times \alpha})}$$



Z tej postaci otrzymujemy zależności, których spełnienie gwarantuje spełnienie nierówności $K_1 < K_{2(ZB)} + K_{2(dostaw)}$ i postawionego warunku:

$$V < \frac{\left[\frac{k_{pk}}{C \times u_t} \right]}{\omega \times \sqrt{T_1} \times \left[1 - \sqrt{\frac{\alpha}{n}} \right]}$$

lub

$$\omega < \frac{\left[\frac{k_{pk}}{C \times u_t} \right]}{V \times \sqrt{T_1} \times \left[1 - \sqrt{\frac{\alpha}{n}} \right]}$$

Jednak druga zależność niesie najwięcej informacji, ponieważ łączy w wyrażeniu po lewej stronie nierówności wszystkie elementy kosztowe, a po prawej parametry związane z realizacją i wymaganym poziomem obsługi:

$$\left[\frac{k_{pk}}{C \times u_t} \right] > V \times \omega \times \sqrt{T_1} \times \left[1 - \sqrt{\frac{\alpha}{n}} \right]$$

Silne strony klasycznej koncepcji zarządzania zapasami są następujące:

- prostota i przejrzystość – są łatwe do zrozumienia i implementacji,
- pomagają w minimalizowaniu całkowitych kosztów zarządzania zapasami poprzez zrównoważenie kosztów zamawiania i kosztów utrzymania zapasów, dążąc do ekonomicznej ilości zamówienia,
- są wyraźne i zdefiniowane procesy decyzyjne, które pomagają zarządzać zamówieniami i zapasami na podstawie obliczeń i z góry ustalonych reguł.

Słabe strony klasycznej koncepcji zarządzania zapasami to:

- potrzeba założenia stałego i przewidywalnego popytu, co nie zawsze odpowiada dynamicznym i zmiennym realiom rynkowym,
- nie uwzględnienie zmienności popytu i ryzyka w łańcuchu dostaw (np. opóźnienia w dostawach, zmiany na rynku),



- brak elastyczności w reagowaniu na szybkie zmiany na rynku lub w łańcuchu dostaw, ponieważ są oparte na stałych parametrach i nie przewidują dynamicznego dostosowywania się do nowych warunków.

Klasyczna koncepcja zarządzania zapasami ma swoje miejsce w teorii i praktyce zarządzania operacyjnego, ale w nowoczesnym, szybko zmieniającym się świecie biznesu często jest uzupełniana o bardziej zaawansowane i elastyczne metody i narzędzia analizy.

DRP (Distribution Requirements Planning) – planowanie potrzeb dystrybucyjnych, koordynuje zapotrzebowanie z poziomem zapasów w różnych lokalizacjach. Jest jedną z metod optymalizujących zarządzanie dostawami wyrobów finalnych do sieci dystrybucji, służy do zaplanowania poziomu i miejsca składowania zapasów w całym łańcuchu dostaw. Celem stosowania metody planowania zapotrzebowania dystrybucji jest zredukowanie zapasów w sieci dystrybucji (Nugroho, 2019). Na poziomie punktów sprzedaży, ze względu na ryzyko wystąpienia wahań popytu, tworzy się w każdym z nich zapas zabezpieczający dla każdego towaru, obliczany z formuł klasycznej teorii zarządzania zapasami (Magdalena i Suli, 2019).

Planowanie zapotrzebowania rozpoczyna się na najniższym poziomie (np. w punkcie sprzedaży detalicznej i kończy na poziomie najwyższym np. w magazynie fabrycznym. Potrzeby na niższym szczeblu są danymi wejściowymi kolejnego szczebla. Zapotrzebowanie z najwyższego szczebla może być wykorzystane jako dane wejściowe do pracy nad harmonogramem produkcji (Fertsch, 2006). Popyt z centrów dystrybucyjnych jest wykorzystywany do tworzenia harmonogramu popytu na zapasy i jest przekazywany na produkcję. Po porównaniu z wcześniejszymi prognozami opracowany zostaje plan produkcji, zapotrzebowania materiałowego oraz dystrybucji z rozkładem dostaw do poszczególnych centrów dystrybucji (Ngatilah i in., 2020). Dzięki DRP określa się poziom obsługi dla ogniwa łańcucha dostaw mających bezpośredni kontakt z klientem (wielkość partii, dostępność zapasu, terminy dostaw) (Fechner, 2007).

System DRP pozwala oszacować harmonogramy dostaw każdej jednostki składowania zapasu (SKU) do punktów sprzedaży. Wymaga posiadania następujących informacji (Mukhsin i Sobirin, 2022):

- strukturę kanału dystrybucji przez jaką przepływa SKU,
- prognoza popytu na poszczególne SKU na poziomie punktów sprzedaży,



- bieżący poziom zapasu (zapas dysponowany) danego SKU,
- docelowy poziom zapasu zabezpieczającego,
- zalecana wielkość uzupełnienia zapasu,
- czas dostawy uzupełniającej zapas.



Algorytm DRP (Ngatilah i in., 2020):

1. Obliczenie zapotrzebowania netto – Planowanie zapasu podręcznego (dostępnego na stanie). Można go obliczyć, korzystając z poniższego wzoru:

$$\text{Planowany Poziom Zapasu Podręcznego}_{(t)} = (\text{Zapas Dostępny w Magazynie Podręcznym}_{(t-1)} + \text{Zaplanowane Przyjęcie}_{(t)} + \text{Planowane Przyjęcie Zamówienia}_{(t)} - \text{Zapotrzebowanie Brutto}_{(t)})$$

Zapotrzebowanie Netto można obliczyć, korzystając z poniższego wzoru:

$$\text{Zapotrzebowanie Netto}_{(t)} = (\text{Zapotrzebowanie Brutto}_{(t)} + \text{Zapas Bezpieczeństwa}) - (\text{Zaplanowane Przyjęcie}_{(t)} + \text{Planowany Poziom Zapasu Podręcznego}_{(t-1)})$$

2. Partiovanie to proces mający na celu znalezienie wielkości zamówienia lub partii produkcyjnej w każdej sieci dystrybucji. Istnieje kilka metod partiowania. Partiovanie w DRP reprezentowane jest przez planowane przyjęcie zamówienia (PPZ). Planowane Przyjęcie Zamówienia (PPZ) to Zapotrzebowanie Netto, które zostało dostosowane zgodnie z wielkością partii zamówienia lub produkcyjnej.

3. Offsetting to ilość zamówienia, która ma zostać zamówiona w zaplanowanym okresie. Offsetting w DRP reprezentowany przez Planowane Wydanie Zamówienia (PWZ). PWZ to PPZ, który został dostosowany zgodnie z Lead time zamówienia lub produkcji.

4. Eksplozja – całkowity koszt zapasów i dystrybucji można uzyskać, korzystając z poniższego wzoru:

$$\text{Całkowity Koszt zapasów i Dystrybucji} = \text{Koszt zmawiania} + \text{Koszt Utrzymania Zapasu} + \text{Koszt Dostawy}$$



Model DRP jest szczególnie użyteczny w dużych, złożonych organizacjach, gdzie zarządzanie przepływem produktów przez sieć dystrybucyjną jest kluczowe dla efektywności operacyjnej i satysfakcji klienta. Silne strony modelu DRP to:

- usprawnienie koordynacji w łańcuchu dostaw poprzez poprawę przepływu informacji i towarów od producenta do konsumenta, co prowadzi do bardziej efektywnej dystrybucji,
- zwiększona dokładność w prognozowaniu, ponieważ uwzględnia rzeczywiste dane zamówień i poziomy zapasów w całym łańcuchu, co pomaga w optymalizacji poziomów zapasów i zmniejsza koszty,
- lepsza dostępność produktów poprzez zapewnienie, że zapasy są umieszczone tam, gdzie są najbardziej potrzebne, minimalizując tym samym ryzyko niedoborów i przestoje w produkcji.

Słabe strony modelu DRP wiążą się z poniższymi elementami:

- złożoność wdrażania, szczególnie w dużych organizacjach z rozbudowanymi łańcuchami dostaw, co wymaga dokładnego planowania i koordynacji,
- wysokie koszty początkowe związane z zakupem oprogramowania, sprzętu oraz szkoleniem pracowników,
- zależność od dokładności aktualności danych wejściowych, nieścisłości w danych mogą prowadzić do błędów w prognozowaniu i planowaniu, co ostatecznie może powodować nadmierne lub niewystarczające zapasy.

Model DRP, mimo swoich zalet, wymaga precyzyjnego wykonania i bieżącego zarządzania, aby skutecznie wspierać decyzje operacyjne w ramach łańcucha dostaw.

EOQ (Economic Order Quantity) – ekonomiczna wielkość zamówienia to model matematyczny służący do wyznaczenia optymalnej wielkości zamówienia, która minimalizuje całkowite koszty związane z zamówieniami i przechowywaniem zapasów. Metoda ta jest idealna dla produktów o stabilnym i przewidywalnym popycie. W metodzie przyjmuje się następujące założenia (Battani i in., 2015):

- miesięczny lub roczny popyt dla zamawianego produktu jest znany oraz przewidywalny,



- dostawa produktu następuje w bardzo krótkim czasie po jego zamówieniu,
- koszt jednostkowego zamówienia jest stały.

Do obliczeń optymalnej (ekonomicznej) wielkości partii (EOQ) stosuje się wzór Wilsona (Krzyżaniak, 2005; Muckstadt, 2010).



Formuła do obliczenia EOQ:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times P \times K_G}{K_U}}$$

P – przewidywany popyt w dłuższym okresie czasu,

K_G – koszt gromadzenia zapasu – zakupu jednej partii, niezależny od jej wielkości,

K_U – koszt utrzymania w zapasie jednej jednostki danego towaru w przyjętym okresie czasu, określany najczęściej jako pewien ułamek ceny zakupu, a zatem:

$$K_U = \mu_o \times C$$

C – cena zakupu,

μ_o – procentowy udział kosztu utrzymania w cenie zakupu.



Formuła stosowana w Excelu:

$$EOQ = \text{PIERWIASTEK}((2 * [\text{przewidywany popyt}] * [\text{koszt gromadzenia zapasu}]) / [\text{koszt utrzymania zapasu}])$$

Model EOQ jest szczególnie przydatny w przypadku zarządzania zapasami standardowych produktów o stabilnym popycie. Jest to narzędzie analityczne, które pomaga w podejmowaniu decyzji dotyczących wielkości zamówień, ale wymaga dokładnych danych dotyczących kosztów i popytu. Silnymi stronami modelu EOQ są:

- minimalizacja całkowitych kosztów – EOQ pozwala zidentyfikować ilość zamówienia, która optymalizuje równowagę między kosztami zamawiania



a kosztami przechowywania, dążąc do minimalizacji całkowitych kosztów związanych z zapasami,

- zwiększenie efektywności operacyjnej przez ustalenie optymalnego harmonogramu zamówień, model EOQ umożliwia lepsze planowanie i zarządzanie zasobami, co przekłada się na płynniejsze operacje i mniejsze prawdopodobieństwo przerw w produkcji spowodowanych brakami lub nadmiarami zapasów,
- uproszczenie procesu decyzyjnego w zarządzaniu zapasami – EOQ dostarcza jasnych wytycznych dotyczących tego, kiedy i ile zamawiać, co pomaga w standaryzacji procesów zakupowych i może redukować potrzebę ciągłego monitorowania i podejmowania decyzji na temat poziomów zapasów.

Jednak model EOQ wymaga przyjęcia pewnych założeń, co wiąże się z następującymi słabymi stronami:

- potrzeba przyjęcia stałego popytu – model EOQ zakłada, że popyt na produkt jest stały i przewidywalny przez cały czas; w rzeczywistości popyt często jest zmienny i podlega wpływom sezonowości, trendów rynkowych, działań konkurencji i innych czynników zewnętrznych, co może utrudniać dokładne stosowanie modelu EOQ w dynamicznych warunkach rynkowych,
- potrzeba założenia stałych kosztów zamówienia i przechowywania – w praktyce te koszty mogą się zmieniać w zależności od wielu czynników, takich jak zmiany w cenach materiałów, koszty transportu, stawki wynajmu magazynu, zmiany w stawkach pracy czy inflacja,
- brak elastyczności w reagowaniu na zmiany – model EOQ generuje stałą liczbę zamówień na określony okres i nie przewiduje automatycznych dostosowań do szybko zmieniających się warunków rynkowych lub operacyjnych; oznacza to, że należy ręcznie przeglądać i dostosowywać zamówienia EOQ, aby uniknąć nadmiernej akumulacji zapasów lub ryzyka braku zapasów, co może być czasochłonne i skomplikowane.



Ze względu na te ograniczenia, wiele firm stosuje model EOQ jako punkt wyjściowy lub wstępne wytyczne, jednocześnie adaptując swoje strategie zarządzania zapasami, aby uwzględnić dynamikę rynku i specyfikę operacyjną.

3.5. Zastosowanie narzędzia Solver w rozwiązywaniu problemów optymalizacyjnych

Solver to dodatek do programu Microsoft Excel, używany do zaawansowanej analizy i rozwiązywania problemów optymalizacyjnych. Umożliwia on użytkownikom określenie wielu zmiennych decyzyjnych, ograniczeń i celów, a następnie wykorzystuje różne metody matematyczne do znajdowania optymalnych rozwiązań (por. rozdział Wprowadzenie do analizy danych za pomocą arkusza kalkulacyjnego). Jest szczególnie przydatny w sytuacjach wymagających złożonych obliczeń, takich jak planowanie ścieżek logistycznych, alokacja zasobów czy optymalizacja budżetów (Mason, 2013).

Solver wykorzystywany jest do rozwiązywania jednokryterialnych zadań optymalizacyjnych, w których liczba zmiennych decyzyjnych nie przekracza 200. Jego zastosowanie wymaga zapisania modelu matematycznego w obszarze roboczym arkusza kalkulacyjnego. Model optymalizacji składa się z trzech elementów (Baj-Rogowska, 2013; Mason, 2012):

- komórki celu (funkcja celu) – jest to komórka w modelu arkusza, która w wyniku zastosowania Solvera ma przyjąć wartość minimalną, maksymalną lub ustaloną w postaci liczby rzeczywistej,
- komórek zmiennych (zmienne decyzyjne) – są one komórkami zawierającymi poszukiwane wartości, które są zmieniane iteracyjnie i podstawiane przez dodatek Solver do funkcji celu, dopóki nie zostanie znalezione rozwiązanie optymalne,
- komórek ograniczeń (mogą być zastosowane w stosunku do wartości komórki celu i komórek zmienianych) – wprowadzone warunki ograniczające stanowią formułę w komórce arkusza, której wartość musi mieścić się w określonych granicach lub osiągać wartości docelowe.



Solver w Excelu wykorzystuje różne metody optymalizacji, aby znaleźć najlepsze rozwiązania dla zdefiniowanych problemów. Każda z metod ma swoje specyficzne zastosowania i jest wybierana w zależności od charakterystyki problemu optymalizacyjnego. Solver pozwala użytkownikowi wybrać odpowiednią metodę w zależności od natury problemu, który ma być rozwiązany. Główne metody to (Baj-Rogowska, 2013; Delgado-Aguilar i in., 2018):

- metoda Simpleks (Simplex LP) – jest to najczęściej używana metoda do rozwiązywania problemów programowania liniowego (LP); jest skuteczna w sytuacjach, gdzie funkcja celu i wszystkie ograniczenia są liniowe,
- metoda GRG (Generalized Reduced Gradient) – jest zaawansowaną metodą wykorzystywaną do rozwiązywania problemów nieliniowych; jest szczególnie przydatna, gdy funkcja celu lub ograniczenia nie są liniowe, ale nadal są ciągłe i różniczkowalne,
- metoda ewolucyjna (Evolutionary) – jest używana do rozwiązywania problemów optymalizacji globalnej, szczególnie, gdy funkcja celu jest złożona, nieliniowa i nieciągła; metoda ewolucyjna wykorzystuje techniki podobne do algorytmów genetycznych, przeszukując różne możliwe rozwiązania w celu znalezienia najlepszego,
- rozwiązywanie całkowitoliczbowe (Integer Constraints) – Solver może być używany do rozwiązywania problemów, w których niektóre lub wszystkie zmienne decyzyjne muszą przyjmować wartości całkowite; jest to przydatne w sytuacjach, gdzie rozwiązania wymagają dyskretnych wartości, na przykład liczby jednostek do wyprodukowania lub liczby pracowników do zatrudnienia.

Solver w optymalizacji zarządzania w łańcuchu dostaw warto zastosować, gdy istnieje potrzeba optymalizacji złożonych problemów, takich jak minimalizacja kosztów transportu, optymalne planowanie tras dostaw czy zarządzanie zapasami. Jest to szczególnie przydatne w sytuacjach wymagających analizy wielu zmiennych i ograniczeń, gdzie tradycyjne metody mogą być niewystarczające lub zbyt czasochłonne.



3.6. Optymalizacja wykorzystania powierzchni magazynowej – przykład zastosowania narzędzia Solver

Treść zadania

Przedsiębiorstwo dysponuje magazynem o łącznej powierzchni 10 000 m², który musi pomieścić trzy rodzaje produktów: A, B i C. Każdy z tych produktów ma różne wymagania dotyczące powierzchni magazynowej, ma swój określony zapas bezpieczeństwa oraz generuje różne zyski na jednostkę produktu:

- produkt A: wymaga 14 m² na jednostkę, zapas bezpieczeństwa to 40 szt., generuje zysk 30 zł/szt.
- produkt B: wymaga 12 m² na jednostkę, zapas bezpieczeństwa to 60 szt., generuje zysk 32 zł/szt.
- produkt C: wymaga 18 m² na jednostkę, zapas bezpieczeństwa to 90 szt., generuje zysk 23 zł/szt.

Produkty A, B i C trafiają na rynki X, Y i Z. Ogólny popyt na wszystkie produkty na rynkach wynosi:

- rynek X: 220 szt.
- rynek Y: 230 szt.
- rynek X: 332 szt.

Ile jednostek każdego produktu powinno być przechowywane w magazynie, aby zmaksymalizować całkowity zysk z wykorzystanej powierzchni magazynowej, nie przekraczając łącznej dostępnej powierzchni magazynowej przy założeniu, że firma Alfa zaspokaja cały popyt?

Rozwiązanie

Funkcja celu: maksymalizacja całkowitego zysku z produktów.

Ograniczenie: wielkość powierzchni magazynowej, powierzchnia magazynowa dla jednostki produktu, wielkość popytu na rynku.



- [1] przygotowanie arkusza z danymi,
- [2] zdefiniowanie zmiennych decyzyjnych,
- [3] obliczenie zmiennych pomocniczych,
- [4] ustalenie funkcji celu,
- [5] skonfigurowanie Solver,
- [6] wskazanie metody optymalizacji,
- [7] uruchomienie Solver,
- [8] ocena otrzymanego rozwiązania.



Przykład w Excel:

- [1] Przygotuj i uzupełnij tabelę danymi wejściowymi z zadania: zapas bezpieczeństwa dla każdego produktu, jednostkowa powierzchnia magazynowa, zysk jednostkowy, popyt na każdym rynku, całkowita powierzchnia magazynu

		Rynek			Zapas bezpieczeństwa	Jednostkowa powierzchnia magazynowa	Zysk jednostkowy
		X	Y	Z			
Produkt	A				40	14	30
	B				60	12	32
	C				90	18	23
		220	230	332			

Całkowita powierzchnia magazynu
10000

- [2] Zdefiniuj zmienne decyzyjne – liczba produktów każdego rodzaju w magazynie

		Rynek			Zapas bezpieczeństwa	Jednostkowa powierzchnia magazynowa	Zysk jednostkowy
		X	Y	Z			
Produkt	A				40	14	30
	B				60	12	32
	C				90	18	23
		220	230	332			

Całkowita powierzchnia magazynu
10000

- [3] Oblicz zmienne pomocnicze



- **Liczba jednostek w magazynie:** =SUMA([zakres komórek dla każdego rynku i pojedynczego produktu])
- **Zajęta powierzchnia magazynowa:** =[Jednostkowa powierzchnia Magazynowa]*[Liczba jednostek w magazynie]
- **Zysk dla x jednostek:** =[Liczba jednostek w magazynie]*[Zysk jednostkowy]
- **Zrealizowany popyt:** =SUMA([zakres komórek dla każdego rynku])
- **Suma powierzchni magazynowej:** =SUMA([Zajęta powierzchnia magazynowa])

		Rynek			Zapas bezpieczeństwa	Jednostkowa powierzchnia magazynowa	Zysk jednostkowy	Liczba jednostek w magazynie	Zajęta powierzchnia magazynowa	Zysk dla x jednostek
		X	Y	Z						
Produkt	A				40	14	30	0	0	0
	B				60	12	32	0	0	0
	C				90	18	23	0	0	0
		220	230	332				Suma powierzchni magazynowej	0	
Zrealizowany popyt		0	0	0						
								Całkowita powierzchnia magazynu	10000	

[4] Ustal funkcję celu – maksymalizacja zysku ze sprzedaży produktów

Funkcja celu: =SUMA([Zysk dla x jednostek])

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													

[5] Skonfiguruj Solver

Ustaw cel – komórka z funkcją celu oraz maksymalizacja funkcji celu

Ustaw cel:

Na: ☒ Maks ☐ Min ☐ Wartość:



Wskaż komórki, których wartości mają być ustawione – liczba produktów każdego rodzaju w magazynie

Przez zmienianie komórek zmiennych:

Dodaj ograniczenia:

- zajęta powierzchnia magazynowa = maksymalna powierzchnia magazynowa

Dodawanie ograniczenia

Odwołanie do komórki: Ograniczenie:

- zrealizowany popyt na rynku X <= popytu na rynku X

		Rynek			Zapas bezpieczeństwa	Jednostkowa powierzchnia magazynowa
		X	Y	Z		
Produkt	A				40	14
	B					
	C					
Zrealizowany popyt		0	220	2		

Dodawanie ograniczenia

Odwołanie do komórki: Ograniczenie:

OK Dodaj Anuluj

- zrealizowany popyt na rynku Y <= popytu na rynku Y
- zrealizowany popyt na rynku Z <= popytu na rynku Z
- liczba jednostek produktu A w magazynie >= zapas bezpieczeństwa dla produktu A

Zapas bezpieczeństwa	Jednostkowa powierzchnia magazynowa	Zysk jednostkowy	Liczba jednostek w magazynie
40	14	30	0
60	12	32	0

Dodawanie ograniczenia

Odwołanie do komórki: Ograniczenie:

OK Dodaj Anuluj

- liczba jednostek produktu B w magazynie >= zapas bezpieczeństwa dla produktu B



- liczba jednostek produktu C w magazynie $\geq$ zapas bezpieczeństwa dla produktu C

[6] Wskaż metodę optymalizacji – np. LP Simplex

Wybierz metodę rozwiązywania:

[7] Uruchom Solver – naciśnij przycisk Rozwiąż

[8] Oceń otrzymane rozwiązanie

		Rynek			Zapas bezpieczeństwa	Jednostkowa powierzchnia magazynowa	Zysk jednostkowy	Liczba jednostek w magazynie	Zajęta powierzchnia magazynowa	Zysk dla x jednostek
		X	Y	Z						
Produkt	A	0	0	40	40	14	30	40	560	1200
	B	220	140	292	60	12	32	652	7820	20853
	C	0	90	0	90	18	23	90	1620	2070
		220	230	332				Suma powierzchni magazynowej	10000	
Zrealizowany popyt		220	230	332						

Całkowita powierzchnia magazynu	10000
---------------------------------	-------

Funkcja celu - maksymalny zysk:	24123
---------------------------------	-------

Pytania do rozdziału

- W jaki sposób dodatek Solver w programie Microsoft Excel może wspierać procesy decyzyjne w przedsiębiorstwie?
- W jaki sposób wybór odpowiedniej metody optymalizacji wpływa na wyniki przeprowadzonej analizy?

LITERATURA

Antoniuk, I., Svitek, R., Krajčovič, M., i Furmannová, B. (2021). Methodology of design and optimization of internal logistics in the concept of Industry 4.0. Transportation Research Procedia, 55, 503-509.



- Babai, M. Z., i Dallery, Y. (2005). Inventory management: forecast based approach vs. standard approach. In Proceedings of International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, Marrakech, 1-10.
- Baj-Rogowska, A. (2013). Planowanie tras z wykorzystaniem narzędzia Solver, jako zadanie logistyczne w małej firmie. Optymalizacja systemów i procesów logistycznych, 169-178.
- Battini, D., Persona, A., i Sgarbossa, F. (2014). A sustainable EOQ model: Theoretical formulation and applications. International Journal of Production Economics, 149, 145-153.
- Bomba, I., i Kwiecień, K. (2012). Zastosowanie dodatku SOLVER aplikacji MS Excel w projektowaniu jednostki paletowej. TTS Technika Transportu Szynowego, 19.
- Cyplik, P., i Hadaś, Ł. (2012). Zarządzanie zapasami w łańcuchu dostaw. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Delgado-Aguilar, M., Valverde-Som, L., i Cuadros-Rodríguez, L. (2018). Solver, an Excel application to solve the difficulty in applying different univariate linear regression methods. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 178, 39-46.
- Dudziński, Z., i Kizyn, M. (2002). Vademecum gospodarki magazynowej. Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr.
- Fechner, I. (2007). Zarządzanie łańcuchem dostaw. Poznań: Wyższa Szkoła Logistyki.
- Fertsch, M. (red.) (2006). Słownik terminologii logistycznej. Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.
- Ghiani, G. (2004). Introduction to Logistics Systems Planning and Control. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Gu, J., Goetschalckx, M., i McGinnis, L.F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. European journal of operational research, 177(1), 1-21.
- Gupta, P., Mehlawat, M. K., Aggarwal, U., i Khan, A. Z. (2022). An optimization model for a sustainable and socially beneficial four-stage supply chain. Information Sciences, 594, 371-399.
- Hariga, M.A., i Jackson, P.L. (1996). The warehouse scheduling problem: Formulation and algorithms. IIE Transactions 28, 115–127.



- Jayarathna, C. P., Agdas, D., Dawes, L., i Yigitcanlar, T. (2021). Multi-objective optimization for sustainable supply chain and logistics: A review. *Sustainability*, 13(24), 13617.
- Kauf, S., i Tłuczak, A. (2016). *Optymalizacja decyzji logistycznych*. Difin.
- Kisielewski, P., i Talarek, P. (2020). *Optymalizacja procesu magazynowania wysokoskładowego*. (red.) Sosnowski Z. *Symulacje komputerowe w badaniach i rozwoju*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej. Białystok. DOI: 10.24427/978-83-66391-28-4_11
- Konarzewska, I., Jewczak, M., i Kucharski, A. (2020). *Optymalizacja w logistyce, tom 1. Modelowanie logistycznych procesów decyzyjnych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Krzyżaniak, S. (2005). *Podstawy zarządzania zapasami w przykładach (Wydanie III)*. Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.
- Krzyżaniak, S. (2006). Lokalizacja zapasów w sieci dystrybucji. *LogForum*, 2(1), 2.
- Kusiak, J., Danielewska-Tulecka, A., i Oprocha, P. (2021). *Optymalizacja. Wybrane metody z przykładami zastosowań*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Magdalena, R., i Suli, T. (2019). Forecasting Methods and Implementation of DRP (Distribution Requirement Planning) Methods in Determining the Master Production Schedule. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 528, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.
- Masclé, C., i Gosse, J. (2014). Inventory management maximization based on sales forecast: case study. *Production Planning & Control*, 25(12), 1039-1057.
- Mason, A. J. (2012). OpenSolver-an open source add-in to solve linear and integer programmes in Excel. In *Operations Research Proceedings 2011: Selected Papers of the International Conference on Operations Research (OR 2011)*, August 30-September 2, 2011, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, Zurich, Switzerland, 401-406.
- Mason, A. J. (2013). SolverStudio: A new tool for better optimisation and simulation modelling in Excel. *INFORMS Transactions on Education*, 14(1), 45-52.
- Miszewski, P. (2019). Rola nowoczesnych rozwiązań technologicznych w optymalizacji pracy współczesnego magazynu. *Journal of TransLogistics*, 5(1), 175-182.



Muckstadt, J. A., Sapra, A., Muckstadt, J. A., i Sapra, A. (2010). EOQ model. Principles of Inventory Management: When You Are down to Four, Order More, 17-45.

Mukhsin, M., i Sobirin, M. T. (2022). Scheduling Process Analysis Distribution of Product Using the Distribution Requirement Planning (DRP) Method. AFEBI Management and Business Review, 7(2), 78-89.

Muller, M. (2019). Essentials of inventory management. HarperCollins Leadership.

Ngatilah, Y., Rahmawati, N., Pujiastuti, C., Porwati, I., i Hutagalung, A. Y. (2020). Inventory control system using distribution requirement planning (drp)(case study: Food company). In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1569, No. 3). IOP Publishing.

Nugroho, M., Ellianto, M. S. D., i Nurcahyo, Y. E. (2019). Planning and Implementation Enterprise Resource Planning Module Distribution Management Using the Methods of Distribution Requirement Planning in MSMEs UD Adhi Teknik. International Review of Management and Marketing, 9(6), 179.

Ramaa, A., Subramanya, K. N., i Rangaswamy, T. M. (2012). Impact of warehouse management system in a supply chain. International Journal of Computer Applications, 54(1).

Reszka, L. (2012). Koniunkcja logistyki i optymalizacji. Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zarządzanie, 39, 109-118.

Silva, C. A., Sousa, J. M. C., Runkler, T., i Palm, R. (2005). Soft computing optimization methods applied to logistic processes. International Journal of Approximate Reasoning, 40(3), 280-301.

Smyk, S. (2023). Optymalizacja jako wyzwanie dla menedżerów ds. logistyki. Gospodarka Materiałowa i Logistyka.

Tylicki, H. F., i Bartol, M. (2017). Wybrane problemy optymalizacji procesów logistycznych przedsiębiorstwa. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 18(12).



4. CONTROLLING W ZARZĄDZANIU ŁAŃCUCHEM DOSTAW



W rozdziale przedstawione zostały najważniejsze zagadnienia związane z controllingiem w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Szczególny nacisk został położony na analizę danych logistycznych, dla których można wykorzystać arkusz kalkulacyjny. Znajdziesz tutaj:

- pojęcie controllingu,
- cele i zakres controllingu w łańcuchu dostaw,
- podstawowe KPI w łańcuchu dostaw.

4.1. Wprowadzenie

Controlling można definiować poprzez wskazanie jego głównego zadania, jakim jest zapewnienie zorientowanego na wyniki planowania, kontroli i monitorowania działalności przedsiębiorstwa w oparciu o dane księgowe i finansowe (Hahn, 1987). Controlling można określić jako „system wzajemnie uzgodnionych środków, zasad, celów, metod i technik, który służy wewnątrzsystemowemu sterowaniu i kontroli celów dotyczących wyników” (Nowak, 2015). **Controlling w łańcuchu dostaw** to proces zarządzania i optymalizacji przepływów finansowych, materiałowych oraz informacyjnych w całym łańcuchu dostaw (Chopra i Meindl, 2007). Controlling w łańcuchu dostaw obejmuje analizę danych, prognozowanie, monitorowanie wyników oraz interwencje korygujące, co pozwala na ciągłe dostosowywanie działań do zmieniających się warunków rynkowych i operacyjnych (Cigolini i in., 2004). Między controllingiem w łańcuchu dostaw a controllingiem w przedsiębiorstwie występują różnice, co przedstawiono w tabeli 4.1.

Controlling w łańcuchu dostaw wymaga bardziej holistycznego podejścia do zarządzania i koordynacji działań niż controlling skoncentrowany na pojedynczym przedsiębiorstwie, gdzie priorytetem jest optymalizacja wewnętrznych procesów biznesowych.

**Tabela 4.1. Różnice między controllingiem w łańcuchu dostaw i w przedsiębiorstwie**

Kryterium różnicujące	Controlling w łańcuchu dostaw	Controlling w przedsiębiorstwie
Zakres działania	obejmuje zarządzanie i koordynację działań w wielu niezależnych organizacjach, które współpracują w celu produkcji i dostawy produktów do ostatecznego odbiorcy	koncentruje się na procesach wewnętrznych jednej organizacji, skupiając się na optymalizacji i efektywności operacyjnej w obrębie samego przedsiębiorstwa
Cel strategiczny	dąży do optymalizacji całego procesu od dostawców aż po klientów, skupiając się na integracji i synchronizacji działań między różnymi podmiotami	skupia się na osiągnięciu celów finansowych i operacyjnych samego przedsiębiorstwa, takich jak rentowność, efektywność operacyjna czy zgodność z budżetem
Obszary interwencji	zajmuje się takimi aspektami jak czas realizacji zamówień, koszty logistyczne, jakość współpracy między partnerami czy zarządzanie zapasami na poziomie całego łańcucha	może skupiać się na kontroli kosztów wewnętrznych, analizie rentowności produktów lub działów, oraz optymalizacji procesów biznesowych wewnątrz firmy
Stosowane narzędzia i metodyki	często wykorzystuje zaawansowane systemy informatyczne integrujące dane z różnych przedsiębiorstw, jak systemy ERP czy SCM	może korzystać z bardziej skoncentrowanych na danej firmie narzędzi i systemów, które niekoniecznie muszą być zintegrowane z zewnętrznymi partnerami biznesowymi

Źródło: (Mazur i in., 2021; Nesterak i in., 2020; Vollmuth, 2000)

W controllingu nie wystarcza tylko szczegółowa informacja o przeszłości, niezbędne jest także opracowanie i wdrożenie nowych koncepcji, instrumentów i narzędzi dostarczających dokładnych informacji o przyszłym rozwoju przedsiębiorstwa w łańcuchu dostaw. Stąd też jedną z cech charakteryzujących system controllingu jest występowanie dwóch rodzajów sprzężeń (Nesterak, 2002):

- zwrotnych (feed-back) – regulacja pozwalająca na określenie odchyłeń w układzie plan-wykonanie oraz podjęcie odpowiednich działań korygujących i zapobiegających odstępianiu od wytyczonego celu,
- wyprzedzających (feed-forward) – rozumianych jako sterowanie związane z wykorzystaniem wielkości prognozowanych oraz informacji o działaniach



podejmowanych w przeszłości dla określenia jakiego rodzaju działania należy podejmować w przyszłości.

W tej perspektywie, controlling kieruje działania przedsiębiorstw na przyszłość, tworząc system „wczesnego ostrzegania”. System ten identyfikuje sygnały, które mogą istotnie wpłynąć na przyszłość firmy oraz całego łańcucha dostaw, co z kolei ma wpływ na realizację założonych celów.

Controlling w łańcuchu dostaw ma pozwolić na osiągnięcie celów przez zintegrowane działania analityczne, strategiczne oraz operacyjne, które obejmują zarówno wewnętrzne funkcje przedsiębiorstwa, jak i jego interakcje z zewnętrznymi partnerami w łańcuchu dostaw.

Kluczowe cele controllingu w łańcuchu dostaw to (Chopra i Meindl, 2007):

- zwiększenie efektywności operacyjnej przez analizę procesów, optymalizację przepływów pracy i minimalizację marnotrawstwa, co pozwala na poprawę ogólnej wydajności łańcucha dostaw,
- redukcja kosztów, ponieważ kontrolowanie i ciągłe monitorowanie kosztów w łańcuchu dostaw pozwala identyfikować obszary, gdzie można osiągnąć oszczędności bez obniżania jakości,
- zapewnienie zgodności i jakości poprzez monitorowanie i zapewnienie zgodności z przepisami oraz standardami jakości w całym łańcuchu dostaw,
- poprawa współpracy między partnerami przez lepsze planowanie, komunikację i koordynację działań,
- zwiększenie elastyczności i odporności łańcucha dostaw poprzez rozwijanie zdolności do szybkiego dostosowywania się do zmian na rynku lub w środowisku operacyjnym i minimalizowanie ryzyka przestojów lub zakłóceń,
- optymalizacja zarządzania zapasami, które równoważy potrzeby redukcji kosztów z wymaganiami dotyczącymi dostępności produktów,
- poprawa procesu podejmowania decyzji w związku z dostarczaniem kluczowych danych i analiz, które wspierają strategiczne i taktyczne decyzje zarządcze,
- zapewnienie ciągłego doskonalenia poprzez promowanie kultury ciągłego doskonalenia w ramach łańcucha dostaw poprzez regularne przeglądy, oceny i aktualizacje procesów.

Controlling wspiera realizację strategii łańcucha dostaw przez zapewnienie precyzyjnych danych i analiz, które pomagają w planowaniu strategicznym oraz optymalizacji



procesów. Dzięki monitoringowi wskaźników w czasie rzeczywistym umożliwia szybką reakcję na zmieniające się warunki rynkowe oraz potrzeby klientów. Ponadto, controlling wspiera zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw, identyfikując potencjalne zagrożenia i proponując rozwiązania minimalizujące ich wpływ na realizację założonych celów.

4.2. Kluczowe wskaźniki efektywności w łańcuchu dostaw

W literaturze przedmiotu problematykę controllingu łańcucha dostaw analizuje się najczęściej z punktu widzenia zastosowanych instrumentów. Źródła bibliograficzne wskazują, że najskuteczniejsze narzędzia controllingu to: rachunek kosztów działań, target costing, system wskaźników, zrównoważona karta wyników oraz benchmarking (Dobroszek, 2011; Guersola i in., 2018). W niniejszym opracowaniu dotyczącym zastosowania arkusza kalkulacyjnego w analizie danych logistycznych nacisk położono na analizę wskaźnikową ze względu na jej aplikacyjność w tym właśnie narzędziu.

Kluczowe wskaźniki efektywności (KPI, Key Performance Indicators) stosowane w łańcuchach dostaw są istotnym narzędziem do mierzenia i monitorowania efektywności oraz skuteczności działań w obrębie łańcucha dostaw. KPI można podzielić ze względu na filar, który obejmują (Dobroszek, 2011):

- filar łańcucha dostaw – na tym poziomie stosuje się wskaźniki, które mają zastosowanie do całego łańcucha, np. łączny czas realizacji zlecenia w całym łańcuchu dostaw, łączne koszty łańcucha dostaw i cykl cash to cash,
- filar relacji między partnerami biznesowymi – z kolei na tym poziomie oblicza się wskaźniki, które odzwierciedlają współpracę partnerów biznesowych i wynikające z niej skutki, np. relacja między dostawcą a detalistą; charakterystyczne wskaźniki w tym obszarze to: zdolność realizacji dostaw, niezawodność płatnicza handlowców,
- filar pojedynczego podmiotu gospodarczego w łańcuchu dostaw – mimo że podmioty w łańcuchu dostaw funkcjonują w powiązaniu ze sobą i realizują wspólny cel, to jednak każdy z nich powinien oceniać swoją działalność gospodarczą odrębnie.



Najczęściej stosowane kluczowe wskaźniki efektywności w łańcuchach dostaw są następujące (Dias i Silva 2021; Lehyani i in., 2018; Rasool i in., 2023; Yurtay i in., 2023):

- OTIF (On-Time In-Full) – mierzy procent zamówień dostarczonych klientowi na czas i w pełnej ilości, zgodnie z ich specyfikacją,



Formuła:

$$OTIF = \left(\frac{\text{liczba zamówień dostarczonych na czas i w pełnej ilości}}{\text{całkowita liczba zamówień}} \right) \times 100\%$$



Wysoki poziom realizacji OTIF wskazuje na skuteczność zarządzania zapasami, planowania produkcji, zarządzania czasem transportu oraz dokładności w procesie przyjmowania zamówień.

- czas realizacji zamówienia LT (Lead Time, Order Fulfillment Time) – mierzy czas od przyjęcia zamówienia do jego dostarczenia klientowi,



Formuła:

$$LT = \text{data dostawy} - \text{data przyjęcia zamówienia}$$

Lead time obejmuje:



- czas przygotowania zamówienia – czas potrzebny na przetworzenie zamówienia w systemie,
 - czas produkcji – czas wymagany na wyprodukowanie lub przygotowanie zamówionych produktów,
 - czas dostawy – czas, który upływa od momentu wysłania produktu do klienta do momentu jego otrzymania.
- poziom obsługi klienta (Customer Service Level) – mierzy zdolność organizacji do spełnienia wymagań klientów, często określane jako procent zamówień zrealizowanych bez błędów (por. rozdział Zarządzanie zapasami),
 - wskaźnik dostępności zapasów IA (Inventory Availability) – procent czasu, kiedy zapasy są dostępne dla klientów bez opóźnień,



Formuła:



$$IA = \left(\frac{\text{liczba dni, w których zapasy były dostępne}}{\text{całkowita liczba dni w okresie}} \right) \times 100\%$$

lub

$$IA = \left(\frac{\text{dostępna ilość zapasów}}{\text{żądana ilość zapasów}} \right) \times 100\%$$



Wskaźnik mierzy procent dni lub przypadków, w których zapasy były dostępne do natychmiastowej realizacji w stosunku do ogólnego zapotrzebowania lub liczby dni w określonym czasie.

Pozwala to ocenić, na ile efektywnie firma zarządza swoimi zapasami w kontekście spełniania oczekiwań klientów.

- wskaźnik obrotu zapasami (Inventory Turnover) – mierzy, jak często przedsiębiorstwo zużywa i zastępuje zapasy w danym okresie, pokazuje, jak sprawnie organizacja zarządza swoimi zasobami i reaguje na zapotrzebowanie rynkowe,

Formuła:



$$IT = \left(\frac{\text{koszt sprzedanych towarów}}{\text{średni poziom zapasów}} \right) \times 100\%$$



Zbyt wysoki wskaźnik może wskazywać na ryzyko braków w zapasach.

Zbyt niski wskaźnik może oznaczać nadmierne zapasy lub słabą sprzedaż.

Idealny poziom wskaźnika obrotu zapasów zależy od branży i specyfiki firmy, jak również od jej strategii zarządzania łańcuchem dostaw.

- wskaźnik zwrotów RoR (Rate of Return) – procent produktów zwracanych przez klientów w stosunku do ogólnej liczby sprzedanych produktów,

Formuła:



$$RoR = \left(\frac{\text{liczba zwróconych jednostek}}{\text{całkowita liczba sprzedanych jednostek}} \right) \times 100\%$$



Wysoki wskaźnik zwrotów może wskazywać na problemy z jakością produktów, niezgodności z opisem lub niewłaściwe spełnienie oczekiwań klientów, co negatywnie wpływa na ich zadowolenie.



Wskaźnik ten pomaga firmom zidentyfikować problemy w produktach lub procesach, które mogą wymagać poprawy. Analiza przyczyn zwrotów może prowadzić do zmian w procesach produkcyjnych, poprawy jakości produktów lub usług, a także lepszego zarządzania zapasami i prognozowania.

- wskaźnik wydajności dostawców SPI (Supplier Performance Index) – ocena i monitorowanie wydajności dostawców w ramach łańcucha dostaw; określić, jak dobrze dostawcy spełniają ustalone kryteria takie, jak jakość dostarczanych produktów, terminowość dostaw, czy zdolność do realizacji zamówień bez błędów (por. rozdział Analityka w obszarze zaopatrzenia i zakupów).

Formuła:



$$SPI = \left(\frac{\text{suma punktów za wszystkie kryteria}}{\text{maksymalna możliwa liczba punktów}} \right) \times 100\%$$



SPI jest zazwyczaj obliczany na podstawie kilku indywidualnych wskaźników wydajności, np. jakość dostaw, terminowość i elastyczność.

Punkty są przyznawane na podstawie spełnienia określonych kryteriów, a maksymalna suma punktów odpowiada idealnej wydajności dostawcy.

Pytania do rozdziału

1. Jakie są kluczowe cele controllingu w łańcuchu dostaw?
2. Jakie działania są podejmowane w ramach controllingu w celu redukcji kosztów w łańcuchu dostaw?
3. W jaki sposób controlling zapewnia zgodność i jakość w łańcuchu dostaw?



LITERATURA

Chopra, S., i Meindl, P. (2007). Supply chain management: Strategy, planning & operation, Gabler.

Cigolini, R., Cozzi, M., i Perona, M. (2004). A new framework for supply chain management: Conceptual model and empirical test. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(1), 7-41.

Dias, G. P., i Silva, M. E. (2021). Revealing performance factors for supply chain sustainability: A systematic literature review from a social capital perspective. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 19(1), 1-18.

Dobroszek, J. (2016). Rachunkowość zarządcza w zarządzaniu łańcuchem dostaw w świetle wyników badań literaturowych i ankietowych. *Zeszyty Teoretyczne Rachunkowości*, (89), 29-54.

Guersola, M., Lima, E. P. D., i Steiner, M. T. A. (2018). Supply chain performance measurement: A systematic literature review. *International Journal of Logistics Systems & Management*, 31(1), 109-131.

Hahn, D. (1987). Controlling—Stand und entwicklungstendenzen unter besonderer berücksichtigung des CIM-konzeptes. In *Rechnungswesen und EDV: Controlling· Anwenderberichte· Neue Konzepte· Controlling-Systeme· Systemerfahrungen* (3-39). Physica-Verlag HD.

Lehyani, F., Zouari, A., Ghorbel, A., i Tollenaere, M. (2021). Defining and measuring supply chain performance: A systematic literature review. *Engineering Management Journal*, 1-31.

Mazur, N., Khrystenko, L., Pásztorová, J., Zos-Kior, M., Hnatenko, I., Puzyrova, P., i Rubezhanska, V. (2021). Improvement of controlling in the financial management of enterprises. *TEM Journal-Technology, Education, Management, Informatics*.

Nesterak, J. (2002). Controlling-zarys idei. *Zeszyty Naukowe Akademia Ekonomiczna w Krakowie*, 2002, nr 560, 73-88.

Nesterak, J., Jabłoński, M., i Kowalski, M. J. (2020). Controlling procesów w praktyce przedsiębiorstw działających w Polsce. *Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie*.



Nowak, M. (2015). Controlling–konceptcja oraz metoda wspomagająca współpracę międzyorganizacyjną. *Studia Ekonomiczne*, 224, 173-184.

Rasool, F., Greco, M., i Strazzullo, S. (2023, September). Understanding the future KPI needs for digital supply chain. In *Supply Chain Forum: An International Journal*, 1-12.

Vollmuth, H.J. (2000). Controlling, planowanie, kontrola, kierowanie. Podstawy budowy systemu controllingu. Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa.

Yurtay, Y., Yurtay, N., Demirci, H., Zaimoglu, E. A., i Göksu, A. (2023). Improvement and implementation of sustainable key performance indicators in supply chain management: The case of a furniture firm. *IEEE Access*.



5. ANALITYKA W OBSZARZE ZAOPATRZENIA I ZAKUPÓW



W rozdziale omówiono obszar zaopatrzenia i strategii zakupów. Jednym z najważniejszych wyzwań tego obszaru jest ocena i wybór właściwych dostawców. Do najważniejszych poruszanych zagadnień tego rozdziału zaliczono:

- rolę i znaczenie zaopatrzenia i zakupów,
- podział strategii zaopatrzenia i zakupów,
- wybrane metody oceny i wyboru dostawców.

5.1. Wprowadzenie

Zaopatrzenie (logistyka zaopatrzenia) przyporządkowane jest zarówno do funkcji podstawowych, jak i pomocniczych. Przyczynia się do uzyskania przewagi konkurencyjnej poprzez, m. in. wybór dostawców, którzy:

- oferują wysokiej jakości surowce przy zachowaniu możliwie najniższej ceny przyczyniając się do zwiększenia zadowolenia klientów,
- gwarantują innowacyjne technologie, co przekłada się na wprowadzanie nowych rozwiązań i produktów na rynek,
- stosują zrównoważone praktyki, które wpływają na ograniczanie marnotrawstwa i poprawę wizerunku przedsiębiorstwa.

Zaopatrzenie pozwala na pozyskiwanie wyposażenia, materiałów i komponentów niezbędnych do produkcji własnego wyrobu gotowego lub sprzedaży towaru kolejnym ogniwom w łańcuchu dostaw. Logistyka zaopatrzenia łączy również uczestników łańcucha dostaw i zapewnia pożądaną jakość tworzoną przez dostawców w tym łańcuchu (Coyle i in., 2002).

Zaopatrzenie obejmuje dodatkowo działania związane z analizą zapasu dysponowanego (bieżącego) materiałów i komponentów, które znajdują się w dyspozycji przedsiębiorstwa. Równie ważnym działaniem wykonywanym w obszarze logistyki zaopatrzenia jest planowanie



potrzeb materiałowych na bazie planów produkcji lub zamówień od klientów oraz na bazie struktury (specyfikacji) wyrobu wytwarzanego przez przedsiębiorstwo. Zaopatrzenie obejmuje również nadzorowanie i reagowanie na zmiany warunków dostawy (zmiana terminu, asortymentu, jego ilości, itp.). Oznacza więc pozyskanie czegoś w zaplanowany sposób.

Zakupy natomiast są jednym z etapów logistyki zaopatrzenia. Oznaczają nabywanie dóbr i usług. Jest to jednak dość wąskie postrzeganie zakupów, które traktuje zakupy w sposób oderwany od innych realizowanych w przedsiębiorstwie funkcji. Pojęcie zakupy należy rozumieć jako transakcja wymiany, która rozpoczyna się w momencie, kiedy znane są potrzeby materiałowe (Kowalska, 2005). Są poprzedzone wyborem źródła zaopatrzenia (dostawcy lub podwykonawcy) oraz działaniami polegającymi na negocjowaniu cen i terminu realizacji zlecenia. Zakupy są to transakcje, w wyniku których klient nabywa towar lub usługę, dostawca zaś otrzymuje za nie zapłatę. Obejmuje więc cztery etapy: (1) sprecyzowanie typu zakupu; (2) określenie niezbędnego poziomu nakładów; (3) realizacja właściwego procesu zakupu; (4) ocena efektywności zrealizowanego procesu zakupu.

Pojęcia zakupy, zaopatrzenie i zakupy zaopatrzeniowe są często traktowane jako określenia bliskoznaczne. Pamiętać jednak należy, że określenia te różnią się między sobą – ich zakres jest odmienny. Zakupy są pojęciem węższym od zaopatrzenia. Zakupy zaopatrzeniowe dotyczą zaś pozyskania dóbr i usług potrzebnych do procesu produkcyjnego.

Rola i znaczenie zakupów i zaopatrzenia w przedsiębiorstwie w dużym stopniu zależy od dostępności dóbr przemysłowych i handlowych. Im większy problem i trudność w uzyskaniu i zakupieniu dóbr (np. niestabilny rynek podlegający cyklom sezonowym, brakom i niestabilności cenowej), tym zaopatrzenie i zakup stają się bardziej strategiczne. Natomiast im bardziej standardowy typ dóbr i ogólnie wysoki poziom dostępności na rynku, tym znaczenie zaopatrzenia i zakupu maleją. Rola ta jest również inna jeśli przedsiębiorstwo znaczną część kapitału ma zamrożoną w dobrach materiałowych. Związany z tym koszt oznacza, że bardziej skuteczne zarządzanie zaopatrzeniem i zakupami wpłynie na lepsze zarządzanie kapitałem przedsiębiorstwa i większe oszczędności. Oznacza to więc, że rola zaopatrzenia i zakupów będzie wzrastać w przedsiębiorstwach, w których stopień kapitałochłonności (udziału kosztów dóbr materiałowych i związanych z nimi operacji w wyrobie gotowym) tego procesu jest duży.



5.2. Strategie zaopatrzenia i zakupów – podział pod względem źródeł zaopatrzenia

Ze względu na możliwe źródła zaopatrzenia można wyróżnić kilka odmiennych strategii zaopatrzenia i zakupów. Można różnicować je pod względem liczby źródeł zaopatrzenia. W takiej sytuacji można wskazać na strategie (Grzybowska, 2011):

- pojedynczego źródła zaopatrzenia (jednego dostawcy); (single sourcing) oznacza, że na podstawie ustalonych kryteriów zostaje wyselekcjonowany jeden dostawca, który jest odpowiedzialny za dostawy określonej pozycji asortymentowej lub grupy asortymentowej. Rozwiązanie to zapewnia utrzymanie ścisłych kontaktów pomiędzy odbiorcą a jednym, wybranym i preferowanym przez przedsiębiorstwo dostawcą. Pozwala na budowanie trwałych związków i relacji pomiędzy partnerami biznesowymi, często na zasadach długotrwałego partnerstwa i umowy. Trwałe relacje, stabilność współdziałania i współpracy oraz ujednolicona jakość dostarczanych dóbr lub wykonywanych usług są niewątpliwą zaletą tego rozwiązania. Wadą stosowanej strategii jest ryzyko związane z posiadaniem tylko jednego dostawcy. To przede wszystkim ryzyko, że dojdzie do utraty ciągłości dostaw, które mogą być spowodowane przez zakłócenia w łańcuchu dostaw oraz ryzyko uzależnienia się nabywcy od jednego dostawcy. Szczególnie ma to miejsce, gdy dostawca jest monopolistą. W szczególnych przypadkach może dojść do monopolu dostawcy, kiedy na rynku nie ma alternatywnych źródeł zaopatrzenia.
- dwóch źródeł zaopatrzenia (dwóch dostawców); (dual sourcing) co oznacza zaopatrywanie się u dwóch równorzędnych dostawców, którzy dostarczają ten sam rodzaj asortymentu lub grupę asortymentów. Współpraca pomiędzy nabywcą a dwoma dostawcami oparta jest na zasadzie 50-50 – podział zleceń i dokonywanych zakupów jest równo rozłożony pomiędzy nimi. Strategia podwójnego zakupu może przybierać również formę nierównomiernego podziału i różnicowania współpracy między dwoma wybranymi dostawcami. Jest to strategia huśtawki (see-saw sourcing). Jak nazwa wskazuje strategia ta stosuje zasadę huśtawki rozdziału zleceń. Podział zakupów jest nierównomierny (np. 70% jeden dostawca, 30% drugi dostawca). Proporcje przypadających na



dostawców zleceń mogą się zmieniać w zależności od proponowanej ceny przedmiotu zakupu oraz jego jakości. Mimo, że przedsiębiorstwa te mają takie same prawa, występuje między nimi rywalizacja o większy udział. Jest to niewątpliwie siła napędowa tej strategii.

- wielu źródeł zaopatrzenia (wielu dostawców), (multiple sourcing) oznacza korzystanie z usług wielu dostawców i podwykonawców. Ta strategia zapewnia duże bezpieczeństwo zaopatrzeniowe. Cechuje się triadą: wielu dostawców – wiele relacji – wiele strategii. Zazwyczaj dotyczy komponentów do wyrobu gotowego, które nie są strategiczne. Strategia wielu dostawców mówi, że należy wykorzystywać i współpracować ze stosunkowo dużą liczbą dostawców, z którymi przedsiębiorstwo tworzy różnego rodzaju relacje, poziomy współpracy i odmienne transakcje. Strategia gwarantuje ciągłość i niezawodność dostaw. Pozwala również nie uzależnić się od jednego dostawcy. Istniejąca między dostawcami konkurencja zapewnia także nieustanne podnoszenie wymagań i oczekiwań nabywcy. Problemy występować mogą z utrzymaniem wyrównanego poziomu jakości i parametrów technicznych zarówno nabywanych dóbr, jak i realizowanych usług. Niemożliwe jest prowadzenie wspólnych prac badawczo-rozwojowych z tak dużą liczbą alternatywnych dostawców.

Innym przykładem strategii zaopatrzenia i zakupów jest podział ze względu na przedmiot zakupu. Wyróżnić można strategie (Grzybowska, 2011):

- zakupów pojedynczych elementów (unit sourcing), która kierowana jest do przedsiębiorstw produkcyjnych, które nabywają przedmiot zakupu w postaci mało skomplikowanych komponentów (elementów prostych: części, detale, itp.), z których następnie wytwarzają wyrób gotowy. W rozwiązaniu tym stopień wydzielenia działalności produkcyjnej na zewnątrz (outsourcing) jest niewielki. Zakłada wysoki stopień integracji pionowej produkcji. Istnieje bardzo duże prawdopodobieństwo, że przedsiębiorstwo produkcyjne (nabywca) będzie skupiało wokół siebie wielu lub bardzo wielu dostawców różnych dóbr materiałowych, z których wytwarzany jest wyrób gotowy.
- zakupów modułowych (modular sourcing), co oznacza odejście od pozyskiwania pojedynczych elementów na rzecz gotowych modułów montażowych lub złożonych komponentów, które są montowane w finalny produkt.



5.3. Metody oceny i wyboru dostawców

Ocena kandydatów na dostawców opiera się na kryteriach ustalonych dla wyboru dostawców. Eksperci przeprowadzają te oceny przy użyciu różnych metod podejmowania decyzji. Wybór dostawcy jest jednym z najbardziej krytycznych działań związanych z zarządzaniem zakupami w łańcuchu dostaw (Amid i in., 2006). Wybór dostawców stanowi podstawę długoterminowego partnerstwa z dostawcami, które może w znacznym stopniu przyczynić się do sukcesu lub porażki firmy (Ali i in., 2023). Na proces podejmowania decyzji w sprawie oceny i wyboru dostawców mają wpływ następujące elementy: (1) stosowana metoda oceny, (2) minimalna wielkość zamówienia; (3) strategia zaopatrzenia; (4) potencjał produkcyjny dostawcy; (5) rodzaj produktu; (6) rodzaj oceny dostawcy; (7) preferencje lokalizacji dostawców; (8) kryteria wyboru dostawcy; (9) strategia produkcji oraz (10) potencjał produkcyjny dostawcy (Nowakowski i Werbińska-Wojciechowska, 2012; de Boer, i in. 2001).

Znany jest szereg metod i technik oceny i wyboru dostawców. Poniżej zaprezentowano niektóre podziały (Benyoucef i in., 2003):

- metody eliminacyjne (elimination methods), które pomagają przedsiębiorstwom w procesie selekcji dostawców poprzez stopniowe eliminowanie tych, którzy nie spełniają określonych kryteriów. Jedną z metod eliminacyjnych jest metoda punktowa, w której każdy dostawca jest oceniany na podstawie zestawu kryteriów, takich jak cena, jakość, terminowość dostaw, itp. Dostawcy, którzy nie osiągną minimalnej liczby punktów, są eliminowani. Podkategorią w tej grupie jest metoda oceny ważonej dostawców.
- metody optymalizacyjne (optimization methods), które pomagają przedsiębiorstwom w podejmowaniu decyzji dotyczących wyboru najlepszych dostawców na podstawie różnych kryteriów. Jedną bardziej popularnych metod optymalizacyjnych jest metoda wielokryterialna (Analytic Hierarchy Process, AHP), która polega na hierarchicznym porządkowaniu kryteriów i ocenie dostawców na podstawie tych kryteriów. AHP pozwala na uwzględnienie zarówno kryteriów ilościowych, jak i jakościowych.
- metody probabilistyczne (probabilistic methods), które uwzględniają niepewność i zmienność danych w procesie podejmowania decyzji. Jedną z metod tej grupy jest metoda TOPSIS z informacją probabilistyczną.



Wiele uwagi poświęca się obecnie problemom związanym z wyborem dostawców i alokacją dostawców, które wraz z upływem czasu stają się coraz trudniejsze do rozwiązania (Khazaei i in., 2023). Wybór dostawcy na dzisiejszym konkurencyjnym rynku jest najważniejszą funkcją dla sukcesu ogólnej wydajności cyklu i organizacji łańcucha dostaw (Dweiri i in., 2016).

5.4. Kryteria oceny dostawców

Wyznaczenie właściwych kryteriów oceny dostawców umożliwia późniejsze dokonanie najlepszego z możliwych wyborów. Kryteria te wpływają i decydują o ocenie ofert podwykonawców. Na uwagę zasługują szczegółowe kryteria oceny dostawców (rys. 5.1) oraz rozwiniecie ich o istotne parametry (tab. 5.1-5.4). Na przykład Ha i Krishnan (2008) wspomnieli, że cena, jakość i dostawa to trzy najczęściej używane atrybuty. Podobnie Koul i Verma (2012) również uznali cenę, jakość, koszt i obsługę za główne kryteria wyboru dostawcy.



Rysunek 5.1. Wybrane kryteria oceny dostawców

Źródło: (Midor i Biały, 2019)

Jednym z kluczowych kryteriów oceny dostawców jest cena (koszty) oraz warunki płatności (tab. 5.1). Cena i koszty dostawy bezpośrednio wpływają na całkowity koszt produkcji. Od nich zależy również poziom marży zysku. Warto także pamiętać, że warunki płatności, takie jak terminy płatności i możliwość kredytowania, wpływają na płynność finansową przedsiębiorstwa. Tak więc elastyczne warunki płatności mogą pomóc w zarządzaniu przepływem gotówki i uniknięciu problemów z płynnością.

Jednak cena nie jest jedynym kryterium oceny dostawców. Równie istotnym kryterium są warunki dostawy (tab. 5.2). Zdolność dostawcy do terminowych dostaw, regularnych lub elastycznych są niezbędne, aby uniknąć przestojów w produkcji i zapewnić ciągłość operacji.



Tabela 5.1. Rozwinięcie kryteriów oceny dostawców – Cena/koszty i warunki płatności

Kryterium oceny	Charakterystyczne parametry
Cena/koszty i warunki płatności	▪ konkurencyjność ceny ▪ stabilność lub zmienność ceny w dłuższym czasie ▪ terminy płatności ▪ możliwość kredytowania dostawy ▪ zakres udzielanych rabatów przy większych zamówieniach ▪ zakres udzielanych rabatów przy długotrwałej współpracy ▪ gotowość do negocjacji cenowych ▪ koszty dostawy ▪ koszty transportu ▪ koszty ukryte (dodatkowe) bezpośrednio niewidoczne w ofercie cenowej ▪ koszty związane z jakością (z reklamacją, zwrotem, naprawą)

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5.2. Rozwinięcie kryteriów oceny dostawców – Dostawy

Kryterium oceny	Charakterystyczne parametry
Dostawy	▪ terminowość dostaw ▪ regularność dostaw ▪ częstotliwość dostaw ▪ kompletność dostaw ▪ dokładność/ zgodność asortymentowa dostaw ▪ sposób pakowania i zabezpieczenia towaru ▪ elastyczność ilościowa dostaw i terminowa dostaw ▪ dogodność składania zamówień ▪ możliwość zarządzania przez dostawcę logistyką dostaw (np. transportem, magazynowaniem) ▪ niezawodność dostaw

Źródło: opracowanie własne



Tabela 5.3. Rozwinięcie kryteriów oceny dostawców – Jakość towaru

Kryterium oceny	Charakterystyczne parametry
Jakość towaru	▪ jakość techniczna towaru ▪ gwarancje jakościowe ▪ niezawodność towaru ▪ serwis techniczny ▪ zgodność towaru z normami i standardami ▪ funkcjonalność towaru ▪ trwałość towaru ▪ system kontroli jakości ▪ bezpieczeństwo towaru ▪ łatwość naprawy lub konserwacji towaru ▪ wpływ towaru na środowisko naturalne (ekologiczność)

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5.4. Rozwinięcie kryteriów oceny dostawców – Potencjał dostawcy

Kryterium oceny	Charakterystyczne parametry
Potencjał dostawcy	▪ zdolności produkcyjne ▪ dostępność technologiczna ▪ dostępność zasobów technicznych, ludzkich, materiałowych ▪ potencjał innowacyjny ▪ wydajność logistyczna i operacyjna ▪ doświadczenie dostawcy ▪ zdolności zarządcze i organizacyjne ▪ pozycja rynkowa dostawcy (udział w rynku; reputacja) ▪ możliwości wprowadzania nowych technologii, produktów lub procesów

Źródło: opracowanie własne

Kolejnym ważnym kryterium oceny dostawców jest jakość dostarczanego towaru (tab. 5.3). Wysoka jakość towarów (surowców, materiałów, komponentów) wpływa na jakość wytwarzanego produktu, a w efekcie prowadzi do zadowolenia klientów. To zaś zwiększa



lojalność i powtarzalność dokonywanych zakupów oraz wpływa na reputację przedsiębiorstwa, które dokonuje zakupu.

Podczas oceny i wyboru dostawcy można również zwrócić uwagę na potencjał dostawcy do dalszego rozwoju (tab. 5.4). Kryterium to odnosi się do parametrów, które pomagają ustalić, czy dostawca w bliższej/dalszej perspektywie czasu będzie w stanie sprostać przyszłym wyzwaniom i wymaganiom rynku.

5.5. Metoda oceny ważonej dostawców (Weighted Point Method)

Najczęściej stosowanymi metodą ilościową oceny dostawców jest metoda oceny, która bazuje na ocenie ważonej (Burdzik, 2017). W metodzie tej w pierwszej kolejności ustala się kolejność wybranych kryteriów oceny dostawców i przypisuje się im współczynnik ważony (wagę). Współczynnik ważony odnosi się do istotności wybranego kryterium oceny.

Przedsiębiorstwa często korzystają z systemu punktów ważonych, ponieważ jest on wysoce niezawodny, a koszty jego wdrożenia są umiarkowane. Ponadto łączy jakościowe i ilościowe czynniki wydajności we wspólny system. Ponieważ decydenci mogą zmieniać współczynniki ważne przypisane do każdego kryterium lub samodzielnie zmieniać je w zależności od strategicznych priorytetów firmy. Tak więc system jest elastyczny (Arsan i Shank, 2011; Maláková, i in., 2020).

Ocenę dostawcy uzyskuje się mnożąc każdą ocenę kryterium przez z góry określony współczynnik ważony. Następnie sumuje się otrzymane wartości.

Wynik preferencji (W_p) oznacza ocenę dostawcy.

Powyższe przedstawia formalny model:

$$W_p = \sum_{i=1}^n (O_i \cdot \varpi_i)$$

w którym

W_p – wynik preferencji

O – ocena kryterium

ϖ – współczynnik ważony.



Współczynnik ważony powinien:

- Mieścić się w przedziale $< 0,1 >$,
- Każdy kolejny zastosowany współczynnik ważony jest mniejszy od swojego poprzednika $\varpi_i > \varpi_{i+1} > \varpi_{i+2}$,
- Suma wszystkich współczynników ważonych musi być równa 1: $\sum_1^n \varpi_i = 1$,
- Liczba współczynników ważonych zależy od liczby analizowanych kryteriów.

Powyższe wyjaśnia formuła stosowana w Excelu dla średniej ważonej z pięcioma wybranymi kryteriami oceny dostawcy:



wynik preferencji_(dostawca 1) = **(ocena**_(kryterium 1) * $\omega_{(1)}$) + **(ocena**_(kryterium 2) * $\omega_{(2)}$) + **(ocena**_(kryterium 3) * $\omega_{(3)}$) + **(ocena**_(kryterium 4) * $\omega_{(4)}$) + **(ocena**_(kryterium 5) * $\omega_{(5)}$)

Zaproponowana procedura i opis przebiegu obliczeń został przedstawiony poniżej.

Treść zadania

Dokonaj oceny dostawców dla wybranej pozycji asortymentowej.



- [1] Przygotowanie arkusza z danymi; Wypisanie kryteriów i przydzielenie współczynników ważonych;
- [2] Ustalenie skali ocen poszczególnych kryteriów; Ustalenie zbioru dostawców podlegających ocenie;
- [3] Przypisanie ocen poszczególnym kryteriom i dostawcom
- [4] Obliczenie średniej ważonej dla każdego dostawcy podlegającego ocenie
- [5] Narysowanie wykresu zawierającego kryteria i ich ocenę spełniania przez dostawców
- [6] Wykonanie analizy i na jej podstawie wybranie najlepszego dostawcy; ustalenie, który dostawca otrzyma najlepszą ocenę



Wybrane kryteria to:

- Jakość części rowerowej (części się nie psują, są wytrzymałe, bez reklamacji),
- Cena części rowerowej (im niższa tym lepsza),
- Terminowość dostaw (dostawy są dostarczane w terminie),
- Niezawodność dostaw (produkty docierają całe, bez zniszczeń),
- Zgodność towaru z oczekiwaniami (towar przyjeżdża dokładnie taki, jaki został zamówiony),
- Procedura zamawiania (proste i intuicyjne złożenie zamówienia).

Przypisane współczynniki ważone są następujące:

- Jakość części rowerowej – 30%,
- Cena części rowerowej – 25%,
- Terminowość dostaw – 15%,
- Niezawodność dostaw – 10%,
- Zgodność towaru z oczekiwaniami – 10%,
- Procedura zamawiania – 10%.

Wskazano, że ocena poszczególnych kryteriów będzie dokonywana na podstawie oceny 10-stopniowej (1-10), gdzie:

- 10 – Bardzo dobrze (idealne spełnienie kryterium),
- 7–9 – Dobrze (niewielkie problemy),
- 4–6 – Średnio (częściowe spełnienie, kilka problemów),
- 2–3 – Słabo (liczne problemy),
- 1 – Bardzo źle (brak spełnienia kryterium).

Wskazano, że do oceny dostawców dobrano pięć przedsiębiorstw dostarczających części rowerowe. Są to przedsiębiorstwa zakodowane: A1, B2, C3, D4, E5.



Przykład w Excel:

[1] Przygotuj arkusz z danymi; wypisz kryteria i przydziel współczynniki ważone.

		ocena dostawcy				
kryterium oceny	współczynnik ważony	A1	B2	C3	D4	E5
jakość	30%					
cena	25%					
terminowość	15%					
niezawodność	10%					
zgodność	10%					
procedura zamawiania	10%					

[2] Ustal skalę ocen poszczególnych kryteriów według ustalonej skali i przydziel do każdego dosatwcy, którzy podlegają ocenie.

		ocena dostawcy				
	współczynnik					
kryterium oceny	ważony	A1	B2	C3	D4	E5
jakość	30%	9	4	6	10	8
cena	25%	7	9	6	9	7
terminowość	15%	8	9	7	8	8
niezawodność	10%	9	8	4	9	9
zgodność	10%	10	8	7	10	5
procedura zama	10%	8	7	6	10	8
Wynik preferencji						

[3] Oblicz średnie ważone dla każdego dostawcy podlegającego ocenie; Formuła pozwalająca policzyć średnią ważoną dla jednego dostawcy pokazana jest poniżej.

Dla każdego dostawcy należy policzyć średnią ważoną, która uwzględnia przyznane oceny oraz wagi dla danego kryterium. W tym celu należy policzyć dla każdego dostawcy sumę iloczynów oceny i wagi dla każdego kryterium.

D21

:

✕

✓

fx

=D15*C15+D16*C16+D17*C17+D18*C18+D19*C19+D20*C20

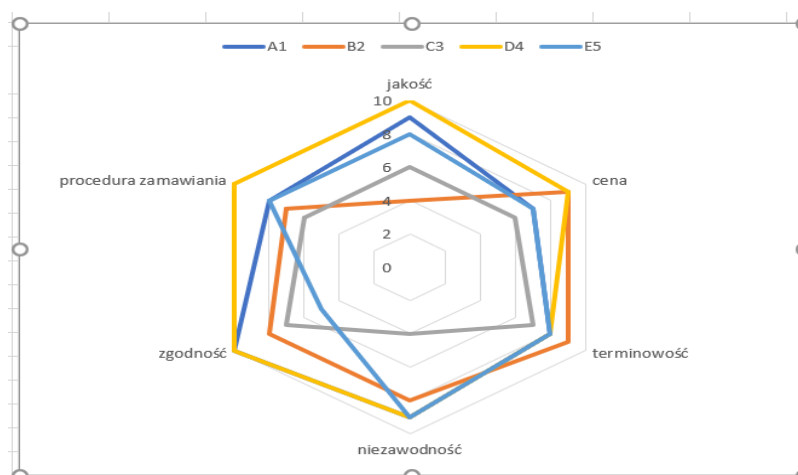
	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2				ocena dostawcy				
3		kryterium oceny	współczynnik ważony	A1	B2	C3	D4	E5
4		jakość	30%	9	4	6	10	8
5		cena	25%	7	9	6	9	7
6		terminowość	15%	8	9	7	8	8
7		niezawodność	10%	9	8	4	9	9
8		zgodność	10%	10	8	7	10	5
9		procedura zamawiania	10%	8	7	6	10	8
10		Wynik preferencji		8,35				



Skopiuj formułę z adresami bezwzględными dla pozostałych dostawców;

W celu skopiowania formuły warto zastosować adresy bezwzględne dla komórek, w których znajduje się waga danego kryterium.

- [4] Narysuj wykres zawierający kryteria i ich ocenę spełniania przez dostawców;
Dla zobrazowania wyniku warto wykonać wykres radarowy, który pokaże ocenę każdego kryterium (osie wykresu) ze względu na dostawcę (kolorowe linie).



Stan doskonały wybranych kryteriów dostawcy będzie figurą „po okręgu”, natomiast stanem niedoskonałości będzie punkt 0 „środek”.

- [5] Wykonaj analizę i na jej podstawie wybierz najlepszego dostawcę; ustal, który dostawca otrzymał najlepszą ocenę.

kryterium oceny	współczynnik ważony	ocena dostawcy				
		A1	B2	C3	D4	E5
jakość	30%	9	4	6	10	8
cena	25%	7	9	6	9	7
terminowość	15%	8	9	7	8	8
niezawodność	10%	9	8	4	9	9
zgodność	10%	10	8	7	10	5
procedura zamawiania	10%	8	7	6	10	8
Wynik preferencji		8,35	7,1	6,05	9,35	7,55

W celu ustalenia dostawcy spełniającego najlepiej kryteria przyjęte podczas analizy wybiera się tego dostawcę, dla którego wynik preferencji jest największy.



Po wykonaniu analizy można wskazać, który z dostawców w największym stopniu spełnia kryteria wskazane w przedsiębiorstwie. Z tym dostawcą powinno się podjąć współpracę. W przypadku, gdy strategia zakupowa wskazuje, że powinno być dwóch dostawców dla danej pozycji zakupowej, należy wybrać kolejnego dostawcę z najwyższym wynikiem preferencji.

Wyniki otrzymanej analizy oceny dostawcy z wykorzystaniem metody średniej ważonej w przejrzysty sposób można zaprezentować na wykresie. Najwyższy wynik preferencji oznacza jednocześnie najwyższą sumę ocen ważonych wybranych kryteriów.

5.6. Metoda wielokryterialna

Metoda analizy wielokryterialna (Analytic Hierarchy Process, AHP) jest często stosowaną procedurą do rozwiązywania problemów związanych z decyzjami strategicznymi, również do oceny i wyboru dostawców (Ossadnik i Lange, 1999). AHP jest powszechną wielokryterialną metodą podejmowania decyzji. Została opracowana, aby pomóc w rozwiązywaniu złożonych problemów decyzyjnych. Uwzględnia zarówno subiektywne, jak i obiektywne miary oceny (Dweiri i in., 2016).

AHP wykorzystuje porównanie parami kryteriów oceny w odniesieniu do celu. To porównanie parami pozwala określić względną wagę kryteriów w odniesieniu do głównego celu. Jeśli dostępne są dane ilościowe, porównania można łatwo przeprowadzić w oparciu o zdefiniowaną skalę. To sprawia, że wynik analizy gwarantuje doskonałą ocenę. Metoda AHP jest intuicyjną metodą formułowania i analizowania decyzji. Bazuje na metodologii subiektywnej. Składa się z trzech głównych zasad: (1) struktury hierarchicznej, (2) analizy priorytetów i (3) weryfikacji spójności (Cheng i in., 2007).

Zaproponowana procedura i opis przebiegu obliczeń został przedstawiony poniżej.

Treść zadania

Dokonaj oceny dostawców dla wybranej pozycji asortymentowej.



- [1] Przygotowanie arkusza z danymi; Wypisanie kryteriów.
- [2] Porównaj kryteria parami (skala 1, 3, 5).
- [3] Zliczenie sumy dla każdego kryterium.
- [4] Zliczenie udziału każdej komórki w sumie dla każdego kryterium.
- [5] Obliczenie preferencji globalnych dla każdego kryterium.
- [6] Przedstawienie preferencji globalnych dla każdego kryterium.
- [7] Wskaż dostawców (A1, B2, C3, D4).
- [8] Obliczenie preferencji lokalnych dla każdego kryterium i dostawcy.
- [9] Policzenie udziału każdej komórki w sumie dla każdego kryterium i dostawcy.
- [10] Obliczenie preferencji lokalnych dla każdego kryterium i dostawcy.
- [11] Przedstawienie preferencji lokalnych dla każdego dostawcy względem danego kryterium.
- [12] Ustalenie rankingu dostawców.
- [13] Wybór dostawcy.

Wybrane kryteria to:

- Jakość części rowerowej (części się nie psują, są wytrzymałe, bez reklamacji),
- Cena części rowerowej (im niższa tym lepsza),
- Terminowość dostaw (dostawy są dostarczane w terminie),
- Niezawodność dostaw (produkty docierają całe, bez zniszczeń).

Wybrano skalę porównania kryteriów:

- 1 – tak samo dobre / ważne,
- 2 – trochę lepsze / ważniejsze,
- 3 – zdecydowanie lepsze / ważniejsze,
- 4 – znacznie lepsze / ważniejsze,
- 5 – krańcowo lepsze / ważniejsze.



Wskazano, że do oceny dostawców dobrano pięć przedsiębiorstw dostarczających części rowerowe. Są to przedsiębiorstwa zakodowane: A1, B2, C3, D4.



Przykład w Excel:

[1] Przygotuj arkusz z danymi; wypisz kryteria.

[2] Porównaj kryteria parami (skala 1, 3, 5).

Porównanie kryteriów parami pozwala na określenie, które z nich jest ważniejsze. Porównanie wykonuje się wg przyjętej skali.

Przykładowo: jakość jest krańcowo ważniejsza od ceny, co oznacza wybór oceny 5. Dla porównania kryteriów w kolejności cena a jakość bierze się odwrotność oceny wcześniejszej, czyli 1/5.

	Jakość	Cena	Terminowość	Niezawodność
Jakość	1	5	3	2
Cena	1/5	1	3	1
Terminowość	1/3	1/3	1	1/5
Niezawodność	1/2	1	5	1

[3] Policz sumę dla każdego kryterium w kolumnie.

Następnie sumuj w kolumnach przyznane oceny z porównania kryteriów parami.

=SUMA(C12:C15)					
	B	C	D	E	F
	Jakość	Cena	Terminowość	Niezawodność	
Jakość	1,00	5,00	3,00	2,00	
Cena	0,20	1,00	3,00	1,00	
Terminowość	0,33	0,33	1,00	0,20	
Niezawodność	0,50	1,00	5,00	1,00	
Suma:	2,03	7,33	12,00	4,20	

[4] Oblicz udział każdej komórki w sumie dla każdego kryterium.

Następnie należy policzyć udział danego kryterium w sumie dla tego kryterium. W przykładzie pokazano w pasku formuły właściwe komórki, na wartościach wygląda to następująco dla kryterium jakość: $1:2,03=0,49$;



$0,20:2,03=0,10$; $0,33:2,03=0,16$; $0,50:2,03=0,25$. Suma udziałów musi wynosić 1.

C21						
	A	B	C	D	E	F
10						
11			Jakość	Cena	Terminowość	Niezawodność
12		Jakość	1,00	5,00	3,00	2,00
13		Cena	0,20	1,00	3,00	1,00
14		Terminowość	0,33	0,33	1,00	0,20
15		Niezawodność	0,50	1,00	5,00	1,00
16		Suma:	2,03	7,33	12,00	4,20
17						
18						
19						
20			Jakość	Cena	Terminowość	Niezawodność
21		Jakość	0,49	0,68	0,25	0,48
22		Cena	0,10	0,14	0,25	0,24
23		Terminowość	0,16	0,05	0,08	0,05
24		Niezawodność	0,25	0,14	0,42	0,24
25		Suma:	1,00	1,00	1,00	1,00

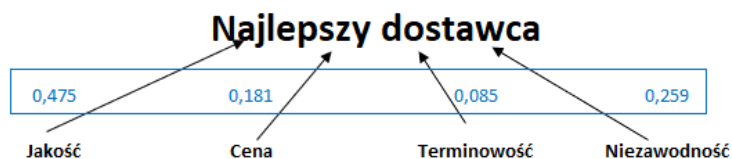
[5] Oblicz preferencje globalne dla każdego kryterium.

Obliczenie preferencji globalnych dla każdego kryterium to policzenie w wierszach średnich udziałów dla każdego kryterium. To obliczenie pozwala na ustalenie globalnego udziału tego kryterium w całej ocenie, której zostaną poddani dostawcy.

	B	C	D	E	F	G
		Jakość	Cena	Terminowość	Niezawodność	W (średnia)
	Jakość	0,49	0,68	0,25	0,48	0,475
	Cena	0,10	0,14	0,25	0,24	0,181
	Terminowość	0,16	0,05	0,08	0,05	0,085
	Niezawodność	0,25	0,14	0,42	0,24	0,259
	Suma:	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

[6] Przedstaw preferencje globalne dla każdego kryterium.

Forma graficzna pozwala na lepsze przedstawienie preferencji danego kryterium w odniesieniu do wyboru dostawcy.



[7] Wskaż dostawców (A1, B2, C3, D4).

[8] Porównaj dostawców parami ze względu na każde kryterium (skala 1-7)

Porównanie dostawców parami pozwala na określenie, który z nich spełnia dane kryterium lepiej. Porównanie wykonuje się wg przyjętej skali. W przyjęto skalę porównania dostawców 1-7, gdzie 1 oznacza, że dostawcy są tak samo dobrzy, 7 – dostawca jest krańcowo lepszy, pozostałe wartości są pomiędzy.

Porównanie dostawców wykonuje się dla każdego kryterium osobno.

Przykładowo: dla kryterium jakość dostawca A1 jest tak samo dobry jak dostawca B2 (ocena 1), dostawca A1 jest trochę lepszy od dostawców C3 i D4 (ocena 3). Dla porównania dostawców w odwrotnej kolejności (B2 a A1, C3 a A1, D4 a C3) bierze się odwrotność oceny wcześniejszej (czyli odpowiednio: 1/1, 1/3, 1/3).

Następnie sumuje się w kolumnach przyznane oceny z porównania dostawców parami.

Jakość	A1	B2	C3	D4	Terminowość	A1	B2	C3	D4
A1	1,00	1,00	3,00	3,00	A1	1,00	3,00	0,33	3,00
B2	1,00	1,00	0,20	3,00	B2	0,33	1,00	0,20	3,00
C3	0,33	5,00	1,00	0,33	C3	3,00	5,00	1,00	5,00
D4	0,33	0,33	3,00	1,00	D4	0,33	0,33	0,20	1,00
Suma:	2,66	7,33	7,20	7,33	Suma:	4,66	9,33	1,73	12,00

Cena	A1	B2	C3	D4	Niezawodność	A1	B2	C3	D4
A1	1,00	5,00	7,00	4,00	A1	1,00	0,20	3,00	5,00
B2	0,20	1,00	3,00	1,00	B2	5,00	1,00	5,00	5,00
C3	0,14	0,33	1,00	0,33	C3	0,33	0,20	1,00	0,33
D4	0,25	1,00	3,00	1,00	D4	0,20	0,20	3,00	1,00
Suma:	1,59	7,33	14,00	6,33	Suma:	6,53	1,60	12,00	11,33

[9] Policz udział każdej komórki w sumie dla każdego kryterium i dostawcy.

Należy policzyć udział danego dostawcy w sumie dla tego dostawcy ze względu na każde kryterium.

W przykładzie w pierwszej tabeli dla kryterium jakość pokazano w pasku formuły właściwe komórki, na wartościach wygląda to następująco dla



Suma udziałów musi wynosić 1.

[illegible]

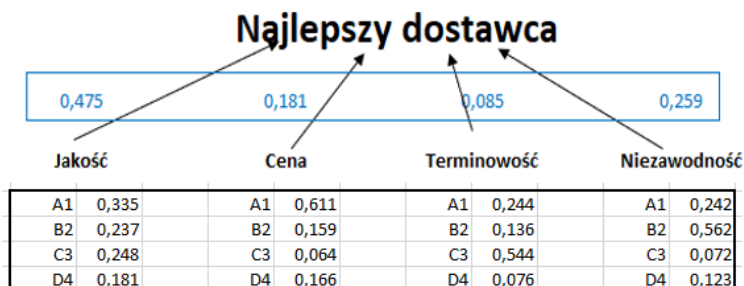
Obliczenie preferencji lokalnych dla każdego dostawcy ze względu na każde kryterium to policzenie w wierszach średnich udziałów dla każdego dostawcy. To obliczenie pozwala na ustalenie lokalnego udziału tego dostawcy ze względu na dane kryterium w ocenie.



=ŚREDNIA(J3:M3)						
H	I	J	K	L	M	N
	Jakość	A1	B2	C3	D4	U(Wygoda)
	A1	0,38	0,14	0,42	0,41	0,335
	B2	0,38	0,14	0,03	0,41	0,237
	C3	0,12	0,68	0,14	0,05	0,248
	D4	0,12	0,05	0,42	0,14	0,181
	Suma:	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Cena	A1	B2	C3	D4	U(Niezawodność)
	A1	0,63	0,68	0,50	0,63	0,611
	B2	0,13	0,14	0,21	0,16	0,159
	C3	0,09	0,05	0,07	0,05	0,064
	D4	0,16	0,14	0,21	0,16	0,166
	Suma:	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Terminowość	A1	B2	C3	D4	U(styl)
	A1	0,21	0,32	0,19	0,25	0,244
	B2	0,07	0,11	0,12	0,25	0,136
	C3	0,64	0,54	0,58	0,42	0,544
	D4	0,07	0,04	0,12	0,08	0,076
	Suma:	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Niezawodność	A1	B2	C3	D4	U(Ekonomiczność)
	A1	0,15	0,13	0,25	0,44	0,242
	B2	0,77	0,63	0,42	0,44	0,562
	C3	0,05	0,13	0,08	0,03	0,072
	D4	0,03	0,13	0,25	0,09	0,123
	Suma:	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

[11] Przedstaw preferencje lokalne dla każdego dostawcy względem danego kryterium.

Forma graficzna pozwala na lepsze przedstawienie preferencji danego dostawcy w odniesieniu do każdego kryterium.



[12] Ustal ranking dostawców.

[illegible]

Otrzymane wyniki można przedstawić w formie graficznej. W analizowanym przykładzie najwyższy wynik oceny otrzymał dostawca A1.

Jak podają Sheffi i Blayney Rice (2005) odporność w przedsiębiorstwach i łańcuchach dostaw można budować na trzy ogólne sposoby: (1) tworzenie nadmiarowości w całym łańcuchu dostaw (np. dodatkowe zapasy, niskie wykorzystanie mocy produkcyjnych, wielokrotne zaopatrzenie), (2) zwiększanie elastyczności łańcucha dostaw (np. elastyczne środki transportu w przypadku zakłóceń, procesy równoległe zamiast sekwencyjnych, strategię



zaopatrzenia dostosowane do dostawcy relacje) oraz (3) zmiana kultury korporacyjnej (np. ciągła komunikacja między poinformowanymi pracownikami, przygotowanie do zakłóceń).

Hosseini i inni (2019) zwrócili także uwagę, że w ocenie dostawców warto wprowadzać elementy analizy w oparciu o zdolność do odporności dostawcy, która obejmuje trzy poziomy zdolności:

- absorpcyjne (np. nadwyżka zapasów zwiększa odporność całej sieci dostaw na zakłócenia),
- adaptacyjne (np. alternatywni dostawcy rezerwowi w celu szybkiego dostosowania sieci dostaw),
- naprawcze (np. szybkie odzyskanie utraconej zdolności dostawczego dostawcy przy minimalnych kosztach).

Tabela 5.5. Kryteria odporności

Kryterium odporności	Wyjaśnienie
Inicjatywy na rzecz kontroli zanieczyszczeń	Wysiłek związany z inicjatywami minimalizacji zanieczyszczeń dotyczących odpadów stałych, marnotrawstwa wody, emisji do powietrza itp.
Inwestycja w zdolności przesyłowych	Poziom zapasów bezpieczeństwa uwzględniany w celu zminimalizowania ryzyka wyczerpania zapasów z powodu niepewności.
Szybkość reakcji	Zdolność dostawców do reagowania na potrzeby przy występowaniu wahań rynkowych w możliwie najkrótszym czasie.
Zdolność do utrzymywania strategicznych zapasów na wypadek sytuacji kryzysowych	Pokazuje zerową dostępność, straty, uzupełnianie zapasów i rotację zapasów. Zapasy strategiczne muszą być na określonym poziomie, ponieważ zawsze istnieją niepewne żądania.
Zawieranie umów z dostawcami zapasowymi	Zawieranie umów z dostawcami zapasowymi to proces, w którym firma nawiązuje współpracę z dostawcami, którzy mogą dostarczać produkty lub usługi w przypadku, gdy główni dostawcy nie są w stanie tego zrobić. Jest to strategia mająca na celu zwiększenie odporności łańcucha dostaw na zakłócenia i minimalizowanie ryzyka związanego z przerwami w dostawach.
Strategia łagodzenia skutków	Strategie łagodzenia skutków to działania podejmowane w celu zmniejszenia negatywnych konsekwencji zakłóceń w łańcuchu dostaw.
Zarezerwowane zapasy	Zarezerwowane zapasy to strategia zarządzania zapasami, w której firma utrzymuje określony poziom zapasów, które są przeznaczone do wykorzystania w sytuacjach awaryjnych lub w przypadku nagłych wzrostów popytu.

Źródło: (Davoudabadi i in., 2020; Suryadi i Rau, 2023)



Natomiast Davoudabadi i inni wskazali oraz poszerzyli kryteria wyboru dostawców o aspekty zrównoważone (przykładowo: materiały przyjazne dla środowiska; technologia oparta na technologii ekologicznej; przestrzeganie polityki ochrony środowiska; zielone projekty badawczo-rozwojowe) i odporne (tab. 5.5).

Tak więc odporni dostawcy powinni (1) posiadać zdolność do powrotu do stanu równowagi, (2) mieć siłę i posiadać pewną pojemność buforową systemu, zanim zakłócenie doprowadzi system ze stabilnych do niestabilnych warunków oraz (3) posiadać zdolność do reagowania na zaburzenie.

Pytania do rozdziału

1. Jakie kryteria oceny dostawców uważasz za najważniejsze w kontekście zarządzania płynnością finansową przedsiębiorstwa i dlaczego?
2. Jakie są główne zalety stosowania metody AHP w procesie oceny i wyboru dostawców?
3. Jakie są główne wady stosowania metody AHP w procesie oceny i wyboru dostawców?

LITERATURA

Ali M.R., Nipu S.M.A. i Khan S.A. (2023) A decision support system for classifying supplier selection criteria using machine learning and random forest approach. *Decision Analytics Journal*, 7, 100238.

Amid A., Ghodsypour S. H., i O'Brien C. (2006) Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of production economics*, 104(2), 394-407.

Arsan A., i Shank A. (2011) Performance measurement and metrics: An analysis of supplier evaluation.

Benyoucef L., Ding H., i Xie X. (2003) Supplier selection problem: selection criteria and methods. *Raport de recherche No. 4726, INRIA Lorraine, Nancy France*.

Burdzik R. (2017) Parametryczna ważona ocena dostawców (PWOD), cz. 1–podstawowe założenia metody. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, (117).



- Cheng S.C., Chen M.Y., Chang H.Y., i Chou T.C. (2007) Semantic-based facial expression recognition using analytical hierarchy process. *Expert Systems with Applications*, 33(1), 86-95.
- Coyle J.J., Bardi E.J., i Langley C.J. Jr. (2002) Zarządzanie logistyczne, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Davoudabadi R., Mousavi S.M., i Sharifi E. (2020) An integrated weighting and ranking model based on entropy, DEA and PCA considering two aggregation approaches for resilient supplier selection problem. *Journal of Computational Science*, 40, 101074.
- de Boer L., Labro E., i Morlacchi P. (2001) A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing and Supply Management* 7, 75-89.
- Dweiri F., Kumar S., Khan S.A., i Jain V. (2016) Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273-283.
- Grzybowska K. (2011) Strategie zakupowe. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- Ha S.H., i Krishnan R. (2008) A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain. *Expert systems with applications*, 34(2), 1303-1311.
- Hosseini S., Tajik N., Ivanov D., Sarder M.D., Barker K., i Al Khaled A. (2019) Resilient supplier selection and optimal order allocation under disruption risks. *International Journal of Production Economics*, 213, 124-137.
- Khazaei M., Hajiaghaei-Keshteli M., Rajabzadeh Ghatari A., Ramezani M., Fooladvand A., i Azar A. (2023) A multi-criteria supplier evaluation and selection model without reducing the level of optimality. *Soft Computing*, 27(22), 17175-17188.
- Kowalska K. (2005) Logistyka zaopatrzenia, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Karola Adamieckiego w Katowicach, Katowice.
- Maláková S., Frankovský P., Neumann V., i Kurylo P. (2020). Evaluation of suppliers' quality and significance by methods based on weighted order. *Acta logistica*, 7(1), 1-7.
- Midor K., i Biały W. (2019) Metody oceny dostawców dla przedsiębiorstw. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, 8.
- Nowakowski T., i Werbińska-Wojciechowska S. (2012) Przegląd metod oceny i wyboru dostawców w przedsiębiorstwie. *Logistyka*, (2, CD 2), 944-955.



Ossadnik W., i Lange O. (1999) AHP-based evaluation of AHP-Software. European journal of operational research, 118(3), 578-588.

Pramanik D., Mondal S.C., i Haldar A. (2020) Resilient supplier selection to mitigate uncertainty: Soft-computing approach. Journal of Modelling in Management, 15(4), 1339-1361.

Sheffi Y. i Rice Jr. J.B. (2005) A supply chain view of the resilient enterprise. MIT Sloan management review.

Suryadi A., i Rau H. (2023) Considering region risks and mitigation strategies in the supplier selection process for improving supply chain resilience. Computers & Industrial Engineering, 181, 109288.

Verma R., i Koul S. (2012) Dynamic Vendor selection: a fuzzy AHP approach. International Journal of the Analytic Hierarchy Process, 4(2).



6. OUTSOURCING



Rozdział ten poświęcony jest najważniejszym zagadnieniom związanym z outsourcingiem oraz analizą make-or-buy wykorzystywaną przy procesie podejmowania decyzji o outsourcingu. Zawiera on:

- podstawowe definicje,
- rodzaje outsourcingu,
- wady i zalety outsourcingu,
- opis analizy make-or-buy,
- outsourcing logistyczny.

6.1. Wprowadzenie

We współczesnych uwarunkowaniach rynkowych procesy logistyczne, które obejmują przepływy produktów, materiałów oraz informacji wewnątrz firmy i między organizacjami, w dużym stopniu wpływają na spełnienie oczekiwań oraz próśb konsumentów. Logistyka warunkuje tworzenie oraz utrzymanie dominacji konkurencyjnej obecnych podmiotów gospodarczych. Procesy logistyczne są wykonywane w obrębie systemu logistycznego, który każde przedsiębiorstwo ma utworzone w inny sposób. W celu spełnienia zmieniających się oraz wzrastających oczekiwań i preferencji klientów, obecnie przedsiębiorstwa budują bardzo skomplikowane systemy logistyczne, oparte na współdziałaniu wielu przedsiębiorstw z różnych państw. Procesy logistyczne są coraz bardziej złożone, obarczone niepewnością oraz wymagające dużych nakładów finansowych. Firmy powinny nie tylko starać się zagwarantować odpowiednią obsługę nabywcy, dążyć do minimalizacji kosztów, lecz także do obniżenia oddziaływania zakłóceń procesów logistycznych (König i Spinler, 2016). System logistyczny przedsiębiorstwa należy dopasować do warunków zewnętrznych oraz wewnętrznych danej organizacji oraz powinien gwarantować efektywne oraz sprawne realizowanie jego celów. Nieodpowiedni układ procesów logistycznych może prowadzić do wzrastających nakładów finansowych działalności logistycznej oraz spadku jakości obsługi konsumentów, co wpływa na spadek pozycji konkurencyjnej organizacji (Brzeziński, 2015).



Współczesne firmy coraz częściej wprowadzają zmiany wewnątrz swojej organizacji, zwłaszcza w sferze zarządzania, ze względu na dążenie do wysokiej efektywności swojej działalności oraz do osiągnięcia celów i sukcesu rynkowego, gdyż efektywność jest narzędziem tworzenia ich przewagi konkurencyjnej. Nieustanne zwiększanie się presji rynkowej razem z konkurencyjnością innych firm powodują, że dla podmiotów gospodarczych nie jest możliwa integracja wszystkich zasobów na wszystkich szczeblach swojej działalności. W związku z tym nasuwa się pytanie o konieczności wykonywania wszystkich czynności we własnym zakresie danej organizacji i rozważenia skorzystania z outsourcingu, czyli usług firmy zewnętrznej wyspecjalizowanej w danej branży, aby skoncentrować się na swojej kluczowej działalności?

Trafną odpowiedzią na to pytanie jest wypowiedź Henry'ego Forda: „Jeśli jest coś, czego nie potrafimy zrobić wydajniej, taniej i lepiej niż konkurenci, nie ma sensu, żebyśmy to robili i powinniśmy zatrudnić do wykonania tej pracy kogoś, kto robi to lepiej niż my” (Ford, 1923).

6.2. Istota outsourcingu



Ogólnie ujmując, **outsourcing** jest metodą (koncepcją) zarządzania, sprowadzającą się do ograniczenia zakresu czynności wykonywanych bezpośrednio przez daną firmę (określaną jako firma macierzysta) i zleceniu ich do stałej realizacji przez zewnętrzne przedsiębiorstwa (nazywane firmami usługowymi) (Trocki, 2001).

Koncepcja outsourcingu wychodzi z założenia, że dla niemal każdego procesu, obszaru czy funkcji, które można by realizować w zakresie typowej struktury organizacyjnej firmy, istnieje alternatywa w formie usług proponowanych przez zewnętrznych, specjalizujących się w danej branży dostawców (partnerów). Z tej przyczyny outsourcing określa się jako metodę stałej obsługi zewnętrznej przez wyspecjalizowane przedsiębiorstwa, eksternalizację, zarządzanie zewnętrzne, czy wręcz dekoncentrację funkcjonowania organizacji.

Obszary, które mogą być z sukcesem zleczone firmom zewnętrznym w ramach outsourcingu przedstawia tabela 6.1.



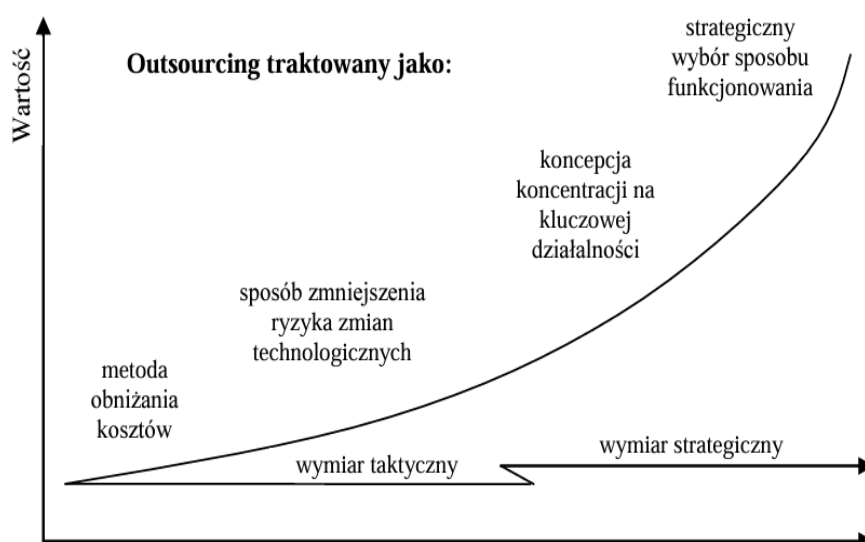
Tabela 6.1. Przykłady obszarów możliwych do przekazania na rzecz firmy usługowej w ramach outsourcingu

Obszar	Przykłady zadań, funkcji lub procesów
Produkcja i zaopatrzenie	produkcja komponentów, półwyrobów, a nawet wyrobów gotowych, montaż produktów, pakowanie, projektowanie,
Transport i logistyka	transport i dystrybucja produktów, usługi kurierskie, magazynowanie,
Badania i rozwój	prace badawczo-rozwojowe, badania naukowe, prace wdrożeniowe,
Informatyka i technologie informacyjne	obsługa sieci komputerowych, obsługa centrów danych, usługi utrzymania infrastruktury informatycznej, obsługa aplikacji informatycznych, wsparcie użytkowników końcowych, usługi zabezpieczające lub usługi internetowe,
Finanse, rachunkowość i obsługa podatkowo-księgowa	prowadzenie księgowości, obsługa wierzytelności, controlling, audyt, usługi finansowo-analityczne, opracowywanie biznesplanów, doradztwo podatkowe, reprezentacja podatnika przed organami podatkowymi,
Obsługa prawna	doradztwo prawne w różnych dziedzinach, czy reprezentacja w sprawach prawnych,
Obsługa klienta	telemarketing, prowadzenie recepcji, sekretariatu, infolinii, czy call center,
Marketing	monitorowanie zmian zachodzących na rynku, badania oczekiwań klientów, tworzenie koncepcji nowych wyrobów, określanie strategii promocyjnej, reklamowej, dystrybucyjnej, czy kształtowanie sfery public relations,
Kadry i zasoby ludzkie,	rekrutacja i selekcja kandydatów, szkolenia pracowników, tworzenie systemów motywacyjnych, zarządzanie personelem, administrowanie dokumentacją kadrową, zatrudnienie czasowe, czy rozliczenia płac
Zarządzanie i administracja	utrzymanie budynków i czystości, prowadzenie archiwów, ochrona osób i mienia, usługi menedżerskie.

Źródło: (Matejun, 2007)



Według innej definicji, „**outsourcing** to metoda organizacji i zarządzania, polegająca na względnie trwałym, długoterminowym, opartym na kontrakcie, przeniesieniu odpowiedzialności za realizację określonych obszarów działalności gospodarczej (zadań, funkcji lub procesów) na stronę wyspecjalizowanego partnera zewnętrznego, przy uwzględnieniu dynamicznego, interakcyjnego i partnerskiego charakteru współpracy nakierowanej na uzyskanie korzyści ekonomicznych i jakościowych oraz przy jednoczesnej możliwości rozwijania kluczowych kompetencji przedsiębiorstwa macierzystego, co umożliwia wzmocnienie jego kluczowej działalności, budowanie przewagi konkurencyjnej i rozwój firmy” (Matejun, 2015).



Rysunek 6.1. Ewolucja koncepcji outsourcingu

Źródło: (Matejun, 2015)

Schemat ewolucji i wzrostu znaczenia outsourcingu dla współczesnych przedsiębiorstw został przedstawiony na rysunku 6.1.

6.3. Podstawowe rodzaje outsourcingu

Realizacja Outsourcingu w praktyce gospodarczej może odbywać się w dwóch głównych postaciach: wydzielenia lub zlecenia. **Wydzielenie** odnosi się do sytuacji, gdy dana sfera działalności (proces, zadanie, funkcja,) jest wykonywana w obrębie struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa, jednak nie należy do głównych kompetencji organizacji, a analizy związane



z kosztami jej utrzymania oraz jakości, koordynacji, i terminowości działania pokazują, że nie bierze ona udziału w procesie tworzenia wartości usług lub produktów. Wówczas istnieje możliwość usunięcia danego obszaru działalności ze struktury organizacyjnej i powierzenie jego realizacji w ramach outsourcingu przedsiębiorstwu usługowemu (Matejun, 2015).

Tabela 6.2. Warianty outsourcingu kapitałowego i kontraktowego w zależności od formy przekazania działalności na rzecz firmy usługowej

Outsourcing Forma przekazania działalności	Outsourcing kapitałowy	Outsourcing kontraktowy
	stała współpraca z podmiotem powiązanym kapitałowo i właścicielsko	stała współpraca z podmiotem niezależnym kapitałowo
Wydzielenie obszaru	Wydzielenie kapitałowe stworzenie na bazie zasobowej nowego podmiotu zależnego, który rozpoczyna samodzielny byt rynkowy; świadczy on usługi jednostce macierzystej, jak również podmiotom zewnętrznym.	Wydzielenie kontraktowe likwidacja dotychczas realizowanej funkcji w przedsiębiorstwie i nawiązanie sformalizowanej współpracy z zewnętrznym, niezależnym dostawcą, który zapewnia realizację zadań; możliwość częściowego transferu kadry i innych zasobów do dostawcy.
Zlecanie obszaru	Zlecenie kapitałowe zakup udziałów lub akcji w firmie świadczącej wymagane usługi lub realizującej określone zadania; w efekcie następuje przejęcie kapitałowe i powstanie podmiotu zależnego.	Zlecenie kontraktowe nawiązanie współpracy z niezależnym kapitałowo i właścicielsko dostawcą, który rozpoczyna realizację określonej funkcji.

Źródło: (Matejun, 2015)

Ze **zlecaniem** mamy do czynienia wówczas, gdy w strukturze organizacyjnej firmy nie była wykonywana dotychczas określona dziedzina działalności, a z analizy wynika, że byłaby ona potrzebna ze względu na pewne korzyści strategiczne. Do obszaru tego nie należą kluczowe kompetencje przedsiębiorstwa, a jego bezpośrednie dodanie do struktury organizacyjnej spowodowałoby zaangażowanie znacznych zasobów, które mogłyby być przeznaczone na umocnienie podstawowej sfery funkcjonowania. Umożliwi to nawiązanie kooperacji z zewnętrznym dostawcą, który świadczy pożądane usługi w ramach outsourcingu (Matejun, 2015).



Istnieje też możliwość wydzielenia, jak również zlecenia usług w wariancie kontraktowym albo kapitałowym. W **wariancie kontraktowym** zewnętrznym dostawcą, czyli firmą usługową, zostaje niezależny pod względem kapitału, wyspecjalizowane przedsiębiorstwo mające powiązania z firmą macierzystą tylko na podstawie umowy.

Tabela 6.3. Podstawowe rodzaje outsourcingu

Kryterium podziału	Rodzaje outsourcingu
Rodzaj wydzielanych funkcji	▪ outsourcing funkcji pomocniczych, ▪ outsourcing funkcji kierowniczych, ▪ outsourcing funkcji podstawowych
Rodzaj wydzielanej działalności	▪ outsourcing działalności ubocznej, ▪ outsourcing działalności pomocniczej, ▪ outsourcing działalności zasadniczej.
Rodzaj outsourcingu wg funkcji	▪ outsourcing usług informatycznych, ▪ outsourcing usług finansowych, ▪ outsourcing logistyki, ▪ outsourcing zasobów ludzkich i inne
Złożoność wydzielanych funkcji	▪ outsourcing pojedynczych funkcji, ▪ outsourcing procesów (BPO), ▪ outsourcing obszarów funkcjonalnych.
Cel wydzielenia	▪ outsourcing naprawczy, ▪ outsourcing dostosowawczy, ▪ outsourcing rozwojowy
Trwałość wydzielenia	▪ outsourcing strategiczny, ▪ outsourcing taktyczny.
Miejsce wykonywania usługi outsourcingowej	▪ usługi świadczone centralnie, ▪ usługi świadczone lokalnie.
Zakres wydzielenia	▪ outsourcing całkowity, ▪ outsourcing częściowy (selektywny).

Źródło: (Matejun, 2006)

Założeniem **wariantu kapitałowego** natomiast jest zawarcie kooperacji z firmą zależną właścicielsko i kapitałowo. Może się to dokonać przez utworzenie nowej organizacji (spółki córki) lub przez nabycie udziałów albo akcji w przedsiębiorstwie, które już działa na rynku i realizuje działania, których potrzebuje firma macierzysta. W wyniku kombinacji outsourcingu kapitałowego oraz kontraktowego z dwoma podstawowymi metodami zlecenia



usług zewnętrznej firmie usługowej można uzyskać cztery zasadnicze warianty tej metody, co prezentuje tabela 6.3.

Oprócz zaprezentowanych powyżej rodzajów outsourcingu, w praktyce gospodarczej istnieje jeszcze wiele innych jego odmian, w zależności od przyjętego kryterium, które zostały przedstawione w tabeli 6.3.

6.4. Korzyści i zagrożenia stosowania outsourcingu we współczesnych przedsiębiorstwach

Pomimo, że korzyści uzyskane w wyniku współpracy outsourcingowej są często determinowane przez czynniki powiązane z wielkością przedsiębiorstwa, jego branżą, typem wydzielonej działalności czy skalą działania, należy zwrócić uwagę na wiele pozytywnych aspektów dla firmy macierzystej, które można dostrzec po wdrożeniu outsourcingu bez względu na wyżej wymienione czynniki. Najczęściej przedstawiane są następujące zalety outsourcingu, rozpatrywane wielopoziomowo (Trocki, 2001; Lachiewicz i Matejun, 2012).

I. Korzyści bezpośrednie

1. Korzyści prawne

- poczucie bezpieczeństwa wynikające ze stałej kooperacji z firmą zewnętrzną,
- podzielenie ryzyka między przedsiębiorstwo usługowe i macierzyste,
- transfer odpowiedzialności za wykonanie usług na dostawcę.

2. Korzyści motywacyjne

- większe nastawienie rynkowe kadry zarządzającej oraz pracowników,
- wzrost zadowolenia oraz komfortu psychicznego w zarządzaniu organizacją,
- zwiększenie motywacji kierownictwa oraz zatrudnionych.

3. Korzyści techniczno-technologiczne

- Nawiązanie współpracy z firmami partnerskimi mającymi odpowiednie kwalifikacje potwierdzonymi certyfikatami,
- wzrost poziomu wykorzystania zasobów przedsiębiorstwa,
- dostępność zewnętrznych zasobów technologicznych (know how),
- polepszenie się parametrów wykonania powierzonych firmie zewnętrznej sfer funkcjonowania (ich realizacji, kosztów, nakładu zasobów, jakości, czasu, itd.).



4. Korzyści organizacyjno-kadrowe

- symplifikacja struktury organizacyjnej i obowiązujących w przedsiębiorstwie procedur organizacyjnych,
- szybszy przepływ informacji oraz lepsza komunikacja w organizacji,
- uwolnienie wewnętrznych zasobów oraz oszczędność czasu kierownictwa, które można przeznaczyć na rozwój kluczowej działalności,
- redukcja potrzeby angażowania własnych pracowników do wykonania niektórych zadań.

5. Korzyści ekonomiczno-finansowe

- zwiększenie dyscypliny finansowej oraz wzrost kontroli kosztów i przychodów,
- minimalizacja nakładów finansowych realizacji zadań (przede wszystkim poprzez zmniejszenie zatrudnienia oraz innych zasobów potrzebnych do ich wykonania),
- lepsza struktura wydatków firmy,
- przekształcenie kosztów stałych w zmienne dzięki zapłacie wyłącznie za zrealizowaną usługę przez firmę zewnętrzną, bez potrzeby ponoszenia stałych kosztów na jej realizację,

6. Korzyści operacyjne

- poprawa jakości oraz efektywności wykonania procesów operacyjnych w firmie
- zredukowanie problemów operacyjnych,

7. Korzyści strategiczne

- wzrost strategicznej elastyczności działalności,
- rozwój pewnych obszarów organizacji bez konieczności inwestowania- wykonawca usługi we własnym zakresie bowiem dokonuje inwestycji w technologię oraz zasoby konieczne do realizacji określonych funkcji,
- dostęp do zasobów lub kwalifikacji, których przedsiębiorstwo nie ma w swej strukturze albo na których nie jest w stanie sfinansować,
- skupienie się podmiotu gospodarczego na jego działalności zasadniczej oraz rozwoju kluczowych kompetencji (obszarów działalności).

II. Korzyści pośrednie

- dywersyfikacja lub wzbogacenie oferty rynkowej przedsiębiorstwa,
- wzrost udziału w rynku,



- pozyskanie nowych konsumentów,
- większa satysfakcja oraz zadowolenie dotychczasowych klientów,
- lepsza pozycja konkurencyjna.

Outsourcing nie jest jednak pozbawiony ryzyka. Najczęstsze zagrożenia związane z wdrażaniem outsourcingu wg (Clements i in., 2004; Click & Duening, 2005) obejmują ryzyka:

- związane z zarządzaniem kapitałem ludzkim – dotyczy zarówno motywacji pracowników przechodzących do firm zewnętrznych i ich zdolności do szybkiej adaptacji do nowych warunków, jak i utraty ich wiedzy, kompetencji oraz potencjału;
- kontroli relacji z klientami – outsourcing procesów biznesowych może prowadzić do przejściowych zakłóceń w kontaktach z klientami;
- wyboru i oceny dostawców usług – obejmuje trudności w doborze odpowiednich firm zewnętrznych, ocenę ich kompetencji oraz konieczność dostosowywania ich zasobów do potrzeb organizacji;
- związane z jakością i terminowością usług – może pojawić się trudności w zapewnieniu zgodności dostarczanych produktów i usług z wymaganymi standardami oraz w dotrzymywaniu uzgodnionych terminów;
- ograniczonej elastyczności dostawców – problemy mogą wynikać z trudności w dostosowywaniu działań podmiotów zewnętrznych do zmian w organizacji macierzystej;
- spadku jakości obsługi klienta – w krótkim okresie może dojść do obniżenia szybkości i skuteczności realizacji potrzeb klientów;
- związane z różnicami w celach organizacji i dostawcy – może dojść do rozbieżności między strategią i ambicjami firmy a celami partnera outsourcingowego;
- związane z reorganizacją procesów – dotyczą konieczności odpowiedniego dostosowania struktur organizacyjnych, by uniknąć utraty efektywności i produktywności;
- utraty efektywnej wymiany informacji – outsourcing może spowolnić przepływ informacji oraz utrudnić ich szerokie rozpowszechnianie;



- wzrostu kosztów w krótkim okresie – choć outsourcing często ma na celu redukcję wydatków, może początkowo generować dodatkowe koszty związane z implementacją zmian;
- prawne – wynikające z potencjalnych nieścisłości w umowach, problemów z regulacjami oraz sporów prawnych.

6.5. Analiza Make-or-Buy

Jedną z ważniejszych koncepcji, która argumentuje wykorzystanie outsourcingu jest koncepcja dylematów **make-or-buy**, wiążąca się z zasadniczymi problemami funkcjonowania każdego przedsiębiorstwa: robić, wykonać we własnym zakresie (make), czy też kupować, powierzyć wykonanie firmie zewnętrznej (buy), ale też, czy realizować dane przedsięwzięcie samemu, czy wraz z innymi organizacjami (Perechuda, 2000)?

Make (produkcja) – umożliwia organizacji kontrolowanie swojej działalności. Poleca się ją zwłaszcza, kiedy firma ma w posiadaniu zastrzeżone wyroby albo procesy. Rekomenduje się ją kiedy (www_6.1):

- produkt jest wartościowy i niełatwy do powielenia,
- rynek dostawców nie należy do zbyt dobrze rozwiniętych,
- otoczenie jest stabilne.

Buy (zakup) – nabycie usług oraz produktów od zewnętrznych firm z łańcucha dostaw przyczynia się do wzrostu elastyczności przedsiębiorstwa i zapewnia mu dostęp do najbardziej nowoczesnych produktów. Zaleca się tę koncepcję w przypadku gdy (www_6.1):

- niestabilność otoczenia powoduje duże ryzyko wewnętrznych inwestycji,
- mamy do czynienia z konkurencyjnością na rynku dostawców,
- produkt nie jest traktowany jako istotny pod względem strategicznym.

Make-or-buy to kluczowa strategia, w skład której wchodzi między innymi:

- wprowadzanie nowego produktu na rynek,
- kontrolowanie produkcji,
- systemy jakości,
- zasoby ludzkie,
- proces produkcyjny,



- wielkość przedsiębiorstwa oraz jego lokalizacja,
- mierzenie wydajności.

Punktem wyjścia make-or-buy są sumaryczne koszty produkcji i zakupu wyliczone dla dających się porównać partii produktów. Zasadniczej przesłanki ekonomicznej dostarcza nieskomplikowane porównanie ceny jednostkowej zakupu z jednostkowym zmiennym kosztem produkcji. Jeżeli zostanie stwierdzone, że jednostkowy zmienny koszt produkcji przewyższa lub jest równy cenie kupowanego produktu, decyzja o produkcji nie jest ekonomicznie uzasadniona (www_6.1).

W całościowej analizie, poza zmiennymi kosztami produkcji, należy jeszcze przeanalizować, jaka część kosztów stałych przedsiębiorstwa powinna zostać doliczona do rozliczenia kosztów całkowitych produkcji? Poniżej została zaprezentowana analiza porównawcza, stanowiąca przesłankę do podjęcia decyzji „produkować” czy „kupować” (www_6.1)?

Z obliczeń kosztów produkcji wynika, że:

$$K_p = K_s + X * k_v$$

gdzie:

K_p - koszt całkowity produkcji x jednostek dobra

K_s - koszty stałe produkcji

X - przewidywana wielkość produkcji

k_v - jednostkowe koszty zmienne.

Dla zakupów:

$$K_z = c * x$$

gdzie:

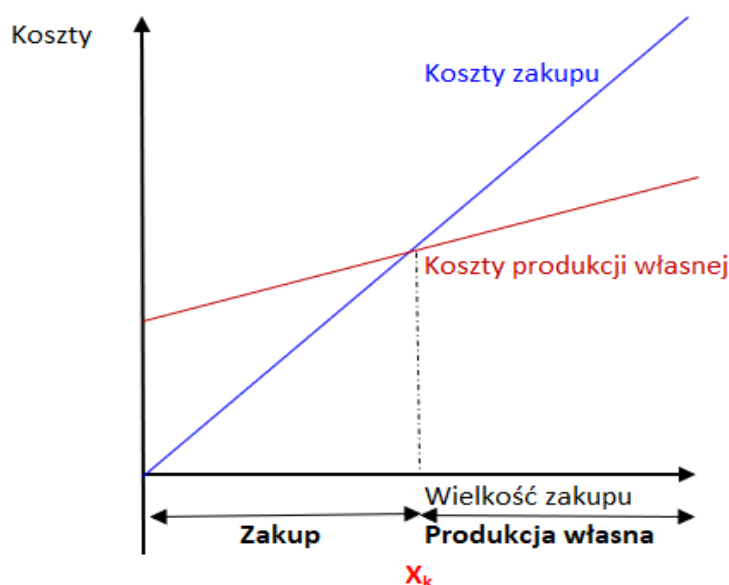
K_z - koszt zakupu

c - cena jednostkowa,

x - wielkość zakupu (produkcji)



X_k określana jest jako krytyczna wielkość produkcji, dla której koszt zakupu jest równy kosztowi produkcji własnej. Jest to wielkość, poniżej której nie jest opłacalne podjęcie się produkcji. Dopiero gdy zostanie przekroczona wartość X_k , decyzja o uruchomieniu produkcji jest uzasadniona. Powyższym obliczeniom przyświecało założenie, że dla wariantu zakupu ważna jest tylko cena produktu. Jeżeli jednak zakupowi towarzyszą dodatkowe nakłady finansowe (np. koszty transportu), wówczas trzeba dokonać modyfikacji wzoru, rozbudowując go o odpowiednie składowe (rys. 6.2).



Rysunek 6.2. Krytyczna wielkość produkcji

Źródło: (www_6.1)

Można również zetknąć się z dylematem, czy przy zdolnościach produkcyjnych warto podjąć inwestycje i proces produkcji? W tej kwestii, po wzięciu pod rozagę wszystkich przesłanek merytorycznych, przemawiających za inwestycją i nie eliminujących sensowności zakupu – w analizie kosztowej powinny być uwzględnione składniki rachunku inwestycyjnego (www_6.1).

$$k_t = \frac{r * (1 + r)^m + k_d}{(1 + r)^m - 1}$$

gdzie:

a_0 - wielkość nakładów inwestycyjnych



r - stopa oprocentowania

m - okres wykorzystania inwestycji

k_d - dodatkowe koszty roczne związane z obsługą inwestycji

k_i - koszty inwestycji

K_p – koszt produkcji

Tak więc koszt produkcji obliczony będzie ze wzoru:

$$K_p = k_i + x + k_v$$

a koszt zakupu

$$K_z = c * x$$

Jeżeli będzie spełniona nierówność $K_z < K_p$, istnieją podstawy do podjęcia decyzji o zakupie danego produktu.

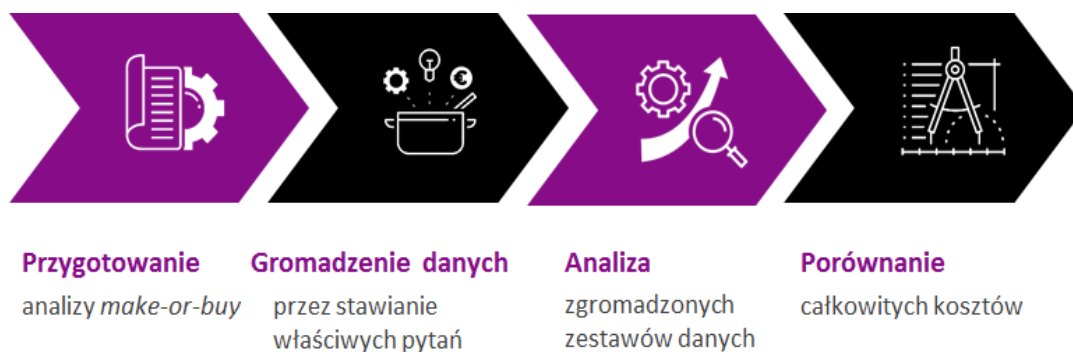
Ze względu na możliwość zmiany zarówno wielkości zapotrzebowania x , jak i ceny rynkowej, rekomenduje się wyznaczanie **ceny krytycznej c_k** oraz **krytycznej wielkości produkcji X_k** jako tych wartości, przy których następuje zrównanie kosztu produkcji własnej oraz kosztu zakupu.

$$c_k = \frac{k_i + x * k_v}{x}$$

W sytuacji gdy początkowe obliczenia sugerowały celowość zakupu, wartość ceny krytycznej jest wskaźnikiem, do jakiego poziomu może zwiększyć się cena rynkowa, bez podważania decyzji o zakupie.

$$X_k = \frac{k_i}{c - k_v}$$

Analizę Make-or-Buy można podzielić na cztery etapy, które ilustruje rysunek 6.3.



Rysunek 6.3. Etapy outsourcingu

Źródło: (www_6.2)

Krok 1: Przygotowanie (www_6.2)

Na wstępie należy zdefiniować procesy logistyczne, obszary firmy, które będą podlegać obserwacji w analizie *make-or-buy*, a także aspekty, na których powinno się szczególnie skupić w tej analizie. Wyróżnia się standardowe procesy logistyczne, takie jak np. transport, magazynowanie, wysyłka, import, eksport oraz odprawa celna oraz wspomagające procesy logistyczne, do których zaliczyć można np. przygotowanie, komisjonowanie, pakowanie, realizacja zwrotów oraz inwentaryzacja. Ten podział jest niezbędny do podjęcia decyzji dotyczącej zakresu outsourcingu, jak również modelu operacyjnego.

W czasie doboru zespołu projektowego należy wziąć pod uwagę także – poza kadrą zarządzającą, specjalistów w dziedzinie logistyki operacyjnej, a także zagadnień dotyczących wycen – pracowników z sąsiednich działów, takich jak produkcja czy dział osobowy, a nawet radę zakładową, ponieważ zdecydowanie się na outsourcing będzie miała kluczowy wpływ na funkcjonowanie przedsiębiorstwa. W następnej kolejności podczas spotkania startowego (kick-off-meeting) zostaną omówione cele oraz korzyści i zostanie przygotowana koncepcja projektu.

Krok 2: Gromadzenie danych (www_6.2)

Jakość późniejszych wyników analizy jest zależna jedynie od poprawności danych. Z tego względu trzeba zebrać albo zgromadzić w przedsiębiorstwie wszystkie niezbędne dane odnośnie kadry oraz te będące odpowiedzią na pytanie, czy systemy logistyczne, np. wózki przemysłowe lub zarządzanie magazynem, muszą zostać przekazane lub wykonywane przez podmioty zewnętrzne. Pomocne przy podejmowaniu decyzji o outsourcingu i wyjaśniające sytuację logistyczną danej organizacji może być z pewnością katalog pytań, które można



podzielić na istotne, np. ile wynoszą koszty zatrudnienia brutto i co się na nie konkretnie składa?, ile wynosi tygodniowy czas pracy? itp. oraz na pytania czysto informacyjne, np. czy funkcjonuje system zgłaszania przez pracowników propozycji usprawnień?

Krok 3: Analiza (www_6.2)

W kolejnym etapie dane podlegają ocenie oraz analizie. Wyniki analizy make-or-buy są najczęściej przeprowadzane za pomocą zbioru wartości wskaźników z analizy porównawczej (benchmark), które są gromadzone w trakcie operacyjnej realizacji zleceń dla klientów.

Krok 4: Porównanie kosztów całkowitych (www_6.2)

Finalnie dokonuje się wyraźnego porównania kosztów logistycznych w przedsiębiorstwie z kosztami logistycznymi zewnętrznego dostawcy usług. W kwestii pracowników porównywane są np. całkowite koszty osobowe organizacji z łącznymi kosztami kadry zewnętrznego podmiotu. Zazwyczaj koszty usługodawcy są niższe ze względu na elastyczniejsze regulacje dotyczące czasu pracy. Firma outsourcingowa ma możliwość realizacji tego samego zadania przy udziale mniejszej liczby personelu. Jej wiedza ekspercka przyczynia się ponadto do optymalizacji procesu, co wpływa na obniżenie kosztów osobowych. Cel outsourcingu nie powinien opierać się jednak na dążeniu do oszczędności na pracownikach. W czasach niedoboru wykwalifikowanej kadry istotniejsze jest efektywne przydzielanie pracownikom odpowiednich stanowisk lub wzrost produktywności przy zachowaniu identycznej liczby personelu.

Przy zestawieniu kosztów sumarycznych trzeba wziąć pod uwagę, że decyzja o outsourcingu wiąże się zazwyczaj z transferem części organizacji. Oznacza to, iż wybrani personel firmy macierzystej przejdzie w wyznaczonym czasie do zespołu podmiotu zewnętrznego. Może to być związane z odprawami lub innymi kosztami przekształcenia. Ten fakt należy także uwzględnić w porównaniu kosztów łącznych. Po uzyskaniu całej kalkulacji i dokonaniu analizy można podjąć decyzję za wyborem outsourcingu lub przeciw niemu.

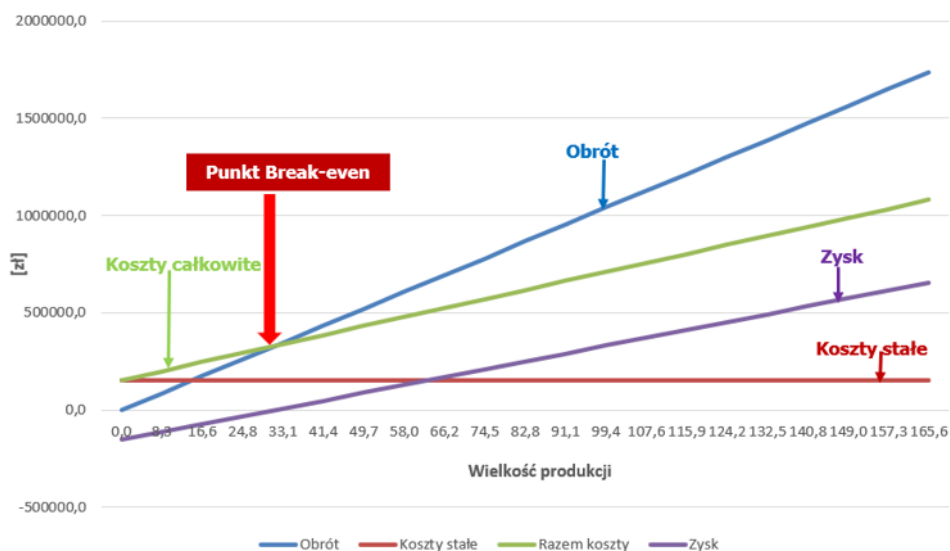
Arkusz kalkulacyjny MS Excel jest narzędziem wspierającym decyzje outsourcingowe w analizie Make-or-Buy. W analizowanym przypadku przedsiębiorstwa produkującego naturalne kosmetyki przedstawiono dwa podejścia. Pierwsze dotyczy określenia punktu rentowności (Break-even Point) z wykorzystaniem metod graficznych i analitycznych. Punkt ten wskazuje minimalny poziom produkcji, który umożliwia pokrycie kosztów (rys. 6.3).



	A	B	C	D	E	F	G
1	Produkcja (Zbyt)	92	szt				
2	Cena jednostkowa:	10480	zł		Punkt Break-even	31,5	
3	Koszty zmienne	5600	zł			$(0+B4)/(B2-B3)$	
4	Koszty stałe:	153600	zł				
5							
6		$=B\$1*A8$	$=B8*B\$2$	$=B8*B\$3$	$=B\$4$	$=D8+E8$	$=C8-F8$
7	Współczynnik	Produkcja Zbyt	Obrót	Koszty zmienne	Koszty stałe	Razem koszty	Zysk
8	0,00	0,0	0,0	0,0	153600,0	153600,0	-153600,0
9	0,09	8,3	86774,4	46368,0	153600,0	199968,0	-113193,6
10	0,18	16,6	173548,8	92736,0	153600,0	246336,0	-72787,2
11	0,27	24,8	260323,2	139104,0	153600,0	292704,0	-32380,8
12	0,36	33,1	347097,6	185472,0	153600,0	339072,0	8025,6
13	0,45	41,4	433872,0	231840,0	153600,0	385440,0	48432,0
14	0,54	49,7	520646,4	278208,0	153600,0	431808,0	88838,4
15	0,63	58,0	607420,8	324576,0	153600,0	478176,0	129244,8
16	0,72	66,2	694195,2	370944,0	153600,0	524544,0	169651,2
17	0,81	74,5	780969,6	417312,0	153600,0	570912,0	210057,6
18	0,90	82,8	867744,0	463680,0	153600,0	617280,0	250464,0
19	0,99	91,1	954518,4	510048,0	153600,0	663648,0	290870,4
20	1,08	99,4	1041292,8	556416,0	153600,0	710016,0	331276,8
21	1,17	107,6	1128067,2	602784,0	153600,0	756384,0	371683,2
22	1,26	115,9	1214841,6	649152,0	153600,0	802752,0	412089,6
23	1,35	124,2	1301616,0	695520,0	153600,0	849120,0	452496,0
24	1,44	132,5	1388390,4	741888,0	153600,0	895488,0	492902,4
25	1,53	140,8	1475164,8	788256,0	153600,0	941856,0	533308,8
26	1,62	149,0	1561939,2	834624,0	153600,0	988224,0	573715,2
27	1,71	157,3	1648713,6	880992,0	153600,0	1034592,0	614121,6
28	1,80	165,6	1735488,0	927360,0	153600,0	1080960,0	654528,0

Rysunek 6.4. Obliczanie danych do graficznego wyznaczenia punktu Break-even

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 6.5. Wykres z wyznaczonym punktem Break-even

Źródło: opracowanie własne



Na podstawie danych należy stworzyć wykres zależności kosztów stałych, całkowitych, obrotu oraz zysku od wielkości produkcji. Analiza linii zysku ujawnia punkt przecięcia, a analityczne określenie punktu break-even polega na wyznaczeniu miejsca przecięcia linii obrotu i kosztów całkowitych (rys. 6.5), co definiuje próg rentowności.

Na podstawie wyników można ocenić, czy działalność jest ekonomicznie opłacalna przy obecnym poziomie produkcji. Następnie można ustalić zmiany w takich parametrach jak wielkość sprzedaży (x), cena (c), koszty stałe (K_s) i jednostkowe koszty zmienne (k_v), umożliwiające osiągnięcie progu rentowności (break-even) lub zaplanowanego zysku, wykorzystując wzór:

$$z = x(c - k_v) - K_s,$$

gdzie:

x – poziom produkcji,

c – cena,

k_v – koszty jednostkowe zmienne,

K_s – koszty stałe.

Drugi sposób analizy dotyczy decyzji Make or Buy. Kierownictwo uznało produkcję naturalnych olejków eterycznych za zbyt kosztowną, co wpływa na ceny kosmetyków. Aby zdecydować o kontynuowaniu produkcji wewnętrznej lub zleceniu jej na zewnątrz, przeprowadzono dodatkową analizę uwzględniającą kryteria ilościowe i jakościowe.

Zidentyfikowano kluczowe kryteria (rys. 6.6, kolumna A) i przypisano im wagi (q_i , kolumna B). Dokonano oceny wartościowej (s_i) dla obu opcji (Make i Buy), wykorzystując sześciostopniową skalę punktową (kolumny C i D). Obliczono wskaźniki względnej ważności: dla produkcji własnej ($R_M = 4,24$) oraz dla zakupu zewnętrznego ($R_B = 5,0$). Ujemna różnica końcowa wynosząca -0,76 potwierdziła wyższość opcji zakupu (Buy).

Dla jasności analizy zastosowano warunki logiczne:

- Jeśli koszty własnej produkcji są niższe niż koszty zakupu usługi zewnętrznej ($K_M < K_B$) i jednocześnie wskaźnik ważności kryteriów jakościowych jest niższy dla produkcji własnej ($R_M < R_B$), wybierz opcję zakupu (**Buy**),



- Jeśli koszty własnej produkcji są wyższe niż koszty zakupu ($K_M > K_B$) i wskaźnik ważności kryteriów jakościowych jest wyższy dla produkcji własnej ($R_M > R_B$), wybierz opcję wytwarzania (**Make**),
- w przeciwnych przypadkach decyzja wymaga dalszej analizy.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Kryteria decyzji make-or-buy	Znaczenie q_i	Ocena		Wskaźnik lub koszt		Decyzja lub różnica make-buy	
2			Produkcja własna (make)	Zakup (Buy)	Produkcja własna (Make)	Zakup (Buy)		
3	Ilościowe				Koszt K_M	Koszt K_B		
4	Koszty, zł	1			100000	85000	Buy	
5	Jakościowe		Ocena punktowa s_i		Wskaźnik r_i		$=JEZELI(E4<=F4;"Make";"Buy")$	
6	Czas, $s_i=1$ to max.	20,0%	4	5	0,8	1	-0,2	
7	Jakość, $s_i=1$ to min.	19,0%	5	4	$=B6*C6$ 0,95	$=B6*D6$ 0,76	$=E6-F6$ 0,19	
8	Zdolności produkcyjne, $s_i=1$ to min.	15,0%	3	6	0,45	0,9	-0,45	
9	Elastyczność, $s_i=1$ to min.	8,0%	4	6	0,32	0,48	-0,16	
10	Zdolności finansowe, $s_i=1$ to min.	12,0%	4	6	0,48	0,72	-0,24	
11	Utrzymanie miejsc pracy, $s_i=1$ to min.	7,0%	6	4	0,42	0,28	0,14	
12	Organizacja pracy, $s_i=1$ to min.	5,0%	5	5	0,25	0,25	0	
13	Ryzyko, $s_i=1$ to max.	5,0%	6	5	0,3	0,25	0,05	
14	Ochrona środowiska, $s_i=1$ to min.	9,0%	3	4	0,27	0,36	-0,09	
15	RAZEM, R	100,0%			4,24	5	-0,76	
16	Wniosek należy skorzystać z opcji Buy							
17								
18	$=\text{"Wniosek "&JEZELI(ORAZ(G3="Buy";G16="Buy");"należy skorzystać z opcji Buy";$				$=\text{SUMA(E6:E14)}$	$=\text{SUMA(F6:F14)}$	$=\text{JEZELI(G15<0;"Buy";"Make")}$	
19	$\text{JEZELI(ORAZ(G3="Make";G16="Make");"należy prowadzić produkcję własną";$							
20	$\text{"Trudna decyzja"})$							

Rysunek 6.6. Ocena problemu Make-or-Buy uwzględniająca czynniki ilościowe i jakościowe

Źródło: opracowanie własne

Jak wynika z analizy, decyzje typu make-or-buy mogą okazać się strategicznymi decyzjami związanymi z działalnością, a nawet przyszłych losów przedsiębiorstwa. Współcześnie, w czasach ogromnej konkurencji, kiedy przedsiębiorstwa toczą między sobą walkę o klienta, dążą do jak najtańszej produkcji bardzo dobrych jakościowo wyrobów. To wpływa na to, że nierzadko wielkie koncerny zaprzestają produkowania półproduktów na rzecz małych firm (www_6.1).

Stosunek do zagadnienia make-or-buy bazuje na czynnikach jakościowych, a także ekonomiczno-finansowych i wiąże się z odpowiedzią na pytanie, czy inny podmiot gospodarczy może dokonać realizacji dane zadanie niższym kosztem i/lub lepiej niż firma macierzysta? Nietrafnie podjęta decyzja w tej kwestii może przyczynić się do na zwiększenia kosztów funkcjonowania, wytworzenia, stratę efektywności działania, jak również niewydajne wykorzystanie zasobów (Platts i in., 2002).



6.6. Outsourcing w logistyce

W ramach outsourcingu najczęściej zlecane na zewnątrz są obszary, nie będące kluczowymi kompetencjami danego przedsiębiorstwa, a jedynie je wspierającymi. Jeśli logistyka nie jest fundamentalną działalnością firmy, to przekazanie organizacji i/lub wykonania całości lub części procesów logistycznych kompetentnym dostawcom specjalizującym się w świadczeniu usług logistycznych może znacząco wpłynąć na zwiększenie efektywności procesów logistycznych, co znajduje odzwierciedlenie we wzroście efektywności organizacji. Ideą outsourcingu logistycznego jest wydzielanie zasobów oraz korzystanie z usług logistycznych świadczonych przez wykwalifikowane firmy zewnętrzne, które podejmując własne ryzyko i zazwyczaj korzystając ze swoich zasobów obejmują nad nimi funkcje kierownicze i wykonawcze. Do outsourcingu logistycznego należy zaliczyć także kupno różnych usług logistycznych od dostawców zewnętrznych bez spełniania warunku przekazania zasobów (Witkowski, 2008).

Pierwszym i najważniejszym zadaniem dla przedsiębiorstwa przed podjęciem decyzji o wyborze outsourcingu logistyki jest zdefiniowanie głównych celów, które planuje ono osiągnąć poprzez przekazanie logistyki na zewnątrz firmy. Najczęściej pierwszym i kluczowym, pożądanym celem jest obniżenie kosztów (www_6.3). Decyzja odnośnie zakresu outsourcingu logistycznego w dużej mierze uzależniona jest od wysokości cen usług logistycznych, które z kolei determinują koszty logistyczne podmiotu gospodarczego i ceny produkowanych i/lub sprzedawanych wyrobów. W wyniku kooperacji organizacji z operatorem logistycznym możliwe jest osiągnięcie następujących celów (Gąsowska, 2016):

- poprawienie jakości obsługi klientów,
- krótszy czas wykonania cyklu zamówienia,
- lepsza jakość i gwarancja dostaw,
- szybszy przepływ i zwiększenie przejrzystości informacji,
- efektywniejsza eksploatacja aktywów.

Outsourcing procesów logistycznych ma również powiązanie ze sferami kluczowej działalności logistycznej przedsiębiorstwa. Przedsiębiorstwa zlecają usługodawcom logistycznym tworzenie systemu logistycznego, modelowanie procesów logistycznych, kreowanie oraz zrealizowanie strategii logistycznej. Odnoszenie się do podmiotu logistycznego



jako partnera strategicznego może przyczynić się do uzyskania oraz stabilizacji przewagi konkurencyjnej (Jeszka, 2013).

Strategia firmy macierzystej wywiera wpływ na modelowanie procesów logistycznych usługodawcy logistycznego. Gwarantem efektywnego współdziałania organizacji z firmą zewnętrzną specjalizującą się w usługach logistycznych jest komunikacja między kooperującymi przedsiębiorstwami. Coraz częściej do wspomagania decyzji związanych z przepływami w systemie logistycznym przedsiębiorstwa oraz w łańcuchach dostaw stosowane są systemy informatyczne. Staje się to przyczyną szybkiego podjęcia czynności, które prowadzą do optymalizacji lub przekształcenia wykonywanych procesów logistycznych, a w wyniku do eliminacji wiążącego się z nimi ryzyka, minimalizacji kosztów, krótszego czasu realizacji procesów logistycznych, zwiększenia elastyczności oraz efektywności firmy (Gąsowska, 2016; Liu i in., 2015).

Outsourcing logistyczny wpływa na ulepszanie efektywności przedsiębiorstwa, jeśli usługi logistyczne tworzą oczekiwaną korelację kosztów z rezultatami usług logistycznych. Kluczowym wyznacznikiem w procesie decydowania o outsourcingu logistycznym powinna być precyzyjna ocena tego outsourcingu pod względem oszczędności finansowych, profitów pozakosztowych, a także oceny ryzyka (Gąsowska, 2016).

Aby ocenić efektywność outsourcingu logistycznego wykorzystuje się cztery kategorie wskaźników (Szukalski, 2016):

- zmiany kosztów – porównanie ich zmian pozwala na ocenę oszczędności w sferze kosztów operacyjnych, które wynikają z outsourcingu logistycznego,
- zmiany rentowności – ich analiza pozwala ocenić oddziaływanie outsourcingu logistycznego na zysk, generowany przez podmiot gospodarczy,
- zmiany obrotowości – umożliwiają ewaluację efektywności outsourcingu logistycznego, jeśli wyodrębnienie procesów logistycznych skutkuje zmianę wartości aktywów,
- zmiany progu rentowności – ich przeanalizowanie przed i po outsourcingu logistycznym umożliwia ocenę rentowności outsourcingu. Opłacalną zmianą jest zmniejszenie progu rentowności.

Analizę ryzyka dotyczącego outsourcingu logistycznego należy przeprowadzać w następujących obszarach (Gąsowska, 2016):



- ryzyko operacyjne, które wynika z obawy przed stratą kontroli nad procesami logistycznymi lub dostępem firmy zewnętrznej do informacji poufnych,
- ryzyko wiążące się z wybraniem logistycznego usługodawcy,
- ryzyko dotyczące jakości usług logistycznych i następstw nieprawidłowości w wyodrębnionych procesach logistycznych,
- ryzyko powiązane z zabezpieczeniem poufnych informacji firmy,
- ryzyko wiążące się z wprowadzeniem zmian organizacyjnych.

Proces outsourcingu można generalnie podzielić na trzy fazy (www_6.3):

1. **Wewnętrzne przygotowania przedsiębiorstwa**

Celem tego etapu jest nawiązanie dyskusji z dostawcami usług logistycznych. Jest on zależny przede wszystkim od tego, czy przedsiębiorstwo planujące przekazanie funkcji magazynowych firmie usługowej jest w stanie zgromadzić wszystkie informacje na temat swoich zapasów magazynowych za okres przynajmniej kilku miesięcy oraz czy są zdefiniowane procesy decyzyjne obowiązujące w organizacji, a także warunki wybrania usługodawcy logistycznego. Zależnie od poziomu złożoności procesów logistycznych oraz wielkości przedsiębiorstwa należy założyć, iż czas wewnętrznych przygotowań do zainicjowania pertraktacji ze specjalistami w dziedzinie logistyki może wynieść od jednego do sześciu miesięcy. Faza ta powinna zakończyć się przetargiem na usługi logistyczne wraz z całością potrzebnych danych, powierzonych wyznaczonej grupie dostawców logistycznych.

2. **Zaproszenie firm zewnętrznych** do złożenia swych propozycji obsługi logistycznej, negocjacje handlowe oraz wybranie organizacji, która ostatecznie przejmie obsługę logistyczną. Druga część procesu, obejmująca rozmowy oraz negocjacje z wybranymi dostawcami usług logistycznych może trwać od trzech miesięcy do około pół roku. Jest to okres potrzebny na opracowanie ofert oraz wszelkie pozostałe współtowarzyszące temu zadaniu czynności: dyskusje handlowe, etapowe zawężanie grupy usługodawców w kolejnych fazach przetargu, aż do wybrania jego zwycięzcy.
3. **Implementacja**, czyli praca z wyłonionym podmiotem gospodarczym nad wdrożeniem projektu oraz fizyczne przekazanie zapasów magazynowych pod kierownictwo operatora.



Trzecia faza trwa przeważnie od czterech do sześciu miesięcy. Oczywiście okres implementacji operacji jest rezultatem wielu faktorów i przy projektach wieloaspektowych wdrożenie może potrwać zdecydowanie dłużej. Zawsze warto jest również uwzględnić zapas czasowy na wypadek pojawienia się nieprzewidzianych okoliczności.

Tabela 6.4. Wady i zalety outsourcingu logistycznego

Zalety outsourcingu logistycznego	Wady outsourcingu logistycznego
Optimalizacja wydatków i zmniejszenie ryzyka inwestycyjnego	Obawa pracowników o zwolnienie i demotywacja
Możliwość skupienia się na właściwej działalności	Częściowa utrata kontroli nad wykonaniem zamówień
Polepszenie płynności procesów i podział odpowiedzialności	Wybór partnera z brakiem kompetencji
Poprawa jakości obsługi konsumenta	Uzależnienie się od dostawcy usług
Zwiększenie konkurencyjności	Możliwe kłopoty z koordynacją i komunikacją wewnętrzną

Źródło: (www_6.4)

Wzrost efektywności procesów logistycznych, uzyskany dzięki outsourcingowi logistycznemu, oddziałuje na efektywność gospodarowania w przedsiębiorstwie i łańcuchu dostaw (Kowalska, 2011). Współpraca przedsiębiorstwa z firmami świadczącymi usługi logistyczne może przyczynić się do redukcji kosztów, poprawy płynności finansowej, wzrostu rentowności sprzedaży, rentowności aktywów, rentowności kapitału własnego, poprawy wskaźników (Gąsowska, 2016).

Pytania do rozdziału

1. Jakie są potencjalne ryzyka związane z outsourcingiem procesów w firmie?
2. Jakie są główne czynniki wpływające na decyzję o wyborze strategii "make" lub "buy" w kontekście funkcjonowania przedsiębiorstwa?
3. Jakie są kluczowe dane, które należy zebrać, aby poprawnie ocenić potrzebę outsourcingu systemów logistycznych?



LITERATURA

- Brzeziński, M. (2015) Inżynieria systemów logistycznych. WAT, Warszawa.
- Gąsowska, M. (2016). Outsourcing logistyczny jako narzędzie doskonalenia efektywności przedsiębiorstwa, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie, z.97.
- Jeszka, A.M.(2013). Sektor usług logistycznych w teorii i w praktyce, Difin, Warszawa.
- König A. i Spinler S. (2016). The effect of logistics outsourcing on the supply chain vulnerability of shippers in The International Journal of Logistics Management, no. 1.
- Kowalska, K. (2011). Efektywność procesów logistycznych w strategii zarządzania przedsiębiorstwem, [w:] Witkowski J., Baraniecka A. (red.): Strategie i logistyka w sektorze usług. Logistyka w nietypowych zastosowaniach. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
- Lachiewicz, S. i Matejun, M. (2012). Ewolucja nauk o zarządzaniu, [w:] Zakrzewska-Bielawska A. (red.), Podstawy zarządzania, Oficyna a Wolters Kluwer business, Warszawa.
- Liu, Ch., Huo, B. i Liu S., Zhao X. (2015). Effect of information sharing and process coordination on logistics outsourcing. Industrial Management & Data Systems, no. 1.
- Matejun M. (2015). Outsourcing, [w:] Szymańska K. (red.), Kompendium metod i technik zarządzania. Teoria i ćwiczenia, Oficyna a Wolters Kluwer business, Warszawa.
- Matejun, M. (2006). Rodzaje outsourcingu i kierunki jego wykorzystania, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Organizacja i Zarządzanie, 42.
- Matejun, M. (2007). Zakres wykorzystania wybranych obszarów outsourcingu w sektorze MŚP, [w:] Otto J., Stanisławski R., Maciaszczyk A. (red.), Innowacyjność jako czynnik podnoszenia konkurencyjności przedsiębiorstw i regionów na Jednolitym Rynku Europejskim, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź.
- Perechuda, K. (red.) (2000). Zarządzanie przedsiębiorstwem przyszłości. Koncepcje, modele, metody, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa.
- Platts, K.W., Probert, D.R. i Canez, L. (2002). Make vs. Buy Decisions: A Process Incorporating Multi-attribute Decision-making, International Journal of Production Economics, 77(3).



Szukalski, S.M. (2016). Metody oceny efektywności rozwiązań outsourcingowych. *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa*, nr 2.

Trocki, M. (2001). *Outsourcing*, PWE, Warszawa.

Witkowski, J. (2008). Uwarunkowania i perspektywy rozwoju outsourcingu logistycznego w Europie, [w:] Gołemska E., Schuster M. (red.): *Logistyka międzynarodowa w gospodarce światowej*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.

(www_6.1) https://mfiles.pl/pl/index.php/Analiza_make-or-buy, (dostęp 2024.01.07)

(www_6.2) <https://www.lila-logistik.com/pl/make-or-buy>, (dostęp 2024.01.07)

(www_6.3) <https://log24.pl/news/proces-zarzadzania-outsourcingiem-logistycznym>, (dostęp 2024.01.07)

(www_6.4) <https://wareteka.pl/blog/outsourcing-logistyczny-co-to-jest-jakie-ma-wady-i-zalety/>, (dostęp 2024.01.07)



7. OPTIMALIZACJA SIECI LOGISTYCZNEJ Z WYKORZYSTANIEM GRAVITY POINT



W rozdziale omówiono problem optymalizacji sieci logistycznej przy użyciu Gravity Point (Gravity Model). Sieć łańcucha dostaw przetwarza surowce na produkty końcowe i oczywiście dostarcza je do klientów końcowych (konsumentów). Obejmuje różne rodzaje obiektów. Planowanie i projektowanie sieci łańcucha dostaw (Supply chain network design, SCND) jest ważnym zagadnieniem związanym z zarządzaniem łańcuchem dostaw (SCM). Do najważniejszych poruszanych zagadnień tego rozdziału zaliczono:

- sieć łańcucha dostaw,
- sieć dystrybucji,
- gravity Point.

7.1. Wprowadzenie

Planowanie i projektowanie sieci łańcucha dostaw (Supply chain network design, SCND) jest ważnym zagadnieniem związanym z zarządzaniem łańcuchami dostaw (SCM). Łańcuch dostaw rozumiany jest jako złożona sieć przedsiębiorstw i obiektów, które w większości są rozmieszczone na rozległym obszarze geograficznym. Ten łańcuch dostaw powinien synchronizować szereg powiązanych ze sobą działań poprzez sieć.

Sieć łańcucha dostaw przetwarza surowce na produkty końcowe i oczywiście dostarcza je do klientów końcowych (konsumentów). Obejmuje różne rodzaje obiektów. Planowanie i projektowanie sieci łańcucha dostaw skupia się więc na identyfikacji liczby i rodzajów poszczególnych ogniw i koordynacji działań między nimi. Typowe ogniwa w sieci łańcucha dostaw składają się z dostawców i podwykonawców, zakładów produkcyjnych i montażowych, centrów dystrybucyjnych, magazynów i klientów (Govindan i in., 2017). Zaś typowe przepływy



materiałów odbywają się od dostawców do klientów. Wyodrębnić również można przepływy zwrotne (tzw. logistyka zwrotna). Pamiętać również należy o konieczności planowania i projektowania przepływów i radzenia sobie z problemami związanymi z wieloma wariantami/typami produktów. Analiza związana z lokalizacją danego obiektu w łańcuchu dostaw jest ważną kwestią dla obsługi tego łańcucha i kosztów.

7.2. Sieć logistyczna

Złożoność sieci łańcucha dostaw jest istotna i wpływa na podejmowanie decyzji planistycznych wraz z klasycznymi decyzjami dotyczącymi alokacji lokalizacji w celu uzyskania zintegrowanego systemu (Govindan i in., 2017).

Uwzględniając trzy poziomy podejmowania decyzji, na **poziomie strategicznym** konieczne jest podjęcie decyzji dotyczących łańcucha dostaw, takich jak: (1) liczba, (2) lokalizacja i (3) pojemność obiektów. Decyzje strategiczne zwykle obejmują horyzont czasowy około trzech do pięciu lat. Strategiczne decyzje dotyczące projektowania sieci logistycznej wpływają na efektywność obsługi popytu klientów. Decyzje projektowe nie mogą być podejmowane bez uwzględnienia wpływu na decyzje operacyjne. **Decyzje taktyczne** obejmują zwykle od trzech miesięcy do trzech lat. Przykładowo decyzje cenowe są zwykle umieszczane na poziomie planowania taktycznego. **Decyzje operacyjne** (np. decyzje dotyczące tras pojazdów) są często związane z zakresem od godziny do jednego trymestru (Govindan i in., 2017). Oczywiście zakres podejmowanych decyzji może zależeć od charakteru łańcuchów dostaw.

Wybór najlepszej lokalizacji obiektu gospodarczego może być rozpatrywany w ujęciu lokalizacji ogólnej lub szczegółowej. Lokalizacja ogólna określa pewien obszar, na którym ma zostać zlokalizowany dany obiekt gospodarczy.

Można wyróżnić wiele czynników, które mają wpływ na lokalizację obiektu w łańcuchu dostaw. Są to między innymi:

- źródła pozyskania surowców i lokalizacja rynków materiałów do produkcji (głównie surowce, komponenty),
- tradycje przemysłowe regionu, w tym dostępność do dostawców i odbiorców (szczególnie istotne dla aktywności ogniw pośrednich),



- siła robocza (możliwości pozyskania zatrudnienia, wynagrodzenie, dostępność, poziom kwalifikacji),
- możliwości dostawy czynników energetycznych,
- przepisy podatkowe i ograniczenia administracyjne,
- klimat i warunki terenowe,
- dostępność dróg i punktów transportowych,
- charakterystyka stosunków ludnościowych, społeczno-politycznych,
- charakterystyka infrastruktury (drogi, szkoły, komunikacja),
- możliwości rozbudowy obiektu.

Natomiast lokalizacja szczegółowa wskazuje konkretną nieruchomość lub teren, na którym obiekt ma powstać. Wybór lokalizacji szczegółowej powiązany jest z np. jej uzbrojeniem technicznym, dostępnością infrastruktury transportowej (drogi lokalne), jak również miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego.

W ujęciu bardziej szczegółowym brać należy również pod uwagę:

- stawki wynagrodzeń w zakładach sąsiednich,
- możliwości komunikacyjne dla załogi i opłaty za przejazdy,
- możliwości zakupu pożądanej działki w wybranym regionie,
- drogi, autostrady i uzbrojenie terenu w sieci wodne, gazowe...
- strefy bezpieczeństwa dla zapachów, hałasu i zanieczyszczeń,
- ukształtowanie terenu pozwalające na budowę obiektów produkcyjnych i pomocniczych, parkingów oraz
- możliwość przyszłej rozbudowy zgodnie, z potrzebami procesu produkcyjnego i wymaganiami władz architektoniczno-budowlanych.

Zakres lokalizacji szczegółowej nie jest objęty w tym opracowaniu.

Należy pamiętać, że łańcuchy dostaw funkcjonują w zmiennym otoczeniu. Niejednokrotnie zdarza się, że obiekty są zamykane, otwierane lub ponownie otwierane więcej niż raz w ustalonym horyzoncie planowania. Dynamika rynku wymusza podejmowanie kolejnej decyzji, tj. kwestia związana ze zwiększaniem, zmniejszaniem lub przenoszeniem zdolności produkcyjnych obiektów w sieci logistycznej. Kolejną ważną kwestią są wszelkiego typu **zakłócenia** funkcjonowania łańcuchów dostaw. Zakłócenie łańcucha dostaw to zdarzenie, które może wystąpić w części łańcucha dostaw z powodu np. klęsk żywiołowych (np. trzęsień



ziemi i powodzi) oraz celowych lub niezamierzonych działań człowieka (np. wojny i ataki terrorystyczne). Jest identyfikowane jako zdarzenie, które przerywa przepływ materiałów w łańcuchach dostaw, powodując nagłe zatrzymanie przepływu towarów. Nawet niewielkie zakłócenie może mieć druzgocący wpływ na funkcjonowanie łańcuchów dostaw, ponieważ kaskadowo przechodzi przez łańcuch (Grzybowska i Stachowiak, 2022). A skoro łańcuchy dostaw są złożonymi i niejednorodnymi strukturami, to są podatne na zagrożenia i trudne w zarządzaniu.

Sieć dystrybucji, często końcowa część sieci SC, składają się ze strumieni produktów z magazynów do klientów lub sprzedawców detalicznych. Projektowanie takiej sieci wymaga rozwiązania dwóch trudnych problemów optymalizacji kombinatorycznej, w tym określenia lokalizacji obiektu i tras pojazdów do obsługi klientów.

7.3. Koncepcja zastosowania modelu grawitacji w sieci logistycznej

Budowa rozsądnej sieci logistycznej jest kluczem do rozwoju logistyki regionalnej. Model grawitacji wywodzi się z grawitacji Newtona – przypomnijmy: prawo grawitacji to prawo powszechnego ciążenia, którego zadaniem jest opisanie, z jaką siłą ciała wzajemnie się przyciągają.

Stopniowo koncepcję zastosowania modelu grawitacji stosowano w innych badaniach, obszarach i dziedzinach poprzez analogię do fizyki. W późniejszej ekspansji, oprócz dowodu na istnienie samej teorii modelu grawitacyjnego, została ona zastosowana w wielu dyscyplinach. Wśród nich najszerzej rozwijają się badania związane z handlem, miejskimi powiązaniem przestrzennymi i logistyką. I tak:

- Reilly jako pierwszy zastosował model grawitacyjny do badania relacji między miastami (1929),
- Stewart wysunął koncepcję modelu grawitacyjnego (1948),
- Tinbergen wprowadził model grawitacyjny (GM) do handlu międzynarodowego (1962),
- Huff zaproponował zastosowanie modelu grawitacyjnego do szacowania udziału w rynku (1963),



- Bergstrand sprecyzował podażową stronę gospodarek, wskazując teoretyczne podstawy zależności między wyposażeniem w czynniki produkcji a wymianą handlową ze stałą elastycznością transformacji (Constant Elasticity of Transformation – CET) (1989),
- Kong i inni zbadali projekt sieci terenów zielonych przy użyciu modelu grawitacyjnego (2010),
- Duanmu i inni opracowali połączony model grawitacji i algorytm genetyczny do badania dystrybucji ładunków (2012),
- Puertas i inni wykorzystali model grawitacyjny do analizy sieci logistycznej – oszacowania wskaźnika wydajności logistyki (2014),
- Zhu i Fan wykorzystali model grawitacyjny do zbadania intensywności połączeń logistycznych w śródlądowej logistyce regionalnej (2017).

Odległość w modelu Newtona jest przybliżeniem oporu ruchu, czyli czynnikiem osłabiającym siłę przyciągania. Oznacza to, że im bardziej oddaleni są od siebie partnerzy, tym mniej intensywny jest ich wzajemny handel. Głównym powodem takiego stanu jest istnienie kosztów transakcyjnych handlu, które rosną wraz z wydłużaniem się odległości geograficznej. Do tych kosztów należą m.in. koszty transportu czy też ubezpieczenia ładunku (Bułkowska, 2018).

Położenie geograficzne jest od zawsze czynnikiem warunkującym działalność gospodarczą. Uległo zmianie znaczenie i możliwości transportu. Geografia jest jednym z głównych źródeł kosztów handlu, czyli cech przestrzennych krajów wpływających na ich krajowe i międzynarodowe koszty transportu. Cechy, które brane są pod uwagę obejmują odległość geograficzną między obiektami lub krajami. W przypadku analizy krajów analiza obejmuje odpowiedzi na pytania: czy kraje mają wspólną granicę?, czy są państwami śródlądowymi?, czy są państwami wyspiarskimi?. Intuicja wskazuje, że większa odległość geograficzna, brak wspólnej granicy i/lub większe oddalenie od partnera handlowego negatywnie wpływają na koszty transportu. Tym samym ma negatywny wpływ na handel międzynarodowy. Konsekwencje te można złagodzić poprzez rozwój infrastruktury, taki jak tworzenie autostrad, tuneli, lotnisk i portów (Azmi, i in., 2024).

Jednym z czynników lokalizacji obiektów gospodarczych jest bliskość rynku zbytu. Sąsiedztwo to nabiera nowego i kluczowego znaczenia. Staje się ponownie atutem po



doświadczeniach pandemii Covid-19 oraz w odniesieniu do poprawy odporności łańcuchów dostaw na zakłócenia.

Dotyczy to szczególnie przedsiębiorstw, które:

- produkują lub dostarczają nietrwałe dobra,
- charakteryzują się dużą elastycznością cenową podaży lub oferowanych usług,
- wytwarzają produkty, które cechuje duża zmienność popytu,
- wytwarzają lub przewożą dobra uciążliwe w transporcie.

7.4. Typowy proces decyzyjny dotyczący lokalizacji obiektu w łańcuchu dostaw

W krótkim okresie menedżer musi działać w ramach ograniczeń narzuconych mu przez lokalizację. Jednak w długim okresie lokalizacja staje się zmienną i menedżer może podejmować decyzje zmieniającą lokalizację w celu wyjścia naprzeciw wymaganiom klientów, dostawców czy zmianom narzuconym przez konkurencję.

Zewnętrzne czynniki wpływające na motywację dokonania analizy lokalizacji nowego obiektu lub zmiany lokalizacji obiektu to:

- ekspansja na nowe rynki,
- przesunięcia skupisk zamieszkania,
- zagrożenia ze strony konkurencji,
- pojawienie się nowych rynków zaopatrzenia.

Lokalizacja powinna spełniać dwa kryteria: ilościowe (kosztowe) i jakościowe. W pierwszej kolejności rozważane są kryteria ilościowe.

Wzór lokalizacji obiektu ma postać:

$$C = \frac{\sum r_i \cdot d_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot D_i \cdot M_i}{\sum r_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot M_i}$$

gdzie:

C – centrum masy

d_i – odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła surowca i

D_i – odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła rynku zbytu i

S_i – wolumen wagowy surowców nabywanych w źródłach zaopatrzenia i



M_i – wolumen wagowy wyrobów gotowych sprzedawanych na rynku i

r_i – stawka przewozowa dla wyrobu gotowego i

R_i – stawka przewozowa dla surowca i .

Formuła stosowana w Excelu:

centrum masy = $a + b / c + d$

$a = \text{SUMA} [\text{stawka przewozowa dla surowca}_{(i)} * \text{odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła surowca}_{(i)} * \text{wolumen wagowy surowca}_{(i)}]$



$b = \text{SUMA} [\text{stawka przewozowa dla wyrobu gotowego}_{(i)} * \text{odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła rynku zbytu}_{(i)} * \text{wolumen wagowy wyrobu gotowego}_{(i)}]$

$c = \text{SUMA} [\text{stawka przewozowa dla surowca}_{(i)} * \text{wolumen wagowy surowca}_{(i)}]$

$d = \text{SUMA} [\text{stawka przewozowa dla wyrobu gotowego}_{(i)} * \text{odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła rynku zbytu}_{(i)}]$

7.5. Modele grawitacyjne dezagregowane i zagregowane

Istnieje wiele wariantów modelu grawitacyjnego, które mogą posłużyć do symulacji przepływów między sprzedawcami detalicznymi a konsumentami. Wybór modelu zależy od celu jego zastosowania oraz od danych dostępnych do dopasowania modelu. Przy wyborze modelu grawitacyjnego ważnym czynnikiem jest również poziom agregacji. Interakcje zakupowe między konsumentami a sprzedawcami detalicznymi można przedstawić w modelu **dezagregowanym**, który szacuje zachowanie konsumentów. Można także przedstawić w modelu **zagregowanym**. W tym wariantcie punkty sprzedaży detalicznej w strefie są oceniane wspólnie (Schlaich, 2020). W modelach zagregowanych zanika charakterystyka poszczególnych sklepów oraz dokładne odległości między konsumentem a sprzedawcą detalicznym. Z drugiej strony agregacja na strefy znacznie zmniejsza złożoność modelu wraz ze zmniejszaniem się zestawu miejsc docelowych.



Spośród wszystkich modeli interakcji przestrzennych w handlu detalicznym model grawitacji Huffa (1963) jest jednym z najczęściej stosowanych. W swojej początkowej formie model ten oblicza prawdopodobieństwo patronatu w zależności od wielkości sklepu i odległości transportu.

W modelach grawitacyjnych istotną kwestią jest określenie zmiennej opisującej „siłę wzajemnego przyciągania” partnerów handlowych, czyli modelową zmienną objaśnianą (zależną). Modele grawitacyjne zapewniają geografom i ekonomistom elastyczne narzędzie do analizy.

7.6. Model wyważonego środka ciężkości

Metoda wyważonego środka ciężkości jest stosowana do określenia lokalizacji pojedynczego obiektu gospodarczego (np. magazynu). Uwzględnia źródła popytu o różnym znaczeniu i położeniu. Przy czym położenie jest określane przy pomocy współrzędnych (X, Y), które to współrzędne oznaczają pozycję punktu na mapie. Znaczenie zaś związane jest z np. wielkością dostaw, liczbą ludności zamieszkujących daną lokalizację lub wartości sprzedaży. Można również wykorzystać jeszcze inny wskaźnik, ważne by został dopasowany właściwie do sytuacji. Opisana metoda wykorzystuje ważone współczynniki punktu zaopatrzenia, a więc generuje na mapie punkt oznaczony współrzędnymi.

W metodzie ważonego współczynnika środka ciężkości należy korzystać z modelu:

$$X^* = \frac{\sum W_i \cdot X_i}{\sum W_i}$$

$$Y^* = \frac{\sum W_i \cdot Y_i}{\sum W_i}$$

gdzie,

X_i, Y_i – współrzędne i-tego źródła popytu

W_i – waga i-tego źródła popytu

Obliczone przy pomocy modelu współrzędne ważne (X^*, Y^*) wskazują właściwą lokalizację punktu zaopatrzenia, uwzględniając znaczenie (ważność) poszczególnych źródeł popytu.



Formuła stosowana w Excelu:



współrzędne punktu zaopatrzenia (X) = SUMA[(wskaźnik ważony źródła popytu_(i) * współrzędne X_(i))] / SUMA współrzędne X_(i)

współrzędne punktu zaopatrzenia (Y) = SUMA[(wskaźnik ważony źródła popytu_(i) * współrzędne Y_(i))] / SUMA współrzędne Y_(i)

Metoda wyważonego środka ciężkości pozwala na wyznaczenie lokalizacji jednego obiektu gospodarczego na wybranym obszarze geograficznym. Metoda jest prosta w zastosowaniu i sprowadza się do wyznaczenia dwóch parametrów na siatce geograficznej.

Rozwinięciem tej metody jest model:

$$Współrzędne_{(X,Y)} = \frac{\sum r_i \cdot d_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot D_i \cdot M_i}{\sum r_i \cdot S_i + \sum R_i \cdot M_i}$$

gdzie,

$Współrzędne_{(X,Y)}$ – środek ciężkości

r_i – stawka przewozowa dla wyrobu gotowego i

d_i – odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła surowca i

S_i – wolumen wagowy surowców nabywanych w źródłach zaopatrzenia i

R_i – stawka przewozowa dla surowca i

D_i – odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła rynku zbytu i

M_i – wolumen wagowy wyrobów gotowych sprzedawanych na rynku i

Obliczenia są wykonywane dla współrzędnych pionowych i poziomych.

Formuła stosowana w Excelu:



Licznik_(X) = SUMA (stawka przewozowa dla wyrobu gotowego_(i) * odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła surowca_(xi) * wolumen wagowy surowców nabywanych w źródłach zaopatrzenia_(i)) + SUMA (stawka przewozowa dla surowca_(i) * odległość od punktu 0 na siatce



do punktu lokalizacji źródła rynku zbytu_(xi) * wolumen wagowy wyrobów gotowych sprzedawanych na rynku_(i))

Mianownik = SUMA (stawka przewozowa dla wyrobu gotowego_(i) * wolumen wagowy surowców nabywanych w źródłach zaopatrzenia_(i)) + SUMA (stawka przewozowa dla surowca_(i) * wolumen wagowy wyrobów gotowych sprzedawanych na rynku_(i))

współrzędne punktu zaopatrzenia (X) = Licznik_(x) / Mianownik

Licznik_(y) = SUMA (stawka przewozowa dla wyrobu gotowego_(i) * odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła surowca_(yi) * wolumen wagowy surowców nabywanych w źródłach zaopatrzenia_(i)) + SUMA (stawka przewozowa dla surowca_(i) * odległość od punktu 0 na siatce do punktu lokalizacji źródła rynku zbytu_(yi) * wolumen wagowy wyrobów gotowych sprzedawanych na rynku_(i))

Mianownik = SUMA (stawka przewozowa dla wyrobu gotowego_(i) * wolumen wagowy surowców nabywanych w źródłach zaopatrzenia_(i)) + SUMA (stawka przewozowa dla surowca_(i) * wolumen wagowy wyrobów gotowych sprzedawanych na rynku_(i))

współrzędne punktu zaopatrzenia (Y) = Licznik_(y) / Mianownik

7.7. Model grawitacyjny w handlu międzynarodowym

Tinbergen (1962) jako pierwszy przełożył intuicyjne wyjaśnienie dwustronnych przepływów handlowych w handlu międzynarodowym. Jego odkrycia położyły podwaliny pod współczesny model grawitacji, który zakłada, że handel między narodami jest wprost



proporcjonalny do wielkości ich gospodarek i odwrotnie proporcjonalny do kosztów handlu. Należy to rozumieć następująco:

- od większych krajów oczekuje się większej wymiany handlowej,
- od krajów, które są bardziej oddalone od siebie, oczekuje się, że będą handlować mniej (prawdopodobnie z powodu wyższych kosztów handlu).

Od tego czasu model ten jest szeroko stosowany w literaturze branżowej, w celu wyjaśnienia przepływów w handlu międzynarodowym. Ze względu na skuteczność modelu grawitacyjnego w badaniach handlowych, zaobserwowaliśmy znaczny wzrost zastosowania modelu grawitacyjnego do oceny różnych aspektów handlu międzynarodowego (Azmi, i in. 2024).

$$X_{ij} = \alpha_i + \beta_1 \cdot GDP_i + \beta_2 \cdot GDP_j + \beta_3 \cdot TC_{ij} + \mu_i$$

gdzie:

X_{ij} – przepływ w handlu międzynarodowym z kraju I do kraju J

GDP_i i GDP_j – produkt krajowy brutto kraju pochodzenia i kraju przeznaczenia

TC_{ij} – koszt handlu między dwoma krajami, oszacowane przez odległość geograficzną między stolicami

μ_i – błąd losowy

α_i – punkt przecięcia modelu

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ - współczynniki mierzące wpływ zmiennych objaśniających.

Formuła stosowana w Excelu:



przepływ w handlu = punkt przecięcia + współczynnik₍₁₎ * dochód eksportującego kraju + współczynnik₍₂₎ * dochód importującego kraju + współczynnik₍₃₎ * koszt handlu między dwoma krajami + błąd losowy

Znane są również różne warianty prezentowanego modelu. Poniżej jeden z nich:

$$X_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot y_i + \beta_2 \cdot y_j + \beta_3 \cdot n_j + \beta_4 \cdot n_i + \beta_5 \cdot d_{ij} + \beta_6 \cdot D_{ij} + \mu_{ij}$$

gdzie

X_{ij} – przepływ w handlu (eksport lub import z kraju i do kraju j)



y_i – dochód eksportującego kraju i

y_j – dochód importującego kraju j

n_j – populacja kraju i, j

$d_{i,j}$ – odległość między krajami i i j

D_{ij} – zmienna zero-jedynkowa o wartości 1, jeśli kraje i i j są członkami określonych preferencyjnych obszarów handlowych, oraz 0 jeśli jest inaczej

β_0 – reprezentuje punkt przecięcia

$\beta_1 - \beta_6$ – odpowiednio współczynniki $y_i, y_j, n_j, n_i, d_{i,j}, D_{ij}$

μ_i – błąd losowy

Formuła stosowana w Excelu:



przepływ w handlu = punkt przecięcia + współczynnik₍₁₎ * dochód eksportującego kraju + współczynnik₍₂₎ * dochód importującego kraju + współczynnik₍₃₎ * populacja kraju j + współczynnik₍₄₎ * populacja kraju i + współczynnik₍₅₎ * odległość między krajami + współczynnik₍₆₎ * zmienna zero-jedynkowa + błąd losowy

7.8. Grawitacyjny model lokalizacji obiektów konkurencyjnych

Większość konkurencyjnych modeli lokalizacji obiektów zakłada, że cała dostępna siła nabywcza jest dzielona między konkurencyjne obiekty.

Motywy przewodnim wszystkich konkurencyjnych modeli lokalizacji jest istnienie wzajemnych powiązań między czterema zmiennymi: siłą nabywczą (popytem), odległością, atrakcyjnością obiektu i udziałem w rynku. Pierwsze wskazane zmienne są zmiennymi niezależnymi, natomiast udział w rynku jest zmienną zależną.

Każdy konkurujący ze sobą obiekt np. handlowy ma "strefę wpływów". Jest ona określona przez jego poziom atrakcyjności. Atrakcyjniejsze obiekty mają większy promień strefy wpływów. Siła nabywcza wydatkowana przez konsumenta w strefie wpływów kilku obiektów jest równo dzielona między konkurujące ze sobą obiekty (Drezner i Drezner, 2016).



Konkurencyjne modele lokalizacji mają szereg zastosowań, np. umożliwiają lokalizację centrów handlowych, sklepów (np. spożywczych, specjalistycznych – AGD; obuwie; księgarnie; komputery, biżuteria...), restauracje (fast food, kawiarnie, lodziarnie...), stacje benzynowe, oddziały banków i inne.

7.9. Model grawitacyjny dla międzykontynentalnego łańcucha dostaw

Modele grawitacyjne mogą służyć jako odpowiednie narzędzia oceny do szacowania dostaw ładunków do portów, przy czym ważną rolę odgrywają czas i koszty związane z odległością (Wang i Li, 2021). Aby przeanalizować wzorce interakcji regionów sprzedaży detalicznej związane z różnymi aglomeracjami Reilly stworzył model grawitacyjny przepływów towarowych jako:

$$X_{ij} = \alpha \frac{P_i \cdot P_j}{d_{ij}^2}$$

gdzie:

X_{ij} – przepływ w łańcuchu dostaw

d_{ij} – odległość przestrzenna

P_i, P_j – populacja w miejscu pochodzenia i i miejsca docelowego j

α – współczynnik grawitacyjny, stała równa 1

Formuła stosowana w Excelu:



**przepływ w łańcuchu dostaw = współczynnik grawitacyjny *
populacja w miejscu pochodzenia_(i) * populacja w miejscu
pochodzenia_(j) / odległość przestrzenna²**

W modelu tym znane jest położenie wszystkich miast węzłowych. Przyciąganie grawitacyjne między miastami można określić na podstawie wielkości miasta i odległości przestrzennej.



Pytania do rozdziału

1. Jakie zewnętrzne czynniki wpływają na decyzję o zmianie lokalizacji obiektu?
2. Jakie są główne zalety i ograniczenia stosowania różnych wariantów modelu grawitacyjnego w symulacji przepływów między sprzedawcami detalicznymi a konsumentami?

LITERATURA

Azmi, S. N., Khan, K. H., i Koch, H. (2024). Assessing the effect of INSTC on India's trade with Eurasia: an application of gravity model. *Cogent Economics & Finance*, 12(1).

Bergstrand J.H. (1989) The generalized gravity equation, monopolistic competition, and the factor-proportions theory in international trade, *Review of Economics and Statistics*, 71(1), 143-153.

Bułkowska M. (2018) Model grawitacyjny w handlu zagranicznym: wybrane aspekty teoretyczne i metodyczne. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, (529), 39-47.

Drezner, T., i Drezner, Z. (2016). Sequential location of two facilities: Comparing random to optimal location of the first facility. *Annals of Operations Research*, 246, 1-15.

Duanmu J., Foytik P., Khattak A. i Robinson R.M. (2012) Distribution analysis of freight transportation with gravity model and genetic algorithm. *Transportation research record*, 2269(1), 1-10.

Govindan K., Fattahi M. i Keyvanshokoo E. (2017) Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions, *European Journal of Operational Research*, 263(1), 108-141.

Grzybowska K. i Stachowiak A. (2022) Global changes and disruptions in supply chains – preliminary research to sustainable resilience of supply chains. *Energies*, 15 (art. 4579), 1-15.

Huff, D. L. (1963). A probabilistic analysis of shopping center trade areas. *Land economics*, 39(1), 81-90.



Kong F., Yin H., Nakagoshi N. i Zong Y. (2010) Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landscape and urban planning*, 95(1-2), 16-27.

Puertas R., Martí L. i García L. (2014) Logistics performance and export competitiveness: European experience. *Empirica*, 41, 467-480.

Reilly, W. J. (1929). *Methods for the study of retail relationships* (Vol. 44). Austin: University of Texas, Bureau of Business Research.

Schlaich T., Horn A.L., Fuhrmann M. i Friedrich H.(2020) A Gravity-Based Food Flow Model to Identify the Source of Foodborne Disease Outbreaks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17(2):444. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020444>

Stewart J.Q. (1948) Demographic gravitation: evidence and applications. *Sociometry* 11(1/2), 31-58.

Tinbergen J. (1962) *Shaping The World Economy Suggestions for an International Economic Policy*, The Twentieth Century Fund, New York.

Wang H. i Li M. (2021) Improved gravity model under policy control in regional logistics. *Measurement and Control*, 54(5-6), 811-819. doi:10.1177/0020294020919849

Zhu X. i Fan Y. (2017) Research on the construction of regional hub-and-spoke logistics network in Guangxi under the gravity model. *Bus Econ Res*, 9, 214-217.



8. PROGNOZOWANIE POPYTU



W rozdziale omówiono teorię prognozowania. Szczególną uwagę poświęcono prognozowaniu popytu. Jest to przewidywanie przyszłych zdarzeń (związanych z zapotrzebowaniem i popytem), którego celem jest zminimalizowanie ryzyka związanego z podejmowaniem decyzji biznesowych. Do najważniejszych poruszanych zagadnień tego rozdziału zaliczono:

- zasady i trendy prognozowania,
- prognozowanie szeregów czasowych,
- procedurę opracowania prognoz na podstawie szeregów czasowych,
- metody prognozowania i błędy prognoz,
- zagadnienie sztucznej inteligencji w prognozowaniu.

8.1. Wprowadzenie

Prognozowanie jest szeroko stosowaną, multidyscyplinarną nauką. Jest istotną czynnością, która jest wykorzystywana w celu podejmowania decyzji biznesowych w wielu obszarach planowania: ekonomicznego, przemysłowego i naukowego (Chatfield, 2001). Zbudowana prognoza wspomaga podjęcie decyzji mikro- i makroekonomicznych. Wspomaga także podejmowanie działań aktywizujących lub przeciwstawiających się jakiemuś zjawisku. Jest również źródłem cennych informacji. Prognozowanie można nazwać przewidywaniem; przewidywaniem przyszłego zapotrzebowania, przewidywaniem popytu, przewidywaniem sprzedaży lub nowego trendu. Zmiany warunków rynkowych, do których przedsiębiorstwo się musi dostosowywać można więc przewidzieć.

Jednak to przewidywanie nie może bazować wyłącznie na doświadczeniu i intuicji menadżerów, ponieważ niewłaściwe przewidywanie lub podejmowanie decyzji na podstawie niewłaściwie przygotowanych przewidywań może skutkować problemami finansowymi przedsiębiorstwa. Dlatego nie każde przewidywanie jest prognozowaniem,



ponieważ prognozowanie (zwane również predykcją) opiera się na racjonalnych, zwykle naukowych podstawach.

Prognozowanie to wnioskowanie o zdarzeniach nieznanym, na podstawie zdarzeń znanych (Cieślak, 2005). Przykładowo można przewidzieć, że: (1) zdarzenie nastąpi, ponieważ nastąpiło w przeszłości; (2) zdarzenie nastąpi, ponieważ wskazuje na to częstotliwość jego występowania; (3) zdarzenie nastąpi, ponieważ powiązane jest z innymi zdarzeniami, które wystąpiły (Dittmann, 2003).

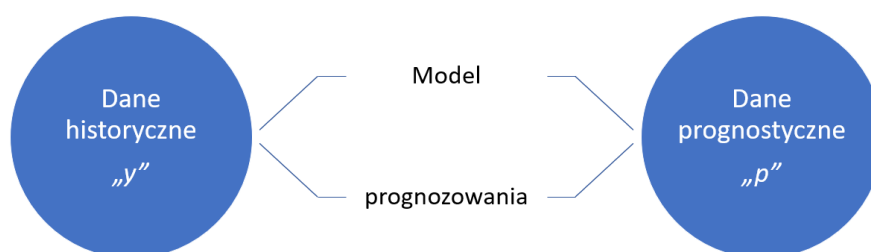
Prognozy są opracowywane (budowane) na podstawie przesłanek bardzo różnej natury. Biorąc jednak pod uwagę ich naukową naturę są konstruowane przede wszystkim na podstawie modeli statystycznych, ekonometrycznych oraz z wykorzystaniem badań operacyjnych. Prognozy opracowanie są z wykorzystaniem danych historycznych – zaistniałych w przeszłości. Zaś z punktu widzenia logistyki powiązane są z danymi nieodległej przeszłości. Szczególnie w złożonych branżach produktowych (np. przemysł motoryzacyjny), ale nie tylko, prognozy popytu mają kluczowe znaczenie dla obszaru sprzedaży oraz również dla wydajności systemu produkcyjnego.

Prognoza dotyczy zawsze konkretnego horyzontu prognostycznego. Horyzont prognozy to przedział $(T, T_i]$, gdzie: T – moment bieżący, T_i – moment końcowy.

W zależności od horyzontu czasowego problem prognozowania dzieli się ogólnie na trzy obszary: krótko-, średnio- i długoterminowe prognozowanie. Jak wspomniano wcześniej z punktu widzenia menadżera logistyki kluczowym jest prognozowanie **krótkoterminowe**. Obejmuje ono horyzonty predykcyjne od jednej godziny do tygodnia. Interesujące z punktu widzenia pracy menadżera logistyki jest także prognozowanie średnioterminowe, które odnosi się do prognoz od jednego miesiąca do maksymalnie roku. Wyróżnić wreszcie można prognozy długoterminowe, które charakteryzują się horyzontem predykcyjnym dłuższym niż rok. Mają one mniejsze znaczenie dla działalności operacyjnej związanej z logistyką. Teoria chaosu w dużej mierze pokazała, że długoterminowe prognozowanie jest daremnym wysiłkiem. Można więc przyjąć założenie, że dla szeroko rozumianej działalności logistycznej im horyzont prognozy dłuższy, tym prawdopodobieństwo zaistnienia zbudowanej prognozy maleje. Zmniejsza się jej pewność. Również prognozowanie dla wyrobu w dłuższej perspektywie niż cykl życia tego wyrobu nie ma sensu.



Wartość (znaczenie) modeli prognostycznych opiera się na ich zdolności do tworzenia dokładnych prognoz. Prognozy są więc tak dobre, jak założenia zastosowanego modelu. Ważne jest, aby mieć świadomość i wiedzieć, jakie są te założenia. W przypadku, gdy którekolwiek z tych założeń okaże się błędne, prognozy można ponownie ocenić, zmodyfikować i poprawić. Głównym problemem dokładności prognoz jest nieprzewidywalność trendów gospodarczych oraz zewnętrznych wydarzeń i kryzysów. Dlatego należy dosadnie stwierdzić, że konkretne wartości prognoz obarczone są **błędem i niepewnością**. Wynika to z faktu, że aby zbudować prognozę na przyszłość, korzystać należy z dostępnych danych historycznych; na podstawie dotychczasowych, przeszłych obserwacji. Tak więc, na podstawie posiadanej wiedzy o przeszłości następuje określenie przyszłości (rys.8.1).



Rysunek 8.1. Uogólniony model prognozowania

Źródło: (Dittmann, 2003)

Nie należy zapomnieć o potrzebie wymiany informacji w zarządzaniu łańcuchem dostaw, które ma kluczowe znaczenie dla sukcesu przewidywania popytu (Altendorfer i Felberbauer, 2023). Im bardziej dokładna informacja o zapotrzebowaniu, tym bardziej dokładna będzie opracowana prognoza. Również kluczowa jest bieżąca aktualizacja informacji o popycie (polega na zmianie wcześniejszych informacji, np. o wielkości zamówienia), dzięki której następują aktualizacje popytu w horyzoncie czasowym i eliminacja asymetrii informacji. Ali i inni wskazują, że dzielenie się pełnymi prognozami popytu, a nie ostateczną wielkością zamówienia, jest korzystne dla wydajności łańcucha dostaw (Ali i in., 2012).

Wyzwania związane z udanym prognozowaniem to coś więcej niż tylko trudności techniczne związane z opracowaniem dokładnego modelu prognostycznego. Modele prognostyczne muszą być opracowywane z jasnym zrozumieniem zarówno natury sytuacji, dla której prognoza jest pożądana, jak i zasobów dostępnych do sporządzenia prognozy. Ważne



jest, aby upewnić się, że wybrana zmienna odnosi się bezpośrednio do potrzebnych danych prognozowanych (Sheldon, 1993). Nie oznacza to, że prognozy są bezużyteczne, ale że ci, którzy z nich korzystają, powinni stale monitorować swoje środowisko operacyjne, aby wykryć wszelkie czynniki, które wskazują na niespójne lub nieregularne wzorce.

Tabela 8.1. Korzyści prognozowania popytu

Zidentyfikowana korzyść prognozowania	Uzasadnienie
Lepsza organizacja produkcji	znając prognozowaną wielkość sprzedaży wyrobów gotowych organizacja może z wyprzedzeniem zaplanować właściwą wielkość produkcji oraz właściwą wielkość zapotrzebowania w surowce i opakowania; eliminuje tym samym niedobory na linii produkcyjnej
Większa kontrola zapasów zabezpieczających	znając prognozowaną wielkość sprzedaży wyrobów gotowych można zaplanować zapas zabezpieczający, który zagwarantuje pokrycie zapotrzebowania rynku
Skuteczniejsze ograniczenie przestarzałego asortymentu	znając prognozowaną wielkość sprzedaży wyrobów gotowych można skupić się na obsłudze wyłącznie asortymentu niezbędnego do pokrycia zapotrzebowania; można eliminować zaleganie przestarzałych asortymentów, a w efekcie optymalizować koszty zamrożonego kapitału w zapas oraz koszty magazynowania
Lepsza satysfakcja klientów i poprawa wizerunku organizacji	znając prognozowaną wielkość sprzedaży wyrobów gotowych można zagwarantować utrzymywanie właściwego ilościowo poziomu zapasów w magazynie
Efektywniejsze wykorzystanie przestrzeni magazynowej	znając prognozowaną wielkość sprzedaży wyrobów gotowych można gromadzić tylko niezbędne zapasy asortymentu; można również istotnie ograniczyć wykorzystywaną przestrzeń magazynową
Skuteczniejsza kontrola i minimalizacja kosztów	znając prognozowaną wielkość sprzedaży wyrobów gotowych można dokładniej zaplanować budżet organizacji oraz podjąć kroki związane z dokładniejszą kontrolą wydatków

Źródło: (Wojciechowski i Wojciechowska, 2015; Wolny i Kmiecik, 2020)

Pomimo, że prognoza jest obarczona nieścisłością, stanowi ważną kierunkową przyszłego działania operacyjnego przedsiębiorstwa. Uzasadnieniem tworzenia prognoz w przedsiębiorstwie jest również cykliczność, która występuje w działalności przedsiębiorstw. Przewidujemy, że skoro jakieś zdarzenie wystąpiło w przeszłości to może również wystąpić w przyszłości. Jeśli natomiast zdarzenie występowało w przeszłości z określoną częstością to prawdopodobieństwo, że wystąpi ponownie wzrasta. Pomimo wielu niepewności zbudowana,



przy pomocy naukowych metod, prognoza jest przesłanką podjęcia racjonalnej decyzji w zakresie działalności przedsiębiorstwa.

Praktyka gospodarcza pokazuje również, że **prosta metoda prognozowania nie oznacza automatycznie metody gorszej** (Kucharski, 2013). Jak wskazuje Kucharski metody naiwne potrafią prognozować te same dane ze zbliżoną dokładnością. Są zaś o wiele łatwiejsze do zastosowania.

Prognozowanie wpływa m.in. na określenie mocy produkcyjnych, sposobów wytwarzania i świadczenia usług, a co za tym idzie wpływa także pośrednio na elementy takie jak liczba pracowników czy poziom kosztów. W wyniku działań związanych z prognozowaniem popytu możliwe jest uzyskanie wielu korzyści przez organizację (tab. 8.1).

Należy wskazać kilka własności prognoz:

1. Prognozy formułowane są z wykorzystaniem dorobku nauki (opracowane i zweryfikowane modele matematyczne);
2. Prognozy odnoszą się do określonej przyszłości;
3. Prognozy są weryfikowane empirycznie (po upływie określonego czasu);
4. Prognozy są akceptowalne przez osobę opracowującą prognozę.

Prognozy wspomagają w przedsiębiorstwie proces decyzyjny i jednocześnie spełniają różnorodne funkcje (Gajda, 2001):

- preparacyjną – prognoza jest impulsem do podjęcia konkretnego działania, ale nie ma wpływu na prognozowane zjawisko. Na jej podstawie podejmowane są wyłącznie decyzje gospodarcze,
- aktywizującą – prognoza jest impulsem do podjęcia konkretnego działania i jednocześnie wpływa na prognozowane zjawisko. Podejmowane są więc działania, które mają na celu urealnienie prognozy (prognozy samorealizujące lub sprzyjające, które wywołują działania sprzyjające realizacji prognoz) lub unicestwiające prognozy (prognozy ostrzegające, które wywołują działania przeciwdziałające ich realizacji).

Trzeba jednak pamiętać, że zbudowane prognozy mogą się łatwo załamać z powodu przypadkowych zmiennych, których nie można włączyć do modelu lub mogą być po prostu



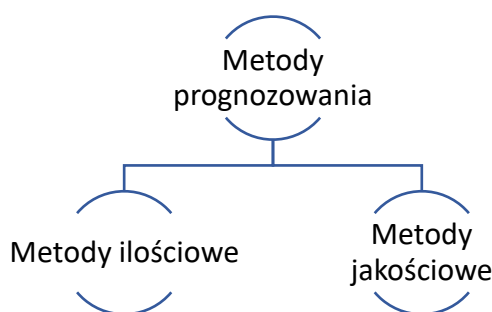
błędne od samego początku. Z tego powodu prognozowanie może być dla organizacji niebezpieczne. Wyróżnić można trzy problemy związane z prognozowaniem:

- dane, na podstawie których następuje prognozowanie zawsze będą stare, dotyczące okresów historycznych. Nigdy nie ma więc gwarancji, że warunki z przeszłości utrzymają się w przyszłości,
- nie można uwzględnić wyjątkowych lub nieoczekiwanych zdarzeń ani efektów zewnętrznych (przykład pandemii Covid-19; wpływ wojny i konfliktów zbrojnych; wpływ nieprzewidywanych kryzysów gospodarczych). Zdarzenia związane z czarnymi łabędziami stały się bardziej powszechne, ponieważ nasze zaufanie do prognoz wzrosło,
- prognozy nie mogą uwzględniać własnego wpływu. Kierownictwo staje się niewolnikiem danych historycznych i trendów prognostycznych.

Właściwie prowadzone prognozowanie pozwala przedsiębiorcom i menadżerom planować działalność z wyprzedzeniem, zwiększając jednocześnie szanse na utrzymanie konkurencyjności na rynkach.

8.2. Klasyfikacja metod prognozowania

Wyróżnić można dwie podstawowe grupy metod prognozowania – ilościowe i jakościowe (rys. 8.2). Prognoza zaliczana do tzw. ilościowych metod prognozowania przyjmuje postać wyrażoną konkretną liczbą (prognoza punktowa) lub ewentualnie przedziałem liczbowym (prognoza przedziałowa).



Rysunek 8.2. Metody prognozowania - rodzaje

Źródło: (Dittmann, 2000)



Prognozy jakościowe przyjmują postać nieliczbową. Odnoszą się do analizowanego zjawiska w przyszłości i oszacowania jego wzrostu, spadku lub braku zmiany. Prognozy jakościowe można traktować jako oparte na opiniach ekspertów rynkowych.

Z punktu widzenia specjalisty ds. logistyki kluczowe są jednak prognozy, które można określić przy pomocy liczb, a więc **prognozy ilościowe**. Prognozy ilościowe pomijają czynnik ekspercki i starają się usunąć czynnik ludzki z analizy. Podejścia te koncentrują się wyłącznie na danych.

Prognozy ilościowe	Modele szeregów czasowych
	Modele ekonometryczne
	Modele analogowe
	Modele zmiennych wiodących
	Modele analizy kohortowej
	Testy rynkowe

Rysunek 8.3. Metody ilościowe prognozowania

Źródło: (Dittmann, 2000)

Prognozy ilościowe można sklasyfikować uwzględniając stosowane modele (rys. 8.3). Na potrzeby książki skupiono się na **modelach szeregów czasowych**.

8.3. Prognozowanie szeregów czasowych

Jedną z najczęściej stosowanych metod prognostycznych do prognozowania popytu są metody oparte na modelach szeregów czasowych. Szeregi czasowe to metodologie eksploracji złożonych i sekwencyjnych typów danych. W modelach szeregów czasowych dane sekwencyjne, które składają się z ciągów danych liczbowych, są rejestrowane w równych odstępach czasu (np. na minutę, na godzinę lub na dzień). Popularność tych metody wynika z możliwości pozyskania poprzez prognozę informacji o przyszłym przebiegu zjawiska jakie jest obserwowane. W związku z tym nie ma potrzeby zbierania i analizowania kolejnych danych z innych źródeł. Prognozowanie przy pomocy szeregów czasowych jest również często stosowane ze względu na istnienie dużego prawdopodobieństwa jej wystąpienia. Praktyka gospodarcza pokazuje również, że opracowane przy pomocy modeli szeregów czasowych prognozy nie są gorsze od prognoz uzyskiwanych w oparciu o bardziej skomplikowane modele.



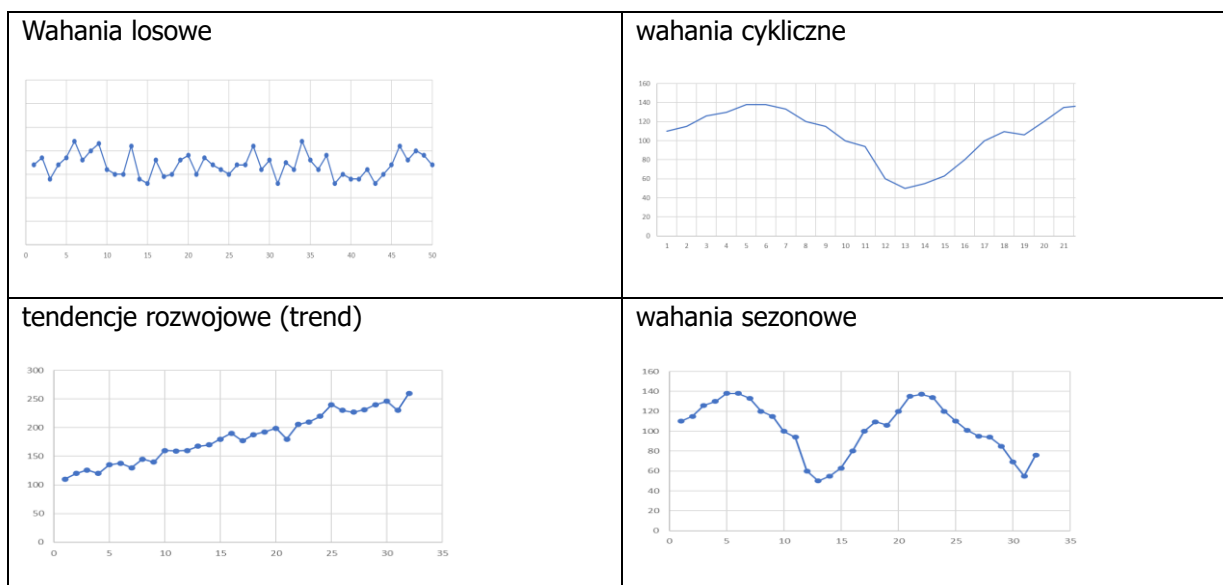
Doświadczenie pokazuje także, że modele szeregów czasowych mają potencjał rozwojowy. Każda kolejna modyfikacja metody lub kolejna metoda prognozowania według szeregów czasowych powinna z założenia poprawiać jakość jej wyników.

8.4. Dekompozycja szeregu czasowego

Prognozy są budowane z wykorzystaniem danych z szeregu czasowego. Dzieje się tak niezależnie od przyjętej metody prognozowania. Dane szeregu czasowego (zmienne) są uporządkowane chronologicznie, od danych najstarszych, do danych najnowszych. Należy podkreślić, że ostatnia dana nie jest daną pokrywającą się z momentem budowania prognozy. W publikacjach i opracowaniach naukowych przyjęto, że y_t określa zawsze konkretną wartość szeregu y w okresie (momencie) t .

Składowymi szeregu czasowego są wahania przypadkowe, tendencja rozwojowa (trend), wahania cykliczne oraz wahania sezonowe (tab. 8.2).

Tabela 8.2. Składowe szeregu czasowego



Źródło: opracowanie własne

O każdym z nich można powiedzieć kilka słów (Cieslak, 1997):

- wahania przypadkowe – są to losowe, przypadkowe i nie dające się przewidzieć zmiany zmiennej szeregu o zróżnicowanej sile, które są obserwowane w czasie i nie wykazują żadnej wyraźnej tendencji. Powiązane są z błędami o charakterze statystycznym lub prognostycznym. Należy nadmienić, że wahania przypadkowe



nie wpływają w istotny sposób na charakter badanego zjawiska, są one wliczone (jako błąd prognozy) w schemat postępowania prognostycznego, który należy wyeliminować,

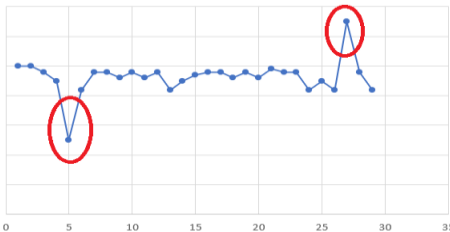
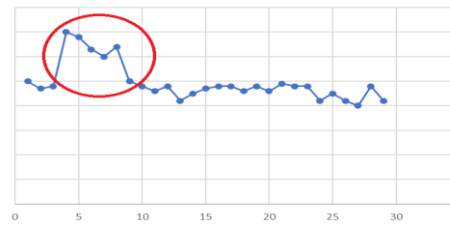
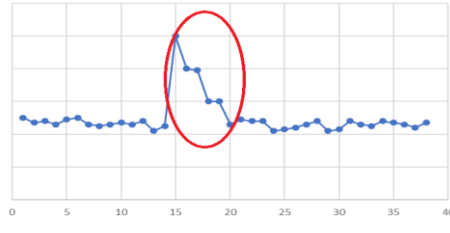
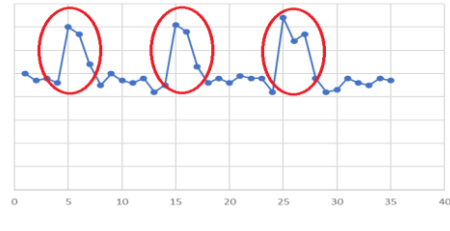
- tendencje rozwojowe (trend) – są to długookresowe skłonności danych szeregu do jednokierunkowych (monotonicznych) zmian prognozowanej zmiennej. Mają one charakter wzrostu lub spadku. Dotyczą najczęściej trwałego zjawiska, które ma wpływ na analizowane dane. W danych szeregu czasowego mogą występować zarówno tendencje rozwojowe oraz wahania przypadkowe. W celu wyodrębnienia tendencji rozwojowych potrzeba z reguły większej liczby danych historycznych. Stąd obserwujemy praktyczną zasadę: im dłuższy czas obserwacji danych historycznych, tym większa możliwość precyzyjnego określenia rodzaju trendu. Trend przedstawiany jest za pomocą funkcji matematycznej liniowej lub nieliniowej. W celu określania wielkości przyszłego popytu stosuje się cztery funkcje trendu: liniową, wykładniczą, logarytmiczną i potęgową. Najczęściej stosowaną funkcją tendencji jest jednak funkcja liniowa,
- wahania cykliczne – są to długookresowe, rytmiczne wahania wartości zmiennej układające się wokół trendu lub stałego poziomu, które utrzymują się dłuższy czas (dłużej niż rok). Są wynikiem cykliów koniunkturalnych. Mogą być obserwowane różne długości cykli oraz różna ich dynamika. Wahania cykliczne związane są więc ze zmianami w aktywności gospodarczej przedsiębiorstw, kryzysów lub ożywienia gospodarczego albo zamożności społeczeństwa. Do analizy wahań cyklicznych i budowy prognozy przyszłego zapotrzebowania potrzebne są dane historyczne miesięczne, kwartalne lub roczne z kilku ostatnich lat,
- wahania sezonowe – są to wahania wartości zmiennej szeregu czasowego wokół trendu lub stałego poziomu, które mają skłonność do powtarzania się w regularnych (sezonowych) odstępach, nie przekraczających roku. W takim wypadku dokładność budowanych prognoz będzie zależała od rodzaju i skali wahań sezonowych, liczby i rodzaju luk w dostępnych danych, horyzontu prognozy.

Identyfikacja i analiza wskazanych składowych szeregu czasowego nazywana jest dekompozycją szeregu czasowego.

8.5. Przygotowanie danych w szeregach czasowych

Zanim podejmie się kroki związane z budową prognoz warto wcześniej wykonać wstępną obróbkę danych, zwaną także **czyszczeniem danych**. Konieczna jest ich weryfikacja w celu wyeliminowania błędów lub wartości odstających. Pominięcie tego kroku może powodować zniekształcenie wyników prognoz i w efekcie błędy we wnioskowaniu. Trzeba pamiętać, że dane powiązane z przypadkami nietypowymi (odstającymi lub rzadko występującymi) to informacje prawdziwe, co do których prognosta nie ma wątpliwości. Są one sprawdzone i wiarygodne.

Tabela 8.3. Wybrane rodzaje wartości odstających

Addytywna wartość odstająca Występuje jako wartość zaskakująco duża lub zaskakująco mała dla pojedynczej obserwacji. Nie ma ona wpływu na kolejne obserwacje – wartość szeregu nie ulega dalszemu odstawianiu.	
Innowacyjna wartość odstająca Występuje jako odchylenie z dalszym wpływem na obserwacje. Zaobserwować można wpływ początkowy (pierwszy) z efektem opóźnienia i rozciągnięcia na kolejne obserwacje (malejące lub rosnące). Wpływ ten może zmniejszać się lub zwiększać w miarę upływu czasu.	
Wartość odstająca zmiany przemijającej Występuje w przypadku, kiedy wpływ wygasa się wykładniczo w miarę kolejnych obserwacji. Ostatecznie szereg powraca do normalnego poziomu.	
Wartość odstająca sezonowo addytywna Występuje jako zaskakująco duża lub zaskakująco mała wartość, która występuje okresowo (w regularnych odstępach).	

Źródło: opracowanie własne



Są różne strategie postępowania w przypadku zaobserwowania danych odstających. To między innymi:

- brak działania – polega na ignorowaniu danych nietypowych, ponieważ niektóre metody prognozowania są odporne na występowanie danych nietypowych,
- filtrowanie przypadków z danymi odstającymi – polega na usuwaniu tych danych; nie jest to jednak najlepsza strategia,
- zastępowanie danych nietypowych – jest to popularna strategia, w której wartości odstające są zastępowane: (1) wartością 0, (2) wartością średnią; (3) wartością filtra maksymalną/minimalną lub (4) inną wartością określoną na podstawie kryterium merytorycznego.

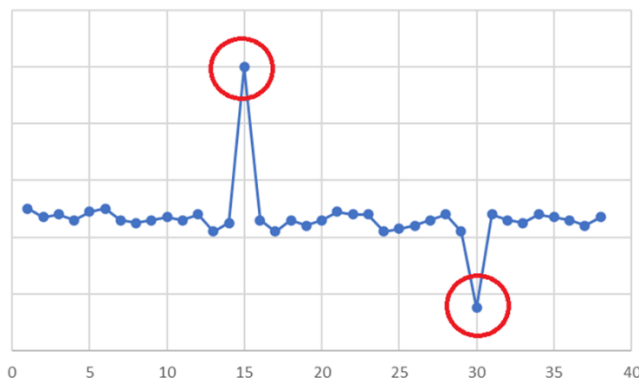
Pozostawienie w szeregu czasowym danych nietypowych zniekształca wynik ich analizy oraz utrudnia formułowanie wniosków, ponieważ dane nietypowe są wartościami ekstremalnie małymi lub ekstremalnie dużymi. Ze względu na swoją niespójność wartości te nazywamy wartościami odstającymi. W efekcie zwiększają rozstęp w szeregu czasowym (zakres minimum-maksimum). Dane nietypowe mają więc duży wpływ zniekształcający na budowaną wartość prognozy (tab. 8.3).

Zawsze decyzję o zmianie wielkości danej nietypowej lub jej usunięciu cechuje duży subiektywizm prognosty, dlatego wymaga ona rozważań. Ograniczenie subiektywizmu prognosty podczas usuwania przypadków nietypowych jest możliwe w odniesieniu do danych ilościowych. Przykładowo, można zastosować regułę odchylenia standardowego. Oznacza to, że jeśli dana historyczna jest nietypowa (np. wykracza poza zakres średniej grupowej ($\bar{x}$) powiększonej lub pomniejszonej o 2 lub 3 odchylenia standardowego), to ulega zmianie lub jest usuwana.

Warto każdy szereg danych poddać procedurze dekompozycyjnej. Wyszczególnić można kilka kroków:

1. Zidentyfikowanie formy funkcyjnej szeregu, co oznacza określenie rodzaju trendu.
2. Wyszukanie obserwacji odstających i zastąpienie ich wartościami uśrednionymi lub tak zwanymi filtrami górnym i/lub dolnym.
3. Weryfikacja czy ostatnia obserwowana dana z szeregu zachowuje się typowo; jeśli nie oczyszczenie jej.
4. Identyfikacja współczynnika kierunkowego trendu, w celu określenia stabilności głównego trendu obserwowanego w szeregu.

5. Zbadanie stabilności bieżącego, krótkookresowego trendu.

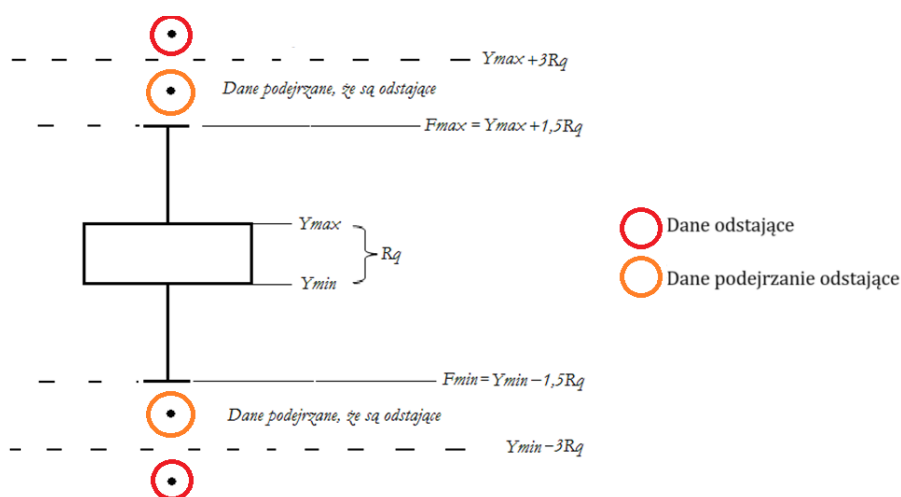


Rysunek 8.4. Wyraźne niezgodne wielkości z ogólną prawidłowością szeregu czasowego

Źródło: opracowanie własne

Filtry (minimalny lub maksymalny) są dobrym rozwiązaniem w sytuacji, gdy pojawiają się obserwacje odstające (rys. 8.4).

Filtr służy do tego, aby skorygować dane przed przystąpieniem do budowy kolejnej prognozy. Wartość odbiegająca od prawidłowego szeregu jest zastępowana filtrem minimalnym lub maksymalnym (rys. 8.5). Wartości ekstremalnie odstające zawarte są powyżej $y_{max} + 3R_q$ lub poniżej $y_{min} - 3R_q$. Wartości podejrzane, że są odstające zawarte są w przedziałach $(y_{min} - 1,5R_q; y_{min} - 3R_q)$ oraz $(y_{max} + 1,5R_q; y_{max} + 3R_q)$.



Rysunek 8.5. Wartości filtrów i dane odstające

Źródło: (Grzybowska, 2009)



Przedstawia to model:

$$F_{min} = y_{min} - 1,5R_q$$

$$F_{max} = y_{max} + 1,5R_q$$

$$R_q = y_{max} - y_{min}$$

gdzie

F_{min} – wartość filtra minimalnego

F_{max} – wartość filtra maksymalnego

y_{min} – wartość minimalna określona z szeregu czasowego

y_{max} – wartość maksymalna określona z szeregu czasowego

R_q – rozstęp międzykwartylowy.

8.6. Metody prognozowania szeregów czasowych

Metody prognozowania szeregów czasowych podzielone zostały ze względu na występujący trend danych. Wyszczególnić można prognozy dla popytu stałego, o charakterze trendu (rosnącego lub malejącego) oraz dla popytu sezonowego (rys. 8.6).

Popyt o charakterze stałym	Metody naiwne
	Metody średniej
	Metoda wygładzania wykładniczego (Browna)
	Model ARMA
Popyt o charakterze trendu	Metoda wygładzania wykładniczego (Holta)
	Metoda prostej regresji liniowej
	Model ARIMA
	Model RW
Popyt o charakterze sezonowym	Metoda wygładzania wykładniczego (Holta-Wintersa)

Rysunek 8.6. Metody ilościowe prognozowania szeregów czasowych

Źródło: opracowanie własne

W prezentowanych modelach parametr y odnosi się zawsze do wartości rzeczywistych popytu, zaś paramet p odnosi się zawsze do zbudowanej prognozy.



Metody naiwne

Metody naiwne prognozowania są charakteryzowane jako proste, szybkie i tanie. Pozwalają na opracowanie prognoz z niewielkiej liczby danych historycznych. Metody naiwne służą również jako punkt odniesienia dla innych metod prognozowania (Kucharski, 2013).

Metody naiwne są najprostszymi metodami mechanicznymi. Zostały opracowane na założeniu, że w przyszłości nie nastąpią wyraźne zmiany w popycie. Bardzo dobrze nadają się wszędzie tam, gdzie nie ma dużych wahań prognozowanej zmiennej. Opierają się wyłącznie na historycznych obserwacjach. Modele naiwne mają pamięć tylko jednej (ostatniej) obserwacji, dlatego nie odfiltrują szumu w danych, ale raczej skopiują go w przyszłość.

Modele naiwne składają się z prostych modeli projekcyjnych. Oznacza to, że wymagają danych wejściowych z ostatnich obserwacji i nie jest wykonywana żadna analiza statystyczna. Są niezwykle proste i jednocześnie zaskakująco skuteczne. Zaletą tych metod jest szybka decyzja o wielkości prognozowanej wartości. Wadą jest jednak brak możliwości analizy związków przyczynowo-skutkowych, które leżą u podstaw prognozowanej zmiennej.

Na potrzeby opracowania zostaną przedstawione 3 metody naiwne: (1) metoda naiwna, (2) sezonowa metoda naiwna; (3) metoda dryfu.

Metoda naiwna prosta (Naive Forecast)

Prognoza naiwna to taka, w której wartość prognozowana na dany okres jest po prostu równa wartości zaobserwowanej w poprzednim okresie. Przedstawia to formalny model:

$$p_t = y_{t-1}$$

gdzie:

p_t – prognoza na przyszły okres

y_{t-1} – wartość rzeczywista popytu z okresu poprzedniego.



Formuła stosowana w Excelu:

prognoza_(t) = popyt_(t-1)



Sezonowa metoda naiwna (Seasonal Naive method)

Również metoda naiwna jest przydatna w przypadku danych o małych wahaniami sezonowych. W takiej sytuacji każda prognoza jest równa ostatniej obserwowanej wartości z tego samego sezonu (np. z tego samego miesiąca poprzedniego roku). Prognozy przyjmują wartość zaobserwowaną w sezonie wcześniejszym. Model jest przydatny, kiedy występują małe wahania przypadkowe oraz sezonowość addytywna. Przedstawia to formalny model:

$$p_{t+h|T} = y_{t+h-m(k+1)}$$

gdzie:

$p_{t+h|T}$ – prognoza na przyszły okres

m – okres sezonowy

k – część całkowita $(h-1)/m$ (tj. liczba pełnych lat w okresie prognozy poprzedzającym $T+h$).

Model wygląda na bardziej skomplikowany niż jest w rzeczywistości. Przykładowo, jeśli budowana jest prognoza na podstawie danych miesięcznych, odnosi się ona do wszystkich przyszłych wartości miesięcznych i jest równa ostatniej zaobserwowanej wartości z tego miesiąca poprzedniego roku. W przypadku danych kwartalnych prognoza wszystkich przyszłych wartości $Q2$ jest równa ostatniej zaobserwowanej wartości $Q2$ (gdzie $Q2$ oznacza drugi kwartał). Podobne zasady obowiązują w innych miesiącach i kwartałach oraz w innych okresach sezonowych.



Formuła stosowana w Excelu:

prognoza_(t) = popyt_(t, rok poprzedni)

Prognoza na okres t jest równa popytowi z adekwatnego okresu roku poprzedniego. Sezonowa metoda naiwna będzie wymagała rocznego opóźnienia.

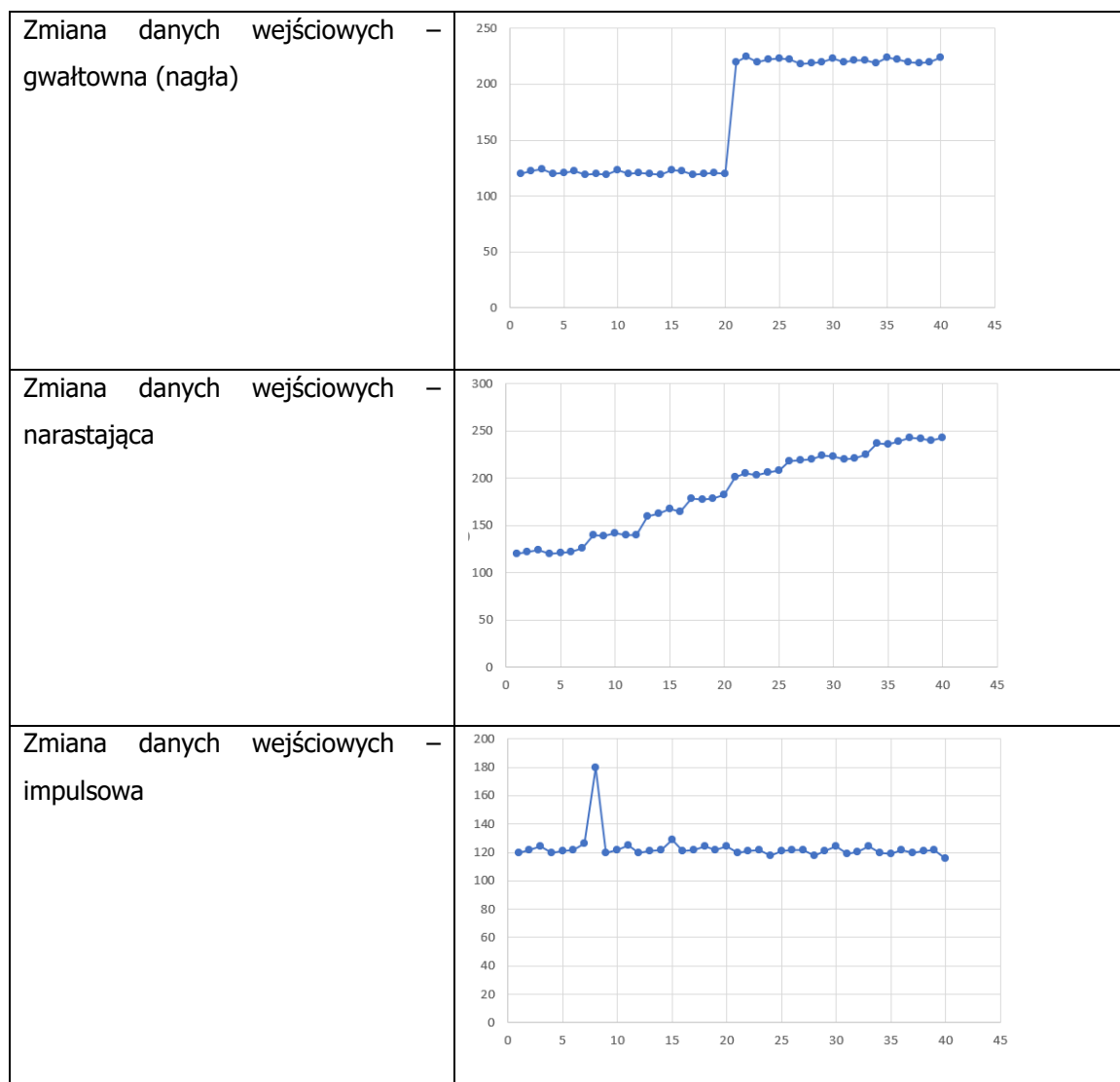
Metoda dryfu (Drift method)

Metoda dryfu jest odmianą sezonowej metody naiwnej polega na umożliwieniu wzrostu lub spadku prognoz w czasie, gdzie wielkość zmiany w czasie (zwana dryfem) jest ustawiona



jako średnia zmiana widoczna w danych historycznych. Metoda wykorzystuje dodatkowy komponent o nazwie dryf.

Tabela 8.4. Rodzaje dryfu



Źródło: opracowanie własne

Dryf odnosi się do spadku wydajności modelu z powodu zmian danych i relacji między zmiennymi wejściowymi i wyjściowymi. To natomiast może spowodować pogorszenie jakości modelu prognostycznego, a w efekcie niedokładnymi prognozami. Dryf zmiennych odnosi się do zmian wartości wejściowych, np. wynikający z gwałtownych zmian trendów sprzedaży. Zmiana danych wejściowych może być (tab. 8.4):

- gwałtowna (nagła) np. z powodu lockdownów w okresie pandemii COVID-19,
- narastająca (zmieniająca się powoli),



- impulsowa (jednorazowa) np. w przypadku błędnie zasilonych danych.

Przedstawia to formalny model:

$$p_{t+h|T} = y_t + h\left(\frac{y_t - y_1}{t - 1}\right)$$

gdzie:

$p_{t+h|T}$ – prognoza na przyszły okres

$h\left(\frac{y_t - y_1}{t - 1}\right)$ – komponent dryfu.

Jest to równoznaczne z nakreśleniem granicy między pierwszą a ostatnią obserwacją i ekstrapolacją jej na przyszłość.

Formuła stosowana w Excelu:

prognoza_(t) = popyt_(z ostatniego okresu roku poprzedniego) + [h *(popyt_(z ostatniego okresu roku poprzedniego) – popyt_(z pierwszego okresu roku poprzedniego)]/n – 1



Prognoza na okres t jest równa popytowi z ostatniego okresu roku poprzedniego + komponent dryfu.

W komponencie dryfu występuje liczba h , która odnosi się do kolejnej liczby zbudowanych prognoz, zaś t określa liczbę badanych okresów w roku.

Metody średniej

Metody średniej ruchomej działają jak filtr, ponieważ eliminują z szeregu danych wahania krótkookresowe. Do budowy prognozy, metody średniej ruchomej korzystają z określonej liczby sąsiadujących danych o popycie.

Ze wzrostem liczby danych historycznych, na podstawie których budowana jest prognoza rośnie efekt wygładzenia. Oznacza to, że korzystanie z większej liczby danych w modelu wygładza silniej szereg. Sprawia także, że następuje wolniejsza reakcja na zmiany poziomu prognozowanej zmiennej. I na odwrót. Korzystanie z mniejszej liczby danych historycznych wpływa na szybsze odzwierciedlanie zmian popytu z ostatnich okresów. Prognoza staje się wtedy bardziej wrażliwsza na wahania przypadkowe.



Na potrzeby opracowania zostaną przedstawione 4 metody średniej (1) metoda średniej globalnej; (2) metoda prostej średniej ruchomej; (3) metoda wykładniczej średniej ruchomej; (4) metoda średniej ruchomej ważonej.

Średnia globalna (Global Mean or Global Average)

Prognoza, przy pomocy metody średniej globalnej, budowana jest na wszystkich dostępnych obserwacjach historycznych zawartych w szeregu. Metoda ta określa tendencję centralną, którą jest lokalizacja środka danych szeregu w rozkładzie statystycznym.

Powyższe przedstawia formalny model:

$$p_t = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{n}$$

gdzie:

n – liczba analizowanych okresów.

Wartość prognozy przy pomocy metody średniej globalnej należy obliczać dodając do siebie wartości wszystkich danych historycznych i dzieląc obliczoną wartość przez liczbę analizowanych okresów.



Formuła stosowana w Excelu:

$$\text{prognoza}_{(t)} = \Sigma \text{popytu} / n$$

Stosowanie średniej arytmetycznej z całego szeregu danych powoduje zakłamanie wyniku budowanej prognozy. Wykorzystywane w metodzie dane są zbyt przestarzałe, co zniekształca właściwy obraz przyszłego popytu.

Metoda prostej średniej ruchomej (Simple Moving Average, SMA)

Metoda prostej średniej ruchomej (kroczącej) wykorzystuje typową średnią arytmetyczną, ale tylko z pewnej określonej liczby danych historycznych. Wyselekcjonowana liczba danych pozwala na wygładzenie danych dotyczących popytu, zmniejszając wpływ przypadkowych fluktuacji i przestarzałych danych. Nazwa średnia ruchoma oznacza, że każda



prognoza jest obliczana na podstawie danych z poprzednich x okresów. Prosta średnia ruchoma nie wyróżnia danych historycznych i nie nadaje wag tym danym.

Prosta średnia ruchoma to arytmetyczna średnia krocząca obliczona przez dodanie ostatnich danych popytu, a następnie podzielenie uzyskanej wartości przez liczbę okresów w średniej obliczeniowej. Powyższe przedstawia formalny model:

$$p_t = \frac{\sum_{t+1-m}^t y}{m}$$

w którym

m – liczba analizowanych okresów.

Powyższe wyjaśnia formuła stosowana w Excelu:

dla średniej 3-elementowej:



prognoza_(t) = ŚREDNIA(popyt_(t-1); popyt_(t-2); popyt_(t-3);)

Aby obliczyć średnią ruchomą można użyć prostej formuły opartej na funkcji ŚREDNIA z odniesieniami względnymi.

Gdy formuły są kopiowane w dół kolumny, zakres zmienia się w każdym wierszu, aby uwzględnić wartości potrzebne dla każdej średniej. Im dłuższa średnia krocząca, tym większe opóźnienie. Można to wytłumaczyć w następujący sposób:

- Prognoza na bazie 3 danych historycznych to krótkoterminowa średnia ruchoma; jest jak łódź motorowa – zwinna i szybko się zmieniająca.
- Prognoza na bazie 50 danych historycznych to długoterminowa średnia ruchoma; jest jak tankowiec oceaniczny – ospała i wolno się zmieniająca.
- Należy więc pamiętać o czynniku opóźnienia przy wyborze odpowiedniej liczby okresów historycznych (nie korzystać ze zbyt dużej liczby danych).

Metoda wykładniczej średniej ruchomej (Exponential Moving Average, EMA)

Metoda wykładniczej średniej ruchomej pozwala zmniejszyć opóźnienie przykładając większą wagę do ostatnich wartości danych historycznych. Dzięki temu metoda lepiej reaguje



na ostatnie wartości danych. Wykładnicza średnia ruchoma jest zwykle bardziej wrażliwa na ostatnie zmiany popytu w porównaniu z prostą średnią ruchomą. Powyższe przedstawia formalny model:

$$p_t = p_{t-1} + \alpha(y_{t-1} - p_{t-1})$$

$$\alpha = \frac{2}{n+1}$$

w którym

α – mnożnik

n – wybrany przedział czasu.

Obliczanie wykładniczej średniej ruchomej składa się z trzech kroków:

1. Obliczenie prostej średniej ruchomej dla okresu (prognoza wstępna). SMA jest wymagana jedynie w celu dostarczenia wartości początkowej do dalszych obliczeń.
2. Obliczenie mnożnika do ważenia wykładniczej średniej ruchomej

Przykład: jeśli prognoza jest budowana z 3 okresów, mnożnik zostanie obliczony w następujący sposób: $\text{mnożnik} = \alpha = \frac{2}{n+1} = \frac{2}{3+1} = 0,5$

3. Obliczenie aktualnej prognozy według wykładniczej średniej ruchomej.

Przypomnienie: Pierwsza obliczona prognoza nazwana jest prognozą wstępną.



Formuła stosowana w Excelu:

$$\text{prognoza}_{(t)} = \text{prognoza}_{(t-1)} + \text{mnożnik} * (\text{popyt}_{(t-1)} - \text{prognoza}_{(t-1)})$$

Metoda EMA służy do uchwycenia krótszych ruchów trendu, ze względu na skupienie się na najnowszych danych i ostatnich prognozach.

Metoda średniej ruchomej ważonej (Weighted Moving Average, WMA)

Jest to wariant prostej średniej ruchomej (SMA). Metoda średniej ruchomej ważonej to średnia krocząca, w której przypisuje się wagę najnowszym wartościom popytu. To sprawia, że najnowsze dane mają najsilniejszy wpływ na wartość prognozy niż dane starsze. Jest to możliwe poprzez stosowanie współczynnika ważonego. Zastosowanie współczynników



ważonych pozwala na uzyskanie dokładniejszych prognoz. Metoda jest uważana za bardziej wrażliwą na zmiany popytu.

Prognozy według metody średniej ruchomej ważonej uzyskuje się mnożąc każdą wartość popytu przez z góry określony współczynnik ważony i sumując otrzymane wartości. Powyższe przedstawia formalny model:

$$p_t = \sum_{i=t+1-m}^t (y_i \cdot \varpi_i)$$

w którym

ϖ – współczynnik ważony.

Aby określić ich wartość należy pamiętać o kilku zasadach:

- Wartości współczynników ważonych mieszczą się w przedziale $< 0,1 >$,
- Każdy kolejny zastosowany współczynnik ważony jest większy od swojego poprzednika $\varpi_i < \varpi_{i+1} < \varpi_{i+2}$. Jest to bardzo istotna zasada, gdyż różnicuje ona znaczenie wykorzystywanych danych historycznych. Te starsze mają niższy współczynnik ważony, dane świeższe są ważniejsze i mają wyższy współczynnik ważony,
- Suma wszystkich współczynników ważonych musi być równa 1: $\sum_1^n \varpi_i = 1$,
- Liczba współczynników ważonych zależy od liczby analizowanych okresów historycznych z szeregu czasowego.

Formuła stosowana w Excelu:

dla średniej ważonej 3-elementowej:



prognoza_(t) = (popyt_(t-3) * $\omega_{(1)}$) + (popyt_(t-2) * $\omega_{(2)}$) + (popyt_(t-1) * $\omega_{(3)}$)

dla średniej ważonej 5-elementowej:

prognoza_(t) = (popyt_(t-5) * $\omega_{(1)}$) + (popyt_(t-4) * $\omega_{(2)}$) + (popyt_(t-3) * $\omega_{(3)}$) + (popyt_(t-2) * $\omega_{(4)}$) + (popyt_(t-1) * $\omega_{(5)}$)



W metodzie średniej ruchomej ważonej należy określić wartość stałej wygładzania (z ilu danych okresów historycznych należy korzystać) oraz określić poziomy poszczególnych wag współczynników ważonych.

Metody wygładzania wykładniczego

Metody wygładzania wykładniczego (Exponential Smoothing, ES) są szeroko stosowane (Chatfield i in., 2001). Istnieje 15 różnych metod. Każdy wariant jest określony dla innego scenariusza prognozowania. Najbardziej znane warianty metody wygładzania wykładniczego to SES (brak trendu, brak sezonowości), metoda liniowa Holta (trend addytywny, brak sezonowości), metoda addytywna Holta-Wintersa (trend addytywny, sezonowość addytywna) oraz metoda multiplikatywna Holta-Wintersa (trend addytywny, sezonowość multiplikatywna) (De Gooijer i Hyndman, 2006). Badacze zaproponowali liczne warianty oryginalnych metod wygładzania wykładniczego, np. Carreno i Madinaveitia (1990) zaproponowali modyfikacje w celu radzenia sobie z nieciągłościami, a Rosas i Guerrero (1994) przyjrzyli się prognozom wygładzania wykładniczego podlegającym jednemu lub kilku ograniczeniom.

Na potrzeby opracowania zostaną przedstawione 3 metody wygładzania wykładniczego: (1) metoda proste wygładzanie wykładnicze (model Browna); (2) metoda liniowe wygładzanie wykładnicze (model Holta); (3) metoda sezonowe wygładzanie wykładnicze (model Holt-Winters).

Metoda prostego wygładzania wykładniczego (Simple Exponential Smoothing, SES), model Browna

Proste wygładzanie wykładnicze jest podstawową formą wygładzania wykładniczego. Metoda wygładzania wykładniczego (model Browna) jest relatywnie dokładną metodą prognozowania popytu. Uwzględnia ona współczynnik wygładzania wykładniczego (α). Współczynnik ten kontroluje tempo wpływu danych na budowane prognozy. Jednocześnie metoda przypisuje większą wagę nowszym danym. Przypisuje zaś wykładniczo malejące wagi kiedy dane stają się bardziej odległe.

Aby ustalić wartość współczynnika wygładzania wykładniczego należy pamiętać o następujących zasadach:

- wartość współczynnika wygładzania wykładniczego mieści się w przedziale $(0,1)$,



- wartość współczynnika wykładniczego dobierana jest eksperymentalnie. Należy korzystać z założenia: im współczynnik bliższy 0 tym dane ulegają silniejszemu wygładzeniu (prognoza jest mniej wrażliwa na zmiany popytu), a prognosta bardziej ufa zbudowanej w poprzednim okresie prognozie; wskaźnik bliższy wartości 1 oznacza, że prognoza jest bardziej wrażliwa na zmiany w popycie, a prognosta bazuje na sytuacji rzeczywistej jaka zaistniała w poprzednim okresie.

Przedstawia to formalny model:

$$p_t = a \cdot y_{t-1} + (1 - a) \cdot p_{t-1}$$

gdzie:

a – współczynnik wykładniczego.

Obliczanie prognozy według metody prostego wykładniczego polega na trzech krokach:

1. Obliczenie prognozy naiwnej dla pierwszego okresu (prognoza wstępna). Prognoza wstępna jest wymagana jedynie w celu dostarczenia wartości początkowej do dalszych obliczeń.
2. Określenie współczynnika wykładniczego

Współczynnik wykładniczego $a = \langle 0,1 \rangle$

3. Obliczenie prognozy według metody prostego wykładniczego.



Formuła stosowana w Excelu:

$$\text{prognoza}_{(t)} = \text{alfa} * \text{popyt}_{(t-1)} + [(1 - \text{alfa}) * \text{prognoza}_{(t-1)}]$$

Metoda prostego wykładniczego jest stosowana do prognozowania na podstawie danych nieobarczonych znaczącym trendem ani sezonowością.



Metoda podwójnego wygładzania wykładniczego (Linear Exponential Smoothing, LES), model Holta

Metoda podwójnego wygładzania wykładniczego (tak zwany model Holta) wychwytuje trendy liniowe w danych. Jest właściwym modelem dla popytu, w którym można zaobserwować stały trend wzrostowy lub spadkowy. Nie występuje jednak sezonowość.

Model podwójnego wygładzania wykładniczego bazuje na dwóch współczynnikach wygładzania. Jeden z nich odnosi się do wygładzania poziomu zmiennej (wahania losowe), a drugi do jej przyrostu (wahania trendu). Oba współczynniki powinny być zawarte w przedziale: $\langle 0,1 \rangle$. Przedstawia to formalny model:

$$p_t = L_{t-1} + T_{t-1}$$

$$L_t = \alpha y_{t-1} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(L_{t-1} - L_{t-2}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

w którym

α – współczynnik wygładzania poziomu zmiennej

β – współczynnik wygładzania przyrostu.

Zgodnie z modelem potrzebne są dwie wartości startowe L_t i T_t :

$L_t = y_{t-1}$ – zgodnie z metodą naiwną

$T_t = y_{t-1} - y_{t-2}$

Formuła stosowana w Excelu:



prognoza_(t) = [alfa * popyt_(t-1) + (1 - alfa)(wahanie losowe_(t-1) + wahanie trendu_(t-1))] + [beta * (wahanie losowe_(t-1) - (wahanie losowe_(t-2)) + (1 - beta) * wahanie trendu_(t-1)]

Metoda sezonowego wygładzania wykładniczego (model Holt-Winters)

Metoda sezonowego wygładzania wykładniczego, zwana również modelem Holta-Wintersa, bardzo dobrze nadaje się do prognozowania popytu dla danych charakteryzujących się zarówno trendem i sezonowością (www_8.1).



Konieczne jest jednak pozyskanie długich szeregów danych dotyczących popytu, ponieważ konieczne jest zweryfikowanie powtarzających się wahań cyklicznych (potwierdzenie, że w szeregu występuje popyt o charakterze sezonowym). Wahania sezonowe występują w wersji addytywnej lub multiplikatywnej (Kucharski, 2013).

Wahania addytywne występują, gdy w poszczególnych podokresach cyklu sezonowości zaobserwować można stałe pod względem wartości bezwzględnej odchylenia poziomu analizowanego zjawiska od średniego poziomu lub trendu.

Przedstawia to model addytywny:

$$p_t = L_{t-1} + T_{t-1} + S_{t-p}$$

$$L_t = \alpha(y_t - S_{t-p}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$S_t = \delta(y_t - L_t) + (1 - \delta)S_{t-p}$$

w którym

α – współczynnik wygładzania poziomu zmiennej

β – współczynnik wygładzania trendu

δ – współczynnik składnika sezonowego

L_t – składnik poziomu w czasie t

T_t – składnik trendu w czasie t

S_t – składnik sezonowy w czasie t

p – okres sezonowy.

Formuła stosowana w Excelu:

**prognoza_(t) = składnik poziomu_(t-1) + składnik trendu_(t-1) +
składnik sezonowości_(t-p)**



**składnik poziomu_(t) = alpha * [popyt_(t) - składnik sezonowości_(t)] +
(1 – alpha) * (składnik poziomu_(t-1) + składnik trendu_(t-1))**

**składnik trendu_(t) = beta * (składnik poziomu_(t) - składnik
poziomu_(t-1)) + [(1 – beta) * składnik trendu_(t-1)]**



$$\text{składnik sezonowości}_{(t)} = \text{gamma} * (\text{popyt}_{(t)} - \text{składnik poziomu}_{(t)}) + (1 - \text{gamma}) * \text{składnik sezonowości}_{(t-p)}$$

Składnik sezonowości_(t-p) dla czterech kwartałów

$$\text{składnik sezonowości}_{(1)} = \text{popyt}_{(1)} / \text{średni popyt}_{(1-4)}$$

$$\text{składnik sezonowości}_{(2)} = \text{popyt}_{(2)} / \text{średni popyt}_{(1-4)}$$

$$\text{składnik sezonowości}_{(3)} = \text{popyt}_{(3)} / \text{średni popyt}_{(1-4)}$$

$$\text{składnik sezonowości}_{(4)} = \text{popyt}_{(4)} / \text{średni popyt}_{(1-4)}$$

Wahania multiplikatywne występują, gdy w poszczególnych podokresach cyklu zaobserwować można zjawisko odchylania się od średniego poziomu bądź trendu o pewną stałą wielkość względną (Sobczyk, 2006). Przedstawia to model multiplikatywny:

$$p_t = (L_{t-1} + T_{t-1})S_{t-p}$$

$$L_t = \alpha \left(\frac{y_t}{S_{t-p}} \right) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$S_t = \delta \left(\frac{y_t}{L_t} \right) + (1 - \delta)S_{t-p}$$

w którym

α – współczynnik wygładzania poziomu zmiennej

β – współczynnik wygładzania trendu

δ – współczynnik składnika sezonowego

L_t – składnik poziomu w czasie t

T_t – składnik trendu w czasie t

S_t – składnik sezonowy w czasie t

p – okres sezonowy.

Warto pamiętać, że: trend addytywny dotyczy podwójnego wygładzania wykładniczego z trendem liniowym, zaś trend multiplikatywny związany jest z podwójnym wygładzaniem wykładniczym z trendem wykładniczym (www_8.2).



Formuła stosowana w Excelu:

$$\text{prognoza}_{(t)} = (\text{składnik poziomu}_{(t-1)} + \text{składnik trendu}_{(t-1)}) * \text{składnik sezonowości}_{(t-p)}$$

$$\text{składnik poziomu}_{(t)} = \alpha * [\text{popyt}_{(t)} / \text{składnik sezonowości}_{(t)}] + (1 - \alpha) * (\text{składnik poziomu}_{(t-1)} + \text{składnik trendu}_{(t-1)})$$

$$\text{składnik trendu}_{(t)} = \beta * (\text{składnik poziomu}_{(t)} - \text{składnik poziomu}_{(t-1)}) + [(1 - \beta) * \text{składnik trendu}_{(t-1)}]$$



$$\text{składnik sezonowości}_{(t)} = \gamma * (\text{popyt}_{(t)} / \text{składnik poziomu}_{(t)}) + (1 - \gamma) * \text{składnik sezonowości}_{(t-p)}$$

składnik sezonowości_(t-p) dla czterech kwartałów

$$\text{składnik sezonowości}_{(1)} = \text{popyt}_{(1)} / \text{średni popyt}_{(1,2,3,4)}$$

$$\text{składnik sezonowości}_{(2)} = \text{popyt}_{(2)} / \text{średni popyt}_{(1,2,3,4)}$$

$$\text{składnik sezonowości}_{(3)} = \text{popyt}_{(3)} / \text{średni popyt}_{(1,2,3,4)}$$

$$\text{składnik sezonowości}_{(4)} = \text{popyt}_{(4)} / \text{średni popyt}_{(1,2,3,4)}$$

Metody autoregresyjne

Wśród modeli prognozowania szczególne miejsce zajmują modele stacjonarnych szeregów ARMA (AutoRegressive Moving Average) oraz niestacjonarnych szeregów ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average model). Są to modele oparte na zjawisku autokorelacji, powstałe przez integrację modelu autoregresyjnego AR (AutoRegressive model) oraz modelu średniej ruchomej MA (Moving Average) (Grzelak, 2019).

Na potrzeby opracowania zostaną przedstawione 3 metody autoregresyjne: (1) metoda autoregresywna średnia ruchoma (ARMA); (2) metoda autoregresyjna zintegrowana średnia ruchoma (ARIMA); (3) metoda błędzenia losowego (RW).

Modele ARMA i ARIMA mają wiele podobieństw. Komponenty AR(p) – ogólny model autoregresyjny i MA – ogólny model średniej ruchomej MA(q) są takie same. Tym, co odróżnia oba modele ARMA i ARIMA jest różnica. Jeśli w modelu ARMA nie ma różnic, staje się on po prostu modelem ARIMA.



Autoregresywna średnia ruchoma (Autoregressive Moving Average, ARMA)

Wymogiem prognozowania według metody ARMA jest szereg danych, który charakteryzuje się stacjonarnością. Oznacza, że w szeregu tym można wyróżnić stałą średnią, stałą wariancję i stałą kowariancję, która zależy tylko od odstępu czasu między wartościami (Schaffer i in., 2021).

Według modelu ARMA wartość prognozowana w czasie t zależy od przeszłych jej wielkości oraz od różnic między przeszłymi wartościami rzeczywistymi zmiennej prognozowanej, a jej wartościami uzyskanymi z modelu – błędów prognoz. Model ten określany jest jako **model ARMA(p, q)**, w którym p odnosi się do rzędu wielomianu autoregresyjnego, zaś q jest rzędem wielomianu średniej ruchomej. Powyższe przedstawia formalny ogólny model:

$$p_t = \varepsilon_t + (\alpha y_{t-1} + \varepsilon_t) + (\beta y_{t-2} - \alpha y_{t-1} + \varepsilon_t) + (\varepsilon_t + \alpha \varepsilon_{t-1})$$

gdzie:

α – parametr modelu autoregresyjnego

β – parametr modelu średniej ruchomej

ε – błąd modelu (biały szum).

Formuła stosowana w Excelu:

**prognoza_(t) = błąd modelu_(t) + komponent 1 + komponent 2 +
komponent 3**



błąd modelu_(t) = NORM.S.INV(rand())

komponent 1 = alfa * komponent 1_(t-1) + błąd modelu_(t)

**komponent 2 = beta * komponent 2_(t-2) – alfa * komponent 2_(t-1) +
błąd modelu_(t)**

komponent 3 = błąd modelu_(t) + alfa * błąd modelu_(t-1)



Autoregresyjna zintegrowana średnia ruchoma (Autoregressive Integrated Moving Average, ARIMA)

W przypadku modeli ARIMA uwagę zwraca się na niestacjonarność szeregu. W modelu wyróżnia się trzy parametry: parametr autoregresyjny (p), parametr średniej ruchomej (q) oraz rząd różnicowania (d). Model **ARIMA**(p, q, d) opisywany jest także za pomocą cyfr, przykładowo: (1,1,0), co oznacza, że w szeregu $p=1$ występuje jednokrotny parametr autoregresyjny, $q=1$ występuje jednokrotny parametr średniej ruchomej oraz $d=0$ nie występuje różnicowanie (Malska i Wachta, 2015). Dla podanego przykładu formalny ogólny model jest następujący:

$$p_t = \alpha + y_{t-1} + \beta_1(y_{t-1} - y_{t-2})$$

gdzie:

α – parametr modelu autoregresyjnego

β – parametr średniej ruchomej



Formuła stosowana w Excelu:

$$\text{prognoza}_{(t)} = \text{alfa} + \text{popyt}_{(t-1)} + \text{beta} * [\text{popyt}_{(t-1)} - \text{popyt}_{(t-2)}]$$

Model błędzenia losowego (Random Walk, RW)

Model błędzenia losowego jest podkategorią modelu ARIMA. W prostym modelu RW zakłada się, że każda prognoza jest sumą ostatniej obserwacji i składnika błędu losowego. Zakłada więc, że najnowsza obserwacja jest najlepszą wskazówką do budowy najbliższej następnej prognozy. Ten model jest dość prosty do zrozumienia i wdrożenia. Jest stosowany w sytuacji, kiedy w ciągu danych zostanie zaobserwowana tendencja rozwojowa. Przedstawia to model:

$$p_t = y_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_t = y_{t-1} - y_{t-2}$$

gdzie:

ε – błąd modelu (biały szum)



Formuła stosowana w Excelu:

$$\text{prognoza}_{(t)} = \text{popyt}_{(t-1)} + [\text{popyt}_{(t-1)} - \text{popyt}_{(t-2)}]$$

Zaobserwowano, że wiele złożonych metod prognostycznych opartych na strukturze liniowej nie jest w stanie pokonać naiwnego modelu RW (Adhikari i Agrawal, 2014).

Metody regresji

W modelach regresji nie można mówić o wpływie jednej zmiennej na drugą. Za pomocą zmiennej bądź zestawu zmiennych wyjaśniana jest inna zmienna. Do zastosowania metod regresji potrzebna jest większa liczba danych historycznych – im dłuższy czas obserwacji danych historycznych, tym większa możliwość precyzyjnego określenia prognoz.

Znanych jest wiele wariantów modeli regresji: regresja liniowa, regresja nieliniowa, regresja logistyczna, regresja krokowa, regresja porządkowa.

Wzór na ogólną postać regresji ma postać:

$$p_t = f(X, \beta) + \varepsilon_t$$

gdzie:

X – zmienna wyjaśniająca, przewidywana

β – współczynnik regresji

$f(X, \beta)$ – równanie regresji

ε_t – błąd losowy.

Na potrzeby opracowania zostaną przedstawione 3 metody wygładzania wykładniczego: (1) metoda projekcji trendu; (2) prosta metoda regresji liniowej; (3) metoda wielokrotnej regresji liniowej.

Metoda projekcji trendu (Trend Projection Method)

Metoda Projekcji Trendu to odmiana metody linii prostej. Jest to najbardziej klasyczna metoda prognozowania biznesowego, która zajmuje się ruchem zmiennych w czasie. Można rozróżnić **metodę graficzną** – w której dane są wyświetlane na wykresie, a przez nie ręcznie



wykreślana jest linia. Linia jest rysowana z zachowaniem najmniejszej odległości między wyznaczonymi punktami a linią; **metodą dopasowania równania trendu** przy użyciu danych i równania linii prostej lub wykładniczej.

Prosta metoda regresji liniowej (Simple linear regression method)

Metoda regresji liniowej jest najprostszym wariantem regresji. Zadaniem metody regresji liniowej jest dopasowanie prostej linii do danych. Zatem należy znaleźć rozwiązanie, które pozwoli na znalezienie optymalnej prostej, która najlepiej pokaże zależność pomiędzy danymi. W metodzie prostej regresji liniowej model prognostyczny bazuje na tendencji liniowej. Aby wyznaczyć linię regresji, a tym samym wartości w modelu regresji liniowej, należy obliczyć współczynniki linii prostej a oraz b . Powyższe przedstawia formalny model:

$$p_t = at + b$$

w którym

a – wartość zmiennej w analizowanym okresie

b – wartość przyrostu lub spadku zmiennej zależnej

n – numer porządkowy analizowanego i prognozowanego okresu.

Aby określić parametry a oraz b należy obliczyć układ dwóch równań. Ma on następującą postać:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n t_i^2 + b \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n t_i \cdot y_i \\ a \sum_{i=1}^n t_i + b \cdot n = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases}$$

w którym

t_i – numer porządkowy okresu ($t = 1, 2, 3, \dots$), który jest wartością zmiennej czasowej niezależnej,

y_i – zmienna zależna (np. zapotrzebowanie na dane dobro w ustalonym przedziale czasowym),

a – wartość zmiennej w analizowanym okresie,

b – wartość przyrostu lub spadku zmiennej zależnej,

n – liczba wszystkich analizowanych okresów.



Jednak najszybszym sposobem na obliczenie powyższych współczynników regresji jest skorzystanie z funkcji REGLINP.

Składnia: **REGLINP**(znane_y;[znane_x];[stała];[statystyka])

Metoda wielokrotnej regresji liniowej (Multiple linear regression method)

Wielokrotna regresja liniowa pozwala budować modele zależności liniowej między wieloma zmiennymi. Metoda wielokrotnej regresji liniowej jest stosowana w analizie danych w celu zbadania złożonych relacji między wieloma zmiennymi. Powyższe przedstawia formalny model:

$$p_t = a + b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_iy_i + \varepsilon$$

w którym

a – wartość zmiennej w analizowanym okresie

b – wartość przyrostu lub spadku zmiennej zależnej

ε – błąd modelu (biały szum).

8.7. Błędy prognozy

Aby ocenić trafność prognozy należy mierzyć błędy prognozy. Biorąc pod uwagę, że nie ma gwarancji doskonałego przewidywania przyszłego popytu (Hopp i Spearman, 1999) każda prognoza obarczona jest błędem.

Badacze rozróżniają systematyczne i niesystematyczne skutki błędów prognoz (Zeiml, i in., 2019). Wydajność systemu prognozowania jest zazwyczaj mierzona za pomocą różnych miar błędu prognozy (tab. 8.5).



Tabela 8.5. Wybrane błędy prognoz

Typ błędu prognozy	Model	Interpretacja
Błąd średniokwadratowy Mean Squared Error (MSE)	$MSE = \frac{\sum (y_t - p_t)^2}{n}$	Błąd średniokwadratowy może być tylko dodatni, a jego wartość powinna być jak najmniejsza. Wartość tego błędu, która wynosi 0 wskazuje na doskonałą dokładność prognozy.
Pierwiastek błędu średniokwadratowego Root Mean Squared Error (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (p_t - y_t)^2}{n}}$	Wartość błędu powinna być jak najbardziej zbliżona do 0. Im niższa wartość pierwiastka błędu średniokwadratowego, tym lepszy jest model. A model doskonały ma wartość równą 0.
Średni bezwzględny błąd procentowy Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	$MAPE = \frac{\sum E_t - A_t }{A_t} \cdot \frac{100}{n}$	Jest to jedna z bardziej popularnych miar błędu. Wartość 0 wskazuje, że model nie zawiera błędu średniego, co oznacza, że wartość powinna być jak najbliżej 0. W przypadku tych samych błędów prognoz mniejsze wartości rzeczywiste powodują, że błąd względny staje się większy.
Średni błąd procentowy Mean Percentage Error (MPE)	$MPE = \frac{100\%}{n} \sum \frac{a_t - f_t}{a_t}$	Jest to średni błąd procentowy (lub odchylenie). Informuje o ile średnio w okresie prognoz będzie wynosić odchylenie od wartości rzeczywistej. MPE jest przydatny, ponieważ pozwala sprawdzić czy model prognozy systematycznie zaniża (więcej ujemnego błędu) lub przeszacowuje (dodatni błąd).
Średnie odchylenie bezwzględne Mean Absolute Deviation (MAD)	$MAD = \sum \frac{ x_t - \bar{x}_t }{n}$	Jest prostym rozszerzeniem wariancji bezwzględnej. Średnie odchylenie bezwzględne jest wykorzystywane jako miara zróżnicowania danych.

Źródło: (Hyndman i Koehler, 2006; Zeiml, i in., 2019)

8.8. Zalety prognozowania w Excelu

Microsoft Excel może być używany do prognozowania. Przy użyciu opracowanych algorytmów i na podstawie zebranych danych z przeszłości można przygotować formularze w celu budowy prognoz, a w efekcie podejmowania właściwych decyzji w biznesie. Excel jest podstawowym narzędziem do prognozowania.

Excel jest używany w prognozowaniu przez wiele przedsiębiorstw, zarówno małych, średnich, jak i dużych (w tym koncernów), ponieważ ma do dyspozycji szereg odpowiednich narzędzi. Dane można łatwo przechowywać i obliczać w skoroszybie programu Excel. Excel



może wizualizować pozyskane i opracowane dane na różne sposoby, co jest użyteczne i przydaje się do łatwiejszego prognozowania (www_8.3).

Tabela 8.6. Wybrane funkcje programu Excel

Funkcja	Wyjaśnienie
=ŚREDNIA	Funkcja pozwala obliczyć średnią na podstawie istniejących wartości.
=SUMA	Funkcja pozwala obliczyć sumę na podstawie istniejących wartości.
=REGLINX	Funkcja pozwala przewidzieć przyszłą wartość na podstawie istniejących wartości przy użyciu regresji liniowej.
=REGLINX.ETS	Oblicza lub przewiduje przyszłą wartość na podstawie istniejących (historycznych) wartości przy użyciu wersji algorytmu wygładzania wykładniczego (ETS).
=REGLINP	Oblicza statystykę dla linii, korzystając z metody najmniejszych kwadratów.
=REGLINX.LINIOWA	Oblicza lub przewiduje przyszłą wartość na podstawie istniejących wartości przy użyciu regresji liniowej.
=REGLINW	Posłuży do wyznaczenia trendu liniowego.
=REGLINX.ETS.SEZONOWOŚĆ	Oblicza długość wzorca sezonowego na podstawie istniejących wartości i osi czasu.

Źródło: opracowanie własne

W końcu Excel wykorzystuje wiele formuł, których można użyć w skoroszybie programu, aby ułatwić obliczanie przewidywanych wartości. Excel obsługuje kilka różnych funkcji, które pozwalają na praktyczne wykorzystanie oprogramowania (tab. 8.6). Zrozumienie ich jest kluczem do maksymalnego wykorzystania programu Excel.

Do wad Excela zaliczyć należy konieczność ręcznego synchronizowania danych i ręcznego aktualizowania danych. Częstym problemem jest również możliwość popełnienia błędów w wyniku niepoprawnie przeprowadzonego importu danych lub w wyniku przerywania formuły. Ponieważ w programie Excel wprowadzanie danych odbywa się ręcznie, dane używane do prognozowania nie są danymi w czasie rzeczywistym.



8.9. Sztuczna inteligencja w prognozowaniu

Dane dotyczące łańcucha dostaw są wielowymiarowe i generowane w wielu punktach łańcucha, w różnych celach, w dużych ilościach (ze względu na mnogość dostawców, produktów i klientów) oraz generowane z dużą szybkością (co odzwierciedla wiele transakcji stale przetwarzanych w sieciach łańcucha dostaw). Ta złożoność i wielowymiarowość łańcuchów dostaw sprawia, że następuje odejście od konwencjonalnych (statystycznych) podejść do prognozowania popytu, które opierają się na identyfikacji statystycznie średnich trendów (charakteryzujących się atrybutami średniej i wariancji) (Michna, i in., 2020), w kierunku inteligentnych prognoz, które mogą uczyć się na podstawie danych historycznych i inteligentnie ewoluować, aby dostosować się do przewidywania stale zmieniającego się popytu w łańcuchach dostaw.

Odpowiedzią na nowe potrzeby i wyzwania staje się logistyka wyprzedzająca, która wspiera takie procesy jak prognozowanie popytu. U jej podstaw leży możliwość wykorzystania sztucznej inteligencji (Artificial Intelligence, AI). Jest to połączenie współczesnych technologii takich jak Big Data (BD), uczenie maszynowe (Machine Learning, ML) oraz sztucznej inteligencji (Sczaniecka i Smarzyńska, 2018). Postęp technologiczny doprowadził w ostatnich latach do coraz częstszego generowania i przechowywania ogromnych ilości danych. Dane te są przechwytywane w czasie w różnych punktach (np. w różnych ogniwach łańcucha dostaw) oraz przechowywane w różnych miejscach. Powinny więc być sprawnie przetwarzane, aby wydobyć z nich przydatną i wartościową wiedzę (Galicia, i in., 2019).

Big Data odnosi się do zbiorów danych dynamicznych o dużej objętości, dużej szybkości i dużej różnorodności, które przekraczają możliwości przetwarzania tradycyjnych podejść do zarządzania danymi (Chen, i in., 2014). Big Data może dostarczyć wiele unikalnych informacji na temat m.in. trendów rynkowych, wzorców zakupowych klientów i cykli konserwacji, a także sposobów obniżania kosztów i podejmowania bardziej ukierunkowanych decyzji biznesowych (Wang, i in., 2016). Badania wskazują, że analiza dużych zbiorów danych (Big Data Analytics, BDA) może być sposobem na uzyskanie bardziej precyzyjnych prognoz, które lepiej odzwierciedlają potrzeby klientów, ułatwiają ocenę wydajności łańcuchów dostaw, poprawiają wydajność łańcuchów dostaw, skracają czas reakcji oraz wspierają ocenę ryzyka łańcucha dostaw (Awwad, i in., 2018).



Analityka dużych zbiorów danych (BDA) w zarządzaniu łańcuchem dostaw (SCM) cieszy się coraz większym zainteresowaniem (Seyedan i Mafakheri, 2020). Analiza danych dotyczących łańcucha dostaw stała się złożonym zadaniem ze względu na (Awwad, i in., 2018):

- rosnącą liczbę jednostek SC,
- rosnącą różnorodność konfiguracji SC w zależności od jednorodności lub heterogeniczności produktów,
- współzależności między tymi podmiotami,
- niepewność co do dynamicznego zachowania tych komponentów,
- brak informacji dotyczących podmiotów łańcucha dostaw,
- usieciowione podmioty produkcyjne ze względu na ich rosnącą koordynację i współpracę w celu osiągnięcia wysokiego poziomu dostosowania i adaptacji do różnych potrzeb klientów,
- coraz częstsze stosowanie praktyk cyfryzacji łańcucha dostaw (i wykorzystanie technologii Blockchain) do śledzenia aktywności w łańcuchach dostaw.

Metody sztucznej inteligencji są rozwijane na świecie niezwykle intensywnie i to zarówno od strony teoretycznej, jak i aplikacyjnej (Trojanowska i Malopolski, 2004). Spośród metod sztucznej inteligencji do prognozowania wykorzystuje się sztuczne sieci neuronowe. Sieci neuronowe mają szereg cech przydatnych do analizy i prognozowania szeregów czasowych. Ich akuteeczność dotyczy przede wszystkim dostrajania przyjętej struktury na podstawie danych. Proces budowy modelu neuronowego polega na eksploracji dostępnych zbiorów danych i umożliwia automatyczne szacowanie modelu. Dodatkową zaletą sieci neuronowych jest łatwość ich adaptacji do zmieniających się warunków rynkowych (Cieżak i in., (2006).

W przeciwieństwie do tradycyjnych metod opartych na modelach, **sztuczne sieci neuronowe** (Artificial Neural Networks, ANNs) są samodostosowującymi się metodami opartymi na danych. Uczą się na przykładach i wychwytyują subtelne relacje funkcjonalne między danymi, nawet jeśli podstawowe relacje są nieznane lub trudne do opisanie. Sztuczne sieci neuronowe mogą uogólniać (Hornik i in., 1989). Po zapoznaniu się z przedstawionymi danymi mogą wywnioskować niewidoczną część populacji, nawet jeśli dane próbki zawierają zaszumione informacje. Mają również bardziej ogólne i elastyczne formy funkcjonalne niż tradycyjne metody statystyczne (Zhang i in., 1998).



Pytania do rozdziału

1. Jakie są ograniczenia stosowania metod szeregów czasowych w prognozowaniu popytu?
2. Jakie są główne składowe szeregu czasowego i jakie mają one znaczenie w procesie prognozowania?
3. Jakie są różne strategie postępowania w przypadku zaobserwowania danych odstających?

LITERATURA

Adhikari R., Agrawal R.K. (2014) A combination of artificial neural network and random walk models for financial time series forecasting. *Neural Comput i Applic* 24, 1441-1449.

Ali M.M., Boylan J.E. i Syntetos A.A. (2012). Forecast errors and inventory performance under forecast information sharing, *International Journal of Forecasting*, 28(4), 830-841.

Altendorfer K. i Felberbauer T. (2023) Forecast and production order accuracy for stochastic forecast updates with demand shifting and forecast bias correction. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 125, 102740.

Awwad, M., Kulkarni, P., Bapna, R. i Marathe, A. (2018). Big data analytics in supply chain: a literature review. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Washington DC, USA, Vol. 2018*, 418-25.

Carreno J.J. i Madinaveitia J. (1990) A modification of time series forecasting methods for handling announced price increases. *International Journal of Forecasting*, 6(4), 479-484.

Chatfield Ch., Koehler A.B., Ord J.K. i Snyder R.D. (2001) A New Look at Models For Exponential Smoothing, *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 50(2), 147-159.

Chatfield, C. (2001). *Time Series Forecasting*, Chapman i Hall/CRC, Floryda: Boca Raton

Chen, M., Mao, S., Zhang, Y. i Leung, V.C. (2014). Big data: related technologies, challenges and future prospects (Vol. 100). Heidelberg: Springer

Cieślak, M. (Red.) (2005): *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*. Wyd. Naukowe PWN. Warszawa



Cieżak W., Siwoń Z. i Cieżak J. (2006) Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do prognozowania szeregów czasowych krótkotrwałego poboru wody w wybranych systemach wodociągowych. *Ochrona Środowiska*, 28(1), 39-44.

De Gooijer J.G. i Hyndman R.J. (2006) 25 years of time series forecasting, *International Journal of Forecasting*, 22(3), 443-473.

Dittmann, P. (2003). *Prognozowanie w przedsiębiorstwie*. Kraków: Oficyna Ekonomiczna

Gajda, J.B. (2001). *Prognozowanie i symulacja a decyzje gospodarcze*, Warszawa: Wydawnictwo C.H. Beck

Galicia A., Talavera-Llames R., Troncoso A., Koprinska I. i Martínez-Álvarez F. (2019). Multi-step forecasting for big data time series based on ensemble learning, *Knowledge-Based Systems*, 163, pp. 830-841.

Grzelak M. (2019) Zastosowanie modelu ARIMA do prognozowania wielkości produkcji w przedsiębiorstwie, *Systemy Logistyczne Wojsk*, 50.

Grzybowska, K. (2009). *Gospodarka Zapasami i Magazynem*, cz. 1, Difin.

Güllü R. (1996) On the value of information in dynamic production/inventory problems under forecast evolution. *Naval Research Logistics (NRL)*, 43(2), 289-303.

Hopp W.J. i Spearman M.L. (1999). *Factory physics*. 2nd. edn. McGraw-Hill / Irwin: Boston

Hornik K., Stinchcombe M. i White H. (1989) Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural networks*, 2(5), 359-366.

Hyndman R.J. i Koehler A.B. (2006) Another look at measures of forecast accuracy. *International journal of forecasting*, 22(4), 679-688.

Kucharski, A. (2013). *Prognozowanie szeregów czasowych metodami ewolucyjnymi*. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

Malska W. i Wachta H. (2015) Wykorzystanie modelu ARIMA do analizy szeregu czasowego. *Advances in IT and Electrical Engineering*, 23(34-3), 23-30.

Michna Z., Disney S.M., Nielsen P. (2020). The impact of stochastic lead times on the bullwhip effect under correlated demand and moving average forecasts, *Omega*, 93, 102033.



- Rosas A.L. i Guerrero V.M. (1994) Restricted forecasts using exponential smoothing techniques. *International Journal of Forecasting*, 10(4), 515-527.
- Schaffer A.L., Dobbins T.A. i Pearson S.A. (2021) Interrupted time series analysis using autoregressive integrated moving average (ARIMA) models: a guide for evaluating large-scale health interventions. *BMC Med Res Methodol* 21(58).
- Sczaniecka, E. i Smarzyńska, N. (2018). Logistyka wyprzedzająca, czyli innowacyjne podejście do branży e-commerce. *Journal of TransLogistics*, 4(1), 119-128
- Seyedan M. i Mafakheri F. (2020) Predictive big data analytics for supply chain demand forecasting: methods, applications, and research opportunities. *J Big Data* 7(53).
- Sheldon, P.J. (1993). Forecasting tourism: expenditure versus arrivals, *Journal of Travel Research*, 32, 13-20
- Sobczyk M. (2006) *Statystyka, aspekty praktyczne i teoretyczne*. Lublin: Wydaw. UMCS.
- Tan T., Güllü R. i Erkip N. (2009) Using imperfect advance demand information in ordering and rationing decisions, *International Journal of Production Economics*, 121(2), 665-677.
- Trojanowska M. i Malopolski J. (2004) Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do prognozowania miesięcznej sprzedaży energii elektrycznej na wsi. *Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria*, 3(1-2).
- Wang G., Gunasekaran A., Ngai E.W.T., Papadopoulos T. (2016). Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98-110.
- Wojciechowski, A. i Wojciechowska, N. (2015). Zastosowanie klasycznych metod prognozowania popytu w logistyce dużych sieci handlowych. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego*, 41, 545-554
- Wolny, M. i Kmiecik, M. (2020). Forecasting demand for products in distribution networks using R software. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*, 107-116
- Zeiml S., Altendorfer K., Felberbauer T. i Nurgazina J. (2019) Simulation based forecast data generation and evaluation of forecast error measures. In *2019 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 2119-2130). IEEE.



Zhang G., Patuwo B.E. i Hu M.H. (1998) Forecasting with artificial neural networks:: The state of the art, International Journal of Forecasting, 14(1), 35-62.

(www_8.1) <https://online.stat.psu.edu/stat501/> (dostęp: 08.02.2024)

(www_8.2) <https://machinelearningmastery.com/exponential-smoothing-for-time-series-forecasting-in-python/> (dostęp: 08.02.2024)

(www_8.3) <https://www.inventory-planner.com/forecasting-in-excel/> (dostęp: 08.02.2024)

(www_8.4) [IPM Insights Metrics \(oracle.com\)](https://www.oracle.com/inventory-planner/) (dostęp: 05.02.2024)



9. ZARZĄDZANIE ZAPASAMI



W rozdziale przedstawione zostały najważniejsze zagadnienia związane z zarządzaniem zapasami. Szczególny nacisk został położony na analizę danych logistycznych, dla których można wykorzystać arkusz kalkulacyjny. Znajdziesz tutaj:

- poziom obsługi klienta,
- funkcje i podział zapasów,
- koszty zapasów,
- podstawowe modele klasyfikacji zapasami,
- podstawowe modele uzupełniania zapasu.

9.1. Wprowadzenie

W obecnych warunkach funkcjonowania globalnych łańcuchów dostaw zasadniczym czynnikiem determinującym konkurencyjność jest czas wprowadzenia produktu lub usługi na rynek. Organizacje aspirujące do zyskania bądź utrzymania przewagi konkurencyjnej powinny wdrażać rozwiązania, które charakteryzują się zarówno szybkością, jak i adaptacyjnością w reagowaniu na zapotrzebowanie klientów oraz fluktuacje rynkowe. Przed pandemią Covid-19 wiele firm skłaniało się ku strategii just-in-time (JIT), minimalizującej poziom zapasów i maksymalizującej efektywność przez dostarczanie surowców i komponentów dokładnie wtedy, gdy są potrzebne w procesie produkcyjnym. Elastyczność była ważna, ale nie zawsze była priorytetem, gdyż kluczowe było utrzymywanie niskich poziomów zapasów i zminimalizowany czas realizacji zamówień.

Po pandemii COVID-19 nacisk na elastyczność i odporność systemów znacznie wzrósł. Firmy, które dotąd polegały na just-in-time delivery, zaczęły rewidować swoje podejście na rzecz większego zabezpieczenia i dywersyfikacji łańcuchów dostaw, aby być lepiej przygotowanym na przyszłe zakłócenia. Stało się jasne, że systemy zarządzania zapasami muszą być bardziej dynamiczne, aby móc szybko reagować na niespodziewane zmiany popytu i dostępności surowców lub komponentów. W rezultacie, wiele organizacji zaczęło utrzymywać zwiększone zapasy zabezpieczające oraz inwestować w zaawansowane technologie analityczne



i sztuczna inteligencję, które umożliwiają lepsze prognozowanie i reagowanie na zmiany w czasie rzeczywistym.

Tradycyjne metody prognozowania, choć powszechnie stosowane, nie zawsze są efektywne, gdyż błędy w prognozie mogą prowadzić do konieczności magazynowania dodatkowych zapasów. Z tego względu bardziej efektywnym rozwiązaniem okazuje się wykorzystanie rzeczywistych danych o konsumpcji przez klientów, co umożliwia lepsze dostosowanie systemów logistycznych i ogranicza zależność od prognoz. Zadbąć należy jednak o utrzymanie maksymalnego Poziomu Obsługi Klienta (POK) przy jednoczesnym ograniczeniu kosztów i zmniejszeniu aktywów zamrożonych w sieci dostaw (Cyplik i Hadaś, 2012).

Zapas to ilość dóbr przechowywanych przez przedsiębiorstwo w celu zaspokojenia bieżących i przyszłych potrzeb (Brunaud i in., 2019). Zapasy to rzeczowe składniki aktywów obrotowych. Zapas ma określoną lokalizację, miejsce składowania, a jego wielkość może zostać wyrażona w miarach ilościowych oraz wartościowych (Niemczyk i in., 2011).

Zapasy zajmują miejsce i wiążą kapitał. Dlatego zarządzanie zapasami jest niezbędne do zminimalizowania dla zapewnienia ciągłości działania przedsiębiorstwa. **Zarządzanie zapasami** odnosi się do procesu nadzorowania i kontrolowania poziomu zapasów, stanów magazynowych i ich przechowywania w przedsiębiorstwie. Polega to na podejmowaniu decyzji o tym, ile zapasów utrzymywać, kiedy dokonać ponownego zamówienia lub uzupełnić stan magazynu oraz jak zoptymalizować wykorzystanie zapasów, aby sprostać popytowi, minimalizując jednocześnie koszty i maksymalizując efektywność (Song i in., 2020). Skuteczne zarządzanie zapasami obejmuje takie zadania, jak prognozowanie popytu, śledzenie poziomów zapasów, uzupełnianie zapasów, optymalizacja przestrzeni magazynowej oraz ograniczanie zapasów lub ich nadmiaru (Jain i in., 2022).

Celem zarządzania zapasami jest zapewnienie, że odpowiednie produkty są dostępne we właściwych ilościach, w odpowiednim czasie i miejscu, aby zaspokoić potrzeby klientów, unikając jednocześnie braków w magazynie, nadmiernych zapasów i związanych z tym kosztów (Jain i in., 2022; Matusiak, 2022).

9.2. Poziom obsługa klienta

Obsługa klienta jest pojęciem o szerokim zakresie, co utrudnia sformułowanie jednoznacznej definicji. Termin ten obejmuje wszelkie aspekty interakcji pomiędzy dostawcą



a konsumentem, włączając w to zarówno elementy niematerialne, jak i materialne (Strojny, 2008). Dlatego też obsługę klienta często rozpatruje się z trzech różnych perspektyw (Bowersox i Closs, 1996):

- obsługa klienta jako określone działania – jest to specyficzny zbiór zadań, które przedsiębiorstwo musi wykonać, aby zaspokoić oczekiwania klientów, np. jest to procesowanie zamówień, wystawianie faktur, obsługa zwrotów i reklamacji,
- obsługa klienta jako pomiar wykonania działań – oznacza to ocenę przez pryzmat różnych wskaźników efektywności, takich jak procent punktualnie i kompletnie dostarczonych zamówień oraz szybkość przetwarzania zamówień,
- obsługa klienta jako filozofia – polega na stworzeniu takiego środowiska i kultury organizacyjnej, której celem jest zapewnienie najwyższego poziomu satysfakcji klientów poprzez optymalną obsługę na wszystkich poziomach działalności przedsiębiorstwa.

W kontekście zarządzania zapasami, kluczowym zadaniem przy formułowaniu i utrzymaniu zapasu zabezpieczającego jest zagwarantowanie odpowiedniego poziomu obsługi klienta. Dlatego też należy zdefiniować **poziom obsługi klienta** (POK), który z punktu widzenia pojedynczego asortymentu można rozpatrywać (Bowersox i Closs, 1996; Cyplik i Hadaś, 2012):

- probabilistycznie – jako prawdopodobieństwo niewystąpienia braku w zapasie w danym cyklu uzupełnienia zapasu,
- ilościowo – jako stopień ilościowej realizacji zapotrzebowania.

Probabilistyczny poziom obsługi klienta oznacza, że prawdopodobieństwo, iż od momentu złożenia zamówienia, czyli rozpoczęcia procesu uzupełniania zapasów, aż do momentu, gdy otrzymana dostawa stanie się dostępna do wykorzystania (co oznacza zakończenie cyklu uzupełniania), wszystkie potrzeby będą mogły być zaspokojone bez braku zapasów. Określa się to jako **prawdopodobieństwo obsługi popytu POP**, które wyraża się procentowo (Bowersox i Closs, 1996; Cyplik i Hadaś, 2012). Probabilistyczny poziom obsługi klienta – prawdopodobieństwo obsługi popytu można obliczyć z wzoru:

$$POP = (I_d - I_{dn}) / I_d \times 100\%$$

gdzie:

POP – prawdopodobieństwo obsługi popytu,



I_d – liczba cykli uzupełnienia zapasu w badanym okresie,

I_{dn} – liczba cykli uzupełnienia zapasów, w których zanotowano braki w badanym okresie.



Formuła stosowana w Excelu:

$$\text{POP} = \frac{[\text{liczba cykli uzupełnienia zapasu}] - [\text{liczba cykli z brakami}]}{[\text{liczba cykli uzupełnienia zapasu}]} * 100\%$$

POP (prawdopodobieństwo obsłużenia popytu w cyklu uzupełnienia zapasów) o wartości 95% oznacza, że w 95 przypadkach na 100, kiedy klienci będą chcieli nabyć produkt, firma będzie mogła zrealizować ich zamówienia bez opóźnień i bez konieczności oczekiwania na dostawę.

Ilościowy poziom obsługi klienta mówi o realizacji zamówień w ujęciu ilościowym. Stopień Ilościowej Realizacji (SIR) – określa jaki procent popytu zgłoszonego przez klientów został im wydany z zapasu (Bowersox i Closs, 1996; Cyplik i Hadaś, 2012). Stopień Ilościowej Realizacji można obliczyć z wzoru:

$$\text{SIR} = (PR - NB) / PR$$

gdzie:

SIR – stopień ilościowej realizacji

PR – popyt, wielkość zamówiona w badanym okresie czasu
(np. rocznym)

NB – wielkość braków w badanym okresie czasu (np. rocznym)



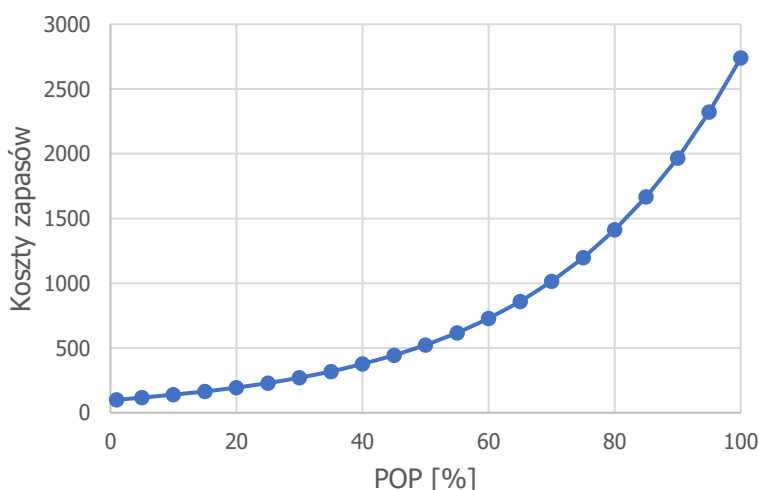
Formuła stosowana w Excelu:

$$\text{SIR} = \frac{[\text{popyt}] - [\text{braki}]}{[\text{popyt}]}$$



SIR (stopień ilościowej realizacji popytu) o wartości 0,95 oznacza, że w przypadku wszystkich zamówień złożonych przez klientów, 95% z nich zostanie zrealizowane bezpośrednio z dostępnych zapasów, a jedynie 5% może wymagać dodatkowego czasu na uzupełnienie zapasów lub nie zostanie zrealizowane z powodu braków w magazynie.

Bez względu na przyjętą definicję, jest oczywiste, że relacja między poziomem obsługi klienta a inwestycjami w zapasy charakteryzuje się zależnością wykładniczą (rys. 9.1). Oznacza to, że przy wysokich wartościach procentowych poziomu obsługi klienta (POK), każdy dalszy wzrost tego wskaźnika prowadzi do wykładniczego zwiększenia się inwestycji w zapasy (Cyplik i Hadaś, 2012).



Rysunek 9.1. Zależność POP i kosztów zapasu

Źródło: opracowanie własne

Doskonalenie logistycznej obsługi klienta jest procesem złożonym i wymagającym systematyczności. Najczęściej analizuje się następujące elementy podzielone na trzy fazy (Powell Robinson i Satterfield, 1990):

- przedtransakcyjną – ma na celu przygotować organizację do obsługi klienta: np. polityka obsługi klienta, struktura organizacyjna, standardy, procedury i instrukcje, szkolenia z zakresu obsługi klienta,

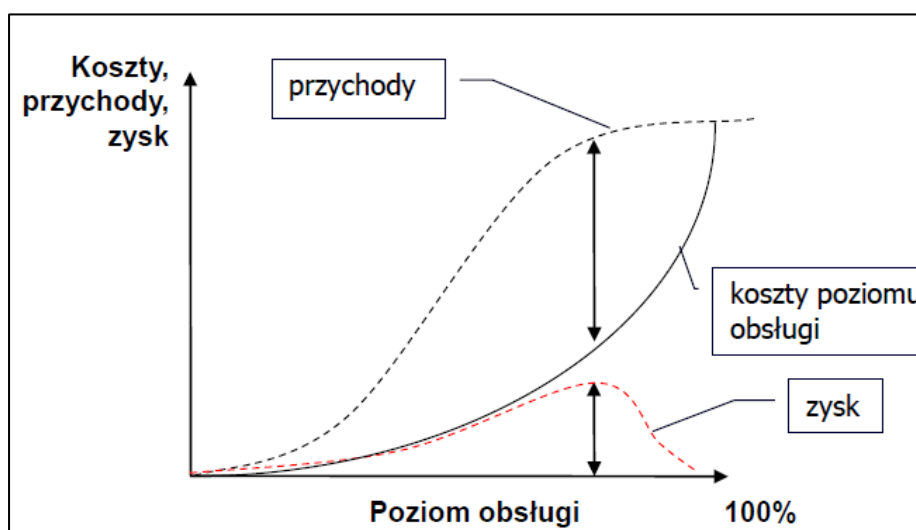


- transakcyjną – bezpośredni kontakt klienta z firmą oraz finalizacja transakcji zgodnie z jego wymaganiami: np. odsetek niezrealizowanych zamówień, informacje o zamówieniu, wygoda złożenia zamówienia, częstotliwość, niezawodność, kompletność, dokładność dostaw,
- potransakcyjną – pozwala firmie na dalszy kontakt z klientem: np. instalacje, gwarancje, naprawy, śledzenie produktów, rozpatrywanie reklamacji klientów, zwroty, wymiana wadliwych produktów, udostępnianie produktów zastępczych.

Obecnie największą wagę przywiązuje się do elementów transakcyjnych logistycznej obsługi klienta. Można je ująć w 4 głównych grupach związanych z (Papiernik-Wojdera i Sikora, 2022):

- czasem – klient chce otrzymać zamówienie jak najszybciej, stąd też dąży się do skracania czasu realizacji zamówienia,
- niezawodnością rozpatrywaną w trzech wymiarach: pewność, że zamówienie zostanie zrealizowane bez braków i uszkodzeń w transporcie, kompletność otrzymanego zamówienia ze specyfikacją ujętą w umowie, terminowość realizacji zamówienia,
- wygodą odnoszącą się do dostępności produktów, stopnia indywidualizacji obsługi w zależności od potrzeb klienta, kompleksowości oferty, częstotliwości dostaw, wielkości minimalnej partii dostawy, dogodności komunikacyjnej (lokalizacji, infrastruktury),
- komunikacją, gdzie uwzględnia się kompetencje personelu, wygodę składania zamówień, dostępność informacji o statusie zamówienia, informacje i doradztwo na temat usług posprzedażowych, czytelność, zrozumiałość i kompletność dokumentacji, środki komunikacji i narzędzia informatyczne wspomagające komunikację z klientem.

Zauważyć należy, że istnieje równowaga, którą przedsiębiorstwo musi znaleźć między kosztami obsługi a zadowoleniem klienta, aby maksymalizować zysk (rys. 9.2). Zbyt niski poziom obsługi może ograniczyć przychody, podczas gdy zbyt wysoki może nadmiernie zwiększyć koszty, co obniża zyski (Placencia i in., 2020). Po przekroczeniu punktu równowagi, dodatkowe koszty związane z dalszym zwiększaniem poziomu obsługi przewyższają przyrost przychodów, co prowadzi do spadku zysku.



Rysunek 9.2. Zależność między poziomem obsługi klienta a przychodami i zyskiem

Źródło: opracowanie własne

9.3. Funkcje i rodzaje zapasów

Procesom logistycznym, przebiegającym zarówno w przedsiębiorstwach, jak i w łańcuchach dostaw, nieustannie towarzyszy tworzenie zapasów. Zapasy tworzy się po to, aby wyrównać różnicę w intensywności przepływów strumieni dóbr. W związku tym można wskazać następujące **funkcje zapasów** (Bril i Łukasik, 2013; Hachuła i Schmeidel, 2016):

- zapewnienie dostępności dóbr w momencie wystąpienia na nie popytu,
- zabezpieczenie przed losowymi wahaniami popytu niezależnego i potrzeb materiałowych w przedsiębiorstwie,
- ochrona przed nieoczekiwanymi zmianami czasu realizacji zamówienia,
- zabezpieczenie przed wzrostem cen,
- uzyskanie niższych cen ze względu na większą skalę zakupów,
- niższe koszty transportu ze względu na większą skalę zakupów,
- konieczność zakupu towarów sezonowych,
- konieczność sezonowania niektórych materiałów z przyczyn technologicznych.

Na poziom i strukturę zapasów w przedsiębiorstwie ma wpływ wiele czynników. Wśród nich można wskazać poniższe (Bril i Łukasik, 2013):

- skala produkcji i jej rytmiczność,
- częstotliwość dostaw i wielkość jednorazowej dostawy materiałów,



- różnice w kosztach transportu dużych i małych partii dostaw oraz koszty składowania,
- długość okresu przygotowania materiałów do produkcji,
- stopień rozbudowy oferty asortymentowej,
- rozwój technologii informatycznych,
- rozwój rynku usług transportowych,
- stosowane metody planowania i zarządzania zapasami.

Zapasy w przedsiębiorstwie można podzielić ze względu na różne kryteria. Na potrzeby rozliczeń w obszarze rachunkowości oraz na ich miejsce powstawania w łańcuchu dostaw wyróżnia się (Selivanova i in., 2018; Dz. U. z 2021 r. poz. 217):

- materiały – surowce, materiały podstawowe i pomocnicze, półfabrykaty obcej produkcji, opakowania, części zamienne i odpady,
- produkty gotowe – wyroby gotowe, wykonane usługi, zakończone roboty, w tym także budowlano-montażowe, prace naukowo-badawcze, prace projektowe, geodezyjno-kartograficzne, itp.,
- półprodukty i produkty w toku – produkcję niezakończoną, tj. produkcję (usługi, w tym roboty budowlane) w toku oraz półfabrykaty (półprodukty) własnej produkcji,
- towary – rzeczowe składniki majątku obrotowego nabyte w celu odsprzedaży w niezmienionej postaci; zaliczki na poczet dostaw zapasów.

Jednak w obszarze zarządzania zapasami znacznie większe znaczenie ma podział zapasów ze względu na strukturę ilościową zapasów (według szybkości obrotu): zapas rotujący, zapas nierotujący, zapas nie wykazujący ruchu (zapas nadmierny, awaryjny) lub funkcje zapasów – powód tworzenia: zapas cykliczny (bieżący, obrotowy), zapas bezpieczeństwa, zapas sezonowy, zapas spekulacyjny, zapas strategiczny (Bril i Łukasik, 2013; Matusiak, 2022; Wild, 2017; Krzyżaniak i Cyplik, 2008; Fertsch, 2006; Krzyżaniak, 2015).

Elementami struktury zapasu są:

- **zapas cykliczny** – nazywany rotującym, jest to zapas, który przedsiębiorstwo zużywa w toku normalnej produkcji lub dystrybucji i odtwarza w rutynowym procesie zamawiania.



Zapás cykliczny w danym okresie jest równy połowie średniej wielkości dostawy w tym okresie:

$$Z_c = \frac{1}{2} \times \overline{WD}$$

gdzie:

Z_c – zapas cykliczny

$\overline{WD}$ – średnia wielkość dostawy



Formuła stosowana w Excelu:

$Z_c = 1/2 * [\text{śr. wielkość dostawy}] = 1/2 * [\text{ŚREDNIA}([\text{zakres komórek}])]$

- **zapas nadmierny** określany jest jako nierotujący, zbędny lub martwy, nie przedstawia wartości dla przedsiębiorstwa, które powinno pozbyć się takiego zapasu, utrzymanie tego zapasu stanowi nieuzasadniony koszt dla przedsiębiorstwa.

Zapas nadmierny stanowi nadwyżkę zapasu ponad potrzeby zdefiniowane przez średni popyt w cyklu uzupełniania oraz przyjęty poziom obsługi klienta.

Oblicza się go ze wzoru:

$$Z_N = Z_{\text{śr}} - Z_B - Z_c$$

gdzie:

Z_N – zapas nadmierny

$Z_{\text{śr}}$ – zapas średni

Z_B – zapas bezpieczeństwa

Z_c – zapas cykliczny.



Formuła stosowana w Excelu:

$Z_N = [\text{zapas średni}] - [\text{zapas bezpieczeństwa}] - [\text{zapas cykliczny}]$



Parametrami systemów uzupełniania zapasów są:

- **zapas bezpieczeństwa**, nierotujący, ma na celu zapobieganie awaryjnym przestojom w produkcji lub dystrybucji, jest buforem dla opóźnień dostaw i realizacji zamówień, zależy od poziomu obsługi klienta w ujęciu probabilistycznym (POP).

Zapas bezpieczeństwa dla danych historycznych wymaga następujących danych: średni popyt przypadający na jednostkę czasu, średni czas cyklu uzupełniania zapasu, odchylenie standardowe popytu, odchylenie standardowe czasu cyklu uzupełniania zapasu.

Zapas bezpieczeństwa dla danych prognostycznych wymaga danych: prognoza popytu, zakontraktowany czas cyklu uzupełniania zapasu, standardowy błąd prognozy, założony czas opóźnień dostaw.

Bez względu na perspektywę czasową potrzebne są dane o przyjętym poziomie obsługi klienta, stosowanym systemie uzupełniania zapasów oraz dostępnym budżecie.

Zapas bezpieczeństwa może się zmieniać wraz z wahaniami popytu, terminów dostaw. Oblicza się go następująco:

$$Z_B = \omega(\text{POP}) \times \sigma_{PT}$$

gdzie:

Z_B – zapas bezpieczeństwa

$\omega(\text{POP})$ – współczynnik bezpieczeństwa zależny od poziomu obsługi klienta oraz typu rozkładu opisującego zmienność popytu w cyklu uzupełnienia; najczęściej w literaturze, a także w praktycznych zastosowaniach przyjmuje się rozkład normalny i odczytuje się go z tablic statystycznych dla danego poziomu POP

σ_{PT} – odchylenie standardowe popytu w cyklu uzupełnienia zapasu, oblicza się ze wzoru:

$$\sigma_{PT} = \sqrt{\sigma_T^2 \cdot P^2 + \sigma_P^2 \cdot T}$$

gdzie:

σ_P – odchylenie popytu

σ_T – odchylenie czasu cyklu uzupełniania zapasu

P – popyt średni



T – czas cyklu uzupełniania zapasu.



Formuła stosowana w Excelu:

$Z_B = [\text{współczynnik bezpieczeństwa}] * [\text{odchylenie standardowe popytu w cyklu uzupełnienia zapasu}]$

- **zapas informacyjny** wykorzystywany jest w systemach: odnawiania zapasów opartych na poziomie informacyjnym, min–max, okresowych z określonym poziomem informacyjnym i stałymi wielkościami dostaw, okresowych z określonym poziomem informacyjnym i maksymalnym oraz zmiennymi wielkościami dostaw.

Zapas informacyjny jest obliczany ze wzoru:

$$Z_I = P \times T + Z_B$$

gdzie:

Z_I – zapas informacyjny

P – średni popyt w przyjętej jednostce czasu (np. dzień, tydzień)

T – czas cyklu uzupełnienia zapasu

Z_B – zapas bezpieczeństwa



Formuła stosowana w Excelu:

$Z_I = [\text{średni popyt}] * [\text{czas cyklu uzupełnienia zapasu}] + [\text{zapas bezpieczeństwa}] = [\text{ŚREDNIA}([\text{zakres komórek}])] * [\text{czas cyklu uzupełnienia zapasu}] + [\text{zapas bezpieczeństwa}]$

- **zapas minimalny** wykorzystywany jest w systemie odnawiania zapasów tzw. min – max, w systemie uzupełniany jest w momencie, gdy jego poziom spadnie poniżej wyznaczonej wartości minimalnej, uzupełniany jest zawsze do wyznaczonego poziomu zapasu maksymalnego. Zapas minimalny oblicza się ze wzoru:

$$Z_{MIN} = p_{MAX} \times T_d$$

gdzie:



Z_{MIN} – zapas minimalny

p_{MAX} – maksymalne planowane zużycie

T_d – czas realizacji dostawy.



Formuła stosowana w Excelu:

$Z_{MIN} = [\text{maksymalne planowane zużycie}] * [\text{czas realizacji dostawy}]$

- **zapas maksymalny** wykorzystywany jest w systemach odnawiania zapasów: opartych na przeglądzie okresowym, min–max, okresowych z określonym poziomem informacyjnym i maksymalnym oraz zmiennymi wielkościami dostaw. Zapas maksymalny oblicza się ze wzoru:

$$Z_{MAX} = P \times (T + T_0) + Z_B$$

gdzie:

Z_{MAX} – zapas maksymalny

P – średni popyt w jednostce czasu (np. dzień, tydzień)

T – czas cyklu uzupełnienia zapasu

T_0 – czas stałego cyklu przeglądu

Z_B – zapas bezpieczeństwa.



Formuła stosowana w Excelu:

$Z_{MAX} = [\text{średni popyt}] * ([\text{czas cyklu uzupełnienia zapasu}] + [\text{czas stałego cyklu przeglądu}] + [\text{zapas bezpieczeństwa}] = [\text{ŚREDNIA}([\text{zakres komórek}]) * ([\text{czas cyklu uzupełnienia zapasu}] + [\text{czas stałego cyklu przeglądu}] + [\text{zapas bezpieczeństwa}]$

- **zapas wolny**, inaczej dysponowany to zapas, który jest możliwy do wydania do klientów (zewnętrznych bądź wewnętrznych) w chwili obecnej lub w dającej się przewidzieć przyszłości; uwzględniany jest zapas, który został zamówiony od dostawców, ale nie został jeszcze dostarczony, ale w dającej się przewidzieć



przyszłości zostanie jednak dostarczony i powiększy stan magazynowy; w zapasie dysponowanym nie będzie uwzględniany towar, który został zakupiony przez klienta zewnętrznego lub zarezerwowany przez klienta wewnętrznego, ale jeszcze fizycznie nie opuścił magazynu. Zapas wolny oblicza się następująco:

$$Z_W = Z_M + Z_Z - Z_R$$

gdzie:

Z_W – zapas wolny

Z_M – zapas w magazynie

Z_Z – zapas zamówiony, ale nie dostarczony

Z_R – zapas zarezerwowany, ale nie wydany z magazynu.



Formuła stosowana w Excelu:

$Z_W = [\text{zapas w magazynie}] + [\text{zapas zamówiony}] - [\text{zapas zarezerwowany}]$

Zapasy według kryterium przyczyny powstawania są następujące:

- **zapas produkcji w toku** są to materiały i półprodukty w obszarze wytwarzania oraz zapasy w drodze, wycenia się według kosztu jej wytworzenia, który w myśl ustawy o rachunkowości, obejmuje koszty pozostające w bezpośrednim związku z danym produktem oraz uzasadnioną częścią kosztów pośrednio związanych z wytworzeniem produktu,
- **zapas sezonowy** tworzony jest dla zaspokojenia popytu w całym roku, ale wytwarzany jest tylko sezonowo (produkty rolne, owoce), jest celowo utworzony, powstały z różnicy pomiędzy wielkością sprzedaży a wielkością produkcji w danym okresie,
- **zapas promocyjny** utrzymywany jest w trakcie promocji marketingowej i budowany przed terminem promocji, to zapas, który utrzymuje się w celu szybkiej reakcji systemu logistycznego na promocję marketingową lub cenową,
- **zapas spekulacyjny** tworzony jest w oczekiwaniu na wzrosty cen, zmiany kursów walutowych czy zmiany w wymiarze społeczno-politycznym.



9.4. Systemy uzupełniania zapasu

Podstawowe modele uzupełniania zapasów w logistyce obejmują kilka powszechnie stosowanych systemów, które pomagają organizacjom zarządzać poziomem zapasów w celu zminimalizowania kosztów i zapewnienia dostępności produktów. Wyróżnić można:

- system ROP (Reorder Point) z zapasem informacyjnym – zamówienia są składane, gdy poziom zapasów osiągnie z góry określony punkt (punkt zamówienia, zapewnia to, że produkty są uzupełniane zanim zostaną wyczerpane, minimalizując ryzyko braków,
- system ROC (Reorder Cycle) z zapasem maksymalnym – zamówienia są składane w ustalonych odstępach czasu, ich wielkość uwzględnia posiadany zapas w danym momencie, a uzupełnienie jest do maksymalnego poziomu,
- system JIT (Just-In-Time) – zapasy są uzupełniane tylko w miarę potrzeby, często w celu ograniczenia kosztów przechowywania, stosowany dla systemów produkcyjnych, które dążą do minimalizacji zapasów,
- system Kanban – zamówienia są wyzwalane na podstawie fizycznych sygnałów (takich, jak np. karty), co zapewnia ciągły przepływ materiałów, ten model zapewnia elastyczność w uzupełnianiu zapasów w miarę zmian popytu,
- system EOQ (Economic Order Quantity) – ustala się ekonomiczną wielkość zamówienia, dążąc do minimalizacji kosztów zamawiania i przechowywania, wykorzystywany w stabilnych środowiskach, gdzie popyt jest przewidywalny,
- system MRP (Material Requirements Planning) – jest używany do planowania potrzeb materiałowych na podstawie prognozowanego popytu i harmonogramów produkcji.

Powyższe modele wykorzystuje się w zależności od potrzeb i charakterystyki operacyjnej przedsiębiorstwa. Każdy z nich ma swoje zalety i jest wybierany w oparciu o takie czynniki jak zmienność popytu, koszty utrzymania zapasów oraz złożoność łańcucha dostaw. Ze względu na powszechność stosowania opisano podstawowe systemy uzupełniania zapasów: ROP i ROC.

System ROP (Reorder Point) odnosi się do podjęcia decyzji o zamawianiu w odniesieniu do poziomu zapasu dysponowanego – jeżeli jego poziom obniży się poniżej poziomu zapasu informacyjnego, uruchamia się zamówienie. Punkt zamówienia (reorder point) jest zdefiniowany jako poziom zapasu, przy którym trzeba złożyć zamówienie, aby zapobiec



wyczerpaniu zapasów przed nadejściem kolejnej dostawy. Zapas bezpieczeństwa jest dodawany, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia braków. System ten najczęściej wykorzystuje się do pozycji asortymentowych zaklasyfikowanych do grup A i B, zgodnie z klasyfikacją ABC, ze względu na najmniejsze zapasy magazynowe w nim tworzone (Cyplik, 2005). Reorder point obliczany jest ze wzoru:

$$ROP = P \times T + Z_B$$

gdzie:

ROP – punkt zamówienia

P – średni popyt w przyjętej jednostce czasu (np. dzień, tydzień)

T – czas cyklu uzupełnienia zapasu

Z_B – zapas bezpieczeństwa.

System ROP jest skuteczny w środowiskach, gdzie popyt jest stosunkowo stabilny, a cykl uzupełniania zapasów jest dobrze zdefiniowany. Pomaga on minimalizować ryzyko braków zapasów, jednocześnie utrzymując zapasy na optymalnym poziomie. Podstawowe reguły stosowania systemu ROP są następujące:

- należy zdefiniować **punkt zamówienia**, czyli poziom zapasu, przy którym uruchamiane jest nowe zamówienie, powinno uwzględnić się przewidywany popyt oraz zapas bezpieczeństwa w okresie dostawy,
- zakłada się utrzymanie **zapasu bezpieczeństwa**, który ma na celu zapobieganie brakowi zapasów w sytuacji nagłych wzrostów popytu lub opóźnień w dostawach,
- wymaga się **regularnego monitorowania poziomu zapasów**, aby w odpowiednim momencie zainicjować proces zamówienia,
- przekroczenie lub spadek poniżej punktu zamówienia sygnalizuje konieczność **złożenia nowego zamówienia**, co ma na celu utrzymanie ciągłości dostaw i uniknięcie przerw w produkcji lub dystrybucji,
- opiera się na **przewidywaniu popytu**, dlatego konieczne jest używanie wiarygodnych danych historycznych i prognoz do określenia średniego popytu oraz oszacowania zmienności, aby dokładnie wyznaczyć punkt zamówienia.



System ROC (Reorder Cycle) polega na tym, że zamówienie składane jest w określonym cyklu o stałym okresie przeglądu. Wielkość zamówienia jest zmienna i wynika z różnicy między zapasem maksymalnym a aktualnym poziomem zapasu dysponowanego. Wielkość zamówienia ustalana jest przy pomocy partii pokrywającej cały okres jako metody pokrycia zapotrzebowania. Zapas maksymalny jest ustalany na podstawie przewidywanego popytu w czasie trwania cyklu, z uwzględnieniem zapasu bezpieczeństwa. Cykl zamówień jest ustalony z góry, co pozwala na regularność dostaw, ale może wymagać większych zapasów bezpieczeństwa ze względu na ryzyko związane z nieregularnym popytem. System ten ma zastosowanie dla pozycji asortymentowych zaklasyfikowanych do grupy C, zgodnie z klasyfikacją ABC (Cyplik, 2005). Wielkość zamówienia w systemie ROC obliczana jest ze wzoru:

$$Q = Z_{MAX} - Z_W$$

gdzie:

Q – wielkość zamówienia

Z_{MAX} – zapas maksymalny

Z_W – zapas wolny (aktualny).

System ROC jest odpowiedni dla środowisk, gdzie istnieje stały harmonogram dostaw, a popyt może być przewidywany w skali cyklu. Zapewnia on stabilność w zarządzaniu zapasami i może być stosowany w sytuacjach, gdzie regularność zamówień jest priorytetem. Podstawowe reguły stosowania systemu ROC są następujące:

- opiera się na składaniu zamówień w **regularnych, ustalonych odstępach czasu** (cyklach), ustalając cykl zamówień, należy wziąć pod uwagę popyt i czas uzupełniania zapasów, aby zapewnić odpowiednią częstotliwość zamówień,
- definiuje się **maksymalny poziom zapasu**, do którego należy dążyć przy każdym zamówieniu, zapas maksymalny powinien uwzględniać przewidywany popyt w okresie cyklu oraz zapas bezpieczeństwa,
- zamówienia są składane **w regularnych cyklach**, jednak **wielkość zamówienia może być elastyczna**, dostosowując się do bieżących poziomów zapasów i przewidywanego popytu, co pozwala na reakcję na zmiany w popycie bez konieczności zmiany harmonogramu zamówień,



- ważne jest regularne **monitorowanie poziomu zapasów**, aby upewnić się, że cykle zamówień i wielkości są odpowiednio dostosowane do zmieniającego się popytu i dostępności dostaw.

9.5. Koszty zapasów

Koszty zapasów są ważnym czynnikiem w zarządzaniu zdolnościami produkcyjnymi i zapasami. Utrzymywanie zapasów wiąże kapitał i pociąga za sobą koszty związane z zamawianiem, przechowywaniem i potencjalnymi niedoborami. Przedsiębiorstwa muszą starannie planować poziomy zapasów, aby zminimalizować te koszty i zoptymalizować ogólną wydajność łańcucha dostaw (Song i in., 2020).

Pojęcie kosztów ma różnorodne aspekty i w literaturze przedmiotu znaleźć można liczne definicje. Generalnie **koszty** są kategorią ekonomiczną, która opisuje je jako zużycie określonych środków celem wyprodukowania jakiegoś przedmiotu lub dostarczenia usługi. Koszty charakteryzują się następującymi cechami (Matusiak, 2022):

- przedstawiają zużycie czynników produkcji w sposób wartościowy,
- zostały poniesione w określonym celu,
- można je przypisać do ściśle określonych okresów,
- istnieje możliwość porównania kosztów z przychodami,
- są zintegrowane z normalną działalnością przedsiębiorstwa.

Koszty związane z zapasami wynikają z konieczności wykorzystania zasobów finansowych na różnych etapach ich akumulacji i przechowywania. Składają się na nie wydatki dotyczące całego cyklu życia zapasów, począwszy od zakupu surowców, poprzez ich magazynowanie, aż do procesów produkcyjnych i dystrybucji (Śliwczyński, 2008).

Koszty powstające w przedsiębiorstwie i łańcuchu dostaw związane z zapasami można podzielić na trzy kategorie (Skowronek i Sarjusz-Wolski, 2012):

- koszty uzupełniania zapasu,
- koszty utrzymywania zapasu,
- koszty braku.

Proces generowania kosztów związanych z zapasami rozpoczyna się od świadomych kroków mających na celu wybór dostawcy i przygotowanie zlecenia zakupu, a kończy na etapie



przyjęcia materiałów lub produktów do zasobów przedsiębiorstwa. W kontekście działalności magazynowej, jest to czynność ewidencjonowania przyjęcia towarów oraz wystawiania odpowiedniego dokumentu magazynowego, zwanego dokumentem przyjęcia zewnętrznego (PZ).

Koszty uzupełniania zapasu podzielić można na koszty zamawiania i koszty transportu. W **kosztach zamawiania** wydzielić można następujące składniki (Krzyżaniak i Cyplik, 2008; Śliwczyński, 2008):

- koszty stałe – koszty wynagrodzeń w działach zaopatrzenia lub zakupów, koszty infrastruktury (pomieszczenia, wyposażenie, systemy IT), koszty stałe łączu teleinformatycznych, abonamenty korzystania z platform zakupowych, koszty stałe licencji oprogramowania wykorzystywanego przez dział zaopatrzenia lub zakupów,
- koszty zmienne – zmienne koszty korzystania z platform zakupowych, zmienne składniki kosztów połączeń telefonicznych, koszty pracy w godzinach nadliczbowych. Formuła do obliczenia zmiennych kosztów uzupełniania zapasu:

$$\text{ZKUzZ} = I_d \times k_u$$

gdzie:

ZKUzZ – zmienne koszty uzupełniania zapasu

I_d – liczba dostaw w rozpatrywanym okresie

k_u – koszt związany z jedną dostawą.



Formuła stosowana w Excelu:

$$\text{ZKUzZ} = [\text{liczba dostaw}] * [\text{koszt dostawy}]$$

Największym składnikiem kosztu uzupełniania zapasu jest **koszt transportu**. Wydzielić można w nim następujące składniki (Krzyżaniak i Cyplik, 2008; Śliwczyński, 2008):

- koszty stałe – dla transportu własnego to koszty amortyzacji i ubezpieczenia pojazdów, koszty wynagrodzeń kierowców, koszty przeglądów pojazdów; dla transportu zlecanego na zewnątrz to koszty wynagrodzenia pracowników zlecających i nadzorujących realizację usług transportowych,



- koszty zmienne – dla transportu własnego to koszty paliwa i eksploatacji pojazdów, koszty przejazdów po płatnych odcinkach dróg, koszty ubezpieczenia, diety i koszty pracy w godzinach nadliczbowych kierowców; dla transportu zlecanego na zewnątrz to koszty przewozów realizowanych przez usługodawców i koszty ubezpieczenia.

Koszty utrzymywania zapasu to wydatki związane z posiadaniem i przechowywaniem towarów w magazynie lub innych miejscach przechowywania. Są one fizycznie rejestrowane w przedsiębiorstwie od chwili przyjęcia materiałów, towarów, wyrobów na stan zapasów i wystawienia dokumentu PZ. W skład kosztów utrzymania zapasów wchodzi koszty magazynowania i koszty utraty wartości. W **kosztach magazynowania** wydzielić można następujące składniki (Krzyżaniak i Cyplik, 2008; Śliwczyński, 2007):

- koszty stałe – dla magazynu własnego to koszty amortyzacji budynków i wyposażenia magazynowego, koszty eksploatacji budynków i wyposażenia magazynowego, koszty ubezpieczenia infrastruktury magazynowej, koszty wynagrodzenia pracowników magazynowych (stałych); dla magazynu zewnętrznego są to koszty wynagrodzenia pracowników zlecających i nadzorujących realizację usług magazynowych przez operatora logistycznego,
- koszty zmienne – dla magazynu własnego to koszty zamrożonego kapitału, koszty wynagrodzeń pracowników sezonowych, koszty energii (oświetlenie, chłodzenie, zasilanie wózków widłowych); dla magazynu zewnętrznego to koszty składowania wyliczane na podstawie ilości składowanych palet, czasu składowania oraz cennika operatora. Formuła do obliczenia zmiennych kosztów utrzymania zapasu:

$$ZKU_tZ = \mu_0 \times Z \times C$$

gdzie:

ZKU_tZ – zmienne koszty utrzymania zapasu

μ_0 – współczynnik okresowego kosztu utrzymania zapasu

Z – zapas w ujęciu ilościowym

C – cena zakupu; w przypadku produkcji to całkowity koszt wytworzenia jednostki zapasu.



Formuła stosowana w Excelu:

$$\text{ZKUtZ} = [\text{współczynnik kosztu utrzymania zapasu}] * [\text{zapas}] * [\text{cena zakupu}]$$

Współczynnik kosztu utrzymania zapasu μ_0 informuje jaki procent średniej wartości zapasu przekłada się na koszt jego utrzymania. Można go obliczyć jako stosunek kosztów utrzymania zapasu do średniej wartości zapasu. Wartość współczynnika μ_0 może zmieniać się w szerokim przedziale (od 0,05 do 0,20) i zależy od warunków składowania zapasów, zasad jego finansowania oraz rodzaju przechowywanego dobra (Krzyżaniak i Cyplik, 2008).

Koszty magazynowania są względnie stałe, w dużym stopniu niezależne są od wielkości stanów i obrotów magazynowych ze względu na stałe zatrudnienie i infrastrukturę magazynową, a zależą głównie od okresu magazynowania zapasów.

Koszty kapitału zamrożonego w zapasach to koszty finansowe, wynikające z zamrożenia kapitału. Są one zależne od wielkości tego kapitału (wartości zapasów) i czasu zamrożenia (czasu utrzymania zapasów). Koszty zamrożenia kapitału w zapasach są kosztami hipotetycznymi i przedstawiają alternatywne koszty, jakie ponosi przedsiębiorstwo, zamrażając bezproduktywnie kapitał w zapasach, zamiast np. ulokować kapitał w banku (jako lokatę).

Koszty utraty wartości mają tylko część zmienną. Wydzielić można wśród nich następujące kategorie kosztów (Krzyżaniak i Cyplik, 2008; Śliwczyński, 2007):

- koszty utraty wartości spowodowane są zmieniającą się ich ceną na rynku, powstają w wyniku deprecjacji zapasu, czyli utraty ich dotychczasowej wartości w efekcie starzenia: fizycznego – w wyniku utraty właściwości użytkowych i zmiany cech fizyko-chemicznych spowodowanych długotrwałym przechowywaniem lub ekonomicznego (moralnego) – w wyniku zmian trendów w modzie i nowych wzorów rynkowych, upodobań klientów oraz szybkiego postępu naukowo-technologicznego,
- koszty utylizacji jeśli utrzymywane w zapasie dobra charakteryzują się ograniczonym terminem przydatności do użycia lub spożycia,
- koszty uszkodzenia, kradzieży itp.



Koszty braku zapasu odzwierciedlają stracone korzyści, a w szczególności zyski, które firma mogłaby zrealizować, gdyby posiadała zapasy we właściwym miejscu, czasie, ilości i asortymencie. Niedobór zapasów skutkuje zakłóceniami w produkcji, co wymusza reorganizację planu produkcyjnego na inne produkty, dla których surowce są dostępne, a także konieczność przestawiania maszyn produkcyjnych, co przekłada się na tymczasowy przestój i często pracę w nadgodzinach lub w dni wolne. W kontekście wykonywania kontraktów, brak zapasów może skutkować koniecznością zapłacenia kar umownych za niedostarczenie towaru. Jednakże najpoważniejszym skutkiem jest utrata reputacji przedsiębiorstwa i jego pozycji konkurencyjnej na rynku, co jest rezultatem braku dostępności produktów zgodnie z oczekiwaniami klientów (Śliwczyński, 2008). Formuła do obliczenia kosztów braku zapasu:

$$\mathbf{KBZ = SKBZ + ZKBZ = K_B \times p(B) \times I_d + N_B \times k_{bz}}$$

gdzie:

KBZ – koszty braku zapasu

SKBZ – stałe koszty braku zapasu

ZKBZ – zmienne koszty braku zapasu

K_B – koszt ponoszony w sytuacji wystąpienia braku

$p(B)$ – prawdopodobieństwo wystąpienia braku w danym cyklu uzupełnienia zapasu

I_d – liczba cykli uzupełniania zapasu w rozpatrywanym okresie

N_B – średnia (oczekiwana) liczba braków w rozpatrywanym okresie

k_{bz} – koszt ponoszony w przypadku braku jednej jednostki zapasu



Formuła stosowana w Excelu:

$$\mathbf{KBZ = [sta\acute{le\ }koszty\ braku\ zapasu] + [zmienne\ koszty\ braku\ zapasu]}$$

$$\mathbf{KBZ = [koszt\ braku] * [prawdopodobieństwo\ braku] * [liczba\ cykli\ uzupełniania\ zapasu] + [średnia\ liczba\ braków] * [jednostkowy\ koszt\ braku]}$$

Koszty utraconych korzyści w swojej części stałej odnoszą się do szacowanej wartości utraconej marży po zakończeniu współpracy z klientem (jeżeli zaprzestanie



współpracy z klientem spowodowane było wystąpieniem braku w zapasie). W części zmiennej to wartość utraconej marży spowodowana niedostarczeniem określonej liczby sztuk, które zostały zamówione przez klienta (Krzyżaniak i Cyplik, 2008).

Kary umowne w części stałej zawierają koszt awaryjnego zakupu, koszt przestoju systemu produkcyjnego, kary uzależnione od faktu wystąpienia braku w dostawie (niezależne od ilości niedostarczonych sztuk). Część zmienną stanowią kary uzależnione od ilości sztuk niedostarczonych zgodnie ze specyfikacją zamówienia (Krzyżaniak i Cyplik, 2008).

Ponadto pojawić się mogą również **koszty nadmiaru zapasu**, związane z przekroczeniem określonego poziomu zapasu. Koszty stałe nadmiarowego zapasu mogą wynikać np. z konieczności wynajęcia dodatkowego magazynu. Koszty zmienne są zależne od wielkości nadmiaru i związane są z (Krzyżaniak i Cyplik, 2008):

- kosztami wynajęcia dodatkowej powierzchni magazynowej u operatora logistycznego,
- karami umownymi za przetrzymywanie środków transportu (np. cystern kolejowych),
- kosztami wynikającymi ze zwiększonego ryzyka przeterminowania zapasu.

Podsumowując, kontrola nad kosztami związanymi z zapasami jest istotna dla efektywnego zarządzania produkcją i poziomem zapasów. Poprzez implementację właściwych metod zarządzania zapasami przedsiębiorstwa są w stanie obniżyć koszty operacyjne i podnieść efektywność całego łańcucha dostaw (Song i in., 2020).

9.6. Podstawowe modele klasyfikacji zapasów

Analiza ABC opiera się na znanej w ekonomii zasadzie „80-20”, sformułowanej przez włoskiego ekonomistę Vilfredo Pareto. Zgodnie z jej głównymi założeniami ok. 20% elementów w 80% decyduje o efektach danego zagadnienia – jest to podział klasyczny. Zasada Pareto jest istotną pomocą decyzyjną dla klasyfikacji dóbr fizycznych. Zastosowanie analizy ABC, w klasycznym ujęciu, powoduje podział ogółu pozycji asortymentowych na trzy klasy (A, B, i C) biorąc za kryterium tego podziału udział poszczególnych asortymentów w łącznej wartości sprzedaży (Pandya i Thakkar, 2016; Tanwari i in., 2000).



Procedura podziału pozycji asortymentowych według analizy ABC opiera się jednoznacznym kryterium klasyfikacji jakim jest określony udział procentowy w wartości obrotu (Krzyżaniak i Cyplik, 2008).



Metoda ABC obejmuje następujące kroki (Cyplik i Hadaś, 2012):

- [1] obliczenie wartości zużycia każdej pozycji asortymentowej w danym okresie,
- [2] posortowanie wartości zużycia w porządku malejącym,
- [3] zsumowanie wartości wszystkich pozycji,
- [4] obliczenie udziału wartości zużycia każdej pozycji w wartości zużycia ogółem,
- [5] obliczenie skumulowanych udziałów procentowych,
- [6] ustalenie podziału na grupy A, B oraz C.



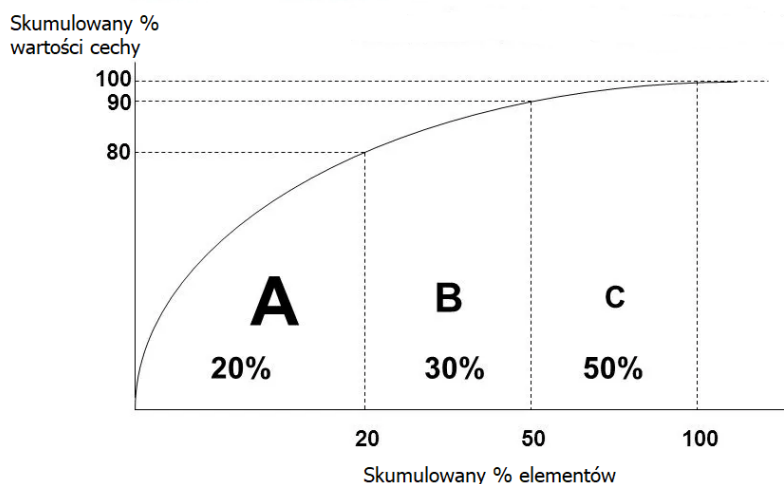
Formuły w Excel:

- [1] Policz [wartość zużycia asortymentu]=[cena zakupu]*[wielkość zużycia]
- [2] Posortuj malejąco dla [wartość zużycia asortymentu]
- [3] Wykonaj podsumowanie dla całej kolumny [wartość zużycia asortymentu] z wykorzystaniem funkcji SUMA([wartość zużycia asortymentu])
- [4] Oblicz [udział] każdej pozycji jako [wartość zużycia asortymentu]/SUMA([wartość zużycia asortymentu])
- [5] Oblicz skumulowany udział procentowy dla każdego asortymentu jako [skumulowany udział procentowy pozycja n+1]=[udział skumulowany pozycja n]+[udział skumulowany pozycja n+1]
- [6] Przydziel asortyment do grup A, B, C wykorzystując funkcję:
=JEŻELI([skumulowany udział pozycja 1]<80%;"A";
JEŻELI([skumulowany udział pozycja 1]<95%;"B";"C"))



W **analizie ABC** produkty sklasyfikowane jako A są najbardziej wartościowe i wymagają szczególnej uwagi oraz częstych przeglądów. Produkty grupy B wymagają umiarkowanej kontroli, produkty grupy C są najmniej wartościowe i można nimi zarządzać za pomocą prostszych procedur.

Wyróżnienie 80% wartości zużycia wyznacza pozycje kwalifikujące się do grupy A, gdzie będzie ok. 20% pozycji. Są to materiały, które mają największy udział w sprzedaży i na ogół są one nieliczne. Następne 15% wartości zużycia wyznaczy pozycje kwalifikujące się do grupy B. Pozostałe pozycje tworzyć będą grupę C – najbardziej liczną. Ten asortyment w niewielkim stopniu partycypuje w wartości sprzedaży ogółem (Cyplik i Hadaś, 2012), (Chu i in., 2008). Zauważyć jednak należy, że taki podział jest umowny i w zależności od warunków działania i otrzymanych wyników przyjmuje się inne granice wydzielania grup asortymentowych. Klasyczny kształt relacji ilościowo-wartościowych zgodnych z zasadą Pareto przedstawia rysunek 9.3.



Rysunek 9.3. Krzywa analizy ABC

Źródło: opracowanie własne

Analiza XYZ ma na celu ocenę wahań popytu lub konsumpcji asortymentu (Pandya i Thakkar, 2016). Skupia się ona na ilościowym ruchu części zapasów (Al-dulaimi i Emar, 2020). Analiza XYZ jest przeprowadzana dla zapasów, które mogą się znacznie różnić w każdym miesiącu, dla którego przeprowadzana jest analiza, ponieważ na wyniki mogą wpływać różne



czynniki zewnętrzne, takie jak utracone lub opóźnione zamówienia sprzedaży i dostawy (Dhoka i Choudary, 2013).

Podstawą podziału według klasyfikacji XYZ jest charakter zużycia – sprzedaży (Cyplik i Hadaś, 2012):

- od pozycji wydawanych w dużych ilościach, o masowym charakterze – grupa X,
- przez zużycie o średniej wielkości (w ujęciu ilościowym) – grupa Y,
- do pozycji wydawanych sporadycznie, jednostkowo – grupa Z.

Podział na grupy XYZ bywa także odnoszony do kryterium regularności zapotrzebowania i dokładności prognozowania. Według tego ujęcia (Krzyżaniak i Cyplik, 2008):

- w grupie X mieszczą się pozycje zużywane w dużych ilościach, charakteryzujące się regularnym zapotrzebowaniem, o niewielkich wahaniach, o wysokiej dokładności prognozowania,
- grupa Y to pozycje o mniejszym ilościowo popycie, o sezonowych wahaniach zapotrzebowania, lub wykazujące wyraźny trend popytu, dla których prognozy charakteryzują średnią dokładnością,
- grupa Z obejmuje pozycje wolno rotujące, o nieregularnym zapotrzebowaniu przy niskiej dokładności prognoz tego zapotrzebowania.



W przypadku analizy XYZ należy wykonać następujące kroki związane z obliczeniem (Dhoka i Choudary, 2013):

- [1] Obliczenie sumy kwadratów,
- [2] Obliczenie odchylenia standardowego,
- [3] Obliczenie współczynnika zmienności,
- [4] Ustalenie podziału na grupy X, Y oraz Z.



Formuły w Excel:

- [1] Obliczenie sumy kwadratów: `=SUMA([zakres komórek]-ŚREDNIA([zakres komórek])^2)`



[2] Obliczenie odchylenia standardowego:

=ODCH.STANDARDOWE.S([zakres komórek])

[3] Obliczenie CV jako stosunku odchylenia standardowego

do średniej, wyrażony w procentach, oblicza się go z formuły:

=(ODCH.STANDARDOWE.S([zakres komórek]) / ŚREDNIA([zakres komórek]))*100

W **analizie XYZ** pozycje sklasyfikowane jako **X** wykazują stały, przewidywalny popyt, co umożliwia łatwiejsze planowanie i minimalizację zapasów zabezpieczających. Pozycje z grupy **Y** charakteryzują się umiarkowaną przewidywalnością, wymagają bardziej elastycznego podejścia do zarządzania zapasami, podczas gdy produkty z grupy **Z** są najmniej przewidywalne i mogą wymagać największych zapasów zabezpieczających.

W praktyce gospodarczej zastosowanie podziału XYZ ma sens w połączeniu z klasyfikacją ABC (Pandya i Thakkar, 2016), (Cyplik i Hadaś, 2012). Przeprowadzenie łączonej **analizy ABZ/XYZ** pozwala na podzielenie rozpatrywanego asortymentu na 9 grup, wobec których można podejmować różne rozwiązania dotyczące utrzymywania i uzupełniania zapasu (Krzyżaniak i Cyplik, 2008). Charakterystyka tych grup została przedstawiona w tabeli 9.1.

Pole w macierzy jest kombinacją analizy ABC i XYZ. Przypisanie asortymentu w dwóch wymiarach umożliwia przyjęcie dobrej strategii zarządzania zapasami i daje lepszą kontrolę nad nimi (Pandya i Thakkar, 2016). Na przykład wskazać można:

- potencjał racjonalizacji dla grup AX, BX i AY,
- złożoność sterowania dla grup AY, AZ i BZ.

Klasyfikacja ABC/XYZ, wraz z ustaleniem probabilistycznego poziomu obsługi popytu (POP) lub wskaźnika stopnia ilościowej realizacji (SIR), stanowi kluczowe fundamenty dla opracowania efektywnego modelu odnawiania zapasów. Te metody pozwalają na identyfikację i priorytetyzację zapasów według ich wartości i przewidywalności popytu, co jest niezbędne do optymalizacji procesów zamówień i zarządzania magazynem.



W konsekwencji, umożliwiają one bardziej celowane i skuteczne podejście do zarządzania zapasami, zwiększając efektywność operacyjną i finansową przedsiębiorstwa.

Tabela 9.1. Podejście 9-polowe do relacji ABC-XYZ

	A	B	C
X	Wysoka wartość obrotu towaru, duża dokładność prognozy popytu	Średnia wartość obrotu towaru, duża dokładność prognozy popytu	Niska wartość obrotu towaru, duża dokładność prognozy popytu
Y	Wysoka wartość obrotu towaru, średnia dokładność prognozy popytu	Średnia wartość obrotu towaru, średnia dokładność prognozy popytu	Niska wartość obrotu towaru, średnia dokładność prognozy popytu
Z	Wysoka wartość obrotu towaru, brak dokładności prognozy popytu	Średnia wartość obrotu towaru, brak dokładności prognozy popytu	Niska wartość obrotu towaru, brak dokładności prognozy popytu

Źródło: (Pandya i Thakkar, 2016)

Do klasyfikacji zapasów w celu lepszego zarządzania i optymalizacji łańcuchów dostaw oprócz metody ABC i XYZ można wykorzystać również (Mitra i in., 2015; Pandya i Thakkar, 2016; Sirisha i Kalyan, 2022):

- HML – klasyfikacja oparta na cenie jednostkowej produktu, gdzie H (High) oznacza produkty o wysokiej cenie jednostkowej, M (Medium) o średniej, a L (Low) o niskiej,
- VED – klasyfikacja oparta na krytyczności produktów, gdzie V (Vital) oznacza produkty niezbędne, E (Essential) istotne, a D (Desirable) pożądane,
- GOLF – klasyfikacja oparta na częstotliwości użycia i lokalizacji, gdzie General oznacza produkty ogólne, Occasional – okazjonalne, Local – lokalne, a Fast-moving – szybko rotujące,
- SDE – klasyfikacja oparta na dostępności produktów, gdzie Scarce oznacza produkty rzadkie, Difficult trudne do pozyskania, a Easy łatwe do pozyskania,
- FSN – klasyfikacja oparta na szybkości rotacji, gdzie Fast oznacza produkty szybko rotujące, Slow wolno rotujące, a Non-moving nierotujące,
- SOS – klasyfikacja oparta na cykliczności popytu na dany produkt: produkty Seasonal mają wysoki popyt w określonym sezonie lub okresie czasu, Off-Seasonal – mają równomierny popyt przez cały rok lub ich popyt wzrasta



w okresach, które nie są uważane za szczyt sezonu dla danej kategorii produktów.

Pytania do rozdziału

1. Co oznacza probabilistyczny poziom obsługi klienta?
2. Jakie są podstawowe modele uzupełniania zapasów w logistyce?
3. Jakie jest główne założenie zasady Pareto?

LITERATURA

Al-Dulaime, W., i Emar, W. (2020). Analysis of Inventory Management of Laptops Spare Parts by Using XYZ Techniques and EOQ Model–A Case Study. Journal of Electronic Systems Volume, 10(1), 1.

Bowersox, D. i Closs, D.J. (1996). Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process, 4th ed., McGraw-Hill, New York, NY.

Bril, J., i Łukasik, Z. (2013). Metody zarządzania zapasami. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 14(3), 59-67.

Brunaud, B., Laínez-Aguirre, J. M., Pinto, J. M., i Grossmann, I. E. (2019). Inventory policies and safety stock optimization for supply chain planning. AIChE journal, 65(1), 99-112.

Chu, C. W., Liang, G. S., i Liao, C. T. (2008). Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification. Computers i Industrial Engineering, 55(4), 841-851.

Cyplik, P. (2005). Zastosowanie klasycznych metod zarządzania zapasami do optymalizacji zapasów magazynowych–case study. LogForum, 1(3), 4.

Cyplik, P., i Hadaś, Ł. (2012). Zarządzanie zapasami w łańcuchu dostaw. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.



Dhoka, D. K., i Choudary, Y. L. (2013). XYZ inventory classification & challenges. *IOSR Journal of Economics and Finance*, 2(2), 23-26.

Fertsch, M. (red.) (2006). *Słownik terminologii logistycznej*. Instytut Logistyki i Magazynowania. Poznań.

Hachuła, P., i Schmeidel, E. (2016). The Model of Demand and Inventory in a Decline Phase of the Product Life Cycle. *Folia Oeconomica Stetinensia*, 16(1), 208-221.

Jain, N., i Tan, T. F. (2022). M-commerce, sales concentration, and inventory management. *Manufacturing & Service Operations Management*, 24(4), 2256-2273.

Krzyżaniak, S. (2016). Próba uogólnienia formuły na obliczanie zapasu zabezpieczającego dla klasycznych metod odnawiania zapasu. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Organizacja i Zarządzanie*. Nr. 99, 245-259.

Krzyżaniak, S., i Cyplik, P. (2008). *Zapasy i magazynowanie: podręcznik do kształcenia w zawodzie technik logistyk*. T. 1, *Zapasy* / S. Krzyżaniak, P. Cyplik, Instytut Logistyki i Magazynowania.

Matusiak, M. (2022). *Logistyka zaopatrzenia. Skrypt akademicki. Część 1 Wykład*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.

Mitra, S., Reddy, M. S., i Prince, K. (2015). Inventory control using FSN analysis—a case study on a manufacturing industry. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(4), 322-325.

Niemczyk, A., Cudziło, M., Kolińska, K., Fajfer, P., Koliński, A., Pawlak, R., Sobótka, J. (2011). *Podręcznik dla nauczycieli do laboratorium spedycyjno – logistycznego i magazynowego*. Tom II. Wyższa Szkoła Logistyki. Poznań 2011.

Pandya, B., i Thakkar, H. (2016). A review on inventory management control techniques: ABC-XYZ analysis. *REST Journal on Emerging trends in Modelling and Manufacturing*, 2(3).

Papiernik-Wojdera, M., i Sikora, S. (2022). Ocena logistycznej obsługi klienta w przedsiębiorstwie Cargonet sp. z o. o. [in] red. Fajczak-Kowalska A. *Problemy i wyzwania współczesnej logistyki*. Wydawnictwo Rys. Poznań.

Placencia, I. A., Partida, D. S., Olivos, P. C., i Flores, J. M. (2020). Inventory management practices during COVID 19 pandemic to maintain liquidity increasing customer service level in



an industrial products company in Mexico. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 5(6), 613-626.

Powell Robinson, E., i Satterfield, R. K. (1990). Customer Service: Implications for Distribution System Design. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 20(4), 22–30.

Selivanova, N., Bubilich, S., i Popko, Y. (2018). Features of formation of the accounting policy of the enterprise in a part of accounting of manufacturing reserves. *Економіка: реалії часу*, (5 (39)), 89-96.

Sirisha, T., i Kalyan, D. N. B. (2022). Inventory management pattern of manufacturing sector in India. Available at SSRN 4165201.

Skowronek, Cz., Sarjusz-Wolski, Z. (2012). *Logistyka w przedsiębiorstwie*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne. Warszawa.

Śliwczyński, B. (2007). *Controlling w zarządzaniu logistyką: Controlling operacyjny, controlling procesów, controlling zasobów*. Wyższa Szkoła Logistyki.

Śliwczyński, B. (2008). *Planowanie logistyczne: podręcznik do kształcenia w zawodzie technik logistyk*. Instytut Logistyki i Magazynowania.

Song, J. S., Van Houtum, G. J., i Van Mieghem, J. A. (2020). Capacity and inventory management: Review, trends, and projections. *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(1), 36-46.

Strojny, S. (2008). Przesłanki standaryzacji interpersonalnej obsługi klienta. *LogForum*, 4(1), 1-8.

Tanwari, A., Lakhiar, A. Q., i Shaikh, G. Y. (2000). ABC analysis as a inventory control technique. *Quaid-E-Awam University research journal of engineering, science and technology*, 1(1).

Ustawa z dnia 29 września 1994 r. o rachunkowości, Dz. U. z 2021 r. poz. 217, z późn. zm. [dostępna: <https://stat.gov.pl/metainformacje/slownik-pojec/pojecia-stosowane-w-statystyce-publicznej/645,pojecie.html>, access 08.11.2023].

Wild, T. (2017). *Best practice in inventory management*. Routledge.



10. OPTIMALIZACJA TRANSPORTU

Rozdział ten poświęcony jest najważniejszym zagadnieniom związanym z optymalizacją transportu. Zawiera on:



- podstawowe definicje systemu transportowego,
- istotę i znaczenie optymalizacji systemu transportowego,
- opis zastosowania zagadnienia transportowego w praktyce.

10.1. Wprowadzenie

Procesy transportowo-spedycyjne odgrywają dominującą rolę w fazie dystrybucji. Istotnym jest, że wzrastające ich znaczenie generuje potrzebę wprowadzania innowacyjności dotyczących organizacji przemieszczania ładunków przy zastosowaniu odpowiednio dobranych środków transportu i sposobu przewozu (Krawczyk 2001). Poszukuje się więc metod i narzędzi, umożliwiających precyzyjną odpowiedź na kluczowe pytania odnośnie procesów transportowych i spedycyjnych. Można się zastanawiać, czy należy wprowadzić jakieś zmiany, a jeśli tak, to jakimi wynikami finansowymi będzie to skutkować? Wyzwaniem, jak również potrzebą nowoczesnej firmy jest połączenie korzyści gospodarczych, które płyną z utrzymania wysokiej jakości obsługi klienta, a także z ograniczania kosztów transportu, będących jednocześnie funkcją obsługi klienta. Przy tym kwestia minimalizacji kosztów przyjmuje wymiar strategiczny (Christopher 2000).

Transport należy do dziedziny produkcji usług materialnych, wykonuje przewóz osób i towarów, zapewnia dystrybucję i dostawę surowców oraz produktów przemysłu i rolnictwa do wszystkich regionów świata. w kraju i za granicą. Głównym zadaniem transportu jest pełne i terminowe zaspokojenie potrzeb gospodarki narodowej i ludności w zakresie przewozów, zwiększenie efektywności i jakości sieci transportowej. Biorąc pod uwagę wiodącą rolę transportu w gospodarce rynkowej, zarządzanie transportem jest przypisane do odrębnej dziedziny, zwanej logistyką transportu. Logistyka transportu obejmuje szereg elementów, z których główne to (Yahiaoui, 2019; Vakulenko i Evreenova, 2019):



- ładunki,
- stacje konsolidacyjne,
- węzły transportowe,
- sieć transportowa,
- tabor,
- urządzenia przeładunkowe,
- uczestnicy procesów logistycznych,
- kontenery transportowe
- opakowania.

Główne rezerwy dla poprawy procesu transportu i logistyki tkwią w racjonalnej organizacji interakcji uczestników łańcucha dostaw, koordynacji ich interesów i poszukiwaniu wzajemnie korzystnych i odpowiednich rozwiązań. Postęp w technologii informacyjnej może znacząco podnieść efektywność logistyki transportu, a informacja i wsparcie informatyczne mają należne miejsce wśród kluczowych funkcji logistycznych (Liu, Zhang i Wang, 2018; Sun i in., 2019).

Postęp w technologii informacyjnej przyczynił się do zwiększenia wydajności transportu. Wykorzystanie najnowszych technologii informatycznych pozwala zautomatyzować wszystkie działania informatyczne przedsiębiorstw transportowych, które biorą udział w procesach organizacji ruchu towarowego. Automatyzacja logistyki transportu zapewnia zwiększoną wydajność i optymalizację transportu. Dzięki wprowadzeniu zautomatyzowanych systemów trasowania, rozliczania i planowania w przedsiębiorstwach transportowych, logistyka transportu osiąga nowy poziom (Dekhtyaruk i in., 2021).

10.2. Istota i znaczenie optymalizacji systemu transportowego

Badania i prace związane z optymalizacją systemu transportowego wiążą się z istotnymi problemami polityki transportowej, odgrywając ważną rolę w rozwoju teorii ekonomiki transportu. Rozwój prac i badań optymalizacyjnych jest stymulowany przez praktykę gospodarczą transportu, wskazującą na najistotniejsze kwestie do rozwiązania, a także wyznaczającą zakres oraz kierunki badań metodycznych. Z drugiej strony tematyka optymalizacji systemu transportowego była inspiracją dla naukowców do implementacji



osiągnięć teorii systemów oraz cybernetyki do rozwiązywania ekonomicznych problemów transportu. Przyczyniło się to do korzystnych zmian w aspekcie metodyki badań naukowych, jak również wzbudziło zainteresowania aspektami ekonomiki transportu natury metodologicznej (De Maio i Vitetta, 2015).

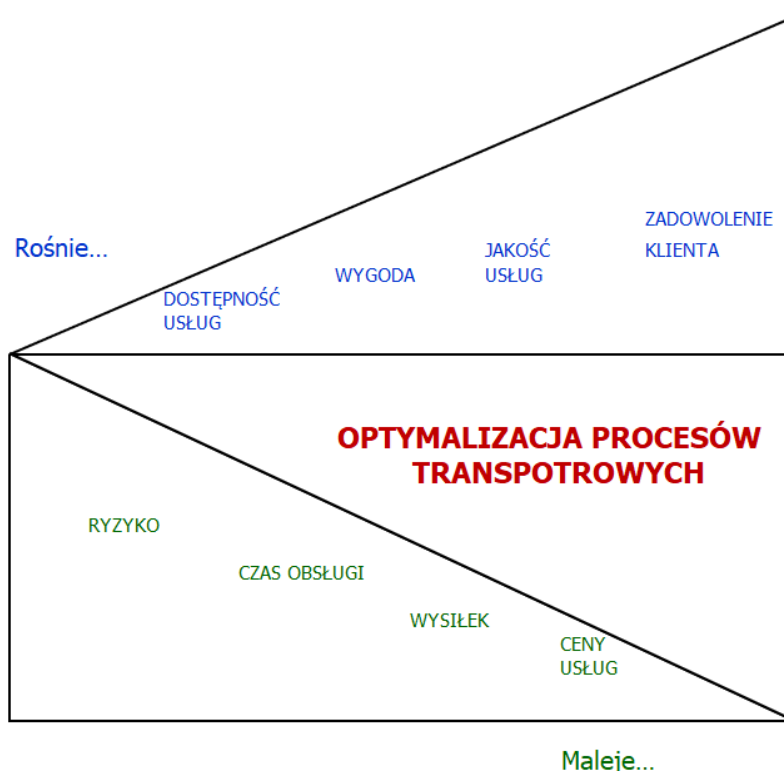
Optymalny system transportowy rozumiany jest jako system w pełni i w prawidłowy sposób zabezpieczający obsługę istniejących potrzeb przewozowych (wielkość, rodzaje, dyspersja terenowa) przy najniższym nakładzie pracy społecznej, przy racjonalnym wykorzystaniu cech i właściwości (technicznych, eksploatacyjnych i ekonomicznych) poszczególnych gałęzi transportu. Ideą tej przyjętej w literaturze definicji zagadnienie optymalizacji systemu transportowego jest sprowadzone do całkowitej oraz właściwej obsługi potrzeb przewozowych przy kryterium minimalizacji nakładów pracy społecznej (Wong i in., 2016).

Optymalizacja w transporcie to pojęcie bardzo rozległe, określające rozmaite procesy. Ich cel to polepszenie sytuacji zaangażowanych w transport stron (nadawców, odbiorców, pracowników). Najczęściej w literaturze można znaleźć aspekty odnoszące się do optymalizacji i spedycji. Zazwyczaj chodzi o redukcję kosztów transportu oraz kosztów dostawy. W praktyce zagadnienie to jest jednak wielokryterialne. Istotne są także mniej popularne kryteria, wśród których można wymienić komfort pracy, ekologię, jakość transportowych usług, zadowolenie klienta, a nawet zużycie dróg. Koszt oraz czas są jednak dominującymi czynnikami. Logistyczne procesy powinny być rozpatrywane ze strategicznej, a także operacyjnej perspektywy. Perspektywa strategiczna oznacza długoterminowe planowanie oraz projektowanie wizji przedsiębiorstwa. Operacyjna perspektywa dotyczy obecnej sytuacji. Te aspekty optymalizacji powinny być ze sobą związane, jak również mieć wsparcie ze strony rozmaitych systemów zarządzania logistyką. Tematyka optymalizacji transportu, nawet przy ograniczeniu tylko do zminimalizowania kosztów, obejmuje cały ciąg działań, dotyczący kompletnego łańcucha dostaw. Najważniejsze jest utworzenie efektywnej sieci dystrybucji, dotyczącej identyfikacji zlokalizowania odbiorców oraz ich potrzeb, które potencjalnie zmieniają się w czasie oraz optymalne rozlokowanie centrów dystrybucji, terminali dystrybucyjnych oraz magazynów. Ważne jest także dobranie właściwej floty (wielkości pojazdów, podział na tabor własny oraz zewnętrzny, a także ich możliwości, takie jak wyposażenie w podnośnik, dźwig, chłodnię, przestrzeń ładunkową), albowiem nieodpowiednio dobrana flota może przyczynić się do znacznego ograniczenia potencjału przedsiębiorstwa transportowego. W procesie optymalizacji transportu powinno się też przeanalizować różne scenariusze przepływu



produktów, jak również globalną identyfikację wąskich gardeł oraz czynników zmniejszających zysk firmy (www_10.1).

Zaletą właściwie przeprowadzonego procesu optymalizacji jest między innymi wzrost poziomu bezpieczeństwa, lepsza jakość usług oraz większa dostępność dóbr i usług. Zintegrowanie systemów oraz zastosowanie uprzednio wyznaczonych standardów razem z umiejętnym doбором technik optymalizacji, jest pomocne w komunikacji krajowej i regionalnej, a także jest sprzyja zwiększeniu konkurencyjności przedsiębiorstwa. Najważniejsze korzyści prawidłowo dokonanej optymalizacji ukazuje prezentuje rysunek 10.1. Przedstawia zachodzące zmiany za sprawą wdrożenia procesów optymalizacji.



Rysunek 10.1. Zmiany wynikające z zastosowania optymalizacji procesów transportowych

Źródło: (Zajdel i Filipowicz, 2008)

Można wymienić kilka zagadnień optymalizacyjnych. Najistotniejszymi z nich w grupie drobnych przesylek są:

- wybór między przewoźnikiem pośrednim i bezpośrednim,
- planowanie potencjału dystrybucji,
- rozważenie dystrybucji lokalnej.



Przyjmowanie zleceń związanych z przewozem zawsze jest związane z kwestią dotyczącą wyboru między bezpośrednimi dostawcami a zastosowaniem sieci dystrybucji. Podjęcie decyzji odnośnie przewozu przesyłki zależy od kosztów terminalowych i kosztów dowozu. Problem ten dotyczy gabarytów przesyłki. Przesyłka o dużej wielkości oraz znaczny dystans dowozu skłania do wybrania transportu bezpośredniego. Jeżeli przesyłka jest pojedyncza, zagadnienie staje się łatwe do rozstrzygnięcia, gdyż do jego rozwiązania wystarczy porównać koszty przewozu za pomocą systemu terminalowego. Trzeba jednak mieć na uwadze, iż łączenie przesyłki z innymi powoduje obniżenie kosztów transportu pośredniego. Projektowanie sieci dystrybucji przesyłek drobnych to zagadnienie mające charakter strategiczny. Koszt całkowity systemu można obliczyć za pomocą następującego wzoru (Milewski, 2011):

$$K_{CSD} = \sum_{j=1}^n K_{d-o_j} + K_{T_j} + K_{P_j},$$

gdzie:

K_{CSD} – koszt całkowity systemu dystrybucji,

K_{d-o_j} – koszty dowozowo - odwozowe *i-tego* terminalu,

K_{T_j} – koszty terminalowe *i-tego* terminalu,

K_{P_j} – koszty transportu liniowego *i-tego* terminalu,

n – liczba terminali.

Problemem, mającym charakter operacyjny jest zaplanowanie tras przewozów przesyłek w ramach ustaleń strategicznych. Koszt całkowity przewozu przesyłek po danej trasie może być wyrażony za pomocą poniższego wzoru (Milewski, 2011):

$$K_{CDL} = \sum_{k=1}^o K_{i,k} * d_k,$$

gdzie:

K_{CDL} – koszt całkowity dystrybucji lokalnej

$K_{i,k}$ – koszt przewozu (zwożenie lub rozwożenie) przesyłek na trasie k

d_k - długość trasy k

o – liczba tras.

Głównym celem metod oraz modeli optymalizacyjnych jest rozwiązanie problemów. Kryterium optymalizacyjne to najczęściej jak najkrótszy czas przewozu lub jak najkrótsza trasa. Podejście to jest wystarczające przy założeniu, że całkowity koszt jest zależny bezpośrednio



od długości tras. Trasę należy zatem tak dobrać, żeby „była najkrótsza lub czas przejazdu po niej jak najmniejszy.” W tym miejscu należy zwrócić uwagę na optymalizacyjny model makrosystemu transportowego (Milewski, 2011). Jego zadanie to wypracowanie odpowiedniej liczby wskaźników oraz miar, koniecznych w procesie racjonalnego zarządzania transportem w trakcie logistycznych realizacji działań operacyjnych. Im model precyzyjniej odzwierciedla badaną rzeczywistość, tym możliwości sterownicze są bardziej skuteczne. W zależności od podobieństwa model optymalizacyjny można zastosować do bezpośredniego tworzenia strategii biznesowej w sektorze usług transportowych. Optymalizacyjny model systemu transportowego dostarcza metody oraz narzędzia naukowe umożliwiające sterowanie systemem transportowym. Można zapisać go w postaci następującego wyrażenia (Ficoń, 2010):

$$MDE_{ST} = \langle Z_{ST}, P_{ST}(t) \parallel G_{ST}, F_{ST}, H_{ST} \rangle \xrightarrow{\max STO_{ST}} \min S_{ST},$$

gdzie:

Z_{ST} – zbiór zasobów operacyjnych (logistycznych) systemu ST

P_{ST} – zbiór procesów operacyjnych (logistycznych) systemu ST

G_{ST} – zbiór ograniczeń i warunków brzegowych systemu ST

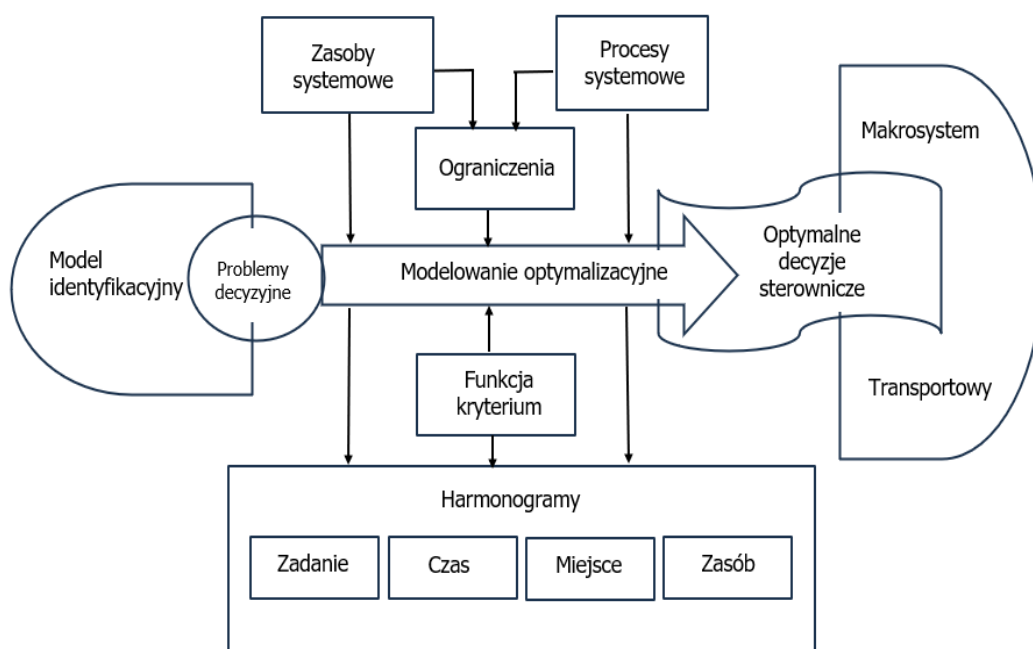
F_{ST} – funkcja kryterium działania systemu ST

H_{ST} – zbiór dopuszczalnych harmonogramów działania systemu ST

S_{ST} – globalne koszty funkcjonowania makrosystemu transportowego ST

STO – logistyczne standardy obsługi klienta przez sektor transportowy.

Koncepcja modelowania optymalizacyjnego systemu transportowego została przedstawiona na rysunku 10.2.



Rysunek 10.2. Koncepcja modelowania optymalizacyjnego systemu transportowego

Źródło: (Ficoń, 2010)

Istnieją oczywiście jeszcze inne modele, pomagające rozwiązać optymalizacyjne problemy w transporcie. Zagadnień dotyczących optymalizacji transportu jest znacznie więcej. Występują między nimi różnice w zależności od przedsiębiorstwa, jego wielkości oraz produktów, którymi dysponuje.

10.3. Zagadnienia optymalizacji transportu w praktyce

Jedną z podstawowych składowych optymalizacji transportu jest **optymalizacja tras**. Polega ona na zaprojektowaniu takich tras dla pojazdów, którymi są przewożone wyroby, żeby optymalizować zyski oraz jakość obsługi klientów. Dla przedsiębiorstwa znaczy to najczęściej redukcję kosztów oraz czasu transportu, natomiast z perspektywy odbiorców oznacza obniżenie kosztów i terminowe dostawy. Cele te osiągnąć się przez minimalizację długości przejechanego dystansu, możliwość dostosowania harmonogramów przewozów do zmieniających się w czasie warunków oraz nowych sytuacji, zsynchronizowanie transportu z pracą magazynów, a także możliwość częstego i szybkiego przeprowadzenia optymalizacji w celu aktualizacji bieżącego planu. Chociaż w zadaniach transportowych najczęściej wyznaczanym celem jest redukcja do minimum kosztów transportu lub dążenie do zminimalizowania odległości, to w przypadku przewozów produktów, głównie spożywczych,



mogących szybko utracić swą przydatność do spożycia, wyrobów, które szybko tracą własności użytkowe lub tych, które są dostarczane zgodnie z zasadą *Just in Time* ze względu na ograniczone możliwości magazynowania lub zbyt wygórowane koszty magazynowania u odbiorcy albo na zbyt późne dostawy realizowane przez poprzednie ogniwa łańcucha dostaw, jako priorytetowy cel obierane jest minimalizowanie czasu realizacji wszystkich dostaw. Krótszy czas dostaw daje możliwość spełnienia oczekiwań odbiorców dotyczących terminów dostaw, a także zachowanie wartości użytkowych przewożonych wyrobów, co może stanowić rekompensatę wydatków, które wynikają z zaangażowania środków transportowych. W powyższych przypadkach najważniejsza jest zatem redukcja czasu przewozu o najdłuższym czasie trwania w danym systemie dostaw, czyli obliczenie najkrótszego czasu, w jakim dostawy mogłyby się zakończyć (Gaspars-Wieloch, 2011).

Z perspektywy informatycznej optymalizacja tras w transporcie i logistyce ściśle wiąże się z **zagadnieniem komiwojażera** (TSP, Travelling Salesman Problem) i problemem marszrutyzacji (VRP, Vehicle Routing Problem). Problem komiwojażera należy do klasycznych problemów optymalizacji kombinatorycznej i wiąże się z zaplanowaniem najkrótszej trasy, a zarazem najtańszego transportu, przebiegającej przez n określonych punktów nadania oraz odbioru, przy danych kosztach przejazdu między każdą parą punktów. Problem VRP jest uogólnieniem zagadnienia TSP. Jest w nim możliwe występowanie wielu komiwojażerów (wielu pojazdów), mających możliwość wielokrotnego powrotu do bazy przed dotarciem do wszystkich n lokalizacji. Zarówno dla problemu TSP, jak i VRP istnieje wiele uogólnień oraz dodatkowych, praktycznych ograniczeń, do których można zaliczyć okienka czasowe, ograniczenia kolejnościowe odwiedzanych lokalizacji, różne możliwości pojazdów oraz kierowców, czy też ograniczenia pojemnościowe, które są przydatne przy rozwożeniu i odbieraniu towarów (www_10.2).

W celu rozwiązania zadania TSP należy podać: poziom zapasu produktów w każdym punkcie nadania, wielkość zapotrzebowania w każdym punkcie odbioru, jak również koszty transportu z każdego punktu nadania do każdego punktu odbioru (Winiczenko, 2009). Jeżeli w tym zagadnieniu mamy do czynienia tylko z jednym wyrobem, wówczas zapotrzebowanie punktów odbioru może być uzupełniane z jednego lub więcej punktu nadania. Zamierzeniem takiego planu jest obliczenie ilości produktów wysłanej z każdego punktu nadania do każdego punktu odbioru w celu minimalizacji całkowitego kosztu transportu (Stachurski i Wierzbicki, 2001).



Jeśli koszt przejazdu jest wprost proporcjonalny do ilości transportowanego towaru, mamy do czynienia z zadaniem transportowym liniowym. W przeciwnym razie, jeżeli ten warunek nie będzie spełniony, to zadanie transportowe stanie się zadaniem nieliniowym. Jedną z najpopularniejszych metod optymalizacyjnych jest programowanie liniowe (Silaen i in., 2019; Gass, 2013). Największa przydatność tej metody odnotowuje się przy tworzeniu sieci obiektów, przy czym warunkami ograniczającymi dla modelu jest wielkość popytu i podaży dla zakładów produkcyjnych, centrów dystrybucji lub poszczególnych rynków. Przy danej funkcji celu, zakładającej na przykład redukcję kosztu całkowitego, programowanie liniowe jest pomocne przy tworzeniu optymalnego wzorca rozlokowania obiektów, który uwzględnia ograniczenia popytowo-podażowe. Chociaż metoda programowania liniowego jest dość praktyczna, to jednak istnieją ograniczenia w jej stosowaniu, gdyż należy w sposób deterministyczny sformułować problem rozwiązywany za jej pomocą, jak również należy poddać to zagadnienie powinien liniowemu przybliżeniu. Oprócz tego w programowaniu liniowym nie mogą być uwzględniane stałe oraz zmienne koszty funkcjonowania obiektów logistycznych (Coyle i in., 2002).

W literaturze logistycznej można znaleźć wiele prac naukowych, poświęconych teorii i praktyce organizacji optymalnego systemu transportowego przy użyciu różnych modeli oraz metod. Publikacje (Lai i Bierlaire, 2015; De Maio i Vitetta, 2015; Manley, Orr i Cheng, 2015; Vitetta, 2016) przedstawiają badania optymalizacji tras według kryterium minimalnego czasu dostawy.

W artykułach (Hess i in., 2015; Nyrkov, Sokolov i Belousov, 2015) do wyznaczenia optymalnej trasy zastosowano metody oparte na alternatywnym próbkowaniu. Natomiast autorzy publikacji (Zhilenkov, Nyrkov, i Cherniy, 2015; Omelianenko i in., 2019; Tomashevskiy, 2007; Cheng i Wu, 2020; Zaychenko, 2014) posłużyli się metodami modelowania tras w systemach transportowych opartymi na logice rozmytej. W publikacjach (Shang i in., 2020; Shramenko. i Shramenko, 2019) ich autorzy chcąc zaplanować optymalną trasę, zastosowali model heurystyczny model, natomiast w artykułach (Maleev i in., 2019; Skvortsov, Pshonkin i Luk'yanov, 2018) został opisany kwantowy model wyznaczenia optymalnej trasy w systemach transportowych.

Z wynikami modelowania wyboru optymalnych tras z wykorzystaniem danych z **Globalnego Systemu Pozycjonowania** (GPS), które są skoncentrowane na samochodach ciężarowych, wykonujących długie przejazdy, można zapoznać się w publikacjach (Khripach i in., 2018; Navrodska i in., 2019; Fialko i in., 2020). Poniżej zostały przedstawione w



szczegółowy sposób poszczególne etapy postępowania podczas rozwiązywania zadania transportowego na praktycznym przykładzie zagadnienia transportowego z kryterium czasu do optymalizacji zaopatrzenia sieci supermarketów, który został opisany w artykule (Gaspars-Wieloch, 2011).

Charakterystyka problemu zagadnienia transportowego z kryterium czasu do optymalizacji zaopatrzenia sieci supermarketów

W opisywanym zagadnieniu z zakresu optymalizacji transportu rozpatrywana jest rozmieszczona w różnych częściach kraju sieć supermarketów. Na każdy tydzień opracowywana jest nowa propozycja towarów, które, obok zawsze dostępnego w sprzedaży asortymentu, do których należą produkty spożywcze, drogerijne, są sprzedawane klientom jedynie przez sześć dni od poniedziałku do soboty albo do ewentualnego wyczerpania zapasów. W skład oferty tygodnia wchodzi m.in. produkty AGD, wyroby papiernicze, ubrania, zabawki, narzędzia czy artykuły ogrodnicze. Często oferta produktowa dopasowywana jest do pory roku oraz dni świątecznych, takich jak Boże Narodzenie, Wielkanoc, walentynki, Wszystkich Świętych, Pierwsza Komunia Święta itd. Ofertę tygodnia ustala się z dużym wyprzedzeniem, a produkty, które ona obejmuje, są magazynowane w hurtowniach rozlokowanych po całym państwie. Zależnie od możliwości, jakimi dysponują dostawcy, poszczególne typy towarów są dostarczane do hurtowni tydzień wcześniej w różnych dniach (wliczając też soboty rano) zanim trafią do sprzedaży. Hurtownie mają obowiązek przygotować zestawy produktów dla każdego sklepu. W przykładowym zestawie może znajdować się 20 serwetek, 30 telewizorów, 40 wiader, 20 par kłapek, 30 garnków, 20 misiów, 30 par spodni, 60 kremów do rąk, 50 piłek i 40 zeszytów.

Z uwagi na to, że zestawy mogą być skompletowane dopiero pod koniec tygodnia, a także ze względu na niewystarczającą powierzchnię magazynów w supermarketach, przedsiębiorstwu zależy na dostarczeniu asortymentu z oferty tygodnia do wszystkich sklepów w nocy z niedzieli na poniedziałek i niezwłoczne rozłożenie ich na regałach.

Każdy samochód ciężarowy, który wyjeżdża z hurtowni, dostarcza zestawy produktów od razu do kilku lub nawet kilkunastu supermarketów, tworzących sektor. Supermarkety w danym sektorze są rozmieszczone dość blisko siebie (np. w tej samej miejscowości). Czas zaopatrzenia sektora jest zależny od tego, z której hurtowni zostanie skierowany do niego dany pojazd. Kluczowy cel przedsiębiorstwa to zminimalizowanie czasu najdłuższej dostawy.



Model matematyczny zadania transportowego

Ogólną postać modelu opisującego zamknięte zagadnienie transportowe z kryterium czasu można przedstawić następująco (Gaspars-Wieloch, 2011):

$$\max_{x_{ij} > 0} \{t_{ij}\} \rightarrow \min \quad (1)$$

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

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

$$x_{ij} \geq 0 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (5),$$

gdzie:

x_{ij} – wielkość towaru przewożona na trasie od i -tego dostawcy do j -tego odbiorcy

t_{ij} – czas transportu towaru na trasie od i -tego dostawcy do j -tego odbiorcy

n – liczba odbiorców

m – liczba dostawców

a_i – podaż i -tego dostawcy

b_j – popyt j -tego odbiorcy.

Kiedy nie zachodzi równość między całkowitą podażą a całkowitym popytem, ostatni wzór (5) nie jest brany pod uwagę, a warunki podażowe (2) albo popytowe (3) zmieniają się w nierówności. Opisany wyżej model matematyczny dotyczy okoliczności, kiedy to osoba podejmująca decyzje nie zakłada innych przesłanek, dotyczących np. niedostatecznej kubatury samochodów rozwożących towar, wymaganego minimalnego poziomu zaspokojenia popytu lub różnicy w charakterze czasu transportu i czasu rozładunku.

W pracach naukowych (Sikora, 2008) został przedstawiony algorytm, umożliwiający rozwiązanie opisanego wcześniej problemu transportowego. Kolejne etapy toku postępowania według wspomnianego algorytmu zostały wymienione poniżej (Gaspars-Wieloch, 2011):



1. Pierwszym krokiem jest wyznaczenie dopuszczalnego równania bazowego za pomocą metody minimalnego elementu macierzy, zwaną metodą MEM w oparciu o tablicę z czasami.
2. W drugim etapie ważne jest ustalenie dla określonego rozwiązania maksymalnego czasu na realizację dostawy (T^k) na podstawie wzoru (6):

$$T^k = \max_{x_{ij} > 0} \{t_{ij}\}, \quad (6)$$

gdzie:

T^k – maksymalny czas realizacji dostawy w k -tej iteracji.

3. Kolejno musi być przedstawiona tablica kosztów (c_{ij}) dla k -tego rozwiązania według wzoru (7):

$$c_{ij}^k = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & t_{ij} < T^k \\ 1 & t_{ij} = T^k \\ 10 & t_{ij} > T^k \end{array} \right. \quad \text{jeżeli} \quad (7)$$

4. Następny krok polega na sprawdzeniu optymalności rozwiązania w oparciu o tablicę kosztów. W przypadku nieujemności kryteriów optymalności (Δ_{ij}) dla wszystkich tras bazowych, procedura kończy się na tym etapie. Jeśli kryteria optymalne będą ujemne, należy wykonać czynności podane w punkcie piątym.

$$\Delta_{ij}^k = c_{ij}^k - \alpha_i^k - \beta_j^k, \quad (8)$$

gdzie:

α_i^k, β_j^k – zmienne dualne, czyli potencjały w k -tej iteracji

5. Powinno zostać ponownie wyznaczone dopuszczalne rozwiązanie bazowe, przy czym należy wziąć pod uwagę najbardziej ujemne kryterium optymalności, a następnie powrócić do kroku drugiego.

Powyższy algorytm jest oparty na tzw. metodzie potencjałów, która została opisana w wielu publikacjach, m.in. (Leonard, 1997). Jeśli w określonym zagadnieniu decyzyjnym występują jeszcze inne założenia, dotyczące ograniczonej pakowności środków transportu,



wówczas w omówionej procedurze powinno się dodatkowo odwołać do zasad, które zostały przyjęte w toku postępowania dla zadania transportowego o ograniczonej przepustowości tras (Codeca i Cahill, 2022; Sanz i Escobar Gomez, 2013).

Algorytm ten może być wykorzystywany jako ręczna procedura, gdy mamy do czynienia z zadaniami z niewielką liczbą dostawców i odbiorców. Dla problemów o większej złożoności rekomendowane jest zastosowanie właściwego programu stworzonego dla algorytmu w dowolnym języku programowania.

Inną opcją dla przedstawionej procedury może być opracowane optymalizacyjne narzędzie informatyczne, którego przykładem może być Solver, zamieszczony w programie Microsoft Excel. Należy jednak wziąć pod uwagę, iż wersja Solvera ma wpływ na typ zadań możliwych do rozwiązania. Z każdą nowszą wersją są oferowane są większe możliwości odnośnie liczby warunków czy liczby zmiennych w zadaniu, czasu niezbędnego do rozwiązania problemu, a także rodzaju używanych funkcji. W wersji standardowej Solvera nie może być używana funkcja „if”, „max{ }” czy „min{ }”. Funkcja „max” pojawia się w modelu matematycznym, opisanym wzorami (1)-(5), zatem pozornie odnosi się wrażenie, że zadania przy użyciu standardowej wersji Solvera nie da się rozwiązać.

W celu przeprowadzenia obliczeń poniżej został rozważony przykład z konkretnymi danymi liczbowymi, dla którego został sformułowany odpowiedni model matematyczny. Przykład dotyczy sieci supermarketów, w skład której wchodzi trzy hurtownie: P (na południu kraju), Z (na zachodzie kraju) i PW (na północnym-wschodzie kraju) oraz 50 sklepów, podzielonych na 8 różnicznych sektorów, oznaczonych literami (A, B, C, D, E, F, G oraz H). W oparciu o przetransportowane wyroby, przez każdą hurtownię może być sporządzonych 18 zestawów.

Zapotrzebowanie na zestawy poszczególnych sektorów przedstawia się następująco:

$$Z_A = 6; Z_B = 7; Z_C = 9; Z_D = 6; Z_E = 8; Z_F = 5; Z_G = 4; Z_H = 5, \text{ przy czym } \sum_{j=1}^8 50$$

Czas obsługiwanego każdego z sektorów przez pojazdy rozwożące towar tworzy czas przejazdu z hurtowni do sektora, który nie jest zależny od liczby sklepów w sektorze, jak również czas wyładunku w samym sektorze, który jest zależny od liczby sklepów, co ilustrują tabele 10.1 i 10.2.

**Tabela 10.1. Przybliżony czas przejazdu (t_{ij}^p , w godzinach)**

Sektory Hurtownie	A	B	C	D	E	F	G	H
P	9	6	3	3	6	9	12	7
Z	5	4	5	6	9	12	9	7
PW	8	5	11	5	3	3	4	3

Źródło: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Przyjęte zostało założenie, iż czas transportu w danym sektorze, który w praktyce jest uwarunkowany dystansem pomiędzy sklepami w danym sektorze, jest wzięty pod uwagę w czasach wyładunku asortymentu w każdym sklepie. Celem jest minimalizacja czasu dostawy trwającej najdłużej.

Tabela 10.2. Średni jednostkowy czas rozładunku (t_i^r , w godzinach)

Sektory	A	B	C	D	E	F	G	H
t_i^r	1/3	1/2	1/3	2/5	1/2	2/5	1/4	2/5

Źródło: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Zaprezentowany powyżej przykład z danymi liczbowymi ma trochę większy stopień skomplikowania niż standardowe zagadnienie transportowe z kryterium czasu. Z tego względu dokładne zapisanie zadania optymalizacyjnego, które odnosi się do omawianego przykładu, jedynie fragmentarycznie jest podobne do ogólnego modelu matematycznego, co obrazują wzory (9)-(21). Funkcję celu do minimalizacji czasu dostawy można zapisać w następujący sposób (Gaspars-Wieloch, 2011):

$$\begin{aligned} \max \{ & (9 \min \{x_{11}, 1\} + \frac{1}{3}x_{11}), (6 \min \{x_{12}, 1\} + \frac{1}{2}x_{12}), (3 \min \{x_{13}, 1\} + \frac{1}{3}x_{13}), (3 \min \{x_{14}, 1\} + \\ & + \frac{2}{5}x_{14}), (6 \min \{x_{15}, 1\} + \frac{1}{2}x_{15}), (9 \min \{x_{16}, 1\} + \frac{2}{5}x_{16}), (12 \min \{x_{17}, 1\} + \frac{1}{4}x_{17}), (7 \min \{x_{18}, 1\} \\ & + \frac{2}{5}x_{18}), (5 \min \{x_{21}, 1\} + \frac{1}{3}x_{21}), (4 \min \{x_{22}, 1\} + \frac{1}{2}x_{22}), (5 \min \{x_{23}, 1\} + \frac{1}{3}x_{23}), (6 \min \{x_{24}, 1\} \\ & + \frac{2}{5}x_{24}), (9 \min \{x_{25}, 1\} + \frac{1}{2}x_{25}), (12 \min \{x_{26}, 1\} + \frac{2}{5}x_{26}), (9 \min \{x_{27}, 1\} + \frac{1}{4}x_{27}), \end{aligned}$$



$$\left(7 \min\{x_{28}, 1\} + \frac{2}{5}x_{28}\right), \left(8 \min\{x_{31}, 1\} + \frac{1}{3}x_{31}\right), \left(5 \min\{x_{32}, 1\} + \frac{1}{2}x_{32}\right), \left(11 \min\{x_{33}, 1\} + \frac{1}{3}x_{33}\right), \left(5 \min\{x_{34}, 1\} + \frac{2}{5}x_{34}\right), \left(3 \min\{x_{35}, 1\} + \frac{1}{2}x_{35}\right), \left(3 \min\{x_{36}, 1\} + \frac{2}{5}x_{36}\right), \left(4 \min\{x_{37}, 1\} + \frac{1}{4}x_{37}\right), \left(3 \min\{x_{38}, 1\} + \frac{2}{5}x_{38}\right) \rightarrow \min \quad (9)$$

Warunki, które odnoszą się do popytu w sektorach zapisane są następująco (Gaspars-Wieloch, 2011):

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} = 6 \quad (10)$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} = 7 \quad (11)$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} = 9 \quad (12)$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} = 6 \quad (13)$$

$$x_{15} + x_{25} + x_{35} = 8 \quad (14)$$

$$x_{16} + x_{26} + x_{36} = 5 \quad (15)$$

$$x_{17} + x_{27} + x_{37} = 4 \quad (16)$$

$$x_{18} + x_{28} + x_{38} = 5 \quad (17)$$

Warunki, które dotyczą podaży hurtowni przedstawione są poniżej (Gaspars-Wieloch, 2011):

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} \leq 18 \quad (18)$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} \leq 18 \quad (19)$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} \leq 18 \quad (20)$$

Warunek mający związek z całkowitoliczbowością zmiennych decyzyjnych ma postać (Gaspars-Wieloch, 2011):

$$x_{11}, x_{12}, \dots, x_{38} \in N, \quad (21)$$

gdzie:

x_{11} – liczba zestawów przewiezionych z hurtowni P do supermarketu A

⋮

x_{38} – liczba zestawów przewiezionych z hurtowni PW do supermarketu H.



Omówiony przykład należy do dosyć zawiłych nie tylko ze względu na brak bezpośredniej możliwości rozwiązywania zagadnień optymalizacyjnych zawierających funkcję „max{ }” i „min{ }” w standardowej wersji Solvera. Do kolejnych utrudnień należą wprowadzone dwa rodzaje czasów: czas dojazdu do każdego sektora, a także czas wyładunku w danym sektorze. Było to niezbędne, ponieważ produkty transportowane ciężarówkami nie są wyładowywane w jednym miejscu, ale w kilku sklepach. Istnieje zatem zależność między czasem rozładunku a liczbą obsłużonych supermarketów. Do tego typu problemów nie powinien być bezpośrednio stosowany opisany wcześniej algorytm.

Konstrukcja arkusza kalkulacyjnego Excel w przedstawionym przykładzie zadania transportowego

Sposób wprowadzenia danych w arkuszu kalkulacyjnym Microsoft Excel omówionego przykładu zadania transportowego prezentuje rysunek 10.3. Komórki o adresach C8-J10 są polami, w których będą widoczne optymalne wartości zmiennych decyzyjnych ($x_{11}, x_{12}, \dots, x_{38}$). Zsumowane wartości pól odpowiednich kolumn tabeli C8-J10 zostały obliczone w wierszu z numerem 11. Reprezentują one lewą stronę warunków (10)-(17). Sformułowany popyt został zamieszczony w wierszu o numerze 12. Dodane wartości z zakresów komórek C8:J8, C9:J9, C10:J10 są widoczne w kolumnie oznaczonej literą K. Zawarta jest w nich całkowita liczba zestawów przewiezionych odpowiednio z hurtowni P, Z, PW, czyli lewa strona ograniczeń dotyczących podaży (18)-(20). Wartości podaży poszczególnych hurtowni są umieszczone w kolumnie L.



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
7	Hurtownie i sektory	A	B	C	D	E	F	G	H	Suma w danej hurtowni	Podaż
8	P									0	18
9	Z									0	18
10	PW									0	18
11	Suma w danym sektorze	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	Popyt	6	7	9	6	8	5	4	5		
13											
16	Czas przejazdu do sektora	9	6	3	3	6	9	12	7		
17		5	4	5	6	9	12	9	7		
18		8	5	11	5	3	3	4	3		
19											
20	Czas rozładunku	0,33	0,50	0,33	0,40	0,50	0,40	0,25	0,40		
21											
24	Całkowity czas rozładunku	0	0	0	0	0	0	0	0		
25		0	0	0	0	0	0	0	0		
26		0	0	0	0	0	0	0	0		
27											
30	Całkowity czas przejazdu (stały) i rozładunku	9	6	3	3	6	9	12	7		
31		5	4	5	6	9	12	9	7		
32		8	5	11	5	3	3	4	3		
33											
36	Trasy bazowe i niebazowe	0	0	0	0	0	0	0	0		
37		0	0	0	0	0	0	0	0		
38		0	0	0	0	0	0	0	0		
39											
43	Całkowity czas na trasach bazowych	0	0	0	0	0	0	0	0		Funkcja celu
44		0	0	0	0	0	0	0	0		0,0
45		0	0	0	0	0	0	0	0		

Rysunek 10.3. wprowadzone do arkusza kalkulacyjnego w omawianym przykładzie zadania transportowego

Źródło: (Gaspars-Wieloch, 2011)

W wierszach 16-45 zostało zaprezentowane zestawienie parametrów oraz formuł, niezbędnych do wyznaczenia funkcji celu. W wierszach 16-18, a także 20 umieszczone są dane, pochodzące z tabel 1 oraz 2. Całkowity czas rozładunku z i -tej hurtowni do j -tego sektora w wierszach 24-26 zostały obliczone przez pomnożenie jednostkowego czasu rozładunku z wiersza 20. przez liczbę dostarczonych zestawów, znajdujących się w wierszach 8-10, co przedstawia rysunek 10.4.

24	Całkowity czas rozładunku	=C20*C8	=D20*D8	=E20*E8	=F20*F8	=G20*G8	=H20*H8	=I20*I8	=J20*J8
25		=C20*C9	=D20*D9	=E20*E9	=F20*F9	=G20*G9	=H20*H9	=I20*I9	=J20*J9
26		=C20*C10	=D20*D10	=E20*E10	=F20*F10	=G20*G10	=H20*H10	=I20*I10	=J20*J10

Rysunek 10.4. Obliczenie całkowitego czasu rozładunku

Źródło: opracowanie na podstawie (Gaspars-Wieloch, 2011)

Sposób wyznaczenia całkowitego czasu przejazdu oraz rozładunku w wierszach o numerach 30-32 został pokazany na rysunku 10.5.



30		=C16+C24	=D16+D24	=E16+E24	=F16+F24	=G16+G24	=H16+H24	=I16+I24	=J16+J24
31	Całkowity czas przejazdu (stały) i rozładunku (zmienny)	=C17+C25	=D17+D25	=E17+E25	=F17+F25	=G17+G25	=H17+H25	=I17+I25	=J17+J25
32		=C18+C26	=D18+D26	=E18+E26	=F18+F26	=G18+G26	=H18+H26	=I18+I26	=J18+J26

Rysunek 10.5. Obliczenie całkowitego czasu rozładunku

Źródło: opracowanie na podstawie (Gaspars-Wieloch, 2011)

Celem zapisanie „ $\min\{x_{ij}, 1\}$ ” we wzorze (9) jest wyodrębnienie tras bazowych. W standardowej wersji Solvera nie ma możliwości rozwiązywania zadań, w których występuje funkcja „ $\min\{\}$ ”. Z tego względu należy inaczej wyznaczyć trasy bazowe. Jeśli iloraz w formule (22) ma wartość zbliżoną do liczby 1, wówczas tę trasę można określić jako bazową. Jeżeli zaś iloraz jest równy zero, wtedy przewóz na badanej trasie się nie odbędzie, co pokazuje rysunek 10.6.

$$\frac{x_{ij}}{x_{ij} + 0,00001} \quad (22)$$

36		=C8/(C8+0,00001)	=D8/(D8+0,00001)	=E8/(E8+0,00001)	=F8/(F8+0,00001)	=G8/(G8+0,00001)	=H8/(H8+0,00001)	=I8/(I8+0,00001)	=J8/(J8+0,00001)
37	Trasy bazowe i niebazowe	=C9/(C9+0,00001)	=D9/(D9+0,00001)	=E9/(E9+0,00001)	=F9/(F9+0,00001)	=G9/(G9+0,00001)	=H9/(H9+0,00001)	=I9/(I9+0,00001)	=J9/(J9+0,00001)
38		=C10/(C10+0,00001)	=D10/(D10+0,00001)	=E10/(E10+0,00001)	=F10/(F10+0,00001)	=G10/(G10+0,00001)	=H10/(H10+0,00001)	=I10/(I10+0,00001)	=J10/(J10+0,00001)

Rysunek 10.6. Wyznaczenie tras bazowych i niebazowych

Źródło: opracowanie na podstawie (Gaspars-Wieloch, 2011)

Przy użyciu opisanej metody w końcowym etapie mogą być uwzględnione jedynie czasy dotyczące tras bazowych. Formuły do obliczenia całkowitego czasu na trasach bazowych widnieją na rysunku 10.7. i znajdują się w wierszach 43-45.

43		=C36*C30	=D36*D30	=E36*E30	=F36*F30	=G36*G30	=H36*H30	=I36*I30	=J36*J30
44	Całkowity czas na trasach bazowych	=C37*C31	=D37*D31	=E37*E31	=F37*F31	=G37*G31	=H37*H31	=I37*I31	=J37*J31
45		=C38*C32	=D38*D32	=E38*E32	=F38*F32	=G38*G32	=H38*H32	=I38*I32	=J38*J32

Rysunek 10.7. Wyznaczenie całkowitego kosztu na trasach bazowych

Źródło: opracowanie na podstawie (Gaspars-Wieloch, 2011)

Komórki znajdujące się w wierszach 43-45 stanowią kolejne argumenty funkcji {max}, która występuje we wzorze (9). Sama funkcja została zamieszczona w komórce L44.

Rozwiązanie problemu w przedstawianym zadaniu transportowym

Aby uzyskać rozwiązanie optymalne, trzeba jeszcze uzupełnić okno programu Solver (rys. 10.8). W opcjach musi być zaznaczona nieujemność zmiennych, a potem wybrane polecenie „Rozwiąż”, „Przechowaj rozwiązanie” i „Ok”.



Rysunek 10.8. Formuły w oknie programu Solver

Źródło: opracowanie na podstawie (Gaspars-Wieloch, 2011)

Otrzymane rezultaty obliczeń zostały zaprezentowane na rysunku 10.9. Powinno się jednak podchodzić do nich z ostrożnością, ponieważ tworząc arkusz udało się jedynie uniknąć użycia funkcji typu „min{ }”, zaś funkcja „max{ }” nadal została. Należy przyrzeć się więc dokładniej wynikom. Transport wyrobów na trasie, która łączy hurtownię P z sektorem F ma aktualnie najdłuższy czas trwania, tj. 9,8 godzin i potrzebuje obsługi dwóch sklepów ($x_{16} = 2$). Należy więc podjąć próbę znalezienia korzystniejszego zaplanowania dostaw przez dodanie warunku $x_{16} \leq 1$, czyli $H_6 \leq 1$. Przyczyni się on do skrócenia czasu przejazdu oraz wyładunku maksymalnie do wartości $9,8 - 0,4 = 9,4$ godz., co w rezultacie będzie korzystniejszym rozwiązaniem.



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1											
5	Hurtownie i sektory	A	B	C	D	E	F	G	H	Suma w danej hurtowni	Podaż
6	P	0,0	3,0	7,0	2,0	3,0	2,0	0,0	0,0	17	18
7	Z	6,0	1,0	2,0	4,0	0,0	0,0	1,0	1,0	15	18
8	PW	0,0	3,0	0,0	0,0	5,0	3,0	3,0	4,0	18	18
9	Suma w danym sektorze	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Popyt	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
12	Czas przejazdu do sektora	9	6	3	3	6	9	12	7		
13		5	4	5	6	9	12	9	7		
14		8	5	11	5	3	3	4	3		
15											
16	Czas rozładunku	0,33	0,50	0,33	0,40	0,50	0,40	0,25	0,40		
17											
18	Całkowity czas rozładunku	0	1,5	2,31	0,8	1,5	0,8	0	0		
19		1,98	0,5	0,66	1,6	0	0	0,25	0,4		
20		0	1,5	0	0	2,5	1,2	0,75	1,6		
21											
22	Całkowity czas przejazdu (stały) i rozładunku (zmienny)	9	7,5	5,31	3,8	7,5	9,8	12	7		
23		6,98	4,5	5,66	7,6	9	12	9,25	7,4		
24		8	6,5	11	5	5,5	4,2	4,75	4,6		
25											
26	Trasy bazowe i niebazowe	0	1	1	1	1	1	0	0		
27		1	1	1	1	0	0	1	1		
28		0	1	0	0	1	1	1	1		
29											
30	Całkowity czas na trasach bazowych	0,0	7,5	5,3	3,8	7,5	9,8	0,0	0,0		Funkcja celu
31		7,0	4,5	5,7	7,6	0,0	0,0	9,2	7,4		9,8
32		0,0	6,5	0,0	0,0	5,5	4,2	4,7	4,6		

Rysunek 10.9. Pierwsze rozwiązanie zadania optymalizacyjnego

Źródło: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Drugi z kolei plan został uwzględniony na rysunku 10.10. W nim warto zawrzeć warunek $x_{28} \leq 2$, czyli $\$/\$9 \leq 2$, ponieważ przyczyni się on wówczas do skrócenia czasu dostawy na trasie Z-H o co najmniej 0,4 godziny (czas rozładowania produktów w sektorze H wyniesie wówczas $8,2 - 0,4 = 7,8$ godz.).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
5	Hurtownie i sektory	A	B	C	D	E	F	G	H	Suma w danej hurtowni	Podaż
6	P	0,0	3,0	8,0	1,0	3,0	0,0	0,0	1,0	16	18
7	Z	6,0	2,0	1,0	4,0	0,0	0,0	0,0	3,0	16	18
8	PW	0,0	2,0	0,0	1,0	5,0	5,0	4,0	1,0	18	18
9	Suma w danym sektorze	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Popyt	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
29											
30	Całkowity czas na trasach bazowych	0,0	7,5	5,6	3,4	7,5	0,0	0,0	7,4		Funkcja celu
31		7,0	5,0	5,3	7,6	0,0	0,0	0,0	8,2		8,2
32		0,0	6,0	0,0	5,4	5,5	5,0	5,0	3,4		

Rysunek 10.10. Drugie rozwiązanie zadania optymalizacyjnego

Źródło: (Gaspars-Wieloch, 2011)



Trzecie rozwiązanie ilustruje rysunek 10.11. Czas na trasie Z-H faktycznie skrócił się do 7,5 godziny, ale najdłuższy czas odnotowany został na trasie P-E (8 godzin). Można pokusić się o sprawdzenie, czy po dodaniu kryterium $x_{15} \leq 3$, czyli $GD \leq 3$ przyczyni się do poprawy wyniku końcowego?

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
5	Hurtownie i sektory	A	B	C	D	E	F	G	H	Suma w danej hurtowni	Podaż
6	P	0,0	2,0	8,0	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	18	18
7	Z	6,0	4,0	1,0	2,0	0,0	0,0	0,0	2,0	15	18
8	PW	0,0	1,0	0,0	0,0	4,0	5,0	4,0	3,0	17	18
9	Suma w danym sektorze	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Popyt	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
29											
30	Całkowity czas na trasach bazowych	0,0	7,0	5,6	4,6	8,0	0,0	0,0	0,0		Funkcja celu
31		7,0	6,0	5,3	6,8	0,0	0,0	0,0	7,8		8,0
32		0,0	5,5	0,0	0,0	5,0	5,0	5,0	4,2		

Rysunek 10.11. Trzecie rozwiązanie zadania optymalizacyjnego

Źródło: (Gaspars-Wieloch, 2011)

W czwartym rozwiązaniu, pokazanym na rys. 10.12, najdłuższy czas dostawy trwa już jedynie 7,5 godziny. Po wprowadzeniu ograniczeń na trasach, które teraz determinują wartość funkcji celu: $x_{12} \leq 2$, czyli $DD \leq 2$ i $x_{15} \leq 2$, czyli $GD \leq 2$.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
5	Hurtownie i sektory	A	B	C	D	E	F	G	H	Suma w danej hurtowni	Podaż
6	P	0,0	3,0	4,0	6,0	3,0	0,0	0,0	1,0	17	18
7	Z	6,0	3,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	15	18
8	PW	0,0	1,0	0,0	0,0	5,0	5,0	4,0	3,0	18	18
9	Suma w danym sektorze	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Popyt	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
29											
30	Całkowity czas na trasach bazowych	0,0	7,5	4,3	5,4	7,5	0,0	0,0	7,4		Funkcja celu
31		7,0	5,5	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4		7,5
32		0,0	5,5	0,0	0,0	5,5	5,0	5,0	4,2		

Rysunek 10.12. Czwarte rozwiązanie zadania optymalizacyjnego

Źródło: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Na rysunku 10.13. można znaleźć piąte, najbardziej optymalne rozwiązanie. Nawet jeśli zostaną dodane następne ograniczenia, nie wpłyną one już na poprawę czasu dostawy.



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
5	Hurtownie i sektory	A	B	C	D	E	F	G	H	Suma w danej hurtowni	Podaż
6	P	0,0	2,0	4,0	6,0	2,0	0,0	0,0	1,0	15	18
7	Z	6,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	17	18
8	PW	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	5,0	4,0	3,0	18	18
9	Suma w danym sektorze	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Popyt	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
29											
30	Całkowity czas na trasach bazowych	0,0	7,0	4,3	5,4	7,0	0,0	0,0	7,4		Funkcja celu
31		7,0	6,5	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4		7,4
32		0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	5,0	5,0	4,2		

Rysunek 10.13. Piąte rozwiązanie zadania optymalizacyjnego

Źródło: (Gaspars-Wieloch, 2013)

Założeniem optymalnego rozwiązania zadania jest czas realizacji najdłuższej dostawy, trwający 7,4 godziny, który zostanie odnotowany na dwóch trasach: P-H oraz Z-H. Do każdego sektora trafią zestawy zgodne ze zgłoszonym popytem. Podaż hurtowni PW będzie maksymalnie zużytkowana. Do zaopatrzenia sieci supermarketów będzie potrzebnych 13 ciężarówek.

Dokonując porównania rezultatów otrzymanych w czwartym oraz piątym rozwiązaniu, można by właściwie zakończyć na zrealizowaniu czwartego wariantu ze względu na niewielką różnicę w czasie ($7,5 - 7,4 = 0,1$ h). Warto podkreślić jest tutaj fakt, iż w czwartym planie, oprócz trochę wydłużonego czasu dostawy, musiałoby być wysłanych aż 14 pojazdów transportujących towar. Uzyskany efekt to oczywiście niejedyny optymalny rozwiązanie. Po przeprowadzeniu różnych symulacji mogą nasunąć się inne wnioski.

Analiza prac naukowych, które były wspomniane we wcześniejszych fragmentach niniejszego artykułu pokazuje, że badania naukowców wykorzystują różne podejścia analityczne do organizacji ruchu towarowego oraz trybów funkcjonowania obiektów, jak również sposoby działania poszczególnych elementów i części systemów logistycznych. Umożliwia to wybór metody, przy pomocy której można dokonać optymalizacji systemu transportowego, będącego niezwykle istotną składową procesów logistycznych w przedsiębiorstwie, wpływającą na rentowność firmy.



Pytania do rozdziału

1. Jakie są główne problemy polityki transportowej związane z optymalizacją systemu transportowego?
2. Jakie są główne cele optymalizacji tras dla przedsiębiorstwa i odbiorców?
3. Co to jest problem komiwojażera (TSP) i jak jest związany z optymalizacją tras?

LITERATURA

Abdulsalam, K., A., Siti, Z., I., (2020). Developing Palm Oil Inventory Control System Using Excel Macro, Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology, vol. 5, 51-55

Cheng, C. i Wu, J., (2020). Intelligent Management and Control of Transportation Hubs Based on Big Data Technology, in Advances in Intelligent Systems and Computing: International Conference on Cyber Security Intelligence and Analytics, Haikou: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.

Codeca, L., Cahill, V., (2022); Using Deep Reinforcement Learning to Coordinate Multi-Modal Journey Planning with Limited Transportation Capacity, SUMO User Conference.

Coyle, J., Bardi, J., Langley, J., (2002) The Management of Business Logistics: A Supply Chain Perspective, South-Western.

De Maio, L. M., Vitetta, A., (2015). Route Choice on Road Transport System: A Fuzzy Approach, Journal of Intelligent i Fuzzy Systems, vol. 28, no. 5, 2015-2027.

Dekhtyaruk, M.T., Shao, M., Yang, S, Kontrobayeva, Z.D., Vashchilina, E. (2021). Automated system of freight traffic optimisation in the interaction of various modes of transport, Periodicals of Engineering and Natural Sciences, Vol. 9, No. 3, September 2021, 844-857

Fialko, N.M., Navrodska, R.O., Gnedash, G.O., Presich, G.O. i Shevchuk, S.I., (2020). Study of Heat Recovery Systems of or Heating and Moisturing Combustion Air of Boiler Units, Science and Innovation, vol. 16, no. 3, 43-49.



Ficoń, K., (2010). Optymalizacja makrosystemów transportowych według kryteriów logistycznych, Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej Rok Li Nr 3 (182).

Gaspars-Wieloch, H. w: Szymczak, M. (red.), (2011). Zastosowanie zagadnienia transportowego z kryterium czasu do optymalizacji zaopatrzenia sieci supermarketów, Difin, Warszawa).

Gass, S., (2013). An Illustrated Guide to Linnear Programming, Dover Publications.

Hess, S., Quddus, M., Rieser-Schüssler, N. i Daly, A., (2015). Developing Advanced Route Choice Models for Heavy Goods Vehicles Using GPS Data, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 77, 29-44.

Khripach, N., Lezhnev, L., Tatarnikov, A., Stukolkin, R. i Skvortsov, A., (2018). Turbo-Generators in Energy Recovery Systems, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, vol. 9, no. 6, 1009-1018.

Krawczyk, S., (2001). Zarządzanie procesami logistycznymi, PWE, Warszawa.

Lai, X. i Bierlaire, M., (2015), Specification of the Cross-Nested Logit Model with Sampling of Alternatives for Route Choice Models, Transportation Research Part B: Methodological, vol. 80, 220-234.

Leonard, W.H., (1997). The Quantitative Approach to Managerial Decisions, Prentice-Hall, New Jersey, 25-29.

Liu, S., Zhang, G. i Wang, L., (2018). IoT-enabled Dynamic Optimisation for Sustainable Reverse Logistics, Procedia CIRP, vol. 69, 662-667.

Maleev, R. A., Zuev, S. M., Fironov, A. M., Volchkov, N. A.. i Skvortsov, A. A., (2019). The Starting Processes of a Car Engine Using Capacitive Energy Storages," Periodico Tche Quimica, vol. 16, no. 33, 877-888

Manley, E., Orr, S. i Cheng, T. A., (2015). A Heuristic Model of Bounded Route Choice in Urban Areas, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 56, 195-209.

Milewski, D., (2011). Problemy optymalizacji w przewozach przesyłek drobnych, Problemy Transportu i Logistyki, Uniwersytet Szczeciński. Zeszyty naukowe nr 644, Szczecin.



Navrodska, R., Fialko, N.G. Presich, N.G., Gnedash, G., Alioshko, S. and Shevcuk, S., (2019). Reducing Nitrogen Oxide Emissions in Boilers at Moistening of Blowing Air in Heat Recovery Systems, E3S Web of Conferences, vol. 100, article number 00055.

Nyrkov, A. P., Sokolov, S. S. i Belousov, A. S., (2015). Algorithmic Support of Optimization of Multicast Data Transmission in Networks with Dynamic Routing, Modern Applied Science, vol. 9, no. 5, 162-176.

Omelianenko, S., Kondratenko, Y., Kondratenko, G. i Sidenko, I., (2019). Advanced System of Planning and Optimization of Cargo Delivery and Its Iot Application, in Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies," Lviv: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Sanz, F.T., Escobar Gomez, E.N., (2013). The Vehicle Routing Problem with Limited Vehicle Capacities, International Journal for Traffic.

Shang, X., Yang, K., Wang, W., Zhang, H. i Celic, S., (2020). Stochastic Hierarchical Multimodal Hub Location Problem for Cargo Delivery Systems: Formulation and Algorithm," IEEE Access, vol. 8, 55076-55090.

Shramenko, N. Y. i Shramenko, V. O., (2019). Optimization of Technological Specifications and Methodology of Estimating the Efficiency of the Bulk Cargo Delivery Process, Scientific Bulletin of National Mining University, vol. 2019, no. 3, 146 151.

Sikora, W. (red.), (2008). Badania operacyjne, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 57-58.

Silaen, N.E., Savaluddin, Tulus, (2019), Optimization Model in Logistics Planning and Supply Chain, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1255 (2019).

Skvortsov, A. A., Pshonkin, D. E. i Luk'yanov, M. N., (2018). Influence of Constant Magnetic Fields on Defect Formation Under Conditions of Heat Shock in Surface Layers of Silicon," Key Engineering Materials, vol. 771, 124-129.

Stachurski, A., Wierzbicki, A. (2001). Podstawy optymalizacji, Warszawa, PW.

Sun, F., Dubey, A., White, J. i Gokhale, A., (2019). Transit-Hub: A Smart Public Transportation Decision Support System with Multi-Timescale Analytical Services, Cluster Computing, vol. 22, 2239-2254.



Tomashevskiy, V. N., (2007). Systems Modeling, Kyiv: Publishing Group BHV.

Trzaskalik, T. (red.). Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem, wyd. II zmienione, PWE, Warszawa, 147-155.

Vakulenko, S. i Evreenova, N., (2019). Transport Hubs as the Basis of Multimodal Passenger Transportation, in Proceedings of the 12th International Conference "Management of Large-Scale System Development," Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Vitetta, A., (2016). A Quantum Utility Model for Route Choice in Transport Systems, Travel Behaviour and Society, vol. 3, 29-37.

Winiczenko, R., (2009). Optymalizacja kosztów transportu metodą bezpośredniego poszukiwania, Postępy techniki przetwórstwa spożywczego 1/2009, 133.

Wong, K.Y.M., SAAD, D., Yeung, C.H., (2016). Distributed Optimization in Transportation and Logistics Networks, IEICE Trans. Commun., vol. E99-B., No.11.

Yahiaoui, A., (2019). Stability Analysis of Following Vehicles on a Highway for Safety of Automated Transportation Systems, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, vol. 17, no. 3, 190-199

Zajdel, M., Filipowicz, B., (2008). Dobór metod optymalizacji dla sieci transportowych, Automatyka tom 12 zeszyt 13, 999.

Zaychenko, Ju. P., (2014). Operations Research, Kyiv: Slovo.

Zhilenkov, A. A. Nyrkov, A. P. i Cherniy, S. G., (2015). Evaluation of Reliability and Efficiency of Distributed Systems Rigs, Automation in the Industry, vol. 6, 50-52.

(www_10.1) <http://optifacility.mooncoder.com/site/pl/optymalizacja-transportu>, access 2024.05.30.

(www_10.2) <http://optifacility.mooncoder.com/site/pl/optymalizacja-tras>, access 2024.05.30.



SPIS TABEL

Tabela 1.1. Dane wejściowe do zadania optymalizacyjnego rozwiązywanego przy pomocy Solvera	22
Tabela 2.1. Porównanie typów wykresów względem ich własności	41
Tabela 4.1. Różnice między controllinglem w łańcuchu dostaw i w przedsiębiorstwie	76
Tabela 5.1. Rozwinięcie kryteriów oceny dostawców – Cena/koszty i warunki płatności.....	90
Tabela 5.2. Rozwinięcie kryteriów oceny dostawców – Dostawy	90
Tabela 5.3. Rozwinięcie kryteriów oceny dostawców – Jakość towaru.....	91
Tabela 5.4. Rozwinięcie kryteriów oceny dostawców – Potencjał dostawcy.....	91
Tabela 5.5. Kryteria odporności.....	105
Tabela 6.1. Przykłady obszarów możliwych do przekazania na rzecz firmy usługowej.....	111
Tabela 6.2. Warianty outsourcingu kapitałowego i kontraktowego w zależności od formy przekazania działalności na rzecz firmy usługowej	113
Tabela 6.3. Podstawowe rodzaje outsourcingu	114
Tabela 6.4. Wady i zalety outsourcingu logistycznego	130
Tabela 8.1. Korzyści prognozowania popytu	151
Tabela 8.2. Składowe szeregu czasowego	155
Tabela 8.3. Wybrane rodzaje wartości odstających	157
Tabela 8.4. Rodzaje dryfu	163
Tabela 8.5. Wybrane błędy prognoz	180
Tabela 8.6. Wybrane funkcje programu Excel	181
Tabela 9.1. Podejście 9-polowe do relacji ABC-XYZ	214
Tabela 10.1. Przybliżony czas przejazdu (<i>t_{ijp}</i> , w godzinach).....	231
Tabela 10.2. Średni jednostkowy czas rozładunku (<i>t_{ir}</i> , w godzinach)	231



SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1.1. Widok wstążki Dane z poleceniami filtrowania	17
Rysunek 1.2. Przykład zastosowania autofiltru wg formatu (wg ikon komórek oraz koloru czcionek)	18
Rysunek 1.3. Widok okna Sortowanie z ustawionymi kryteriami dla sortowania wielopoziomowego	18
Rysunek 1.4. Przykładowy raport tabeli przestawnej w Excelu	20
Rysunek 1.5. Tabela przestawna przedstawiająca średnią ilość sprzedanych produktów dostarczoną danemu kontrahentowi za pomocą poszczególnych rodzajów transportu	20
Rysunek 1.6. Zastosowanie Solvera do przykładowego zadania optymalizacyjnego	23
Rysunek 2.1. Wykres kolumnowy grupowany	29
Rysunek 2.2. Wykres kolumnowy skumulowany	30
Rysunek 2.3. Wykres kołowy	31
Rysunek 2.4. Wykres liniowy	31
Rysunek 2.5. Wykres giełdowy	32
Rysunek 2.6. Wykres radarowy	33
Rysunek 2.7. Histogram	34
Rysunek 2.8. Wykres Pareto	34
Rysunek 2.9. Mapa cieplna	35
Rysunek 2.10. Wykres kombi	36
Rysunek 2.11. Jak stworzyć Dashboard	37
Rysunek 2.12. Przykład dashboardu sprzedażowego	38
Rysunek 2.13. Wykorzystanie dashboardów	39
Rysunek 2.14. Przykład dashboardu operacyjnego	40
Rysunek 3.1. Podział powierzchni magazynowej	47
Rysunek 3.2. Moduł magazynowy dla składowania rzędowego bez urządzeń z prostopadłym ułożeniem paletowych jednostek ładunkowych	49
Rysunek 3.3. Moduł magazynowy dla składowania rzędowego bez urządzeń z równoległym ułożeniem paletowych jednostek ładunkowych	49
Rysunek 3.4. Moduł magazynowy dla składowania blokowego bez urządzeń	50
Rysunek 3.5. Ilustracja przypadku zapasu rozproszonego	56



Rysunek 3.6. Ilustracja przypadku zapasu scentralizowanego	57
Rysunek 5.1. Wybrane kryteria oceny dostawców	89
Rysunek 6.1. Ewolucja koncepcji outsourcingu	112
Rysunek 6.2. Krytyczna wielkość produkcji	120
Rysunek 6.3. Etapy outsourcingu	122
Rysunek 6.4. Obliczanie danych do graficznego wyznaczenia punktu Break-even	124
Rysunek 6.5. Wykres z wyznaczonym punktem Break-even	124
Rysunek 6.6. Ocena problemu Make-or-Buy uwzględniająca czynniki ilościowe i jakościowe	126
Rysunek 8.1. Uogólniony model prognozowania	150
Rysunek 8.2. Metody prognozowania - rodzaje	153
Rysunek 8.3. Metody ilościowe prognozowania	154
Rysunek 8.4. Wyraźne niezgodne wielkości z ogólną prawidłowością szeregu czasowego ..	159
Rysunek 8.5. Wartości filtrów i dane odstające	159
Rysunek 8.6. Metody ilościowe prognozowania szeregów czasowych	160
Rysunek 9.1. Zależność POP i kosztów zapasu	192
Rysunek 9.2. Zależność między poziomem obsługi klienta a przychodami i zyskiem	194
Rysunek 9.3. Krzywa analizy ABC	211
Rysunek 10.1. Zmiany wynikające z zastosowania optymalizacji procesów transportowych	221
Rysunek 10.2. Koncepcja modelowania optymalizacyjnego systemu transportowego	224
Rysunek 10.3. wprowadzone do arkusza kalkulacyjnego w omawianym przykładzie zadania transportowego	234
Rysunek 10.4. Obliczenie całkowitego czasu rozładunku	234
Rysunek 10.5. Obliczenie całkowitego czasu rozładunku	235
Rysunek 10.6. Wyznaczenie tras bazowych i niebazowych	235
Rysunek 10.7. Wyznaczenie całkowitego kosztu na trasach bazowych	235
Rysunek 10.8. Formuły w oknie programu Solver	236
Rysunek 10.9. Pierwsze rozwiązanie zadania optymalizacyjnego	237
Rysunek 10.10. Drugie rozwiązanie zadania optymalizacyjnego	237
Rysunek 10.11. Trzecie rozwiązanie zadania optymalizacyjnego	238
Rysunek 10.12. Czwarte rozwiązanie zadania optymalizacyjnego	238
Rysunek 10.13. Piąte rozwiązanie zadania optymalizacyjnego	239





Katarzyna Grzybowska, dr hab. inż., prof. PP

Profesor PP na Wydziale Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Wykłada w zakresie zarządzania łańcuchem dostaw i zarządzania operacyjnego w logistyce. Jej główne zainteresowania naukowe to zarządzanie łańcuchem dostaw (Digital Supply Chain, Sustainable Supply Chain, Supply Chain Resilience) oraz automatyzacja procesów biznesowych w gospodarce (Business Process Automation). Jest autorką i współautorką ponad 140 artykułów opublikowanych w książkach, czasopismach i materiałach konferencyjnych. Bierze udział w projektach naukowych, dydaktycznych i biznesowych.

ORCID: 0000-0002-4026-2473



Katarzyna Ragin-Skorecka, dr inż.

Jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym z wieloletnim doświadczeniem. Naukowo zajmuje się problematyką zarządzania procesami i projektami oraz wsparciem tych obszarów technologią informatyczną (w tym AI). Wprowadza studentów w tajniki przedmiotów: elektroniczna gospodarka, inżynieria oprogramowania, zarządzanie projektami, big data w zarządzaniu. Prowadzi prace magisterskie studentów kierunku Inżynieria Zarządzania i Logistyka. Jest przewodniczącą Komisji Stypendialnej oraz kierownikiem Laboratorium Systemów Informacyjnych Zarządzania i Zespołu ds. eLearningu. Ponadto kieruje projektem dydaktycznym Smart Factory 4.0.

ORCID: 0000-0002-7359-9232



Katarzyna Siemieniak, mgr inż.

Absolwentka Politechniki Poznańskiej, Wydziału Budowy Maszyn na kierunku Zarządzanie i marketing. Wykładowca na Wydziale Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej w Instytucie Zarządzania i Systemów Informacyjnych. Dotychczas prowadziła zajęcia laboratoryjne z przedmiotów takich jak: Informatyka, Informatyka w zarządzaniu, Technologie informacyjne, Bazy danych, Zaawansowane funkcje pakietu MS Office na kierunkach Inżynieria Zarządzania, Engineerin Management, Logistyka oraz Inżynieria bezpieczeństwa. Jest autorką publikacji na temat wykorzystania modelu rozmytego i systemów szarych w analizie strat czasu pracy w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Jest również członkiem Wydziałowego Zespołu ds. Jakości Kształcenia, gdzie w ramach zadań opracowywała wyniki badań ankietowych dotyczących losów absolwentów Wydziału Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej, współtworzyła raporty samooceny do akredytacji KAUT oraz PKA.

ORCID: 0000-0002-1961-5182



Piotr Cyplik, dr hab. inż., prof. PP

Wykładowca w zakresie zarządzania łańcuchem dostaw, zarządzania produkcją, zarządzania zapasami, logistyki zaopatrzenia i zakupów oraz modeli prognostycznych. Jest autorem lub współautorem, redaktorem lub współredaktorem 20 monografii i ponad 130 artykułów w czasopismach naukowych, rozdziałów w monografiach i ponad 30 referatów konferencyjnych. Redaktor naczelnym czasopisma LogForum, indeksowanego w Scopus i WoS. Posiada duże doświadczenie w pozyskiwaniu projektów ze środków UE. Był kierownikiem lub głównym wykonawcą ponad 10 projektów B+R finansowanych z programów UE w zakresie rozwoju szkolnictwa wyższego i prac



badawczych dla przedsiębiorstw. Kierował 4 i uczestniczył w kilku kolejnych projektach rozwojowych i dydaktycznych finansowanych z programów Leonardo da Vinci i Erasmus+. Jest aktywnym doradcą w zakresie szeroko pojętego zarządzania produkcją, optymalizacji procesów logistycznych i zarządzania łańcuchem dostaw. Kierował ponad 60 projektami konsultingowymi z ww. dziedziny dla firm o zasięgu krajowym i międzynarodowym.

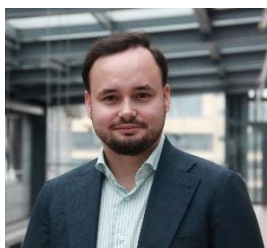
ORCID: 0000-0002-5775-6760



Michał Adamczak, dr inż.

Pracownik badawczo-dydaktyczny Wyższej Szkoły Logistyki w Poznaniu. Kierownik Katedry Logistyki tej uczelni. Członek Zarządu Polskiego Towarzystwa Logistycznego. Specjalizuje się w tematyce zarządzania, zapasami, zarządzania łańcuchem dostaw i zarządzania produkcją. W swojej pracy wykorzystuje narzędzia analizy danych logistycznych, analizę statystyczną, modelowanie i symulacje procesów, w tym arkusz kalkulacyjny Ms Excel. Autor programów szkoleń otwartych i zamkniętych z wyżej wymienionych tematów. Realizator kilkudziesięciu projektów konsultingowych dla firm handlowych i produkcyjnych. Kierownik naukowiec w wielu projektach realizowanych w ramach programu ERASMUS+. Autor ponad 100 publikacji naukowych w uznanych czasopismach krajowych i zagranicznych. Uczestnik wielu konferencji międzynarodowych.

ORCID: 0000-0003-4183-7264



Jędrzej Jankowski-Guzy, mgr

Pracownik badawczo-dydaktyczny Wyższej Szkoły Logistyki w Poznaniu. Zastępca Dyrektora Departamentu Analiz Ekonomicznych w Ministerstwie Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Realizator wielu projektów rozwojowych dla przedsiębiorstw z branży produkcyjnej i logistycznej. Trener z zakresu zarządzania łańcuchami dostaw, analiz danych i prognozowania. 10 letni staż z zakresu analiz, controllingu i rozwoju w przedsiębiorstwach produkcyjnych i u operatorów logistycznych.

ORCID: 0009-0005-1484-2836



Adrianna Toboła-Walaszczyk, mgr inż.

Absolwentka Politechniki Poznańskiej, Wydziału Inżynierii Zarządzania na kierunku Logistyka. Pracownik naukowo-dydaktyczny, nauczyciel akademicki w Wyższej Szkole Logistyki w Poznaniu, asystent i koordynator administracyjny w Katedrze Logistyki. Wykładowca z zakresu modelowania i symulacji procesów biznesowych, logistyki i zarządzania łańcuchem dostaw na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych w Wyższej Szkole Logistyki w Poznaniu. Autorka publikacji naukowych z zakresu logistyki, zarządzania łańcuchem dostaw, modelowania procesów biznesowych i Przemysłu 4.0. Realizatorka zakończonych i bieżących projektów rozwojowych finansowanych ze środków UE w ramach programu ERASMUS+. Realizatorka licznych projektów optymalizacyjnych i rozwojowych dla firm z sektora produkcyjnego i logistycznego.

ORCID: 0000-0002-5966-8852